



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ‘การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากหอยเป่าฮือ  
โดยใช้เทคโนโลยีการแปรรูปและการบรรจุ’

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ  
อาจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมลาย์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรารัตน์ ทัตติยกุล

มีนาคม 2550

## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ‘การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากหอยเป่าฮื้อ  
โดยใช้เทคโนโลยีการแปรรูปและการบรรจุ’

### คณะผู้วิจัย

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทราวรรณ
3. อาจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมัลย์
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรารัตน์ ทัตติยกุล

สังกัด ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ชุดโครงการ ‘หอยเป่าฮื้อ’

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)  
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

## หน้าสรุปโครงการ

### ชื่อโครงการ

|            |                                                                                                                                                               |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ภาษาไทย    | การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากหอยเป่าฮื้อโดยใช้เทคโนโลยีการแปรรูปและการบรรจุ                                                                                       |
| ภาษาอังกฤษ | Development of various food products from <i>Haliotis asinina</i> Linnaeus, 1758 using conventional and innovative food processing and packaging technologies |

### คณะผู้วิจัย

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รณนิ์ สงวนดีกุล
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบลรัตน์ สิริภัทรวรรณ
3. อาจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมัลย์
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิราวัฒน์ พัตติยกุล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากหอยเป่าฮื้อ *Haliotis asinina* Linnaeus, 1758 ซึ่งเป็นหอยเป่าฮื้อที่ผลิตได้ในประเทศ (ขนาดเล็ก หรือ cocktail size) โดยใช้เทคโนโลยีด้านการแปรรูปอาหารและเทคโนโลยีการบรรจุ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆที่มีความหลากหลาย ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา รวมทั้งพัฒนาผลิตภัณฑ์สารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารจากส่วนที่เหลือของหอยเป่าฮื้อจากการแปรรูปหรือหอยที่โตช้าและมีขนาดเล็กมาก โดยงานวิจัยในโครงการนี้แบ่งเป็น 4 ตอน ดังนี้

- ตอนที่ 1 การยืดอายุการเก็บของหอยเป่าฮื้อทั้งตัวในระยะสั้น โดยใช้ modified atmosphere packaging
- ตอนที่ 2 การยืดอายุการเก็บของหอยเป่าฮื้อระยะยาว โดยใช้กระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนเป็นหอยเป่าฮื้อในน้ำเกลือ
- ตอนที่ 2.1 การแปรรูปหอยเป่าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาช์
- ตอนที่ 2.2 ผลของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต และกรดซิตริก ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป่าฮื้อ *H. asinina* L. ในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง
- ตอนที่ 2.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซุปรวมหอยเป่าฮื้อในรีทอร์ตเพาช์ เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป
- ตอนที่ 3 การอบแห้งหอยเป่าฮื้อ
- ตอนที่ 4 การผลิตสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหอยเป่าฮื้อขนาดเล็ก

ผลการวิจัยในแต่ละตอนสามารถสรุปได้ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาการยืดอายุการเก็บหอยเป่าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ (modified atmosphere packaging, MAP) พบว่าอายุการเก็บของหอยเป่าฮื้อที่บรรจุใน MAP ยาวนานกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ การเก็บหอยเป่าฮื้อใน MAP ช่วยชะลอการสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ซึ่งมีผลต่อค่าความสดได้ดีกว่าการเก็บรักษาในภาวะสุญญากาศและบรรยากาศปกติ หอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $2 \pm 1^{\circ}\text{C}$  ในบรรยากาศปกติและสุญญากาศมีอายุการเก็บนาน 3 วัน ในขณะที่ MAP ที่ภาวะ  $40\% \text{CO}_2 : 40\% \text{O}_2 : 20\% \text{N}_2$  มีอายุการเก็บนาน 9 วัน ส่วนที่ภาวะ  $40\% \text{CO}_2 : 20\% \text{O}_2 : 40\% \text{N}_2$ ,  $60\% \text{CO}_2 : 40\% \text{O}_2$  และ  $60\% \text{CO}_2 : 20\% \text{O}_2 : 20\% \text{N}_2$  มีอายุการเก็บ 11 วัน และที่ภาวะ  $40\% \text{CO}_2 : 30\% \text{O}_2 : 30\% \text{N}_2$  มีอายุการเก็บ 13 วัน

ตอนที่ 2.1 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตแพจ จากการศึกษาการจัดการวัตถุดิบเพื่อรักษาคุณภาพ โดยเก็บรักษาหอยเป่าฮือแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  และ  $10^{\circ}\text{C}$  พบว่าตรวจพบแบคทีเรียที่ต้องการอากาศ  $>10^6$  cfu/g เมื่อเก็บหอยเป่าฮือแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 6 และ 9 วัน ตามลำดับ และที่  $10^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 และ 4 วัน ตามลำดับ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป่าฮือเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80, 100 และ  $120^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2-240 นาที พบว่าปริมาณ cooking loss และ degree of browning เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน โดยการให้ความร้อนที่  $110^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 50 นาที ได้ heat penetration parameters คือ  $F_h = 6.7$  นาที และ  $j = 1.059$  ซึ่งสามารถทำนายเวลาการฆ่าเชื้อตามวิธี Formula เพื่อให้ได้  $F_0 = 4$  นาที ดังนี้ เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ  $50^{\circ}\text{C}$  ต้องให้ความร้อนที่  $114^{\circ}\text{C}$  และ  $121^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 23 นาที และ 7 นาที ตามลำดับ และเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ  $70^{\circ}\text{C}$  ต้องให้ความร้อนที่  $114^{\circ}\text{C}$  และ  $121^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 22 นาที และ 6 นาที ตามลำดับ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิเดียวกันไม่แตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) โดยให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่  $121^{\circ}\text{C}$  มากกว่า เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่  $121^{\circ}\text{C}$  ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์ทุกคุณลักษณะระหว่างการเก็บรักษาทุกเดือน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

ตอนที่ 2.2 จากการศึกษาผลของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป่าฮือ *H. asinina* L. ในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง โดยแช่เนื้อหอยเป่าฮือในสารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ที่ความเข้มข้น 0.1% และ 5% ตามลำดับ แปรระยะเวลาในการแช่เป็น 4 ระดับ ตั้งแต่ 0 – 15 นาที และบรรจุกระป๋องขนาด 307 x 113 ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ  $121^{\circ}\text{C}$  โดยกำหนดให้  $F_0 = 4$  นาที พบว่าได้เวลาในการฆ่าเชื้อในช่วงการให้ความร้อนเมื่ออุณหภูมิในเครื่องฆ่าเชื้อถึง  $121^{\circ}\text{C}$  เท่ากับ 11.50 นาที และค่า degree of browning ของเนื้อหอยลดลงเมื่อเวลาในการแช่สารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับสีของเนื้อหอยเป่าฮือโดยเนื้อหอยที่แช่สารละลายผสม 0 และ 5 นาที เนื้อหอยจะมีสีคล้ำและบางบริเวณมีสีน้ำตาล และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างในผลิตภัณฑ์ พบว่ามีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่เกิน 30 ppm และสารประกอบฟอสเฟตในรูป  $\text{P}_2\text{O}_5$  ไม่เกิน 0.5% ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตอนที่ 2.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในรีทอร์ตแพจ ได้ดัดแปลงสูตรหอยเป่าฮือปลาใช้ในการผลิตหอยเป่าฮือ โดยใช้แป้งคัดแปร Farinex® VA40 เข้มข้น 5.4% และผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ  $121^{\circ}\text{C}$  และค่า  $F_0 = 4$  นาที และศึกษาอายุการเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิเร่ง 55 และ  $65^{\circ}\text{C}$  พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาความหนืดของหอยเป่าฮือและเนื้อหอยเป่าฮือมีสีเข้มขึ้น เนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮือเหนียวและกระด้างขึ้น กลิ่นซีอิ๊วขาว กลิ่นขิงและกลิ่นหอยเป่าฮือในผลิตภัณฑ์ลดลง ในขณะที่กลิ่นหื่นเพิ่มขึ้น โดยที่สมบัติด้านสีของเนื้อหอยเป่าฮือเกิดการเสื่อมเสียเป็นอันดับแรก และสามารถทำนายอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$  ได้ประมาณ 10 สัปดาห์ นอกจากนี้พบสารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือ 4 กลุ่ม ได้แก่ สารกลุ่ม benzopyran เป็นสารที่ให้กลิ่นของซีอิ๊วขาว สารกลุ่ม thiazole และ imidazole เป็นสารที่ให้กลิ่นของหอยเป่าฮือ สาร zingiberene, alpha – farnesene และสารกลุ่ม phenol เป็นสารที่ให้กลิ่นขิง และสาร pentadecanal, octadecanal และ hexadecanal เป็นสารที่ให้กลิ่นหื่น

ตอนที่ 3 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหอยเป่าฮืออบแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อน จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหอยเป่าฮืออบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิขาเข้าคงที่ (Constant inlet air temperature) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง  $40-75^{\circ}\text{C}$  ผลผลิตที่มีสีน้ำตาลเข้มขึ้นและมีความสามารถในการดูดน้ำขึ้นเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งของหอยเป่าฮือคืนรูปลดลง เมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับหอยเป่าฮืออบแห้งที่อุณหภูมิ  $55^{\circ}\text{C}$  มากที่สุด เมื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหอยเป่าฮืออบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิขาเข้าแบบเป็นขั้น (Stepwise change of inlet air temperature) พบว่าภาวะการอบแห้งที่  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  นาน 10 ชั่วโมง ได้หอยเป่าฮือที่มีความสามารถในการดูดน้ำขึ้นสูงที่สุด มีสีเหลืองทองมากที่สุด และมีค่าความแข็งของหอยเป่าฮือคืนรูปต่ำที่สุด และผู้ทดสอบให้การยอมรับหอยเป่าฮืออบแห้งที่ภาวะนี้มากที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของหอยเป่าฮืออบแห้งจากการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิขาเข้าที่และแบบเป็นขั้น พบว่าหอยเป่าฮือที่อบแห้งแบบเป็นขั้นมีคุณภาพดีกว่าหอยเป่าฮือที่อบแห้งที่อุณหภูมิขาเข้าคงที่ นอกจากนี้การอบแห้งหอยเป่าฮือแบบเป็นขั้นใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิขาเข้าคงที่ ถึง 33.3%

ตอนที่ 4 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อของหอยเป่าฮือ *H. asinina* ตัวเล็กซึ่งไม่ได้ขนาดและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮือเพื่อใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร จากการศึกษาอุณหภูมิและ pH ที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme<sup>®</sup> ต่อการย่อยโปรตีนในส่วนเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮือ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าภาวะการย่อยเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮือที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  pH 6.0 ทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้มีระดับการย่อยสลาย (DH) และปริมาณกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮือสูงที่สุด แต่กรดอะมิโนที่ให้รสขมก็มีในปริมาณสูงเช่นกัน และศึกษาเวลาที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme<sup>®</sup> ต่อการย่อยโปรตีนในส่วนเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮือ พบว่าที่เวลา 180 นาที ทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮือมีค่า DH สูงสุด และมีปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงสุด แต่เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮือเป็นเวลา 90 และ 60 นาที มีคะแนนด้านกลิ่นรสสูงสุด เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮือ พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮือมีปริมาณ AMP, volatile compound, ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด, ค่าสี (L, a, b) และค่าความขุ่นแตกต่างกัน แต่มีปริมาณโซเดียมคลอไรด์, ค่าความหนาแน่น, ค่า pH, total soluble solids และค่าความหนืดใกล้เคียงกัน

## เปรียบเทียบวัตถุประสงค์กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ

### วัตถุประสงค์ของโครงการ ที่เสนอไว้

1. เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของหอยเป๋าฮื้อสดโดยวิธีการบรรจุแบบ Modified atmosphere packaging
2. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อทั้งตัวบรรจุกระป๋อง และใน flexible retort pouch เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ
3. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปบรรจุใน retort pouch จากหอยเป๋าฮื้อ
- 4\*. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้ออบแห้ง
5. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์สารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร โดยการใช้ประโยชน์จากส่วนที่เหลือจากการแปรรูปหอยเป๋าฮื้อ

### ผลที่ได้รับจากโครงการ

1. ได้ผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อใน Modified atmosphere packaging ที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาหอยเป๋าฮื้อสด
2. ได้ผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อทั้งตัวบรรจุกระป๋อง และใน flexible retort pouch ที่ผลิตโดยกรรมวิธีที่ปลอดภัย
3. ได้ผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้อสำเร็จรูปบรรจุใน retort pouch
- 4\*. ได้ผลิตภัณฑ์หอยเป๋าฮื้ออบแห้งที่มีคุณภาพดี
5. ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์สารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร โดยการใช้ประโยชน์จากส่วนที่เหลือจากการแปรรูปหอยเป๋าฮื้อ

\* หมายเหตุ: ข้อ 4 เป็นส่วนที่เพิ่มเติมจากข้อเสนอโครงการเดิม

## กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำเสนอผลงานจากโครงการนี้ไปใช้ประโยชน์

### ผลงานระดับนานาชาติ

Narakaew, V., Sanguandeeikul, R., Shirai, T., and Siripatrawan, U.

Effect of modified atmosphere packaging on the chemical quality of abalone (*Haliotis asinina* Linnaeus, 1758).

The proceeding of The 15<sup>th</sup> IAPRI World Conference on Packaging. October 2 – 5, Tokyo Big Sight, Japan.

Narakaew, V., Sanguandeeikul, R., and Siripatrawan, U.

Changes in quality of abalone (*Haliotis asinina* Linnaeus) packaged under atmospheric air, vacuum and modified atmosphere. Packaging Technology and Science will be published after minor revision

Narakaew, V., Sanguandeeikul, R., and Siripatrawan, U.

Shelf – life extension of abalone *Haliotis asinina* Linnaeus using modified atmosphere packaging. The first Mathematics and Physical Science Graduate Congress. December 6 – 7, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Thailand.

### ผลงานระดับชาติ

วนัญญา นันทวราพนิชกุล, ผศ.ดร.รมณี สงวนดีกุล และ ผศ.ดร.จิรรัตน์ ทัดติยกุล

เสนอผลงานในการประชุมวิชาการครั้งที่ 15 ประจำปี 2550 ระหว่างวันที่ 15 – 16 มีนาคม 2550 ที่คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เรื่อง ผลของการอบแห้งต่อสมบัติทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของสัมผัสของหอยเป้าฮื้อ *Haliotis asinina* Linnaeus

ดวงใจ ลากเย็นง, ผศ.ดร.รมณี สงวนดีกุล และ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมัลย์

เสนอผลงานในงานประชุมสัมมนาวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 8 ระหว่างวันที่ 15 – 16 มิถุนายน 2549 ที่ศูนย์ประชุมนานาชาติไบเทค บางนา เรื่อง การใช้โปรตีนเอสในการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหอยเป้าฮื้อ *Haliotis asinina* Linnaeus

### การเผยแพร่ผลงาน

ผศ.ดร.รมณี สงวนดีกุล และ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมัลย์

บรรยายในการประชุมวิชาการ ‘อุตสาหกรรมเกษตรพืชและสัตว์น้ำไทย’ ประจำปี 2548 ระหว่างวันที่ 18 – 20 มกราคม 2549 ณ โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา จังหวัดตรัง ในหัวข้อ การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากหอยเป้าฮื้อไทย

ผศ.ดร.รมณี สงวนดีกุล

เสนอผลงานในการประชุมวิชาการประจำปี 2547 จัดโดยสำนักงานประสานงานวิจัยและพัฒนา ‘อุตสาหกรรมเกษตรพืชและสัตว์น้ำ’ ระหว่างวันที่ 15 – 16 ตุลาคม 2547 ณ ห้องประชุมทับทิม 2 โรงแรมโดมอนด์พลาซ่า

พิชัญญา แสงชนะพานิช, จิรัชต์ กันทะขู, ดวงใจ ลากเย็นง, วนัญญา นันทวราพนิชกุล, วิชญา นระแก้ว, ธันยพร จันท์แสนโรจน์, กลางกมล จันทราสุทธิ์ และ กลันทิกา แพทย์สิทธิ์

แสดงผลิตภัณฑ์หอยเป้าฮื้อในน้ำเกลือและหอยเป้าฮื้อบรรจุรีทอร์ตแพช และผลิตภัณฑ์โปรตีนไฮโดรไลเสตจากหอยเป้าฮื้อ ในการประชุมวิชาการ ‘อุตสาหกรรมเกษตรพืชและสัตว์น้ำไทย’ ประจำปี 2548 ระหว่างวันที่ 18 – 20 มกราคม 2549 ณ โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา จังหวัดตรัง ในหัวข้อ การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากหอยเป้าฮื้อไทย

จิรัชต์ กันทะขู และ พิชัญญา แสงชนะพานิช

แสดงผลิตภัณฑ์หอยเป้าฮื้อในน้ำเกลือและหอยเป้าฮื้อบรรจุรีทอร์ตแพช ในงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ครั้งที่ 14 ระหว่างวันที่ 23 – 27 พฤศจิกายน 2548

## บทคัดย่อ

งานวิจัยในโครงการนี้แบ่งเป็น 4 ตอน ประกอบด้วยการศึกษาการเก็บของหอยเป่าฮาลิโอตในกระป๋อง โดยใช้ modified atmosphere packaging การแปรรูปหอยเป่าฮาลิโอตในน้ำเกลือบรรจุในกระป๋อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮาลิโอตในกระป๋องเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การอบแห้งหอยเป่าฮาลิโอต และการผลิตสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหอยเป่าฮาลิโอต

การศึกษาศักยภาพการเก็บของหอยเป่าฮาลิโอต โดยใช้ modified atmosphere packaging มีวัตถุประสงค์เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาหอยเป่าฮาลิโอต *Haliotis asinina* ภายใต้การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ (MAP) โดยใช้ภาวะในการบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ 7 ภาวะ ได้แก่ บรรยากาศปกติ สุญญากาศ 40%CO<sub>2</sub>:40%O<sub>2</sub>:20%N<sub>2</sub>, 40%CO<sub>2</sub>:30%O<sub>2</sub>:30%N<sub>2</sub>, 40%CO<sub>2</sub>:20%O<sub>2</sub>:40%N<sub>2</sub>, 60%CO<sub>2</sub>:40%O<sub>2</sub> และ 60%CO<sub>2</sub>:20%O<sub>2</sub>:20%N<sub>2</sub> เก็บรักษาพร้อมกับการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 2±1°C โดยใช้การประเมินทางประสาทสัมผัส ค่า pH ค่า TVB และ TMA ค่าสี เนื้อสัมผัส การสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ และปริมาณจุลินทรีย์ (total plate counts, psychrotrophs, *Enterobacteriaceae*, *S. aureus*, *C. botulinum*, and *Vibrio* sp.) เป็นดัชนีบอกอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ พบว่าหอยเป่าฮาลิโอตที่บรรจุในภาวะ 40%CO<sub>2</sub>:30%O<sub>2</sub>:30%N<sub>2</sub> และ 40% CO<sub>2</sub>:40% O<sub>2</sub>:20% N<sub>2</sub> มีอายุการเก็บ 13 และ 9 วัน ตามลำดับ ส่วนหอยเป่าฮาลิโอตที่บรรจุในภาวะ 40% CO<sub>2</sub>:20% O<sub>2</sub>:40% N<sub>2</sub>, 60%CO<sub>2</sub>:40%O<sub>2</sub> และ 60% CO<sub>2</sub>:20% O<sub>2</sub>:20% N<sub>2</sub> สามารถเก็บรักษาได้นาน 11 วัน โดยภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเก็บรักษาหอยเป่าฮาลิโอตพันธุ์ *Haliotis asinina* คือภาวะ 40%CO<sub>2</sub>:30%O<sub>2</sub>:30%N<sub>2</sub>

การแปรรูปหอยเป่าฮาลิโอตเป็นผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮาลิโอตในน้ำเกลือบรรจุในกระป๋อง เริ่มต้นตั้งแต่การศึกษากิจการวัตถุดิบเพื่อรักษาคุณภาพ โดยเก็บรักษาหอยเป่าฮาลิโอตแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ที่อุณหภูมิ 0 และ 10°C พบว่าหอยที่เก็บแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกมีอายุการเก็บมากกว่าเก็บแบบทั้งตัว และที่อุณหภูมิ 0°C สามารถเก็บได้นาน 9 วัน มากกว่าที่ 10°C ที่เก็บได้ 6 วัน ต่อมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป่าฮาลิโอตเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที พบว่าหอยเป่าฮาลิโอตที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 100 และ 120°C มีค่า degree of browning สูงกว่าที่ 80°C ซึ่งเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดหลังจากให้ความร้อนที่ 100°C เป็นเวลา 60 นาที และที่ 120°C เป็นเวลา 20 นาที rate constant ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ cooking loss ค่า degree of browning ค่า WHC และค่า toughness เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ในการศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮาลิโอตในน้ำเกลือบรรจุในกระป๋องโดยให้ความร้อนที่ 110°C เป็นเวลา 50 นาที ได้ heat penetration parameters คือ  $f_h = 6.7$  นาที และ  $j = 1.059$  ซึ่งสามารถทำนายเวลาการฆ่าเชื้อให้ได้  $F_0 = 4$  นาที ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 50°C ต้องให้ความร้อนที่ 114 และ 121°C เป็นเวลา 23 นาที และ 7 นาที ตามลำดับ และเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ 70°C ต้องให้ความร้อนที่ 114 และ 121°C เป็นเวลา 22 นาที เป็นเวลา 6 นาที ตามลำดับ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนความชอบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่ 121°C มากกว่าที่ 114°C จึงเลือกเป็นภาวะในการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์ทุกคุณลักษณะระหว่างการเก็บรักษาทุกเดือนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) ไม่พบจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและทำให้เกิดการเน่าเสียตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

การศึกษากลไกของโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป่าฮาลิโอต *H. asinina* ในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง จากการศึกษาภาวะการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮาลิโอตในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง โดยบรรจุเนื้อหอยเป่าฮาลิโอตในกระป๋องขนาด 307x113 น้ำหนักบรรจุ 200 กรัม ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C ให้ได้ค่า  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที พบว่าได้เวลาในการฆ่าเชื้อในช่วงการให้ความร้อนเท่ากับ 11.50 นาที เมื่อ

ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่เนื้อหอยเป่าฮื้อในโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต โดยแปรเวลาในการแช่สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ ความเข้มข้น 0.1% และ โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ความเข้มข้น 5% เป็น 0 5 10 และ 15 นาที พบว่าค่า degree of browning ของเนื้อหอยลดลงเมื่อเวลาในการแช่สารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับสีของเนื้อหอยโดยเนื้อหอยที่แช่สารละลาย 0 และ 5 นาทีเนื้อหอยจะมีสีคล้ำบางบริเวณ สำหรับค่าแรงต้านทานการตัดขาดและความสามารถในการอุ้มน้ำพบว่าค่าแรงต้านทานการตัดขาดและความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหอยที่แช่สารละลาย 10 และ 15 นาทีมีค่าสูงกว่าเนื้อหอยที่แช่สารละลาย 0 และ 5 นาที ดังนั้นภาวะที่เหมาะสมในการแช่เนื้อหอยในสารละลายผสม คือ 10 นาที

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซุปรอยเป่าฮื้อในรีพอร์ทเพาซ์มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ซุปรอยเป่าฮื้อพร้อมบริโภคจากหอยเป่าฮื้อสายพันธุ์ไทย โดยมีสูตร Chinese soup เป็นสูตรผลิตภัณฑ์ซุปรอยเป่าฮื้อที่เหมาะสมและใช้เป็นสูตรควบคุมในงานวิจัย จากนั้นศึกษาสมบัติด้านความหนืดของเจลแป้งข้าวโพดและแป้งคัสเปอร์ 3 ชนิด ได้แก่ Resistamyl® 347, National® Frigex และ Farinex® VA70 ซึ่งนำมาใช้แทนที่แป้งข้าวโพดในสูตรควบคุม ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer พบว่าแป้งคัสเปอร์ทั้ง 3 ชนิด มีความหนืดของแป้งเปียกที่เสถียรกว่าแป้งข้าวโพด และได้ระดับการแทนที่แป้งข้าวโพด 3.5% ด้วยแป้ง Resistamyl® 347, National® Frigex และ Farinex® VA70 เป็น 3.9%, 4.5% และ 5.4% ตามลำดับ เมื่อนำซุปรอยเป่าฮื้อที่เตรียมจากแป้งคัสเปอร์ทั้ง 3 ชนิด บรรจุรีพอร์ทเพาซ์ น้ำหนักบรรจุ 150 กรัม ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C ให้ได้ค่า  $F_0 = 4$  นาที ปรากฏว่าหลังผ่านการฆ่าเชื้อ ซุปมีความหนืดเพิ่มขึ้น เนื้อหอยเป่าฮื้อมีสีเข้มขึ้นและเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น และสุดท้ายเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C พบว่าสีของเนื้อหอยเป่าฮื้อเสื่อมเสียเป็นอันดับแรก

การผลิตหอยเป่าฮื้ออบแห้งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหอยเป่าฮื้ออบแห้ง โดยการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบอุณหภูมิเข้าคงที่ และแบบอุณหภูมิเข้าแบบเป็นขั้น พบว่าหอยเป่าฮื้ออบแห้งที่อุณหภูมิ 55 และ 75°C มีความสามารถในการดูดน้ำคืน ค่าความแข็ง และคะแนนความชอบโดยรวมไม่ต่างกัน แต่อัตราการอบแห้งที่ 75°C สูงกว่าที่ 55°C ส่วนหอยเป่าฮื้ออบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิเข้าแบบเป็นขั้นที่ภาวะการอบแห้งที่ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง มีความสามารถในการดูดน้ำคืนสูงที่สุด มีสีเหลืองทองมากที่สุด และมีความแข็งของหอยเป่าฮื้อคั้นรูปต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพด้านกายภาพ และด้านประสาทสัมผัสของหอยเป่าฮื้ออบแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิเข้าคงที่และแบบเป็นขั้น พบว่าหอยเป่าฮื้อที่อบแห้งแบบเป็นขั้นที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง มีคุณภาพดีกว่าหอยเป่าฮื้ออบแห้งที่อุณหภูมิเข้าคงที่ที่อุณหภูมิ 55°C นอกจากนี้การอบแห้งหอยเป่าฮื้อแบบเป็นขั้นใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิเข้าคงที่ ถึง 33.3%

การผลิตสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร โปรตีนไฮโดรไลเสตจากหอยเป่าฮื้อมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อของหอยเป่าฮื้อ *H. asinina* ตัวเล็กซึ่งไม่ได้ขนาดและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อเพื่อใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร โดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme® 500L ความเข้มข้น 1% ของน้ำหนักหอย แปรอุณหภูมิการย่อยที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C และที่ pH 5.0, 6.0 และ 7.0 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮื้อ คือที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 ซึ่งทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้มีค่า DH สูงสุด เมื่อศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการย่อย พบว่าเวลาที่มีผลต่อค่า DH ของเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮื้อ และที่เวลา 180 นาที ทำให้ได้โปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีค่า DH สูงสุด แต่เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสพบว่าเวลาที่มีผลต่อคะแนนด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮื้อ โดยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮื้อเป็นเวลา 90 และ 60 นาที มีคะแนนด้านกลิ่นรสสูงสุด

## Abstract

This research was separated in to 4 parts including shelf-life extension of abalone *Haliotis asinina* Linnaeus using modified atmosphere packaging, processing of abalone in brine in retort pouch, product development of abalone soup in a retort pouch, use of protease in the production of protein hydrolysate from abalone, and drying of abalone.

The study of shelf-life extension of abalone using modified atmosphere packaging was aimed to find the optimum condition for shelf life extension of abalones using modified atmosphere packaging (MAP). The abalones were packed in atmospheric air (control), vacuum, 40%CO<sub>2</sub>:40%O<sub>2</sub>:20%N<sub>2</sub>, 40%CO<sub>2</sub>:30%O<sub>2</sub>:30%N<sub>2</sub>, 40%CO<sub>2</sub>:20%O<sub>2</sub>:40%N<sub>2</sub>, 60%CO<sub>2</sub>:40%O<sub>2</sub>, and 60%CO<sub>2</sub>:20%O<sub>2</sub>:20%N<sub>2</sub> and stored at 2±1°C. Sensory quality, pH, TVB and TMA, color, texture, nucleotides breakdown, total plate counts, psychrotrophs, *Enterobacteriaceae*, *S. aureus*, *C. botulinum*, and *Vibrio* sp. were used as indices for determining the product shelf-life. Abalones packed in 40%CO<sub>2</sub>:30%O<sub>2</sub>:30%N<sub>2</sub> and 40%CO<sub>2</sub>:40%O<sub>2</sub>:20%N<sub>2</sub> had shelf-life of 13 days and 9 days at 2±1°C respectively while abalones packed in 40%CO<sub>2</sub>:20%O<sub>2</sub>:40%N<sub>2</sub>, 60%CO<sub>2</sub>:40%O<sub>2</sub>, and 60%CO<sub>2</sub>:20%O<sub>2</sub>:20%N<sub>2</sub> could be kept for 11 days. Thus, the optimum condition for reeping fresh abalones was 40%CO<sub>2</sub>:30%O<sub>2</sub>:30%N<sub>2</sub>.

Processing of abalone in brine in retort pouch was studied. Initially, the effect of handling temperature (0°C and 10°C) on raw material (whole abalone and shelled-off gutted abalone) quality was studied result. The shelled-off gutted abalone had longer shelf life than whole abalone. Shelf life of abalone at 0°C was 9 days that was longer than that at 10°C. The effect of heating process was also studied by heating abalone at 80°C, 100°C, and 120°C for 2-240 minutes. Heated abalone at 100°C and 120°C had more degree of browning compared to that at 80°C. A significant increase in browning was observed when heating abalone at 100°C for 60 minutes and 120°C for 20 minutes and longer. Rate constant of cooking loss, degree of browning, WHC, and toughness increased with heating temperature. Heat penetration study of abalone in brine in retort pouch (150 g net weight) at 110°C for 50 minutes yielded a heating rate index ( $f_h$ ) of 6.7 minutes and a heating lag factor ( $j_{ch}$ ) of 1.059. These values were further used to predict thermal process time for the product to be processed at 114°C and 121°C retort temperatures (RT) and 50°C and 70°C initial temperatures (IT). The predicted process time at IT = 50°C and RT = 114°C and 121°C were 23 and 7 minutes, respectively, while the predicted process time at IT = 70°C and RT = 114°C and 121°C were 22 and 6 minutes, respectively. The result from sensory evaluation of abalone processed in the above four conditions shows that the overall liking of the products processed at 121°C were higher than those processed at 114°C. During 6 months storage at room temperature, sensory score of all product attributes did not change significantly. Pathogenic and spoilage bacteria were not found in all products during storage.

This research was aimed to study the effects of sodium metabisulfite, sodium hexametaphosphate on quality changes of canned abalone *Haliotis asinina* L. Optimum process times was studied. Abalone (200 g net weight) was packed in a 307x113 can, and sterilized at 121°C to attain  $F_0 = 4$  min. The predicted process time at 121°C retort

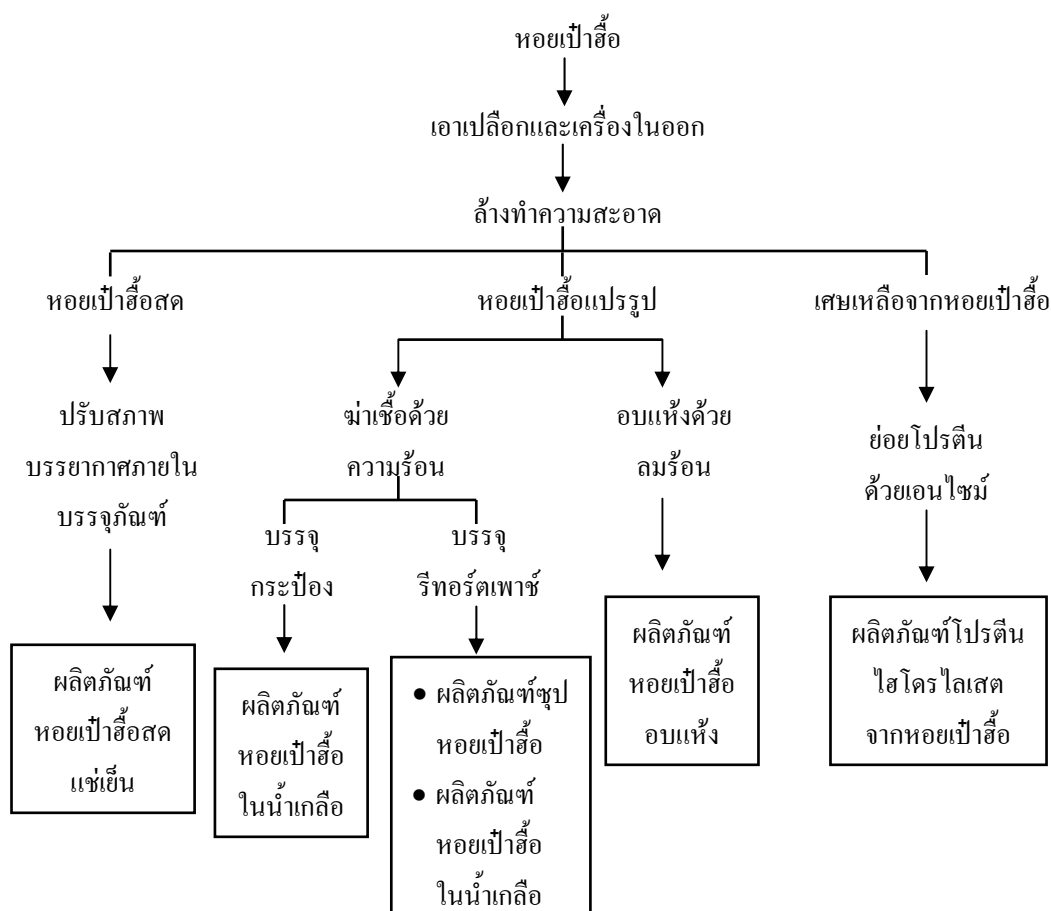
temperature was 11.50 minutes. The effect of soaking times was studied, abalone was soaked in 0.1% sodium metabisulfite and 5% sodium hexametaphosphate solution at 0 5 10 and 15 minutes. As soaking time increased, degree of browning of abalone tended to decrease and water-holding capacity and cutting force tended to increase. However, the results obtaining when soaking time of 10 minutes was not different from those obtaining when soaking time of 15 minutes. So, the optimum condition for soaking abalone was 10 minutes, considering from the degree of browning, cutting force and water-holding capacity.

For the product development of abalone soup in a retort pouch, it was aimed to develop a shelf-stable ready-to-eat abalone soup in a retort pouch from Thai abalone. The optimum recipe was Chinese soup recipe and was as the control recipe. Pasting properties of corn starch used in the soup was compared with those of three types of commercial modified starch, including Resistamyl® 347, National® Frigex and Farinex® VA70. The results indicated that all modified starch paste were more heat stable than corn starch paste. 3.9% Resistamyl® 347, 4.5% National® Frigex and 5.4% Farinex® VA70 were optimum to substitute 3.5% corn starch in the control recipe. A portion of 150 g of each abalone soup sample was packaged in a retort pouch, and sterilized at 121°C to attain  $F_0 = 4$  minutes. Soup viscosity and tenderness of abalone meat were higher, while color of abalone meat turned darker after sterilization. The accelerated shelf life test was done at 55 and 65°C. It was found that change in abalone meat color occurred before other quality characteristics.

Drying of abalone was aimed to experimentally investigate the effects of pattern of inlet drying air temperature on quality attributes of dried abalone. It was found that the use of a constant inlet air temperature of 55°C yielded dried abalone of the best quality in terms of high rehydration ratio, low hardness and high overall liking scores compared to abalone dried at 75°C. In the case of using stepwise change of inlet air temperature, it was observed that the use of an initial inlet air temperature of 75°C for 4 hours, and followed by second-step drying at 55°C for 10 hours yielded dried abalone of the best quality in terms of high rehydration ratio, low hardness and high overall liking scores. Comparison between the use of a constant inlet air temperature of 55°C and the use of stepwise change of inlet air temperature, quality of dried abalone when using an initial inlet air temperature of 75°C for 4 hours, and followed by second-step drying at 55°C was better than that of abalone dried at 55°C and drying time of abalone which dried by using the stepwise change of inlet air temperature was less than that of abalone dried at 55°C about 33.3%.

Protease was used in the production of protein hydrolysate from abalone. The research was aimed at comparing the quality of protein hydrolysate derived from meat of undersized abalones *H. asinina* and viscera. The Flavourzyme® 500 L enzyme of 1% concentration (by the weight of the abalone) was employed with varying reaction temperatures of 40, 50 and 60°C at pH 5.0, 6.0 and 7.0 for one hour. The optimal condition for the digestion was at 60°C and pH 6.0. With this optimal condition, the enzyme yielded the highest DH value. There was the highest release of protein hydrolysate with the reaction time of 180 minutes. However, the sensory analysis suggested that 90 and 60 minute durations created the best product in flavor and taste.

## แผนผังกระบวนการแปรรูปหอยเป๋าฮื้อ



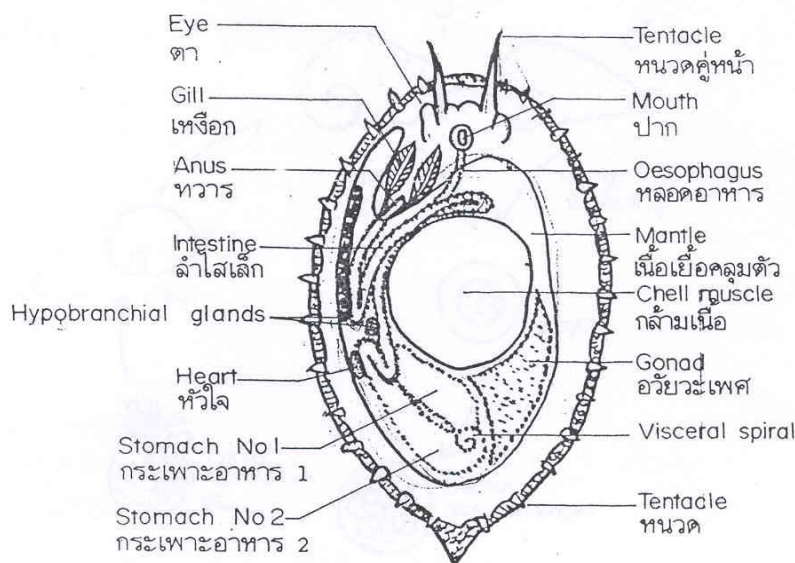
## 2. วารสารปริทัศน์

### 2.1 หอยเป๋าฮื้อ

หอยเป๋าฮื้อ (abalone) หรือหอยรื้อยรุ หรือหอยโข่งทะเลเป็นหอยทะเลฝาเดียว อยู่ใน Class Gastropoda, Order Archaeogastropoda, Family Haliotidae, Genus Haliotis หอยเป๋าฮื้อมีนิสัยการกินแบบขูดขีด (grazer) กินสิ่งมีชีวิตตามซอกหิน ชอบหลบแสงอยู่ใต้ซากปะการังและก้อนหินใต้น้ำตามธรรมชาติ หอยเป๋าฮื้ออาศัยอยู่ในทะเลที่มีสภาพน้ำเป็นน้ำเค็ม ไม่พบในบริเวณน้ำกร่อย ลักษณะของเปลือกจะแบน เป็นรูปไข่รี ขอบเดี่ยกล้ายจาน มีสีเขียวเข้ม น้ำตาล หรือแดงคล้ำ ตามขอบเปลือกมีรูเล็กๆเป็นรูหายใจเรียงเป็นแถวยาวไปถึงขอบปาก ไม่มีฝาปิดเปลือก เท้าใหญ่ กล้ามเนื้อแข็งแรง (พายัพ ยังปักษ์, 2541) ดังแสดงในรูปที่ 2.1

หอยเป๋าฮื้อเป็นสัตว์ที่มีเพศแยกจากกันและมีการผสมพันธุ์แบบภายนอก มีอัตราส่วนเพศผู้ต่อเพศเมียเท่ากับ 1:1 เพศผู้จะมีสีขาวยาวเมื่อเปิดกล้ามเนื้อเท้าออก ถ้าเป็นเพศเมียจะมีสีเขียวเข้ม ไข่ของหอยเป๋าฮื้อจะยื่นออกมาคล้ายเขาวัว เพศผู้มีสีเข้ม รังไข่ของเพศเมียเป็นสีเขียวเข้ม จะเริ่มวางไข่ในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนมีนาคม (สมปอง วิชญวิเชียร, 2542)

อาหารของหอยเป๋าฮื้อจะเป็นสาหร่ายทะเลที่มีอยู่ในธรรมชาติ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตเล็กๆที่อาศัยอยู่ตามพื้นผิวต่างๆ สิ่งมีชีวิตจำพวกพืชทะเลที่เกาะอยู่ตามก้อนหินและแนวปะการัง เช่น ไดอะตอมประเภทเกาะติด (benthic diatoms) หรือสาหร่ายขนาดเล็กที่เกาะตามโขดหินใต้น้ำ ทั้งสาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีน้ำตาลและสาหร่ายสีเขียว (จักรพันธุ์ กังวาท, 2547)



รูปที่ 2.1 ระบบอวัยวะภายในของหอยเป่าฮือ

ที่มา: พายัพ ยังปักยี (2541)

### 2.1.1 ประโยชน์ของหอยเป่าฮือ

หอยเป่าฮือเป็นอาหารที่อุดมคุณค่าโปรตีน ซึ่งบางคนยังมีความเชื่อว่าเป็นอาหารเสริมมงคลจึงเป็นที่นิยมบริโภคกันมากในประเทศทางเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีน ไต้หวัน เป็นต้น กับหลายประเทศในแถบยุโรปและอเมริกา หอยเป่าฮือพบอยู่ทั่วโลกตั้งแต่ในเขตอบอุ่นจนถึงเขตร้อน โดยขนาดจะแตกต่างกันตามสภาพภูมิอากาศ ขนาดใหญ่จะอยู่ในเขตอบอุ่น ขนาดเล็กจะอยู่ในเขตร้อนและเขตหนาวจัด (พายัพ ยังปักยี, 2541)

หอยเป่าฮือที่พบในโลกมีทั้งหมด 75 ชนิด (สมปอง วิชวุฒิชัย, 2542) ในจำนวนนี้ประมาณ 20 ชนิด มีขนาดใหญ่ ราคาสูงและสามารถเพาะเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ได้ ปัจจุบันประเทศที่ผลิตพันธุ์หอยเป่าฮือได้จำนวนมากคือประเทศออสเตรเลีย ญี่ปุ่นและเม็กซิโก (พายัพ ยังปักยี, 2541)

ส่วนที่นำมาบริโภคเป็นส่วนเท้าของหอยเป่าฮือและส่วนที่ต่อระหว่างเท้ากับเปลือก ส่วนของอวัยวะภายใน เช่น กระเพาะ อวัยวะสืบพันธุ์และผิวนอกของเท้าที่เป็นหนังเหนียว ไม่นิยมนำมาปรุงเป็นอาหาร หอยเป่าฮือที่มีขนาดใหญ่มักบริโภคในลักษณะสเต็ก โดยหั่นเป็นชิ้นบางๆหรือตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ส่วนหอยเป่าฮือที่มีขนาดเล็กสามารถนำมาบริโภคได้ในลักษณะคอกเทล ซึ่งประเทศที่นิยมบริโภคหอยขนาดเล็ก คือประเทศไต้หวัน เนื่องจากมีรสชาติดี ราคาถูก และขนาดเหมาะสมในการนำไปปรุงเป็นอาหารในงานเลี้ยงต่างๆ (พายัพ ยังปักยี, 2541)

ชาวญี่ปุ่นชอบรับประทานหอยเป่าฮือมากที่สุด โดยนำหอยเป่าฮือไปทำอาหารได้หลายรูปแบบและหลากหลายรสชาติ เช่น การต้มและอบด้วยความร้อน เป็นต้น แต่วิธีที่นิยมมากที่สุดคือการรับประทานหอยดิบเรียกว่า ซาชิมิ (sashimi) หรือทำเป็นชิ้นแล้ววางปะบนก้อนข้าวเรียกว่า ซูชิ (sushi) ส่วนชาวยุโรปและอเมริกานั้นการปรุงหอยเป่าฮือทำได้ไม่กี่วิธี วิธีที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดคือนำหอยเป่าฮือไปย่าง (grilling) หรือนำไปทอดในน้ำมันที่ร้อนจัดจนเนื้อกรอบ แต่ก่อนที่จะย่างหรือทอดต้องทำให้เนื้อหอยนิ่มลงโดยการทุบด้วยหม้อนก่อน (ลีลา เรืองเป็น, 2543)

### 2.1.2 ความต้องการของตลาด

หอยเป่าฮือที่ตลาดต่างประเทศต้องการมีขนาดประมาณ 7-12 เซนติเมตร มีน้ำหนักประมาณ 200-300 กรัม และขนาดก๊าดาคาร (cocktail size) หรือขนาด 20-30 ตัวต่อกิโลกรัมและ 30-40 ตัวต่อกิโลกรัม ในตลาด

สหรัฐอเมริกาเนื้อส่วนเท้าและกล้ามเนื้อที่นิยมนำมาปรุงอาหารสำหรับชนิดที่นิยมบริโภคมากที่สุดมีมูลค่าประมาณ 750 ล้านบาทต่อปี ขณะที่ประเทศในเอเชียบริโภคสูงสุดประมาณ 7,500-10,000 ล้านบาทต่อปี (พายัพ ยังปักยี, 2541)

ราคาของหอยเป่าอื้อที่มีชีวิตขึ้นอยู่กับขนาด ชนิด สี คุณภาพของเนื้อและที่มา หอยที่มีราคาดีจะเป็นหอยที่รับมาจากทะเล มีขนาดใหญ่ เนื้อแน่น สีขาวครีม ตลาดใหญ่อยู่ในประเทศญี่ปุ่น โดยมีการนำเข้าและส่งออกหอยเป่าอื้อในระดับอุตสาหกรรมโดยการนำเข้าในรูปหอยสด หอยแช่แข็งและหอยแช่เย็นจากประเทศจีน เกาหลีและนิวซีแลนด์เป็นจำนวนมากถึง 1,000 ตันต่อปี และนำเข้าหอยเป่าอื้อบรรจุกระป๋องซึ่งผ่านการปรุงรสแล้วจากประเทศออสเตรเลียปีละประมาณ 700-800 ตัน นอกจากนำเข้าแล้วญี่ปุ่นก็ส่งออกหอยเป่าอื้อแห้งโดยส่งไปขายที่ประเทศฮ่องกงและไต้หวันปีละหลายสิบล้าน (พายัพ ยังปักยี, 2541)

ประเทศที่มีการจับหอยเป่าอื้อจากธรรมชาติเพื่อค้าขายจนถึงระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ ญี่ปุ่น เกาหลี และประเทศที่อยู่บริเวณชายฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิก ประเทศที่อยู่แถบชายฝั่งอเมริกาเหนือและชายฝั่งแอฟริกาใต้ ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ เป็นต้น (ลิลา เรืองเป็น, 2543)

ผลผลิตหอยเป่าอื้อทั่วโลกมีประมาณ 20,000 เมตริกตันต่อปี โดยมีแหล่งและส่วนแบ่งปริมาณการผลิตดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลผลิตหอยเป่าอื้อ

| ประเทศ       | ร้อยละของปริมาณผลผลิตทั่วโลก |
|--------------|------------------------------|
| เม็กซิโก     | 34                           |
| ญี่ปุ่น      | 29                           |
| ออสเตรเลีย   | 20                           |
| แอฟริกาใต้   | 6                            |
| สหรัฐอเมริกา | 5                            |
| เกาหลี       | 3                            |
| นิวซีแลนด์   | 3                            |

ที่มา: คเชนทร เฉลิมวัฒน์ (2544)

ปริมาณการผลิตหอยเป่าอื้อมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้นรวมทั้งมีการพัฒนาเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงควบคู่กันไป

ผู้บริโภคหอยเป่าอื้อส่วนมากจะเป็นชาวญี่ปุ่นและชาวจีน รวมถึงประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ด้วย ประเทศเหล่านี้มีการบริโภคมากกว่า 80%ของหอยเป่าอื้อทั้งหมดที่มีการจับทั่วโลก มีการซื้อขายในรูปแบบที่มีชีวิต แบบสด และแบบแช่แข็ง ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านี้มักเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีที่สุด (highest premium) ในขณะที่ชาวจีนจะนิยมบริโภคหอยเป่าอื้อบรรจุกระป๋อง ส่วนชาวอเมริกันมักจะซื้อในรูปแบบแกะเปลือกออกและหั่นเป็นชิ้นบางๆแล้วเพื่อนำไปทำสเต็กหรือทอด โดยหอยเป่าอื้อสดขนาดเล็กจะมีการซื้อขายเพื่อไปทำเป็นอาหารของชาวจีนและชาวยุโรป (Oakes and Ponte, 1996)

การตลาดของหอยเป่าอื้อชนิด *H. asinina* มีศักยภาพสูงเนื่องจากเป็นชนิดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในกลุ่มหอยเป่าอื้อเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งมีส่วนเนื้อต่อเปลือกสูงถึง 85% และอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างรวดเร็ว เมื่ออายุครบ 1 ปี มีความยาวเปลือก 42.7 มิลลิเมตร (ลิลา เรืองแป้น, 2543)

การเลี้ยงหอยเป่าอื้อชนิดนี้มีความเป็นไปได้สูงเพราะตลาดต่างประเทศนิยมหอยขนาดไม่ใหญ่นัก โดยมีประเทศออสเตรเลีย อเมริกาและประเทศในเอเชียเป็นผู้รับซื้อแล้วแปรรูปบรรจุกระป๋องส่งออก ประเทศผู้ส่งออกหอยเป่าอื้อรายใหญ่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ฟิลิปปินส์ โดยมีการส่งออกหอยเป่าอื้อชนิด *H. asinina* และ *H. varia* (ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์, 2541)

### 2.1.3 หอยเป่าอื้อในประเทศไทย

หอยเป่าอื้อในประเทศไทยเป็นหอยเป่าอื้อในเขตร้อนที่มีขนาดเล็ก (4-8 เซนติเมตร) อาศัยตามโขดหินชายทะเลหรือเกาะอยู่ตามปะการังที่อยู่ใต้น้ำ กินตะไคร้ตามโขดหินและปะการังเป็นอาหาร ในน่านน้ำไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนพบหอยเป่าอื้อ 3 ชนิด คือ *H. asinina*, *H. ovina* และ *H. varia* (สมปอง วิชญวิเชียร, 2542) โดยหอยเป่าอื้อพันธุ์ไทยเหล่านี้มีขนาดค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับสายพันธุ์ต่างๆที่มีจำหน่ายทั่วโลก (พายัพ ยังปิกย์, 2541)

*H. asinina* เป็นหอยเป่าอื้อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย พบที่จังหวัดชลบุรี ระยอง ตราด และที่ทะเลทางฝั่งอันดามัน เปลือกมีลักษณะบางยาวเรียว ผิวเรียบ สีเขียวมะกอกหรือเขียวปนน้ำตาล มีความยาวเฉลี่ย 8 เซนติเมตร ความกว้างเฉลี่ย 4 เซนติเมตร หนักประมาณ 30-250 กรัมต่อตัว มีลักษณะใกล้เคียงกับหอยเป่าอื้อของประเทศเกาหลีใต้ชนิด *H. diversicolor supertexta*

*H. varia* พบที่เกาะภูเก็ตและที่ทะเลอันดามัน เปลือกมีลักษณะยาวรี ค่อนข้างแข็ง ผิวขรุขระ สีเขียวมะกอกหรือน้ำตาลแดง มีความยาวเฉลี่ย 4 เซนติเมตร และความกว้างเฉลี่ย 3 เซนติเมตร

*H. ovina* และ *H. varia* พบอาศัยอยู่ตามซอกของโขดหิน ซึ่งทั้ง 3 ชนิดพบในความลึกที่ระดับ 2-10 เมตร กินตะไคร้หรือสาหร่ายขนาดเล็กที่เกาะตามโขดหินใต้น้ำเป็นอาหาร โดยจะออกหาอาหารในเวลากลางคืน การรวบรวมหอยชนิดนี้มักทำในเวลากลางวัน ขณะที่น้ำลงต่ำสุด (สมปอง วิชญวิเชียร, 2542)

### 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำมีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ น้ำ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน วิตามินและแร่ธาตุ สารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่เกี่ยวข้องในสัตว์น้ำส่วนใหญ่เป็น Adenosine 5'-triphosphate (ATP) ซึ่งปริมาณ ATP จะลดลงทันทีหลังสัตว์ตายและแตกตัวให้สารประกอบอื่นๆ (นงลักษณ์ สุทรวณิช, 2531)

ในกลุ่มเนื้อของสัตว์น้ำประกอบด้วยโปรตีนหลายชนิด แต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปสามารถแบ่งโปรตีนที่สำคัญออกเป็น 3 ประเภท คือ โปรตีนไมโอไฟบริลซึ่งมีบทบาทสำคัญในการยึดหดตัวและมีความสำคัญต่อการอู้น้ำของเนื้อ กลุ่มที่สองคือโปรตีนซาร์โคพลาสมิก ซึ่งเป็นโปรตีนของซาร์โคพลาซึมที่ประกอบด้วยเอนไซม์ซึ่งมีบทบาทโดยตรงต่อคุณภาพสัตว์น้ำ และยังประกอบด้วยโปรตีนเมดสีที่มีผลต่อลักษณะของสีกล้ามเนื้อเช่นกัน ส่วนโปรตีนกลุ่มสุดท้าย ได้แก่ สโตรมาซึ่งประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันต่างๆ (สุทรวณิช เบญจกุล, 2548)

สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพสัตว์น้ำ โดยมีผลต่อกลิ่นและรสชาติรวมทั้งมีผลต่อการเสื่อมเสียของสัตว์น้ำด้วย สารประกอบที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ กรดอะมิโนอิสระ เพปไทด์ สารประกอบนิวคลีโอไทด์ ไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ นอกจากนี้สัตว์น้ำยังประกอบด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และองค์ประกอบอื่นๆ เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาล เกลือของกรดอินทรีย์ เป็นต้น (สุทรวณิช เบญจกุล, 2548)

## 2.3 การเปลี่ยนแปลงความสดของอาหารทะเล

### 2.3.1 การเปลี่ยนแปลงหลังจากสัตว์น้ำตาย

หลังจากสัตว์น้ำตายกระบวนการ metabolism จะหยุดทำงาน เอนไซม์ที่มีอยู่ภายในตัวสัตว์น้ำเป็นปริมาณมากจะยังไม่ถูกทำลาย แต่เนื่องจากออกซิเจนในร่างกายหมดลงการทำงานของเอนไซม์จึงแตกต่างไปจากขณะที่มีชีวิตอยู่ จึงเกิดการการย่อยตัวของเอนไซม์ (autolysis) ซึ่งเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน (proteolytic enzyme) จะพบมากในเครื่องในและอวัยวะต่างๆ เช่น เปลือกและหัว ดังนั้นจึงนิยมเอาเครื่องในและตัดหัวออกเพื่อให้ปลามีความสดอยู่ได้นาน นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อทำให้เนื้อเยื่อมีน้ำเกิดขึ้นเล็กน้อย แบคทีเรียจะเจริญได้ดีขึ้น ซึ่งการทำงานหรือการย่อยตัวของเอนไซม์นี้จะเกิดช้าลงถ้าเก็บรักษาปลาไว้ในอุณหภูมิต่ำ (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531)

นอกจากนี้ยังเกิดการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ โดยหลังจากสัตว์ตายกล้ามเนื้อยังคงมีความอ่อนนุ่มซึ่งเป็นสภาพที่เกิดขึ้นก่อนการเกร็งตัว หลังจากนั้นกล้ามเนื้อจะเริ่มหดตัวและเกร็งแน่น กิจกรรมของเอนไซม์ในเนื้อปลาจะทำให้เกิดการแตกตัวของ ATP แล้วยุติลงที่ Inosine หรือ Hypoxanthine แต่ปฏิกิริยาการทำงานของเอนไซม์ภายใต้ภาวะที่ขาดออกซิเจนทำให้ ATP เปลี่ยนเป็น Adenosine diphosphate (ADP) พร้อมกับปล่อยพลังงานส่วนใหญ่ให้กล้ามเนื้อมีผลทำให้กล้ามเนื้อหดตัว ระยะนี้เอนไซม์ย่อยโปรตีนจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนให้สารประกอบไนโตรเจนช่วยให้จุลินทรีย์ได้รับอาหารที่ดี ช่วยเร่งให้คุณภาพความสดลดลงเร็วยิ่งขึ้น (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531)

### 2.3.2 การเปลี่ยนแปลงค่า pH

เมื่อสัตว์น้ำตายเซลล์จะไม่ได้รับออกซิเจน ไกลโคเจนจึงไม่สามารถเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้เหมือนในสภาพที่ยังมีชีวิตอยู่ แต่ไกลโคเจนยังคงแตกตัวต่อไปซึ่งเป็นการเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซิส (glycolysis) จากการทำงานของเอนไซม์ ทำให้เกิดการกรดแลคติกขึ้น เมื่อมีการสะสมของกรดแลคติกเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ pH ของกล้ามเนื้อมีความเป็นกรดสูงขึ้น pH จะลดลงจากปกติ 7.0–7.2 มาอยู่ที่ 6.2–6.3 ซึ่งเป็นช่วง pH ที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับ pH ในกล้ามเนื้อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่มีปริมาณไกลโคเจนสูงกว่าในสัตว์ทะเล การที่เนื้อปลามี pH ก่อนข้างสูงใกล้ pH 7.0 แบคทีเรียจึงเจริญได้ทำให้เนื้อปลาเกิดการเน่าเสียได้เร็ว (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531)

กระบวนการไกลโคไลซิสก่อให้เกิดกรดแลคติก ส่งผลต่อการลดลงของค่า pH ในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำปริมาณกรดแลคติกที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับปริมาณไกลโคเจนที่สะสมก่อนตาย โดยค่า pH ที่ลดต่ำลงจะมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของสัตว์น้ำ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลง pH ของกล้ามเนื้อสัตว์น้ำขึ้นกับการปลดปล่อย inorganic phosphate และแอมโมเนียในกระบวนการสลาย ATP ด้วย (สุทธิวัฒน์ เบญจกุล, 2548) ค่า pH จะมีผลต่อการเน่าเสียของอาหารทะเลเนื่องจากค่า pH จะมีผลโดยตรงต่อการเจริญของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ภายในเนื้อเยื่อ โดยค่า pH หลังจากสัตว์ทะเลตายจะมีค่าลดลงอยู่ที่ประมาณ 5.5 ถึง 6.5 เนื่องจากการสะสมของกรดแลคติก (Ashie, Smith, and Simpson, 1996) อาหารทะเลส่วนใหญ่จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสะสมอยู่น้อย (น้อยกว่า 0.5%) ทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกเพียงเล็กน้อยจึงมีค่า pH ก่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับสัตว์ชนิดอื่น (Gram and Huss, 1996)

### 2.3.3 การเปลี่ยนแปลงของค่าที่ระเหยได้และสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน

การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนสามารถติดตามโดยการตรวจสอบปริมาณค่าที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total Volatile Base: TVB) ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วย Trimethylamine (TMA) และแอมโมเนียที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการทำงานของเอนไซม์ในสัตว์น้ำหรือเอนไซม์จากจุลินทรีย์ สำหรับไตรเมทิลเอมีนออกไซด์ (Trimethylamine oxide: TMAO) เป็นสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนที่พบมากในสัตว์ทะเล เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ในแพลงก์ตอนสัตว์ แพลงก์ตอนเหล่านี้มีเอนไซม์ TMA mono-oxygenase ซึ่งสามารถออกซิไดส์ TMA ไปเป็น TMAO ได้ ดังนั้นเมื่อ

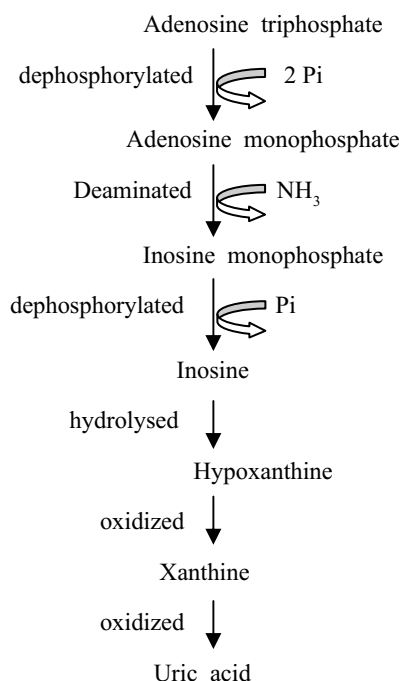
สัตว์น้ำกินแพลงก์ตอนจึงเกิดการสะสมของ TMAO ภายในกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำ ซึ่งปริมาณของ TMAO จะขึ้นกับชนิดของสัตว์น้ำและฤดูกาลด้วย (สุทรวัดน์ เบญจกุล, 2548)

TMAO สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์ภายในเนื้อเยื่ออาหารและการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นดัชนีบอกการเน่าเสียของสัตว์น้ำอันมีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียสามารถใช้ TMAO เป็นตัวบ่งชี้การเน่าเสียในการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิด TMA ซึ่งมักลิ้นควกระบวนกรรดิักชันของสารประกอบ TMAO มีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ซึ่งพบในทะเล ได้แก่ *Alteromonas*, *Photobacterium*, *Vibrio* และ *Shewanella putrefaciens* หรือมีสาเหตุมาจาก *Aeromonas* หรือ *Enterobacteriaceae* ระหว่างการเจริญภายใต้ภาวะที่มีออกซิเจน (Ashie, Smith, and Simpson, 1996)

### 2.3.4 การสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ (nucleotide breakdown)

สารประกอบนิวคลีโอไทด์มีบทบาทสำคัญต่อรสชาติของสัตว์น้ำ Inosine monophosphate (IMP) และ AMP มีส่วนให้รสชาติดีเมื่ออยู่รวมกับกรดกลูตามิก นิวคลีโอไทด์มากกว่าร้อยละ 90 ในเนื้อปลาและสัตว์จำพวกครัสเตเชียคืออนุพันธ์ของพิวรีน (purine) และประกอบด้วยอนุพันธ์ของยูราซิล (uracil) และไซโตซีน (cytosine) เพียงเล็กน้อย (สุทรวัดน์ เบญจกุล, 2548)

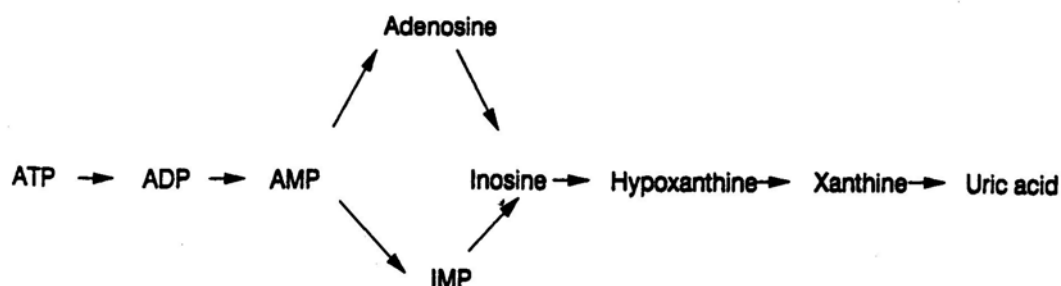
สารประกอบนิวคลีโอไทด์ในกล้ามเนื้อขณะที่มีชีวิตอยู่จะประกอบด้วย ATP เป็นส่วนใหญ่ หลังจากปลาทาย ATP จะถูกทำลายโดยเอนไซม์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในเนื้อปลา จะได้สารประกอบต่างๆ และรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงของนิวคลีโอไทด์แตกต่างกันไปตามชนิดและอุณหภูมิในการเก็บรักษา (นงลักษณ์ สุทรวัดน์, 2531) การสลายตัวของนิวคลีโอไทด์ประกอบด้วยกระบวนการ dephosphorylation จาก ATP ไปเป็น Adenosine monophosphate (AMP) และกระบวนการ deamination ไปเป็น IMP เนื่องจากการสลายตัวของ IMP ไปเป็น inosine เกิดขึ้นซ้ำในปลา ดังนั้น AMP จึงสะสมในกล้ามเนื้อปลา ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์โดยทั่วไป

ที่มา: Botta (1994)

สัตว์ทะเลจำพวกที่มีโครงสร้างแข็งภายนอกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของ AMP เป็น Adenosine จากปฏิกิริยา dephosphorylation สัตว์จำพวกครัสเตเชียมักพบ AMP เนื่องจากมีกิจกรรมของเอนไซม์ AMP deaminase ต่ำ ส่วนสัตว์จำพวกมอลลัสกะไม่พบ AMP deaminase ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การสลายตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ของสัตว์พวกที่มีโครงสร้างภายนอกแข็ง

ที่มา: Ashie, Smith และ Simpson (1996)

การเปลี่ยนแปลงของนิวคลีโอไทด์จะแบ่งเป็น 2 แบบคือการเปลี่ยนจาก ATP เป็น ADP, AMP, IMP, Inosine, Hypoxanthine, Xanthine และ Uric acid ตามลำดับ และเปลี่ยนจาก ATP เป็น ADP, AMP, Adenosine, Inosine, Hypoxanthine, Xanthine และ Uric acid การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถนำมาใช้บ่งชี้คุณภาพของสัตว์น้ำได้เนื่องจากสัตว์น้ำส่วนใหญ่การแตกตัวของนิวคลีโอไทด์จะสิ้นสุดที่ Hypoxanthine ซึ่งให้รสขม ไม่เป็นที่ต้องการ ล้างออกยากและเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา ดังนั้นการให้ความเย็นเป็นการรักษาความสดของสัตว์น้ำที่สำคัญที่สุด โดยจะทำให้เกิดกรดแลกติกอย่างช้าๆ ทำให้การลดลงของ pH ช้าลง การแตกตัวของ ATP จะช้าลงทำให้การเกร็งตัวเกิดขึ้นช้าลงด้วย (Ashie, Smith, and Simpson, 1996)

## 2.4 การเปลี่ยนแปลงความสดของหอยเป่าอื้อระหว่างการเก็บรักษา

James และ Olley (1974) พบว่าการเสื่อมเสียของหอยเป่าอื้อจะเป็นไปอย่างรวดเร็วถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงและไม่มี การเอาเปลือกออก การเอาเปลือกและเครื่องในออกจะเป็นการป้องกันการปนเปื้อนจากแบคทีเรียที่อยู่ในเครื่องในและป้องกันการเสื่อมเสียจากเอนไซม์ด้วย จึงควรเก็บหอยเป่าอื้อในสภาพที่แกะเปลือกและเอาเครื่องในออกภายใต้อุณหภูมิต่ำ

Hatae และคณะ (1995) ได้ศึกษาผลของฤดูกาลที่มีต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าอื้อพบว่า โดยเฉลี่ยหอยเป่าอื้อจะมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ ความชื้น 72.3–82.1% โปรตีน 14.2–18.4% ไขมัน 0.26–0.93% และ เถ้า 1.11–1.29% และได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ของ ATP และสารประกอบอื่นว่า ในปลาและสัตว์เลื้อยลูกด้วยนมจะมีการเปลี่ยนแปลงจาก ATP ซึ่งเป็นสารประกอบพวกกรดนิวคลีอิกไปเป็น ADP และเปลี่ยนเป็น AMP IMP Inosine และ Hypoxanthine ตามลำดับ ในสัตว์น้ำที่ไม่มีกระดูกสันหลังนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงจาก ATP เป็น ADP AMP Adenosine Inosine และ Hypoxanthine แต่สำหรับหอยเป่าอื้อจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งสองแบบ หอยเป่าอื้อจะมีการสะสมสารประกอบพวก AMP เป็นส่วนใหญ่แทนที่จะเป็น IMP หรือ Adenosine ซึ่ง AMP นั้นจะเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิด umami โดย umami taste ในหอยเป่าอื้อนี้จะเกิดจาก กรดกลูตามิกซึ่งจะทำให้เกิดรสหวานเป็นกลิ่นรสเฉพาะของหอยเป่าอื้อขึ้น แต่พบว่าเมื่อปริมาณ AMP ลดลงก็จะทำให้ umami taste ลดลงไปด้วย

Chiou และคณะ (2002) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบต่างๆ ของหอยเป่าอื้อขนาดเล็กระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 15 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสมีการเปลี่ยนแปลงของค่า Volatile Basic Nitrogen และ K-value เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนที่อุณหภูมิ 15 และ 25 องศาเซลเซียสพบว่าการเพิ่มขึ้นของค่า Volatile

Basic Nitrogen และ K-value ระหว่างการเก็บรักษา และสามารถเก็บรักษาหอยเป่าชื่อขนาดเล็กที่อุณหภูมิ 5, 15 และ 25 องศาเซลเซียสได้เป็นเวลา 84, 60 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

Watanabe และคณะ (1992b) พบว่าการสลายตัวของ ATP ใน disk abalone นั้นจะเกิดช้ากว่าสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังชนิดอื่นและมีการสะสมของ AMP ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของ AMP ของหอยนั้นจะแตกต่างจากสัตว์อื่นคือ จะมีการเปลี่ยนจาก AMP ไปเป็น IMP และ Adenosine

## 2.5 การเน่าเสียของอาหารทะเล

อาหารทะเลเป็นอาหารที่เน่าเสียง่าย มีผลให้คุณภาพเปลี่ยนทันทีหลังจากถูกจับขึ้นจากน้ำ การเปลี่ยนแปลงที่แสดงถึงความเสื่อมเสียจะเกิดมากขึ้นในระยะหลังการเกร็งตัว ปกติสัตว์น้ำจะมีคาร์โบไฮเดรตสะสมอยู่ที่ตับในรูปของไกลโคเจน เมื่อสัตว์ตายไกลโคเจนจึงเปลี่ยนเป็นกรดแลคติก โดยทั่วไป pH ของปลาจะอยู่ในช่วง 6.2–6.6 ยกเว้นปลาบางชนิด เช่น ปลาลิ้นหมา และปลาทูน่า เป็นต้น ที่อาจมี pH ต่ำได้ถึง 5.5 เมื่อสัตว์น้ำอยู่ในสภาพที่เกร็งตัวจะถือว่ายังมีความสดอยู่ หลังการเกร็งตัวแบคทีเรียจะสามารถเข้าทำลายได้ง่าย เนื่องจากเอนไซม์ที่ย่อยตัวเองในระยะแรกเข้าย่อยโปรตีนทำให้แบคทีเรียใช้สารอาหารเหล่านั้นได้ดียิ่งขึ้น หลังจากนั้นเอนไซม์จากแบคทีเรียจะเข้ามามีบทบาทโดยการย่อยเนื้อเยื่อต่างๆ ผลของการย่อยจะเกิดสารเอมีน แอมโมเนีย แอลกอฮอล์ และไนไตรท์ ซึ่งการสะสมของสารเหล่านี้จะทำให้เกิดกลิ่นคาวปลา นอกจากนี้กรดอะมิโนบางตัว เช่น histidine จะทำให้เกิดกลิ่นฉุนในอาหารทะเล เป็นต้น นอกจากนี้ปลาที่มีไขมันสูงส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว จึงเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ง่ายทำให้มีกลิ่นเหม็นและเปลี่ยนสี (นงลักษณ์ สุทวิช, 2531)

Farber (1991) กล่าวว่าอาหารทะเลนั้นจะไม่เหมือนกับอาหารจำพวกเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากอาหารทะเลเสื่อมเสียได้ง่ายมากจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมี เช่น *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium* และ *Cytophaga* เป็นต้น

Hall (1997) กล่าวว่า นอกจาก *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium* และ *Cytophaga* แล้ว *Vibrionaceae* และ *Aeromonadaceae* เป็นแบคทีเรียที่สามารถพบได้ทั่วไปในสัตว์น้ำ นอกจากนี้ยังพบแบคทีเรียแกรมบวก เช่น *Bacillus*, *Micrococcus*, *Clostridium*, *Lactobacillus* และ *coryneforms* ด้วย โดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนนั้นจะถูกทำลายได้ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแบคทีเรียแกรมลบนั้นจะถูกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำลายได้ง่ายกว่าแบคทีเรียแกรมบวก

แบคทีเรียที่เป็น microflora ในอาหารทะเลทั่วไปเป็นพวก psychrotrophic Gram-negative, rod-shaped bacteria เช่น *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Shewanella*, *Flavobacterium*, *Vibrionaceae* และ *Aeromonadaceae* แต่ก็ยังสามารถพบ Gram-positive ได้ด้วย เช่น *Bacillus*, *Micrococcus*, *Clostridium*, *Lactobacillus* และ *Corynebacterium* เป็นต้น (Gram and Huss, 1996)

## 2.6 การถนอมรักษาลักษณะอาหารทะเล

ธรรมชาติของอาหารทะเลนั้นจะเสื่อมเสียง่าย จึงได้มีการพัฒนาวิธีการเพื่อที่จะยืดอายุการเก็บและรักษาคุณภาพของอาหารทะเลเอาไว้ให้ได้นานที่สุด ซึ่งได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆเข้ามาใช้ การรมควัน(smoking) การอบแห้ง(drying) การเก็บรักษาโดยใช้เกลือ(salting) เป็นวิธีที่ลดความชื้นของอาหารทะเลจึงช่วยลดการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์และยับยั้งการทำงานของ autolytic enzymes

การเก็บรักษาอาหารทะเลในรูปของสดซึ่งเป็นรูปแบบที่ผู้บริโภคต้องการอาจทำได้โดย การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ ต่ำและการใช้สารเคมี เช่น การเติมกรดแอสคอร์บิก EDTA หรือกรดซอร์บิก เป็นต้น และยังมีเทคโนโลยีใหม่ๆ ในการ เก็บรักษาอาหารทะเลอีก เช่น การใช้ low-dose irradiation, modified atmosphere storage และ high-pressure treatment เป็นต้น (Ashie, Smith, and Simpson, 1996)

### 2.6.1 การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ (Modified-atmosphere packaging; MAP)

Church (1994) กล่าวว่า MAP ช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารได้ โดยใช้ร่วมกับการเก็บรักษาโดยการ แช่เย็นด้วย ทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับและเพิ่มความปลอดภัยในเรื่องจุลินทรีย์ ซึ่งอากาศมีอัตราส่วนของก๊าซไนโตรเจน 78.08% ก๊าซออกซิเจน 20.95% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 0.035% และยังประกอบด้วยไอน้ำและก๊าซเฉื่อยชนิดอื่นๆ การ ปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นจะเป็นการแทนที่อากาศที่มีอยู่ภายในภาชนะบรรจุด้วยก๊าซชนิดเดียวหรือก๊าซ ผสมก็ได้ โดยจะเติมก๊าซแต่ละชนิดลงในภาชนะบรรจุในอัตราส่วนที่แน่นอน หลังจากนั้นจะไม่มี การควบคุมอัตราส่วน ของก๊าซอีก ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของก๊าซได้ เนื่องมาจากการเกิดก๊าซออกจากการตัว ผลัดกันหรือผลิตภัณฑ์มีการดูดซับก๊าซเข้ามา การแพร่ผ่านของก๊าซออกไปจากภาชนะบรรจุ หรือเกิดก๊าซจากกิจกรรม ของจุลินทรีย์

วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่จะนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์จะต้องมีการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนที่ดีสำหรับ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดการเสื่อมเสียง่ายถ้ามีออกซิเจน เนื่องจากออกซิเจนจะทำให้เกิดการสูญเสียด้านกลิ่นรส การเปลี่ยนแปลง ทางเคมี การเกิดออกซิเดชัน การซึมผ่านของความชื้นนั้นก็มีความสำคัญ เนื่องจากจุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญได้ถ้าไม่มี ความชื้น ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการเก็บนานขึ้น การเก็บในภาวะสุญญากาศหรือการแช่เย็นนั้น ผลิตภัณฑ์จะมีคุณภาพดีถ้าไม่มีความชื้น (Hirsch, 1991)

สมบัติของฟิล์มที่นำมาใช้เก็บรักษาด้วยเทคนิคการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ นั้นมีความสัมพันธ์ต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก ฟิล์มจะต้องมีค่าการยอมให้ก๊าซผ่านที่เหมาะสม (Bugueno *et al.*, 2003) ฟิล์ม Polyvinylidene chloride (PVDC) สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อน ทนต่ออาหารที่มีไขมันสูงและมีความ ยืดหยุ่นดี เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดีที่สุด โดยมีค่าจะเคลือบกับวัสดุชนิดอื่นเพื่อ นำมาใช้ในการบรรจุ เช่น OPP film เพราะ PVDC สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีอีกด้วย (Goddard, 1990)

ส่วนก๊าซที่นำมาใช้ในการทำ MAP ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอาหารทะเลคือ 40% CO<sub>2</sub>: 30% N<sub>2</sub>: 30% O<sub>2</sub> สำหรับอาหารทะเลที่มีไขมันต่ำและ 40 – 60% CO<sub>2</sub>: 40 - 60% N<sub>2</sub> สำหรับอาหารทะเลที่มีไขมันสูง (Hall, 1997) และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีการแนะนำว่าเหมาะสมกับการใช้เก็บรักษาปลาโดยการปรับสภาพบรรยากาศ ภายในภาชนะบรรจุให้มีคุณภาพคือ 40% และ 60% และการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้สูงขึ้นก็ไม่ได้ส่งผล ให้คุณภาพดีขึ้น (Daniels, Krishnamurthi, and Rizvi, 1985)

### 2.6.2 กระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

กระบวนการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อนเป็นวิธีที่สำคัญที่สุดวิธีหนึ่งในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อยับยั้งการเน่าเสียของอาหารและการสร้างสารพิษของจุลินทรีย์ในอาหาร รวมทั้งยับยั้งการ ทำงานของเอนไซม์ในอาหาร ซึ่งการใช้ความร้อนในการแปรรูปอาหารมีหลายวิธี จะเลือกใช้วิธีใดขึ้นกับวัตถุประสงค์ใน การแปรรูปอาหารนั้น

การใช้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม เพื่อทำลายจุลินทรีย์ในอาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิท จนกระทั่งอาหารนั้นอยู่ในสภาพปลอดเชื้อเชิงการค้า (commercial sterility) เป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งในกระบวนการผลิต

อาหารที่บรรจุในภาชนะปิดสนิท ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่า water activity ( $a_w$ ) ของอาหารจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญและการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยทั้งสองนี้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์จนอยู่ในสภาพปลอดเชื้อทางการค้า โดย pH เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการต้านทานความร้อนของแบคทีเรีย ในขณะที่  $a_w$  จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณน้ำในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และเป็นปัจจัยสำคัญในการคาดคะเนอายุการเก็บของอาหาร แบคทีเรียที่เจริญได้ในอาหารที่มีค่า pH ต่ำ จะทนความร้อนได้น้อยกว่าแบคทีเรียที่เจริญได้ในอาหารที่มีค่า pH สูง (รัศมิ สุภศรี, 2535) จึงทำให้อาหารที่มีค่า pH สูง มีความเสี่ยงต่อการเน่าเสียและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคมากกว่า แบคทีเรียที่มีความสำคัญที่สุดในวงการอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ หรือ low acid canned food ( $pH > 4.6$  และ  $a_w > 0.85$ ) คือ *C. botulinum* ซึ่งต้องทำลายไม่ให้เกิดสปอร์ขึ้นอยู่ในอาหาร เชื้อชนิดนี้เจริญได้เฉพาะภาวะไม่มีออกซิเจน ในอาหารที่มีค่า  $pH > 4.6$  เมื่อเจริญในอาหารจะผลิตสารพิษประเภท neurotoxin ซึ่งถูกดูดซึมผ่านทางผนังลำไส้เข้าสู่กระแสเลือดและไปทำลายระบบประสาท ทำให้เห็นภาพซ้อน เป็นอัมพาต และเสียชีวิตได้

การกำหนดอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ฆ่าเชื้อของอาหารแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับความต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์และสปอร์ที่มีอยู่ในอาหาร คุณลักษณะ และสมบัติของอาหารซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าไปในอาหารยังใจกลางจุดร้อนช้าที่สุดของอาหารในภาชนะบรรจุนั้น

สมบัติการต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์ (heat resistance of microbial) จะขึ้นกับสภาพความเป็นกรด-ด่างของอาหาร โดยการต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์จะอยู่ในรูปค่า D

ค่า D หรือ decimal reduction time หมายถึง ระยะเวลาเป็นนาทีที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่งที่ใช้ในการทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ให้ลดลง 90% ของที่มีอยู่เริ่มต้น ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่า D แตกต่างกัน แสดงในรูปของกราฟแบบ semi-log graph (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก, 2532 อ้างถึงใน เนื่อน้อง บำราบพาล, 2543)

ค่า Z หมายถึง จำนวนองศาเซลเซียส ( $^{\circ}C$ ) หรือองศาฟาเรนไฮต์ ( $^{\circ}F$ ) ที่ต้องการ เพื่อทำให้ค่า D เปลี่ยนแปลงไป 1 log cycle (Stumbo, 1973 อ้างถึงใน วิไล รังสาทอง, 2545) สำหรับเชื้อที่มีค่า Z สูง จะถูกทำลายด้วยความร้อนได้ยากกว่าเชื้อที่มีค่า Z ต่ำ โดยทั่วไปสปอร์ของ *C. botulinum* มีค่า  $Z=10^{\circ}C$  หรือ  $18^{\circ}F$  นั่นคือ เวลาที่ต้องการในการทำลายสปอร์ให้เหลือเพียง  $10^{-12}$  หรือ 12D ของสปอร์เริ่มต้นในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ คือ 2.45 นาที ( $F_0=2.45$  นาที)

ค่า F (process lethality) หมายถึง ระยะเวลาเป็นนาทีที่อุณหภูมิหนึ่งซึ่งใช้ทำลายจุลินทรีย์ที่ทราบจำนวนในอาหารภายใต้สภาวะที่กำหนด ใช้สัญลักษณ์  $F_0$  หมายถึงระยะเวลาเป็นนาทีที่อุณหภูมิ  $121.1^{\circ}C$  หรือ  $250^{\circ}F$  ที่ใช้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ซึ่งมีค่า  $Z=10^{\circ}C$  หรือ  $Z=18^{\circ}F$  ลงจำนวนหนึ่ง

#### 2.6.2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสีในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำที่ผ่านการผลิตโดยใช้ความร้อน

Babbitt และคณะ (1973a) ศึกษาการเกิดสีน้ำเงินในเนื้อปูบรรจุกระป๋อง พบว่าการรักษาสีเดิมของเนื้อปูที่ผ่านการให้ความร้อนให้มีสีใกล้เคียงสีเดิมมากที่สุดเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อปูบรรจุกระป๋อง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดในเนื้อปู คือ การเกิดสีน้ำเงิน (blueing) มีช่วงของสีที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วง blue-gray ถึง black ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนทำให้โปรตีนสลายตัวเกิดแอมโมเนียและสารประกอบกำมะถัน สารประกอบที่ได้จากการสลายตัวของโปรตีนจะทำปฏิกิริยากับสารประกอบ copper hemocyanin ที่มีในเลือดปูเกิดเป็นสีน้ำเงินขึ้น

Warne (1988) พบว่ากลไกการเปลี่ยนแปลงสีในเนื้อปูบรรจุกระป๋องมีความซับซ้อน สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี ได้แก่ การเกิดสีน้ำเงิน (blueing) ที่เกิดจาก copper การเกิดสีเทาเป็นผลมาจากปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเกิดจากน้ำตาลทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนที่อุณหภูมิสูง สำหรับการเกิดสีน้ำเงินภายหลังการให้ความร้อน สามารถใช้ metal

chelating agent ได้แก่ ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) ในน้ำเกลือ หรือการเติมกรดซิตริกความเข้มข้น 0.1-0.5% เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ ส่วนการเกิดสีเทาสามารถป้องกันได้ด้วยการใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อต่ำและเพิ่มเวลาในการให้ความร้อน และการผสม sulphur oxide ในน้ำเกลือ

David (1975) ศึกษาการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อปู พบว่าการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อปูสามารถป้องกันได้โดยใช้กรดและไม่ใช้กรดในผลิตภัณฑ์ ซึ่งการป้องกันโดยไม่ใช้กรดมีหลายวิธี เช่น การล้างทำความสะอาดเนื้อปูด้วยสารละลายเกลือความเข้มข้น 2-3% ก่อนการบรรจุกระป๋อง เพื่อเอาอวัยวะภายใน เลือด และน้ำย่อยต่างๆออกให้มากที่สุด จะช่วยให้เนื้อปูมีสีขาว นอกจากนี้การเติมน้ำตาล น้ำมัน oxidizing agent และการจุ่มเนื้อปูใน sodium nitrite สามารถช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้ ส่วนการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลโดยใช้กรดอินทรีย์ เช่น phosphoric acid, tartaric acid, malic acid ความเข้มข้น 0.03-0.1% ในขั้นตอนการล้างเนื้อปูสามารถป้องกันการเกิดโครงสร้าง blue-copper ammonia complex ในเนื้อปูกระป๋อง

Babbit และคณะ (1973b) ศึกษาปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (blueing) ในเนื้อปู Dungeness พบว่าการเกิดสีน้ำตาลถูกยับยั้งโดย ascorbic acid หรือกรดซิตริก เนื่องจากสารทั้ง 2 ชนิดมีคุณสมบัติเป็น antioxidant และ metal chelating ตามลำดับ โดย ascorbic acid อาจมีส่วนป้องกันการเกิดปฏิกิริยา oxidation ของ phenol ส่วนกรดซิตริก ทำหน้าที่การจับโลหะ เช่น iron หรือ copper ในเนื้อปู

สมพงษ์ คูประมงอาร์กัย (2534) ศึกษาคุณสมบัติของการใช้สารประกอบฟอสเฟตและกรดอินทรีย์ในการผลิตเนื้อปูบรรจุกระป๋อง โดยเลือกใช้สารประกอบฟอสเฟต คือ sodium hexametaphosphate, sodium acid pyrophosphate, sodium tripolyphosphate และ mono sodiumphosphate เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อปู พบว่าฟอสเฟตทุกตัวมีคุณสมบัติในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงของสีเนื้อปูมาโดยที่ระดับความเข้มข้นของ sodium hexametaphosphate 0.15% เติมในกระป๋องให้สีในเนื้อปูมืดที่สุด

Warne (1988) ได้เสนอแนะการผลิตหอยเป่าสัอบรรจุกระป๋อง โดยเนื้อหอยจะต้องมีสีครีมเหลือง และควบคุมการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของเนื้อหอยเป่าสัอที่มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบเชิงซ้อนของโลหะด้วยการเติม chelating agent ได้แก่ กรดซิตริก, EDTA, metabisulphite โดยการเตรียมในกระบวนการก่อนการให้ความร้อน เช่น ในขั้นตอนการล้างด้วยน้ำเกลือ ใส่วัตถุเจือปนในน้ำที่ใช้ในการลวกหอย การแช่หอยเป่าสัอในสารละลาย หรือการเติมสารละลายของวัตถุเจือปนเหล่านี้ลงในกระป๋องโดยตรง ซึ่งปริมาณการใช้ขึ้นอยู่กับข้อบังคับของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับการเกิดสีน้ำตาลหรือดำในหอยลายบรรจุกระป๋องสามารถป้องกันได้โดยการเติมกรดซิตริก และ EDTA ในน้ำที่ใช้ต้มหอยลายก่อนกระบวนการบรรจุกระป๋อง การใช้กรดซิตริกในผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีกว่าการใช้กรดชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี มีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับ และเป็นสารจับโลหะ (chelating agent) ที่มีประสิทธิภาพสูง (สิวภาพ ศิวเวช, 2535)

Dean (1981) จดสิทธิบัตรเกี่ยวกับกระบวนการผลิตหอยเป่าสัอบรรจุกระป๋อง มีขั้นตอน คือ ทำความสะอาดเอาเปลือกหอยออก จุ่มเนื้อหอยในสารละลายผสมของ sodium metabisulfite ความเข้มข้น 0.1% และ sodium hexametaphosphate 5% w/w นาน 10 นาที บรรจุในกระป๋องที่มีส่วนผสมของน้ำเกลือ 1.5%w/w และสารละลาย sodium หรือ potassium hexametaphosphate (SHMP) ความเข้มข้น 0.5%w/w นอกจากนี้ยังสามารถใช้สารละลายผสมของเกลือ 1.5% w/w, sodium acid pyrophosphate (SAPP) ความเข้มข้น 1% w/w และกรดซิตริกความเข้มข้น 0.2% w/w เติมในกระป๋องเพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของหอยเป่าสัอได้

Chiou และคณะ (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของเนื้อหอยเป่าสัอขนาดเล็กที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 98°C และ 80°C เป็นเวลานาน 0 -120 นาที พบว่าหลังการให้ความ

ร้อนหอยเป่าสือเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากปฏิกิริยา Maillard และ b-value (ค่าสีเหลือง – น้ำเงิน) ของเนื้อที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 98°C มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 80°C

Kawashima และ Yamanaka (1996b) ศึกษาผลของกรดอะมิโนอิสระต่อการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อหอยเชลล์ (scallop) พบว่าการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยเชลล์มีสาเหตุจากปฏิกิริยา Maillard ของ sugar phosphate ได้แก่ glucose-6-phosphate กับ กรดอะมิโน นอกจากนี้ยังพบว่ากรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลักของเนื้อหอยเชลล์ ได้แก่ glycine , taurine , arginine และ alanine ซึ่งกระบวนการเตรียมเนื้อหอยก่อนการผลิตมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล โดยเนื้อหอยเชลล์ที่ผ่านการแช่แข็งหรือแช่เย็นหลังการตาย เมื่อนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110°C นาน 90 นาที เนื้อหอยเชลล์เกิดสีน้ำตาลขึ้นต่างจากเนื้อหอยที่ไม่ผ่านการแช่แข็งหลังการตายซึ่งไม่เกิดสีน้ำตาล (Kawashima and Yamanaka, 1996a)

### 2.6.2.2 การใช้สารประกอบฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ

สารประกอบฟอสเฟตมีคุณสมบัติช่วยลดความไวของอออนโลหะ เช่น แคลเซียม ทองแดง และเหล็ก เพื่อป้องกันไม่ให้อออนเหล่านี้ไปทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบของอาหาร โดยฟอสเฟตจะรวมตัวกับอออนของโลหะแล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ อออนของโลหะจึงไม่สามารถไปรบกวนหรือทำปฏิกิริยากับอาหารได้ นอกจากนี้สารประกอบฟอสเฟตช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของกล้ามเนื้อโดยทำให้ pH และ ionic strength เพิ่มขึ้น และจับกับโปรตีนที่มีเมกนีเซียมและแคลเซียมจับอยู่ ทำให้ actomyosin แยกออกมาได้ จึงช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและเพิ่มช่องว่างในโครงสร้างของไมโอไฟบริลให้จับน้ำได้ดีขึ้น (ประสาร สวัสดิ์ชิตัง, 2538) โดยสารประกอบฟอสเฟตที่นิยมใช้ในอาหารทะเล ได้แก่ sodium acid pyrophosphate (SAPP), sodiumtripolyphosphate (STPP), sodium hexametaphosphate (SHMP) (สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2536)

### 2.6.3 การอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการกำจัดน้ำออกจากอาหารที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา โดยลดปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์จนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ ได้อีกมีค่าออสโมติกแอคทีวิตีต่ำกว่า 0.70 ทำให้เก็บอาหารไว้ได้นาน และปริมาณความชื้นที่ลดลงยังทำให้สะดวกต่อการขนส่งอีกด้วย นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้อังยังมีลักษณะและกลิ่นรสเฉพาะตัว (Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996; วิไล รังสาทอง, 2545)

การระเหยในระหว่างการอบแห้งเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารจากภายในไปสู่ผิวหนังของอาหารและจากผิวหนังไปสู่อากาศ ซึ่งการเคลื่อนที่ของน้ำแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ในช่วงแรกของการอบแห้ง การเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารจะเป็นแบบ Capillary flow mechanism ทั้งนี้เพราะน้ำในอาหารยังมีปริมาณมาก และอาหารจัดเป็นพวกที่มีรูพรุนมาก ดังนั้นเมื่อได้รับความร้อนที่ผิวของอาหารจะเกิดการขยายตัวของอากาศ เกิดความแตกต่างของความดันไอ ทำให้เกิดแรงดึงดูดให้น้ำเคลื่อนที่ขึ้นมาตามรูพรุนคล้ายกับว่ามีท่อเล็กๆ ติดอยู่ตรงรูพรุนนั้น เมื่อน้ำที่อยู่ตามรูพรุนหมดไปก็จะเป็นการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเซลล์ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบ Diffusion flow mechanism หรือ Molecular diffusion โดยการเคลื่อนที่ของน้ำภายในจะเกิดจากการซึมผ่านของน้ำจากเซลล์หนึ่งไปสู่อีกเซลล์หนึ่งที่อยู่ติดกันและซึมเข้าไปสู่เซลล์ที่อยู่ติดกับรูพรุน น้ำจะระเหยออกไปทางรูพรุนนั้น ซึ่งจะเกิดแรงดึงดูดต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนกระทั่งอาหารแห้ง (Desrosier, 1977)

การอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิอากาศเข้าแบบเป็นขั้น เป็นเทคนิคหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการอบแห้งโดยการลดหรือเพิ่มอุณหภูมิอากาศเข้าในแต่ละช่วงของการอบแห้ง ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นและลดระยะเวลาในการอบแห้ง นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดพลังงานที่ใช้ในระหว่างการอบแห้งอีกด้วย

## 2.6.4 โปรตีนไฮโดรไลเสต (Protein Hydrolysate)

โปรตีนไฮโดรไลเสต คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยโปรตีนโดยการตัดสายพอลิเพปไทด์ให้เป็นกรดอะมิโนอิสระหรือเพปไทด์สายสั้นๆ โดยใช้สารเคมีหรือเอนไซม์ เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการและปรับปรุงสมบัติทางประการของโปรตีน เช่น สมบัติการละลาย สมบัติการเกิดอิมัลชัน และ สมบัติการเกิดโฟม เป็นต้น (Kristinsson and Rasco, 2000)

การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเสตโดยทั่วไปมี 2 วิธี ได้แก่ การย่อยสลายด้วยสารเคมี เช่น กรดหรือด่าง และการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในกลุ่มโปรติเอส

การย่อยสลายด้วยกรด อาจใช้กรดซัลฟูริกหรือกรดเกลือซึ่งนิยมกว่า เพราะมีประสิทธิภาพในการสลายพันธะดีกว่า ตัวอย่างภาวะที่เหมาะสมของการย่อยสลายโปรตีนในกรดเกลือเข้มข้นประมาณ 20% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรที่ 110°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แยกกรดเกลือออกจากภายหลังการย่อยสลายโดยระเหยภายใต้ความดันที่ภาวะดังกล่าวให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า Degree of Hydrolysis (DH) 89.50% (Prendergast, 1974)

การย่อยสลายด้วยด่าง นิยมใช้ sodium hydroxide, potassium hydroxide และ barium hydroxide ภาวะที่ใช้โดยทั่วไปคือ ใช้ด่างเข้มข้น 4-5 M ที่ 110°C 4-8 ชั่วโมง (Prendergast, 1974)

การย่อยสลายด้วยเอนไซม์ โดย proteolytic enzymes ตัดพันธะเปปไทด์ในโมเลกุลของโปรตีนให้อัตราการย่อยสลายค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการใช้กรดหรือด่าง แต่การย่อยด้วยเอนไซม์มีสารประกอบรบกวนเกิดขึ้นเนื่องจาก hydrophobic groups ในโมเลกุลของโปรตีนแตกตัว แต่เมื่อย่อยสลายถึงระดับหนึ่งแล้วรบกวนจะไม่เกิดขึ้นเพราะกรดอะมิโนอิสระมีรบกวนน้อยที่สุด และ peptide chains ที่มี hydrophobic group อยู่ที่ C- หรือ N-terminal มีรบกวนน้อยมาก ดังนั้นจึงควบคุมรบกวนได้ด้วยการควบคุมอัตราการย่อยสลาย (Matoba and Hata, 1972)

การใช้เอนไซม์มีข้อดีหลายประการคือ มีความจำเพาะสูงและเกิดปฏิกิริยาไม่รุนแรงรวมทั้งสามารถทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและ pH ปานกลาง ซึ่งกิจกรรมที่เหมาะสมของเอนไซม์สามารถกำหนดระดับการย่อยสลายและขนาดของเพปไทด์ที่เกิดขึ้น ในขณะที่การย่อยด้วยกรดและด่างไม่สามารถกำหนดอัตราการย่อยสลายพันธะได้อย่างมีประสิทธิภาพ การย่อยสลายด้วยด่างทำลายกรดอะมิโนที่จำเป็นบางชนิด เช่น tryptophan นอกจากนี้ cysteine, serine และ threonine อาจถูกทำลายได้เช่นกัน รวมทั้งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของกรดอะมิโนจาก L-form เป็น D-form ซึ่งร่างกายมนุษย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จึงเป็นสาเหตุให้คุณค่าทางโภชนาการของโปรตีนลดลง และทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดี การย่อยสลายด้วยกรดเสียค่าใช้จ่ายต่ำ แต่มีข้อเสียเนื่องจากการสลายของ tryptophan เป็นต้น ในบางภาวะ cystine และ threonine อาจถูกทำลายได้ นอกจากนั้นยังมีกลิ่นกรดตกค้างในโปรตีนไฮโดรไลเสตด้วย ดังนั้นจึงควรใช้เอนไซม์ในการย่อยสลายโปรตีนมากกว่าการใช้สารเคมี (Adler-Nissen, 1986)

### 2.6.4.1 การประยุกต์ใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตเพื่อใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร

ปัจจุบันสารปรุงแต่งกลิ่นรสมีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารและมีการใช้อย่างกว้างขวางทั้งประเภทสังเคราะห์และจากธรรมชาติ สารปรุงแต่งกลิ่นรสจากธรรมชาติส่วนใหญ่ผลิตจากโปรตีนไฮโดรไลเสตจากพืชและสัตว์โดยนำมาปรุงแต่งด้วยองค์ประกอบอื่นๆ เพื่อให้ได้กลิ่นรสตามต้องการหรือเพื่อลด ต้นทุนการผลิต ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารสำเร็จรูปที่จำเป็นต้องใช้สารปรุงแต่งกลิ่นรสได้มีการพัฒนาและขยายตัวอย่างกว้างขวาง จึงมีการศึกษาวิจัยด้านการผลิตสารปรุงแต่งกลิ่นรสจากวัสดุเศษเหลือโรงงานแปรรูปอาหารทะเลอันจะเป็นการลดต้นทุนด้านวัตถุดิบ

โปรตีนไฮโดรไลเสตจากวัสดุเศษเหลือที่ได้จากการแปรรูปสัตว์น้ำจำพวกปลาและกุ้ง ประกอบด้วย กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสปริมาณสูง ดังนั้นจึงมีการใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร

เช่น ในผลิตภัณฑ์จากซูริมิ ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช และการใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเลี้ยงสัตว์เช่นปลาและกุ้ง (Prendergast, 1974)

การใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารใช้ได้ 2 ลักษณะคือสารให้กลิ่นรส (flavor donor) และสารเสริมกลิ่นรส (flavor enhancer) การใช้เป็นสารให้กลิ่นรสนั้นเพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีกลิ่นรสเหมือนกับสารให้กลิ่นรส ส่วนการใช้เป็นสารเสริมกลิ่นรสใช้เพื่อเพิ่มกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรสอยู่แล้วให้สูงขึ้น การใช้โปรตีนไฮโดรไลเสตเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารต้องคำนึงถึงปริมาณที่เหมาะสมซึ่งขึ้นกับชนิดของอาหารและโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 0.20 – 1.30% (Prendergast, 1974)

### 3. วิธีทดลอง

#### 3.1 การยืดอายุการเก็บของหอยเป่าอื้อทั้งตัวในระยะสั้น โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

หอยเป่าอื้อที่นำมาทดลองเป็นพันธุ์ *Halotis asinina* Linnaeus จากสถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิตเกาะสีชัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี น้ำหนักตัวละประมาณ 20 กรัม

##### 3.1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าอื้อสด

นำหอยเป่าอื้อที่ล้างทำความสะอาดแล้วมาสับให้ละเอียด วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าอื้อ ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมันและไขมัน (AOAC, 1995)

##### 3.1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

นำหอยเป่าอื้อที่แกะเปลือกและเครื่องในออก ล้างทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วบรรจุในถุง PVDC ปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุให้มีภาวะเป็นบรรยากาศปกติ ภาวะสุญญากาศและภาวะการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ โดยมีอัตราส่วนของก๊าซผสมดังนี้  $\text{CO}_2 40\%:\text{O}_2 40\%:\text{N}_2 20\%$ ,  $\text{CO}_2 40\%:\text{O}_2 30\%:\text{N}_2 30\%$ ,  $\text{CO}_2 40\%:\text{O}_2 20\%:\text{N}_2 40\%$ ,  $\text{CO}_2 60\%:\text{O}_2 20\%:\text{N}_2 20\%$ ,  $\text{CO}_2 60\%:\text{O}_2 40\%$  ด้วยเครื่อง Multivac (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd., Sepp Haggenmuller GmbH & Co.KG D-87787 Wolfertschwenden, Germany) และเครื่อง gas mixture (Witt-Gasetechnik GmbH & Co.KG D-58454 Witten, Germany)

เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ  $2 \pm 1^\circ\text{C}$  วัดการเปลี่ยนแปลงดัชนีต่างๆของผลิตภัณฑ์ คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน การเปลี่ยนแปลงค่า pH ปริมาณจุลินทรีย์ ปริมาณ Trimethylamine (TMA) และ Total Volatile Base (TVB) การยอมรับทางประสาทสัมผัส การเปลี่ยนแปลงสี ลักษณะเนื้อสัมผัสและปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ ทุกวันที่ 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 และ 15 ของการเก็บรักษา

สำหรับข้อ 3.1.2.1–3.1.2.9 ยกเว้นข้อ 3.1.2.6 วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range test

##### 3.1.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน

วัดปริมาณก๊าซภายในภาชนะบรรจุโดยใช้เครื่อง Headspace Gas Analyzer (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd. Witt-Gasetechnik GmbH & Co.KG D-58454 Witten, Germany)

##### 3.1.2.2 การเปลี่ยนแปลงค่า pH

นำตัวอย่างหอยเป่าอื้อมาโฮโมจีไนซ์กับน้ำกลั่นที่มี pH 7 ในอัตราส่วน 1:10 (W/V) วัดค่า pH ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ pH Meter (Chiou *et al.*, 2002)

### 3.1.2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์

วิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด แบคทีเรียทนความเย็น (Psychrotrophic bacteria) (Poole *et al.*, 1990) แบคทีเรียในกลุ่ม *Enterobacteriaceae*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium botulinum* และ *Vibrio sp.*

### 3.1.2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total Volatile Base (TVB) ตามวิธี Conway (Hasegawa, 1987)

### 3.1.2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Trimethylamine (TMA) ตามวิธี Conway (Hasegawa, 1987)

### 3.1.2.6 การเปลี่ยนแปลงด้านประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Scoring Test คะแนนเต็ม 5 ใช้ผู้ทดสอบทั้งฝึกฝนจำนวน 10 คน ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น และสีของหอยเป๋าฮื้อ

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

### 3.1.2.7 การเปลี่ยนแปลงสี

วัดสีตัวอย่างหอยเป๋าฮื้อในระบบ L, a, b โดยใช้ Minolta Chroma meter (CR 300 Series, Minolta) (Kusmider *et al.*, 2002)

### 3.1.2.8 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส

นำหอยเป๋าฮื้อทั้งตัวมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i หัววัด P100 รายงานค่า hardness, cohesiveness, springiness และ chewiness (Sanchez-Brambila *et al.*, 2002a)

### 3.1.2.9 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์

วิเคราะห์ปริมาณ ATP และสารอนุพันธ์ ดังนี้ ATP, ADP, AMP, IMP, Adenosine, Inosine และ Hypoxanthine ด้วยวิธี HPLC จากการเตรียมสารสกัดจากเนื้อหอยเป๋าฮื้อ (Hatae *et al.*, 1995)

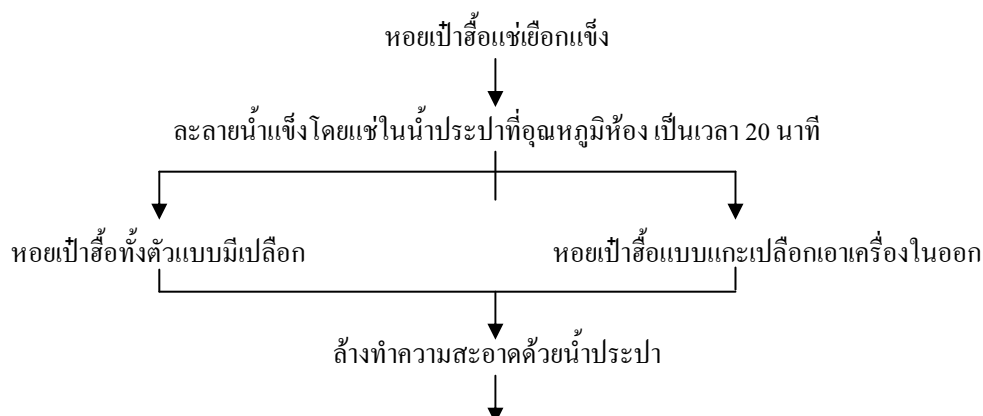
## 3.2 การยืดอายุการเก็บของหอยเป๋าฮื้อระยะยาว โดยใช้กระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน

### 3.2.1 การแปรรูปหอยเป๋าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์

#### 3.2.1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อสด

นำหอยเป๋าฮื้อที่ล้างทำความสะอาดแล้วมาสับให้ละเอียด วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป๋าฮื้อ ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และไขมัน (AOAC, 1995)

#### 3.2.1.2 ศึกษาผลของวิธีการจัดการ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเกิดฮิสตามีนในหอยเป๋าฮื้อสด





**รูปที่ 3.1** ขั้นตอนการเตรียมหอยเป่าสั เพื่อใช้ศึกษาผลของวิธีการจัดการอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเกิดฮิสตามีนในหอยเป่าสัสด

#### 3.2.1.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่า pH

นำตัวอย่างหอยเป่าสัมาปั่นให้ละเอียด วัดค่า pH ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ pH Meter

#### 3.2.1.2.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส

นำหอยเป่าสัมาวัดค่าความแน่นเนื้อ (firmness) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer TA-XT2) โดยตัดตัวอย่างตรงตำแหน่งกึ่งกลางตามความยาวลำตัวของเนื้อหอยเป่าสัให้ขาดด้วยใบมีด (knife/ guillotine blade) อัตราเร็วใบมีด 2 มิลลิเมตร/วินาที โดยค่า firmness คือค่าของงาน (กรัม.มิลลิเมตร) ที่ใช้เพื่อตัดตัวอย่างให้ขาดออกจากกัน คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างค่าแรง (กรัม) กับระยะทาง (มิลลิเมตร)

#### 3.2.1.2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์

3.2.1.2.3.1 ปริมาณแบคทีเรียที่ต้องการอากาศ (aerobic plate count) ตามวิธี AOAC (1995)

3.2.1.2.3.2 ปริมาณแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลส (histidine decarboxylase bacteria) ตามวิธีของ Niven และคณะ (1981)

#### 3.2.1.2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฮิสตามีน

วิเคราะห์ปริมาณฮิสตามีนในหอยเป่าสัโดยใช้ชุดทดสอบฮิสตามีน (histamine test kits) ของบริษัท Kikkoman Corporation ประเทศญี่ปุ่น

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยข้อ 3.2.1.2.1 วิเคราะห์ 3 ซ้ำ ข้อ 3.2.1.2.2 วิเคราะห์ 7 ซ้ำ ข้อ 3.2.1.2.3 วิเคราะห์ 2 ซ้ำ และข้อ 3.2.1.2.4 วิเคราะห์ 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992)

#### 3.2.1.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป่าสั

นำหอยเป่าสัมาแกะเปลือกและเอาเครื่องในออกให้เหลือแต่ส่วนของกล้ามเนื้อเท่านั้น ล้างให้สะอาด แช่น้ำสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.15% นาน 10 นาที จากนั้นแช่น้ำสารละลายโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตความเข้มข้น 10% อีก 60 นาที อุณหภูมิระหว่างการแช่ประมาณ 2-5°C (ดัดแปลงจากวิธีของ สมพงษ์ คูประมงอาร์กย์, 2534; Crapo and Crawford, 1991) เมื่อแช่เสร็จแล้วนำหอยมาล้างน้ำและทิ้งให้สะเด็ดน้ำก่อนนำไปทดลองในขั้นตอนต่อไป

บรรจุเนื้อหอยที่เตรียมเสร็จลงในรีโอร์ตเพาซ์ PET12/NYLON15/ALU7/ CPP70 ขนาด 13 cm x 17 cm (บริษัท พิล์มมาสเตอร์ จำกัด) จำนวน 3-4 ตัวต่อถุง ปิดผนึกแบบสุญญากาศ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C โดยใช้อ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ และที่อุณหภูมิ 100°C และ 120°C ให้ความร้อนผ่านน้ำมันพืชในหม้อทอดควบคุมอุณหภูมิ เป็นระยะเวลา 2 4 6 8 10 15 20 30 60 120 180 และ 240 นาที ซึ่งการให้ความร้อนเป็นเวลานานเช่นนี้เพื่อติดตามการ

เปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆของเนื้อหอยเป้าฮื้อ และนำค่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพมาใช้ทำนาย rate constant (k) และ activation energy (Ea) ซึ่งสามารถใช้กำหนดภาวะที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อต่อไป วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงดังนี้

### 3.2.1.3.1 ปริมาณ cooking loss (Hatae *et al.*, 1996)

ชั่งน้ำหนักเนื้อหอยเป้าฮื้อก่อนและหลังการให้ความร้อน คำนวณ cooking loss ตามสมการที่ 3.1

$$\text{cooking loss (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักหอยเป้าฮื้อก่อนให้ความร้อน} - \text{หลังให้ความร้อน(กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักหอยเป้าฮื้อก่อนให้ความร้อน (กรัม)}} \quad (3.1)$$

### 3.2.1.3.2 Degree of browning (Chiou *et al.*, 2004)

ชั่งน้ำหนักเนื้อหอยเป้าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนและปั่นละเอียดแล้วมา 5 กรัม ปั่นผสมกับสารละลาย ไตรคลอโรอะซิติกแอซิด (trichloroacetic acid) ความเข้มข้น 7% ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ด้วยเครื่อง homogenizer (13000 rpm/min) เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 4000×g นาน 20 นาที กรองของเหลวส่วนใสเก็บไว้ และนำส่วนที่เหลือมาทำซ้ำอีก 2 รอบ รวมของเหลวส่วนใสทั้งหมดที่ได้ แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายไตรคลอโรอะซิติกแอซิดความเข้มข้น 7% เพื่อให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Jasco UV/VIS Spectrophotometer รุ่น V-530) ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ( $A_{420}$ ) แสดงเป็นค่า degree of browning ( $A_{420}$ / กรัม ตัวอย่าง)

### 3.2.1.3.3 Water-Holding Capacity (Jauregui, Regenstein, and Baker, 1981; Ueng and Chow, 1998)

ตัดชิ้นเนื้อหอยเป้าฮื้อให้มีขนาดประมาณ 1×1 เซนติเมตร และชั่งน้ำหนักก่อนห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนัก นำไปหมุนเหวี่ยงที่ 4500×g เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองหลังการหมุนเหวี่ยง คำนวณค่า water-holding capacity (WHC) ดังสมการที่ 3.2

$$\text{WHC (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักกระดาษกรองหลังเซ็นทรีฟิวจ์ (กรัม)} - \text{ก่อนเซ็นทรีฟิวจ์ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักชิ้นตัวอย่างหอยเป้าฮื้อ (กรัม)}} \quad (3.2)$$

### 3.2.1.3.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส

นำหอยเป้าฮื้อมาวัดค่า toughness ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer TA – XT2) โดยตัดตัวอย่างตรงตำแหน่งกึ่งกลางตามความยาวลำตัวของเนื้อหอยเป้าฮื้อให้ขาดด้วยใบมีด (knife/ guillotine blade) อัตราเร็วใบมีด 2 มิลลิเมตร/วินาที โดยค่า toughness คือ ค่าของงาน (กรัม.มิลลิเมตร) ที่ใช้ตัดตัวอย่างให้ขาด คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างค่าแรง (กรัม) กับระยะทาง (มิลลิเมตร)

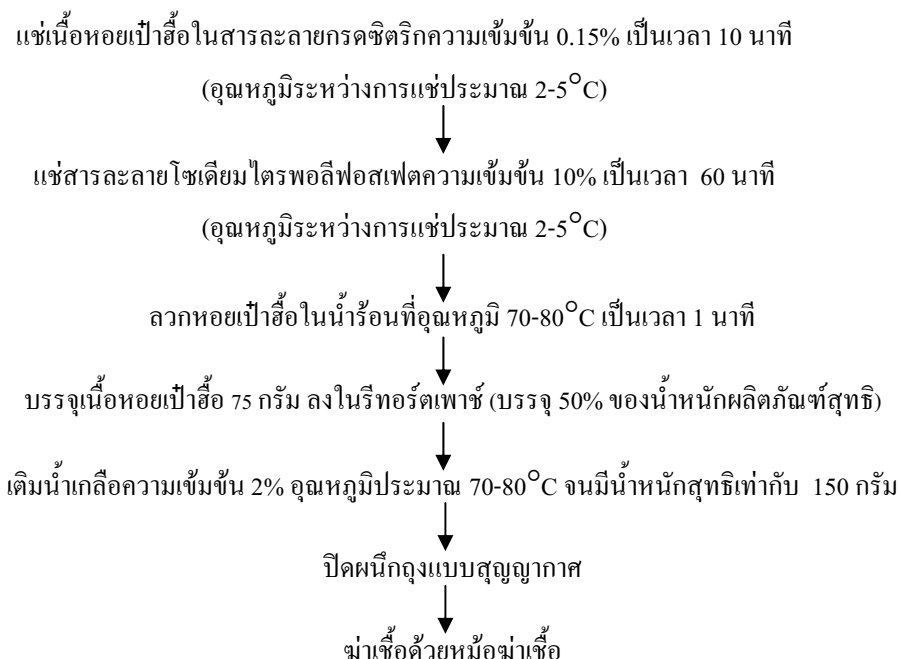
วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยข้อ 3.2.1.3.1 และ 3.2.1.3.2 วิเคราะห์ 3 ข้อ ข้อ 3.2.1.3.3 วิเคราะห์ 4 ข้อ และข้อ 3.2.1.3.4 วิเคราะห์ 7 ข้อ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992)

## 3.2.1.4 ศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์หอยเป้าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์

### 3.2.1.4.1 การแทรกผ่านความร้อนและหาเวลาในการฆ่าเชื้อ

เตรียมหอยเป้าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุในรีทอร์ตเพาซ์ที่ติดตั้งเซ็นเซอร์อุณหภูมิคู่ควบ (thermocouple) โดยปลายเซ็นเซอร์ตรงกลางชิ้นเนื้อหอยเป้าฮื้อ นำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อชนิด hot water (Still vertical retort, RCS-40RTGN, Hisaka Works Ltd., Japan) ติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหารระหว่างการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 50 นาที บันทึกอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อและอาหารทุก 5 นาที จนสิ้นสุดกระบวนการให้ความร้อนและทำให้เย็น ทดลอง 2 ข้อ นำข้อมูลการ

เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาของผลิตภัณฑ์ที่จุดร้อนช้าที่สุดมาสร้าง heat penetration curve แล้วคำนวณหา heat penetration parameters เพื่อใช้หาเวลาในการฆ่าเชื้อ (process time) และ sterilizing value ( $F_0$ ) โดยวิธี Formula (Ball, 1923) ต่อไป แผนภูมิแสดงขั้นตอนการผลิตหอยเป่าสู้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตหอยเป่าสู้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์

#### 3.2.1.4.2 จุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์หอยเป่าสู้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอ

ผลิตหอยเป่าสู้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ ตามข้อ 3.2.1.4.1 โดยกำหนดให้  $F_0$  เท่ากับ 2 นาที เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นอาหารเป็น  $50^{\circ}\text{C}$  ฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ  $114^{\circ}\text{C}$  แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวิเคราะห์ *C. botulinum* (Solomon *et al.*, 2001) และ *B. stearothermophilus* (Olson and Sorrells, 2001) วิเคราะห์ทุกเดือนตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิประมาณ  $23-33^{\circ}\text{C}$ ) เป็นเวลา 6 เดือน วิเคราะห์ 2 ซ้ำ

#### 3.2.1.4.3 ผลของอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารและอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อที่มีผลต่อภาวะการฆ่าเชื้อหอยเป่าสู้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์

ผลิตหอยเป่าสู้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ ตามข้อ 3.2.1.4 โดยกำหนดให้  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นอาหารเป็น  $50$  และ  $70^{\circ}\text{C}$  ฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ  $114$  และ  $121^{\circ}\text{C}$  คำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อและทดลองฆ่าเชื้อภายใต้ภาวะที่ได้ก่อนผลิตจริง เพื่อยืนยันความถูกต้องของภาวะในการฆ่าเชื้อและความปลอดภัยในผลิตภัณฑ์ แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อทั้ง 4 ภาวะ มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

##### 3.2.1.4.3.1 น้ำหนักเนื้อ (drained weight)

เทผลิตภัณฑ์จากถุงให้กระจายตัวกันบนตะแกรงที่ทราบน้ำหนัก วางตะแกรงเอียงเป็นมุมประมาณ  $17-20$  องศา ทิ้งไว้เช่นนี้นาน 2 นาที เพื่อแยกของเหลวออกจากเนื้อ จากนั้นชั่งของเหลวที่ติดกันตะแกรง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (มอก. 89, 2528) คำนวณน้ำหนักเนื้อ (drained weight) ตามสมการที่ 3.3

$$\text{น้ำหนักเนื้อ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อหอยเป่าฮือหลังแยกของเหลวออกแล้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักสุทธิของผลิตภัณฑ์ (กรัม)}} \quad (3.3)$$

**3.2.1.4.3.2 Degree of browning** (Chiou *et al.*, 2004) วิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.3.2

### 3.2.1.4.3.3 ปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (soluble collagen)

#### 3.2.1.4.3.3.1 ขั้นตอนการย่อย (Wattanachant, Benjakul and Ledward, 2005)

นำเนื้อหอยเป่าฮือปั่นละเอียด 2 กรัม เติม Ringer's solution (32.8 mM NaCl, 1.5 mM KCl, และ 0.5 mM CaCl<sub>2</sub>) ความเข้มข้น 25% ปริมาตร 8 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 15 นาที เพื่อละลายส่วนที่เป็นเจลาติน หรือคอลลาเจนที่ละลายได้ (soluble collagen) ในเนื้อหอยเป่าฮือที่ผ่านการให้ความร้อนออกมา จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 2300×g นาน 30 นาที แยกของเหลวส่วนใสออกมาใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร นำส่วนที่เป็นตะกอนมาสกัดซ้ำอีกครั้ง แล้วแยกของเหลวส่วนใสที่ได้ไปรวมกับของเหลวที่แยกได้ครั้งแรก จากนั้นนำส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวแต่ละส่วนมาเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 6 โมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และย่อยที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณไฮดรอกซีโพรลีนต่อไป

#### 3.2.1.4.3.3.2 วิเคราะห์ปริมาณไฮดรอกซีโพรลีนในเนื้อหอยเป่าฮือ (Leach, 1960)

ปิเปตสารละลายที่ได้จากขั้นตอนการย่อย (ข้อ 3.2.1.4.3.3.1) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายที่ได้ 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลายคอปเปอร์-ซัลเฟตความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน นำสารละลายนี้ไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ 40°C จนกระทั่งอุณหภูมิภายในหลอดทดลองถึง 40°C (3-5 นาที) จึงเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 6% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าผสมทันทีและให้ความร้อนนาน 10 นาที และในระหว่างการให้ความร้อนนำหลอดทดลองขึ้นมาเขย่าเป็นครั้งคราว เมื่อครบกำหนดจึงทำให้เย็น และเติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ 4 มิลลิลิตร และสารละลายไดเมทิลอะมิโนเบนซัลดีไฮด์ความเข้มข้น 5% ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าผสมให้เข้ากัน ปิดฝาหลอดทดลอง แล้วนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 16 นาที ทำให้เย็นแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Jasco UV/VIS Spectrophotometer รุ่น V-530) ที่ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร

นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้มาคำนวณปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน (ไมโครกรัม/2มิลลิลิตร) จากกราฟมาตรฐาน แล้วคำนวณปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน (กรัม/100 กรัม) ตามสมการที่ 3.4

$$\text{ปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน (กรัม/100 กรัม)} = \frac{(h \times V \times 2.5)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \quad (3.4)$$

h คือ ปริมาณไฮดรอกซีโพรลีน (ไมโครกรัม / 2 มิลลิลิตร) ที่ได้จากกราฟมาตรฐาน

V คือ ปริมาตรของสารละลายก่อนย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก (ส่วนของเหลว) หรือ ปริมาตรของสารละลายหลังย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก (ส่วนที่เป็นตะกอนของแข็ง)

คำนวณปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100กรัม) ตามสมการที่ 3.5 โดยให้ปริมาณไฮดรอกซีโพรลีนคิดเป็น 7.52% ของปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (soluble collagen) และคิดเป็น 7.25% ของปริมาณคอลลาเจนที่ละลาย

ไม่ได้ (insoluble collagen) (Cross *et al.*, 1973) แล้วคำนวณปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ (%ปริมาณคอลลาเจนทั้งหมด) (Wattanachant *et al.*, 2005)

$$\text{ปริมาณคอลลาเจน (กรัม/100 กรัม)} = \frac{\text{ปริมาณไฮดรอกซีโปรลีน (กรัม/100 กรัม)} \times 100}{7.25^* \text{ หรือ } 7.52^{**}} \quad (3.5)$$

\* ใช้ในการคำนวณปริมาณคอลลาเจนที่ละลายไม่ได้ในเนื้อหอยเป่าฮื้อ

\*\* ใช้ในการคำนวณปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ในเนื้อหอยเป่าฮื้อ

#### 3.2.1.4.3.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส

วัดค่า toughness ของเนื้อหอยเป่าฮื้อ เช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.3.4

#### 3.2.1.4.3.5 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ด้วยแบบทดสอบชนิด Hedonic scale สเกล 7 ระดับ โดยคะแนนต่ำกว่า 4 เป็นระดับที่ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ส่วนคะแนนลักษณะคุณภาพมีเกณฑ์ 1-5 คะแนน ได้แก่ สี (1 หมายถึงสีน้ำตาลเข้ม - 5 หมายถึงสีขาว) ความยืดหยุ่น (1 หมายถึงไม่มีความยืดหยุ่นเลย - 5 หมายถึงยืดหยุ่นมาก) ความเหนียว (1 หมายถึงเปื่อยมากจนละลาย - 5 เหนียวปานกลาง) และความชุ่มน้ำ (1 หมายถึงแห้งมาก - 5 หมายถึงชุ่มน้ำมาก) ใช้ผู้ทดสอบทั้งฝึกฝน 10 คน

วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยในข้อ 3.2.1.4.3.1 วิเคราะห์ 2 ซ้ำ ข้อ 3.2.1.4.3.2 วิเคราะห์ 7 ซ้ำ ข้อ 3.2.1.4.3.3 วิเคราะห์ 3 ซ้ำ ข้อ 3.2.1.4.3.4 วิเคราะห์ 7 ซ้ำ และข้อ 3.2.1.4.3.5 วางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992)

เลือกภาวะการฆ่าเชื้อที่ดีที่สุดเพื่อผลิตหอยเป่าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ โดยพิจารณาจากคะแนนความชอบสูงสุดที่ผู้ทดสอบมีต่อผลิตภัณฑ์

### 3.2.1.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ตลอดอายุการเก็บรักษา 6 เดือน

ผลิตหอยเป่าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ตามข้อ 3.2.1.4.1 โดยใช้ภาวะการฆ่าเชื้อที่ได้จากข้อ 3.2.1.4.3.5 และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิประมาณ 23-33°C) เป็นเวลา 6 เดือน ประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างเก็บรักษาทุกเดือนดังนี้

#### 3.2.1.5.1 คุณภาพทางจุลชีววิทยา

วิเคราะห์จุลินทรีย์ flat sour, thermophilic anaerobes, putrefactive anaerobes และ sulfide spoilage (มอก. 335 เล่ม 1, 2523)

#### 3.2.1.5.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ด้วยแบบทดสอบชนิด Hedonic scale สเกล 7 ระดับ โดยคะแนนต่ำกว่า 4 เป็นระดับที่ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ ส่วนคะแนนลักษณะคุณภาพมีเกณฑ์ 1-5 คะแนน ได้แก่ สี (1 หมายถึงสีน้ำตาลเข้ม - 5 หมายถึงสีขาว) ความยืดหยุ่น (1 หมายถึงไม่มีความยืดหยุ่นเลย - 5 หมายถึงยืดหยุ่นมาก) ความเหนียว (1 หมายถึงเปื่อยมากจนละลาย - 5 เหนียวปานกลาง) และความชุ่มน้ำ (1 หมายถึงแห้งมาก - 5 หมายถึงชุ่มน้ำมาก) ใช้ผู้ทดสอบทั้งฝึกฝน 10 คน วิเคราะห์ 2 ซ้ำ

วางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992)

### 3.2.2 ผลของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป่าฮื้อ *H. asinina* L. ในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

#### 3.2.2.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีผลของหอยเป่าฮื้อชนิด *Haliotis asinina*

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมันและไขมัน (A.O.A.C., 1995) ทดลอง 3 ซ้ำ

#### 3.2.2.2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่เนื้อหอยเป่าฮื้อในโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต

##### 3.2.2.2.1 ศึกษาภาวะการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

บรรจุเนื้อหอยเป่าฮื้อทั้งตัวในกระป๋องเคลือบแลคเกอร์ขนาด 307 x 113 น้ำหนักบรรจุ 100 กรัม ในกระป๋องติดตั้งเข็มวัดอุณหภูมิคูควบ (Thermocouple) และเสียบกับเซ็นเซอร์เนื้อหอย เติมน้ำละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2% จนได้น้ำหนัก 200 กรัม เมื่อบรรจุแล้วมีช่องว่างเหนืออาหารไม่เกิน 10% ของความสูงกระป๋องด้านใน ปิดฝากระป๋องด้วย Seamer (Lanico, Germany) นำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อชนิด steam retort (Lin – E – AIRE, Taylor, USA) ที่อุณหภูมิ 121 °C โดยกำหนดให้  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที เนื่องจาก FAO กำหนดให้ผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮื้อกระป๋องฆ่าเชื้อให้ได้ค่า  $F_0 \geq 2.8$  นาที (FAO, 2005) บันทึกอุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อและอุณหภูมิภายในกระป๋องทุก 1 นาที จนถึงสิ้นสุดกระบวนการให้ความร้อนและทำให้เย็น นำข้อมูลมาคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อ (process time) และประเมินความปลอดภัยทางด้านเชื้อจุลินทรีย์ total plate count , Flat sour organism, Thermophilic anaerobe และ Putrefactive anaerobe (มอก.335 เล่ม 1 ,2523)

##### 3.2.2.2.2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่เนื้อหอยเป่าฮื้อในโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต

แช่เนื้อหอยเป่าฮื้อในสารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ที่ความเข้มข้น 0.1% และ 5% ตามลำดับ (Dean, 1981) แปรระยะเวลาในการแช่เป็น 4 ระดับ ตั้งแต่ 0 – 15 นาที จากนั้นนำไปบรรจุน้ำหนักบรรจุประมาณ 100 กรัม เติมน้ำละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2% จนได้น้ำหนัก 200 กรัม เมื่อบรรจุแล้วมีช่องว่างเหนืออาหารไม่เกิน 10% ของความสูงกระป๋องด้านใน ปิดฝากระป๋องแล้วนำไปผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C และเวลาในการให้ความร้อนตามเวลาที่ได้จากการคำนวณจากข้อ 3.2.2.2.1 แล้วจึงนำหอยเป่าฮื้อที่ได้มาประเมินผลโดยตรวจสอบคุณภาพดังนี้

##### 3.2.2.2.2.1 สีของเนื้อหอยเป่าฮื้อ สังเกตจากการถ่ายภาพ

##### 3.2.2.2.2.2 วิเคราะห์ degree of browning

นำเนื้อหอยเป่าฮื้อ 5 กรัม มาปั่นผสมกับสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติกความเข้มข้น 7% ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องตีปั่นไฟฟ้า เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 4000xg (อุณหภูมิ 4 °C) เป็นเวลา 20 นาที กรองใส่ขวดปรับปริมาตรแล้วนำเนื้อส่วนที่เหลือมาเติมน้ำละลายกรดและทำซ้ำขั้นตอนเดิมรวมทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร (Chiou *et al.*, 2004)

##### 3.2.2.2.2.3 ประเมินลักษณะเนื้อสัมผัส

นำเนื้อหอยเป่าฮื้อที่ได้มาหั่นให้มีขนาดประมาณ 1×1 เซนติเมตร วัดค่าความแข็ง (Hardness) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส Instron โดยใช้หัวโบบิดตัด อัตราเร็วของโบบิดคงที่ 2 มิลลิเมตร/วินาที (Hatae *et al.*, 1995)

3.2.2.2.2.4 วิเคราะห์ water-holding capacity (Li *et al.*, 1993)

3.2.2.2.2.5 วิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (AOAC, 1995)

3.2.2.2.2.6 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟอสเฟตในรูป  $P_2O_5$  (AOAC, 1995)

ข้อ 3.2.2.2.2.5 – 3.2.2.2.2.6 วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992) กำหนดปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่เกิน 30 ppm และสารประกอบฟอสเฟตในรูป  $P_2O_5$  ไม่เกิน 0.5%

### 3.2.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าอื้อในรีทอร์ตแพคเกจ

#### 3.2.3.1 คุณภาพของหอยเป่าอื้อ

##### 3.2.3.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าอื้อ

นำเนื้อหอยเป่าอื้อที่ล้างทำความสะอาดแล้วมาสับให้ละเอียด วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อหอยเป่าอื้อ ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เกล็ด และคาร์โบไฮเดรต (A.O.A.C., 1995) วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

##### 3.2.3.1.2 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าอื้อ

นำเนื้อหอยเป่าอื้อทั้งตัวมาวัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Instron Texture Analyzer (5565, Instron, USA) ใช้หัววัดแบบใบมีดตัด (Warner – Bratzler Meat Shear Blade) อัตราเร็วของใบมีดคงที่ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที วิเคราะห์ 10 ซ้ำ รายงานเป็นค่าแรงต้านทานการตัดขาด (cutting force) (ศิรินทรา บุญสำเร็จ, 2544)

##### 3.2.3.1.3 ความสดของหอยเป่าอื้อ

3.2.3.1.3.1 ปริมาณ Trimethylamine (TMA) ตามวิธี Conway (Hasegawa, 1987) วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

3.2.3.1.3.2 ปริมาณ Total Volatile Base (TVB) ตามวิธี Conway (Hasegawa, 1987) วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

3.2.3.1.3.3 ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารอนุพันธ์

วิเคราะห์ปริมาณ ATP และสารอนุพันธ์ ดังนี้ adenosine 5'- triphosphate (ATP), adenosine 5'- diphosphate (ADP), adenosine 5'- monophosphate (AMP), inosine 5'- monophosphate (IMP), adenosine (AdR), inosine (HxR) และ hypoxanthine (Hx) ด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) จากการเตรียมสารสกัดจากเนื้อหอยเป่าอื้อ (Hatae *et al.*, 1995) โดยใช้คอลัมน์ Pursuit C8 ขนาด 4.6 x 150 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาค 3 ไมครอน เครื่องตรวจวัด (2487 Dual  $\lambda$  Absorbance Detector, Waters) ใช้สารละลายโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ เป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่ อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตร/นาที วิเคราะห์ 6 ซ้ำ และคำนวณดัชนีบอกความสดของสัตว์น้ำ คือ ค่า K และ ค่า K' ตามสมการที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ (Chiou *et al.*, 2002)

$$K - \text{value (\%)} = \frac{(HxR + Hx) \times 100}{(ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx)} \quad (3.6)$$

$$K' - \text{value (\%)} = \frac{(IMP + HxR + Hx) \times 100}{(ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx)} \quad (3.7)$$

### 3.2.3.2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป้าอื้อ

เตรียมซูปโดยใช้สูตรเริ่มต้น 4 สูตร ได้แก่ สูตรซูปเสฉวน (บริษัท ป๊อปป เนทเวอร์ค จำกัด, 2547) สูตรซูปกระเพาะปลา (กรมการจัดหางาน, 2548) สูตรซูปกระเพาะปลา (อิงศักดิ์ จงเลิศเจษฎาวงศ์, 2545) และสูตรซูปกระเพาะปลา (ดารามาศ แก้วแดง, 2547)

ประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบความชอบ (preference test) ให้คะแนนแบบ hedonic สเกล 9 ระดับ ในด้านสี (color) กลิ่น (odor) รสชาติ (taste) ความหนืด (viscosity) และความชอบโดยรวม (overall acceptance) เพื่อเลือกสูตรซูปที่ผู้บริโภคพอใจมากที่สุดเป็นสูตรควบคุมในงานวิจัยขั้นต่อไป โดยใช้ผู้ทดสอบแบบไม่ฝึกฝน (untrained panelists) จำนวน 50 คน (Anna, 1998)

วางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957)

### 3.2.3.3 สมบัติด้านความหนืดของแป้ง

#### 3.2.3.3.1 สมบัติด้านความหนืดของเจลแป้งข้าวโพดและแป้งดัดแปรที่ใช้แทนที่แป้งข้าวโพด

แป้งข้าวโพดและแป้งดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวาง 3 ชนิด ได้แก่ Resistamyl<sup>®</sup> 347 (Berli Jucker Specialties Ltd.), National<sup>®</sup> Frigex (National Starch and Chemical Ltd.) และ Farinex<sup>®</sup> VA70 (Winner Group Enterprise Ltd.) ที่นำมาใช้แทนที่แป้งข้าวโพดทั้งหมดในสูตร วิเคราะห์ความหนืดของเจลแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (4D, Newport Scientific Pty Ltd., Australia) เปรียบเทียบที่ความเข้มข้น 6% โดยน้ำหนักแห้งเท่ากันทุกตัวอย่าง (Newport Scientific, 1995) เพื่อศึกษา pasting properties และเสถียรภาพของเจลแป้งข้าวโพดและแป้งดัดแปรทั้ง 3 ชนิด ทดลอง 2 ซ้ำ

#### 3.2.3.3.2 ปริมาณแป้งดัดแปรที่เหมาะสมในการแทนที่แป้งข้าวโพด

เตรียมซูปตามสูตรควบคุมที่เลือกได้จากข้อ 3.2.3.2 โดยใช้แป้งดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางทั้ง 3 ชนิด จากข้อ 3.2.3.3.1 มาแทนที่แป้งข้าวโพดทั้งหมดในสูตร และแปรปริมาณการแทนที่ของแป้งดัดแปรแต่ละชนิด เพื่อให้ได้ความหนืดของซูปใกล้เคียงกับซูปสูตรควบคุม

เลือกกระดับการแทนที่ของแป้งดัดแปรแต่ละชนิดจากการศึกษาสมบัติด้านความหนืดของซูปที่เตรียมจากแป้งดัดแปรทั้ง 3 ชนิด เทียบกับซูปสูตรควบคุมที่เตรียมจากแป้งข้าวโพด ด้วยเครื่อง Bohlin Rheometer (C – VOR, Malvern Instruments Ltd., UK) ที่อุณหภูมิ 25°C ความหนืดของซูปที่วัดได้เป็นค่าความหนืดปรากฏที่อัตราเลื่อน 100 s<sup>-1</sup> ซึ่งเป็นตัวแทนอัตราเลื่อนที่เกิดขึ้นในช่องปากของมนุษย์ (Shama, Parkinson, and Sherman, 1973) วิเคราะห์ 6 ซ้ำ

### 3.2.3.4 กระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป้าอื้อในรีทอร์ตเพาซ์

#### 3.2.3.4.1 การเตรียมเนื้อหอยเป้าอื้อลวก

ลวกเนื้อหอยเป้าอื้อเพื่อไล่อากาศออกจากช่องว่างในเนื้อเยื่อและลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน โดยนำเนื้อหอยเป้าอื้อทั้งตัวที่ล้างทำความสะอาดแล้วมาลวกในน้ำเดือด 5 วินาที จุ่มในน้ำประปาเพื่อหยุดการลวก หั่นเนื้อหอยเป้าอื้อเป็น 2 ส่วนเท่ากันตามความยาวลำตัว

#### 3.2.3.4.2 เวลาในการฆ่าเชื้อซูปหอยเป้าอื้อในรีทอร์ตเพาซ์

เตรียมซูปตามสูตรควบคุมที่เลือกได้จากข้อ 3.2.3.2 โดยแทนที่แป้งข้าวโพดทั้งหมดในสูตรด้วยแป้งดัดแปรแต่ละชนิดตามปริมาณการแทนที่จากข้อ 3.2.3.3.2 น้ำหนักบรรจุ 150 กรัม อัตราส่วนเนื้อหอยเป้าอื้อลวก:ซูป เป็น 1:2 โดยน้ำหนัก บรรจุซูปหอยเป้าอื้อขณะร้อนลงในรีทอร์ตเพาซ์ PET12/NYLON15/ALU7/PPP70 ขนาด 13 cm x 17 cm

(บริษัท พิล์มมาสเตอร์ จำกัด) ปิดผนึกซองด้วยเครื่อง heat sealer (RPBS 2/P, Rich Engineering Co., Ltd., Thailand) นำเข้าเครื่องฆ่าเชื้อชนิด hot water (RCS – 60SPXTG, Hisaka Works Ltd., Japan) ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 121°C ความดัน 0.2 MPa บันทึกอุณหภูมิตลอดกระบวนการฆ่าเชื้อ นำข้อมูลอุณหภูมิกับเวลามาสร้างกราฟการแทรกผ่านความร้อน เพื่อคำนวณหาเวลาที่ต้องการในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ซูปฮอยเป้าฮื้อให้ได้ค่า  $F_0$  ตามต้องการ โดย FAO กำหนดให้ผลิตภัณฑ์ซูปฮอยเป้าฮื้อกระป๋องฆ่าเชื้อให้ได้ค่า  $F_0 \geq 2.8$  นาที (FAO, 2005) แต่ผลิตภัณฑ์ซูปฮอยเป้าฮื้อที่ผลิตในทางการค้าใช้ค่า  $F_0 = 4-5$  นาที (ไพบูลย์ธรรมรัตน์วาศิก, 2532 อ้างถึงใน เนื่อน้อง บำราบพาล, 2543) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ใช้ค่า  $F_0 = 4$  นาที เป็นเกณฑ์ในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ซูปฮอยเป้าฮื้อ

#### 3.2.3.4.3 แป้งคัดแปรที่เหมาะสมกับกระบวนการฆ่าเชื้อ

ซูปฮอยเป้าฮื้อที่เตรียมจากแป้งคัดแปรทั้ง 3 ชนิดหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อแล้วจากข้อ 3.2.3.4.2 นำมาเลือกสูตรที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการงานวิจัยขั้นต่อไป จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบความชอบให้คะแนนแบบ hedonic scale 9 ระดับ ในด้านลักษณะปรากฏ (appearance) ความหนืด (viscosity) ความรู้สึกขณะอยู่ในปาก (mouthfeel) และความชอบโดยรวม (overall acceptance) และใช้แบบทดสอบแบบ Quantitative Descriptive Analysis with scoring (QDA) สเกล 8 ระดับ ในด้านลักษณะปรากฏ ความหนืด และความรู้สึกขณะอยู่ในปาก เลือกสูตรที่ผู้บริโภคพอใจมากที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบแบบไม่ฝึกฝน 50 คน (Anna, 1998)

วางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957)

#### 3.2.3.4.4 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางจุลชีววิทยาของซูปฮอยเป้าฮื้อก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ

วิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางจุลชีววิทยาของซูปฮอยเป้าฮื้อสูตรที่เลือกได้จากข้อ 3.2.3.4.3 ก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ ดังนี้

##### 3.2.3.4.4.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

###### 3.2.3.4.4.1.1 ความหนืดของซูปฮอยเป้าฮื้อ

วัดสมบัติด้านความหนืดของซูปฮอยเป้าฮื้อด้วยเครื่อง Bohlin Rheometer (C – VOR, Malvern Instruments Ltd., UK) ความหนืดของซูปที่วัดได้เป็นค่าความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน  $100s^{-1}$  อุณหภูมิ 25°C วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ 6 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957)

###### 3.2.3.4.4.1.2 สีของเนื้อฮอยเป้าฮื้อและซูปฮอยเป้าฮื้อ

วัดสีตัวอย่างฮอยเป้าฮื้อและซูปฮอยเป้าฮื้อ โดยใช้ระบบ Hunter (L, a, b) ด้วยเครื่อง Minolta Chroma meter (CR 300 Series, Minolta, Tokyo, Japan) วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ 10 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957)

###### 3.2.3.4.4.1.3 เนื้อสัมผัสของเนื้อฮอยเป้าฮื้อ

วัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อฮอยเป้าฮื้อด้วยเครื่อง Instron Texture Analyzer (5565, Instron, USA) ใช้หัววัดแบบใบมีดตัด (Warner – Bratzler Meat Shear Blade) อัตราเร็วของใบมีดคงที่ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที รายงานเป็นค่าแรงต้านทานการตัดขาด (cutting force) ตามวิธีของศิรินทรา บุญสำเริง (2544) วางแผนการทดลองแบบ CRD

วิเคราะห์ 10 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957)

#### 3.2.3.4.4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count), flat sour, *Thermophilic anaerobe* และ *Putrefactive anaerobe* ตามวิธีของ มอก.335 เล่ม 1 (2523)

#### 3.2.3.5 ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าอื้อในรีทอร์ตแพซ

เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าอื้อในรีทอร์ตแพซที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว (เลือกได้จากข้อ 3.2.3.4.3) ที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C และอุณหภูมิห้อง (25 – 28°C) และติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยที่อุณหภูมิเร่งและอุณหภูมิห้องตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทุก 1 และ 2 สัปดาห์ ตามลำดับ

##### 3.2.3.5.1 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ (acceptance tests) ในด้านความหนืดและสีของซูปหอยเป่าอื้อ เนื้อสัมผัสและสีของเนื้อหอยเป่าอื้อ และกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ โดยใช้สเกลแบบ Hedonic 9 ระดับ ใช้ผู้ทดสอบแบบไม่ฝึกฝนจำนวน 15 คน (Chai, Baker and Hotchkiss, 1983; Mohan *et al.*, 2006) เพื่อทราบเวลาที่ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพที่อุณหภูมิเร่งทั้ง 2 อุณหภูมิ แล้วใช้สมการเปรียบเทียบค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่ออุณหภูมิต่างกัน 10°C ( $Q_{10}$  equation) ทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง (Labuza and Schmidl, 1985)

วางแผนการทดลองแบบ RCBD วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957)

##### 3.2.3.5.2 คุณภาพทางกายภาพ

ติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดและสีของซูปหอยเป่าอื้อ เนื้อสัมผัสและสีของเนื้อหอยเป่าอื้อ เช่นเดียวกับข้อ 3.2.3.4.4.1

##### 3.2.3.5.3 คุณภาพทางเคมี

ติดตามการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าอื้อโดยวิธี SPME-GC-MS โดยใช้ polydimethylsiloxane fiber (Supelco, USA) เครื่อง GC (6890 N, Agilent Technologies, USA) ใช้คอลัมน์ชนิด silica capillary column HP – INNOWAX (ขนาด 30 m x 0.32 mm x 0.25  $\mu$ m) โดยมี polyethylene glycol เป็น nonpolar stationary phase (19091N – 113, Agilent Technologies, USA) และเครื่อง MS (MSD 5973, Agilent Technologies, USA)

วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957)

### 3.3 การอบแห้งหอยเป่าอื้อ

#### 3.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าอื้อ

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ของหอยเป่าอื้อที่แกะเปลือกและเอาเครื่องในออกแล้ว ด้วยวิธีของ AOAC (1995)

### 3.3.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหอยเป่าฮ้ออบแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อน

#### 3.3.2.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหอยเป่าฮ้ออบแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิขาเข้า

##### คงที่ (Constant inlet air temperature)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ โดยนำหอยเป่าฮ้อจำนวน 45 ตัวไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel dryer) ใช้ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที แปรอุณหภูมิอบแห้ง 4 ระดับ ได้แก่ 40, 55, 75 และ 90°C อบแห้งจนกระทั่งหอยเป่าฮ้อมีค่า  $a_w$  น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.7 นำหอยเป่าฮ้ออบแห้งที่ได้มาตรวจสอบคุณภาพดังนี้

3.3.2.1.1 วัดสีหอยเป่าฮ้อ ด้วยระบบ L, a, b โดย Minolta Chroma meter (CR 300 Series, Tokyu, Japan)

3.3.2.1.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส โดย Instron Texture Analyzer ด้วย Warner-Bratzler Blade ความเร็ว 2 มิลลิเมตรต่อวินาที

3.3.2.1.3 ค่าวอเตอร์แอคติวิตี ( $a_w$ ) ด้วยเครื่อง  $a_w$  Analyzer (Aqua lab Model Series 3 TE, USA)

3.3.2.1.4 ปริมาณความชื้น (AOAC, 1995)

3.3.2.1.5 ความสามารถในการดูดน้ำคืน (ดัดแปลงจาก Donsi, Ferrari and Matteo, 2001)

แช่หอยเป่าฮ้ออบแห้งในน้ำที่อุณหภูมิ 50°C โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Heto Lab Equipment, Denmark) นาน 2 ชม. แล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณความสามารถในการดูดน้ำคืน ตามสมการที่ 3.8

$$\text{ความสามารถในการดูดน้ำคืน} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \quad (3.8)$$

เมื่อ  $W_1$  = น้ำหนักของหอยเป่าฮ้อก่อนคืนรูป (กรัม)

$W_2$  = น้ำหนักของหอยเป่าฮ้อหลังคืนรูป (กรัม)

##### 3.3.2.1.6 การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

วิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ราและยีสต์ *Vibrio* spp. Coliform bacteria, *Staphylococcus aureus* และ *Clostridium perfringens* (AOAC, 1995)

3.3.2.1.7 ประเมินผลทางประสาทสัมผัส แบบ Hedonic Scale 9 คะแนน ซึ่งประเมินคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมของหอยเป่าฮ้ออบแห้งและคืนรูป โดยใช้ผู้ทดสอบแบบไม่ฝึกฝนจำนวน 15 คน วางแผนการทดลองแบบ RCBD ทดลอง 2 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1992) คัดเลือกภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งโดยพิจารณาจากค่าความแข็งของหอยเป่าฮ้อคืนรูปต่ำความสามารถในการดูดน้ำคืน และคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูง

#### 3.3.2.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหอยเป่าฮ้ออบแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิขาเข้า

##### เข้าแบบเป็นขั้น (Stepwise change of inlet air temperature)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ โดยนำหอยเป่าฮ้อจำนวน 45 ตัวไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ ใช้ความเร็วลม 1.5 เมตรต่อวินาที แปรภาวะอบแห้งดังนี้ (1) อบแห้งที่ 75°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C (2) อบแห้งที่ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C และ (3) อบแห้งที่ 75°C นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C อบแห้งจนกระทั่งหอยเป่าฮ้อมีค่า  $a_w$  น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.7 นำหอยเป่าฮ้ออบแห้งที่ได้มาตรวจสอบคุณภาพเช่นเดียวกับข้อ 3.3.2.1

### 3.4 การผลิตสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหอยเป่าอื้อขนาดเล็ก

#### 3.4.1 คุณภาพของหอยเป่าอื้อส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าอื้อชนิด *H. asinina*

ใช้หอยเป่าอื้อขนาดเล็กซึ่งไม่ได้ขนาดตามต้องการที่จะนำไปบริโภคสดหรือแปรรูปในรูปแบบต่างๆและส่วนของเครื่องในของหอยเป่าอื้อชนิด *H. asinina* จากสถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิต เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี โดยหอยเป่าอื้อมีขนาดประมาณ 100 ตัว/กิโลกรัม

##### 3.4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าอื้อ

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน และปริมาณเถ้า (AOAC, 1995)

##### 3.4.1.2 ปริมาณ AMP ในส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าอื้อ

วิเคราะห์ปริมาณ AMP จากการเตรียมสารสกัดด้วยวิธี HPLC (Hatae *et al.*, 1995)

##### 3.4.1.3 ปริมาณกรดอะมิโนในส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าอื้อ

วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนจากการเตรียมสารสกัดด้วยวิธี HPLC (Hatae *et al.*, 1995)

#### 3.4.2 ปัจจัยที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเนื้อหอยเป่าอื้อ

##### 3.4.2.1 อุณหภูมิและค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเนื้อหอยเป่าอื้อ

นำเนื้อหอยเป่าอื้อปริมาณ 15 กรัม มาสับละเอียด ผสมส่วนของหอยเป่าอื้อสับละเอียดกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ย่อยโปรตีนโดยใช้ Flavourzyme® 1.0% ของน้ำหนักหอย เป่าอื้ออุณหภูมิการย่อยที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C และที่ pH 5.0, 6.0 และ 7.0 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

##### 3.4.2.1.1 ระดับการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเป่าอื้อ โดยการคำนวณและหาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี

Biuret method (Copeland, 1994)

นำโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอื้อไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Copeland, 1994) และปริมาณโปรตีนที่ละลายได้โดยตกตะกอนกับสารละลาย trichloro acetic acid (TCA) 10% แล้วแยกส่วนของเหลวใสไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ (Copeland, 1994) แล้วหาระดับการย่อยสลายได้จากสมการที่ 3.9

$$\text{ระดับการย่อยสลาย (DH)} = \frac{\text{ปริมาณโปรตีนหลังจากตกตะกอนด้วย 10\% TCA} \times 100}{\text{ปริมาณโปรตีนทั้งหมด}} \quad (3.9)$$

วางแผนการทดลองแบบ Symmetric Factorial Design ขนาด 3×3 ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992) แล้วเลือกอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการย่อยสลายของเอนไซม์ Flavourzyme® โดยพิจารณาจากค่าระดับการย่อยสลาย

3.4.2.1.2 ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอื้อ ด้วยวิธี HPLC (Hatae *et al.*, 1995) วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนอันเนื่องมาจากเอนไซม์ ปริมาณกรดอะมิโนในเนื้อหอยเป่าอื้อเมื่อไม่ใช้เอนไซม์ และคำนวณปริมาณกรดอะมิโนที่ก่อให้เกิดรสขม และรสหวาน

ในการทดลองจะวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในเอนไซม์ Flavourzyme® ด้วยเพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาว่ามีผลต่อปริมาณการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตหรือไม่

เลือกภาวะที่เหมาะสมในการย่อยจากปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในการย่อยสลายต่างๆ โดยเลือกภาวะที่ให้โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอ้อมีกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าอ้อมสูงสุด และกรดอะมิโนที่ให้รสขมต่ำสุด

#### 3.4.2.2 เวลาที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเนื้อหอยเป่าอ้อม

เลือกภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.2.1 แล้วศึกษาเวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยโปรตีน นำเนื้อหอยเป่าอ้อมปริมาณ 15 กรัม มาสับละเอียด ผสมเนื้อหอยเป่าอ้อมสับละเอียดกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ย่อยโปรตีนโดยใช้ Flavourzyme® 1.0% ของน้ำหนักหอย ที่อุณหภูมิและค่า pH ที่เหมาะสมของเอนไซม์ ซึ่งเลือกจากข้อ 3.4.2.1 เป็นเวลา 30, 60, 90, 120 และ 180 นาที

**3.4.2.2.1 ระดับการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเป่าอ้อม** โดยการคำนวณและหาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Biuret method เช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.1.1

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992) แล้วเลือกเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายของเอนไซม์ Flavourzyme® โดยพิจารณาจากค่าระดับการย่อยสลาย

**3.4.2.2.2 ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอ้อม** ด้วยวิธี HPLC วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนอื่นเนื่องมาจากเอนไซม์ ปริมาณกรดอะมิโนในเนื้อหอยเป่าอ้อมเมื่อไม่ใช้เอนไซม์ และคำนวณปริมาณกรดอะมิโนที่ก่อให้เกิดรสขม และรสหวาน เช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.1.2

#### 3.4.2.2.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอ้อม

ทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Descriptive Analysis with Scoring ใช้ผู้ทดสอบทั้งฝึกฝนจำนวน 10 คน (Piggott, 1984) คัดเลือกและฝึกฝนผู้ทดสอบที่มีความสามารถในการแยกความแตกต่างด้านความแรงของกลิ่นรสหอยเป่าอ้อมได้จำนวน 10 คน จาก 30 คน โดยนำสารปรุงแต่งกลิ่นรสหอยเป่าอ้อมทางการค้ามาละลายน้ำให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 4 ระดับคือ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00% โดยน้ำหนัก ใช้วิธีทดสอบแบบ Ranking Test

วางแผนการทดลองแบบ RCBD ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992) แล้วเลือกเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายของเอนไซม์ Flavourzyme® โดยพิจารณาจากคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเซตจากเนื้อหอยเป่าอ้อมที่สูงที่สุดเพื่อนำมาใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารต่อไป

### 3.4.3 ปัจจัยที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเครื่องในหอยเป่าอ้อม

#### 3.4.3.1 อุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเครื่องในหอยเป่าอ้อม

นำเครื่องในหอยเป่าอ้อมปริมาณ 15 กรัม มาสับละเอียด ผสมส่วนของเครื่องในหอยเป่าอ้อมสับละเอียดกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ย่อยโปรตีนโดยใช้ Flavourzyme® 1.0% ของน้ำหนักเครื่องในหอย เป่าอ้อมการย่อยที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C และที่ pH 5.0, 6.0 และ 7.0 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

**3.4.3.1.1 ระดับการย่อยสลายโปรตีนในเครื่องในหอยเป่าอ้อม** โดยการคำนวณและหาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Biuret method เช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.1.1

วางแผนการทดลองแบบ Symmetric Factorial Design ขนาด 3×3 ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992) แล้วเลือกอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดค่าที่เหมาะสมในการย่อยสลายของเอนไซม์ Flavourzyme® โดยพิจารณาจากค่าระดับการย่อยสลาย

**3.4.3.1.2 ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าอื้อ ด้วยวิธี HPLC**  
วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนอันเนื่องมาจากเอนไซม์ ปริมาณกรดอะมิโนในเครื่องในหอยเป่าอื้อเมื่อไม่ใช้เอนไซม์ และคำนวณปริมาณกรดอะมิโนที่ก่อให้เกิดรสขม และรสหวาน เช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.1.2

เลือกภาวะที่เหมาะสมในการย่อยจากปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในการย่อยสลายต่างๆ โดยเลือกภาวะที่ให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าอื้อมีกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าอื้อสูงสุด และกรดอะมิโนที่ทำให้รสขมต่ำสุด

#### **3.4.3.2 เวลาที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเครื่องในหอยเป่าอื้อ**

นำเครื่องในหอยเป่าอื้อปริมาณ 15 กรัม มาสับละเอียด ผสมเครื่องในหอยเป่าอื้อสับละเอียดกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ย่อยโปรตีนโดยใช้ Flavourzyme® 1.0% ของน้ำหนักเครื่องในหอย ที่อุณหภูมิและค่า pH ที่เหมาะสมของเอนไซม์ ซึ่งเลือกจากข้อ 3.4.3.1 เป็นเวลา 30, 60, 90, 120 และ 180 นาที

**3.4.3.2.1 ระดับการย่อยสลายโปรตีนในเครื่องในหอยเป่าอื้อ** โดยคำนวณและหาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Biuret method เช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.1.1

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992) แล้วเลือกเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายของเอนไซม์ Flavourzyme® โดยพิจารณาจากค่าระดับการย่อยสลาย

**3.4.3.2.2 ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าอื้อ ด้วยวิธี HPLC**  
วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนอันเนื่องมาจากเอนไซม์ ปริมาณกรดอะมิโนในเครื่องในหอยเป่าอื้อเมื่อไม่ใช้เอนไซม์ และคำนวณปริมาณกรดอะมิโนที่ก่อให้เกิดรสขม และรสหวาน เช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.1.2

#### **3.4.3.2.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าอื้อ**

ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Descriptive Analysis with Scoring โดยใช้ผู้ทดสอบทั้งฝึกฝนจำนวน 10 คน เช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.2.3 วางแผนการทดลองแบบ RCBD ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1992) แล้วเลือกเวลาที่เหมาะสมในการย่อยสลายของเอนไซม์ Flavourzyme® โดยคัดเลือกภาวะที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในหอยเป่าอื้อที่สูงที่สุดเพื่อนำมาใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารต่อไป

### **3.4.4 สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อ และส่วนเครื่องในของหอยเป่าอื้อ**

**3.4.4.1 ปริมาณ AMP ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าอื้อ**  
ด้วยวิธี HPLC (Hatae *et al.*, 1995)

**3.4.4.2 volatile compounds ที่มีผลต่อกลิ่นรส** เช่น สารพวก aldehyde ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อ ด้วยวิธี Headspace GC-MS (Sun Pan and Kuo, 1994)

**3.4.4.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณโซเดียมคลอไรด์** ด้วยวิธีของ AOAC (1995) และวิธี Mohr method ตามลำดับ ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อ

**3.4.4.4 สมบัติทางกายภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อ**  
วิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ค่า pH ปริมาณ Total Soluble Solids ค่าความหนืด ค่าสี และค่าความขุ่น

#### 4. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* Linnaeus ในหัวข้อ 4.1.1, 4.2.1.1, 4.2.2.1, 4.2.3.1.1, 4.3.1 และ 4.4.1 ด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC (1995) สามารถประมวลผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.1 พบว่าหอยเป่าฮื้อมีปริมาณความชื้นและโปรตีนสูงแต่มีปริมาณไขมันต่ำ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อหอยเป่าฮื้อสด (โดยน้ำหนักเปียก)

| องค์ประกอบทางเคมี     |                         | ความชื้น     | โปรตีน       | ไขมัน       | เถ้า        | คาร์โบไฮเดรต |
|-----------------------|-------------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| ตอนที่ 1              | เนื้อ<br>(20 กรัม)      | 82.10 ± 0.9  | 14.70 ± 1.1  | 0.30 ± 0.1  | 1.20 ± 0.2  | 1.70         |
| ตอนที่ 2.1            | เนื้อ<br>(25 – 30 กรัม) | 84.32 ± 0.36 | 14.39 ± 0.32 | 0.27 ± 0.21 | 1.02 ± 0.17 | 2.00         |
| ตอนที่ 2.2            | เนื้อ<br>(25 – 30 กรัม) | 84.32 ± 0.36 | 12.74 ± 0.78 | 0.62 ± 0.10 | 1.02 ± 0.17 | 1.30         |
| ตอนที่ 2.3            | เนื้อ<br>(25 – 30 กรัม) | 82.43 ± 0.45 | 14.08 ± 0.24 | 0.81 ± 0.09 | 1.02 ± 0.17 | 1.66         |
| ตอนที่ 3              | เนื้อ<br>(35 – 40 กรัม) | 84.60 ± 0.61 | 10.41 ± 0.27 | 1.89 ± 0.04 | 1.02 ± 0.08 | 2.08         |
| ตอนที่ 4<br>(10 กรัม) | เนื้อ                   | 83.78 ± 0.61 | 14.91 ± 1.74 | 0.28 ± 0.16 | 1.02 ± 0.02 | —            |
|                       | เครื่องใน               | 83.65 ± 0.75 | 11.20 ± 0.77 | 3.95 ± 0.47 | 1.16 ± 0.12 | —            |

หมายเหตุ: ตอนที่ 1 และ 4 ใช้วัตถุดิบหอยเป่าฮื้อจากสถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิตเกาะสีชัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี

ตอนที่ 2 และ 3 ใช้วัตถุดิบหอยเป่าฮื้อจากฟาร์มเป่าฮื้ออันดามัน จังหวัดตรัง

การที่ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮื้อแตกต่างกันจะส่งผลให้กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏแตกต่างกัน (Olley and Thrower, 1977) ซึ่งปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสัตว์น้ำที่แตกต่างกันนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พันธุ์ แหล่งที่อยู่ อาหาร รวมทั้งขนาด (นงลักษณ์ สุทธิวิช, 2531) สอดคล้องกับงานวิจัยของอุบลวรรณ พึ่งนิม (2546) ที่พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* และ *H. ovina* ซึ่งมีน้ำหนักตัว 20 กรัม มีปริมาณความชื้น โปรตีน และเถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Hatae และคณะ (1995)

พบว่าฤดูการเก็บส่งผลต่อปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของหอยเป่าฮือชนิด *H. discus* โดยช่วงฤดูร้อนปริมาณโปรตีนจะสูงขึ้นในขณะที่ปริมาณความชื้นต่ำลง

#### 4.1 การยืดอายุการเก็บของหอยเป่าฮือทั้งตัวในระยะสั้น โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

##### 4.1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮือโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

##### 4.1.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษา

การทดลองวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุโดยใช้เครื่อง headspace gas analyzer (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd. Witt-Gasetechnik GmbH & Co.KG D-58454 Witten, Germany) ตลอดระยะเวลาการเก็บ พบว่าในภาชนะบรรจุที่เป็นบรรยากาศปกติจะมีการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตลอดระยะเวลาการเก็บอย่างมีนัยสำคัญดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮือโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่ | ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้ (%) |        |                                                            |                                                            |                                                            |                                      |                                                            |
|--------|-----------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|        | Air                                     | Vacuum | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:O <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0      | ND                                      | ND     | 39.7 <sup>a</sup> ± 0.4                                    | 40.0 <sup>a</sup> ± 0.1                                    | 40.4 <sup>a</sup> ± 0.6                                    | 60.8 <sup>a</sup> ± 0.6              | 60.8 <sup>a</sup> ± 0.4                                    |
| 1      | ND                                      | ND     | 38.0 <sup>b</sup> ± 0.2                                    | 38.8 <sup>a</sup> ± 0.3                                    | 38.4 <sup>ab</sup> ± 0.6                                   | 59.1 <sup>a</sup> ± 1.3              | 60.0 <sup>a</sup> ± 0.1                                    |
| 3      | 0.3 <sup>c</sup> ± 0.1                  | ND     | 36.5 <sup>c</sup> ± 0.7                                    | 36.7 <sup>b</sup> ± 0.6                                    | 36.4 <sup>bc</sup> ± 0.5                                   | 56.1 <sup>b</sup> ± 1.5              | 58.2 <sup>b</sup> ± 0.4                                    |
| 5      | 0.6 <sup>d</sup> ± 0.1                  | ND     | 36.2 <sup>c</sup> ± 0.1                                    | 33.8 <sup>c</sup> ± 0.4                                    | 35.1 <sup>c</sup> ± 0.1                                    | 53.5 <sup>c</sup> ± 1.2              | 55.9 <sup>c</sup> ± 0.4                                    |
| 7      | 0.7 <sup>d</sup> ± 0.1                  | ND     | 35.2 <sup>d</sup> ± 0.2                                    | 33.6 <sup>c</sup> ± 0.9                                    | 34.2 <sup>cd</sup> ± 0.5                                   | 51.3 <sup>cd</sup> ± 1.2             | 53.1 <sup>d</sup> ± 0.9                                    |
| 9      | 1.0 <sup>c</sup> ± 0.1                  | ND     | 34.9 <sup>d</sup> ± 0.2                                    | 33.5 <sup>c</sup> ± 0.7                                    | 33.7 <sup>cde</sup> ± 0.2                                  | 50.7 <sup>de</sup> ± 1.0             | 50.5 <sup>c</sup> ± 0.8                                    |
| 11     | 1.3 <sup>b</sup> ± 0.1                  | ND     | 34.4 <sup>d</sup> ± 0.3                                    | 33.4 <sup>c</sup> ± 0.6                                    | 32.0 <sup>de</sup> ± 0.8                                   | 48.5 <sup>ef</sup> ± 1.1             | 49.2 <sup>ef</sup> ± 0.6                                   |
| 13     | 1.5 <sup>b</sup> ± 0.1                  | ND     | 33.3 <sup>c</sup> ± 0.4                                    | 32.5 <sup>cd</sup> ± 0.7                                   | 31.1 <sup>c</sup> ± 1.3                                    | 47.8 <sup>f</sup> ± 1.1              | 48.1 <sup>f</sup> ± 1.3                                    |
| 15     | 1.9 <sup>a</sup> ± 0.1                  | ND     | 33.0 <sup>c</sup> ± 0                                      | 31.9 <sup>d</sup> ± 0.6                                    | 28.0 <sup>f</sup> ± 2.9                                    | 47.1 <sup>f</sup> ± 0.3              | 45.7 <sup>e</sup> ± 1.0                                    |

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้ง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุที่เป็นสภาพบรรยากาศปกติจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถเจริญและเกิดการหายใจได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการรักษาเช่นเดียวกับปลา tilapia ที่เก็บในบรรยากาศปกติซึ่งพบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเช่นกัน (Reddy, Villanueva, and Kautter, 1995) เช่นเดียวกับผลของ Lannelongue และคณะ (1982c) ที่พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเก็บอาหารในบรรยากาศปกติจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการหายใจของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ภายในชิ้นอาหาร

## การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากหอยเป่าฮ็อตโดยใช้เทคโนโลยีการแปรรูปและการบรรจุ

### Development of various food products from *Haliotis asinina* Linnaeus, 1758 using conventional and innovative food processing and packaging technologies

#### 1. บทนำ

หอยเป่าฮ็อตเป็นหอยทะเลฝาเดียวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและปัจจุบันกำลังเป็นที่ต้องการของตลาดโลก เนื่องจากมีกลิ่นรสเฉพาะตัวและเนื้อสัมผัสที่ดี เป็นอาหารที่อุดมคุณค่าโปรตีนในขณะที่มีไขมันและแคลอรีต่ำ (จักรพันธุ์ กังวาล, 2547; สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2547) และบางคนยังมีความเชื่อว่าเป็นอาหารเสริมมงคล จึงได้รับความนิยมในการบริโภคมากในประเทศแถบเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีน ไต้หวัน และหลายประเทศในแถบยุโรปและอเมริกา แต่สำหรับในประเทศไทยยังมีการบริโภคไม่แพร่หลายนัก ส่วนใหญ่บริโภคในระดับภัตตาคาร ซึ่งการบริโภคในรูปแบบหอยเป่าฮ็อตแปรรูปหรือบรรจุกระป๋องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น (พายัพ ยังปักษ์, 2541)

ในอดีตหอยเป่าฮ็อตที่นำมาแปรรูปส่วนใหญ่จะเป็นผลผลิตที่จับได้จากธรรมชาติ ส่งผลให้ในปัจจุบันนี้จำนวนหอยเป่าฮ็อตจากธรรมชาติทั่วโลกลดลงเป็นอย่างมาก จึงมีผู้สนใจการเพาะเลี้ยงหอยเป่าฮ็อตในฟาร์มเพาะเลี้ยงกันมากขึ้น (Oakes and Ponte, 1996) ในประเทศไทยมีการพัฒนาและส่งเสริมการเพาะเลี้ยงหอยเป่าฮ็อตเชิงพาณิชย์เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะสายพันธุ์ *H. asinina* มีความเป็นไปได้ทางธุรกิจค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีสัดส่วนของเนื้อที่ใช้เป็นอาหารมาก และมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุดเมื่อเทียบกับหอยเป่าฮ็อตทุกชนิดทั่วโลก จึงเป็นเป้าหมายสำคัญที่จะพัฒนาการเพาะเลี้ยงหอยเป่าฮ็อตสายพันธุ์ไทยสู่ตลาดโลกเชิงพาณิชย์ โดยประเทศไทยสามารถผลิตหอยเป่าฮ็อตเข้าสู่ตลาดโลกได้ปริมาณถึง 500–1,000 ตัน/ปี (จักรพันธุ์ กังวาล, 2547; Jarayabhand and Paphavasit, 1996) เดิมหอยเป่าฮ็อตที่บริโภคในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นหอยที่นำเข้าจากต่างประเทศในรูปแบบของผลิตภัณฑ์แปรรูปซึ่งมักมีราคาสูง ดังนั้นประเทศไทยจึงมีความจำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการแปรรูปหอยเป่าฮ็อตสายพันธุ์ไทยจากการเพาะเลี้ยงเชิงพาณิชย์ภายในประเทศเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อรองรับผลผลิตที่ได้จากการเพาะเลี้ยงที่เริ่มมีมากขึ้นในอนาคต นอกจากจะช่วยลดมูลค่าการนำเข้า มีส่วนช่วยสนับสนุนการเพาะเลี้ยงให้ผู้เพาะเลี้ยงมีตลาดเพิ่มมากขึ้น เพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และเพิ่มมูลค่าให้กับหอยเป่าฮ็อตแล้ว ยังสามารถผลิตเป็นสินค้าส่งออกเพื่อนำรายได้เข้าสู่ประเทศอีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งหอยเป่าฮ็อตสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้หลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮ็อตสดที่ยืดอายุการเก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุร่วมกับการเก็บรักษาแบบแช่เย็น ซึ่งจะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาหอยเป่าฮ็อตได้ยาวนานขึ้น ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปโดยบรรจุในภาชนะบรรจุที่ช่วยอำนวยความสะดวก ปลอดภัย และสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องแช่เย็นเช่นเดียวกับอาหารกระป๋อง ผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮ็อตอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาอาหารได้นานขึ้นและสะดวกแก่การขนส่ง และผลิตภัณฑ์สารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารจากส่วนเหลือของหอยเป่าฮ็อตจากการแปรรูปหรือหอยที่โตช้าโดยผลิตเป็นโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหอยเป่าฮ็อต เป็นต้น

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากหอยเป่าฮ็อต *Haliotis asinina* Linnaeus, 1758 ซึ่งเป็นหอยเป่าฮ็อตที่ผลิตได้ในประเทศ (ขนาดเล็ก หรือ cocktail size) โดยใช้เทคโนโลยีด้านการแปรรูปอาหารและเทคโนโลยีการบรรจุ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาหอยเป่าฮ็อตสด พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ที่มีความหลากหลาย รวมทั้งใช้ประโยชน์จากส่วนเหลือของหอยเป่าฮ็อตจากการแปรรูปหรือหอยที่โตช้าผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุของทุกภาวะที่มีการปรับสภาพบรรยากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกันคือ ในช่วง 3 หรือ 5 วันแรกของการเก็บรักษาปริมาณก๊าซจะลดลงจากตอนเริ่มต้น จากนั้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะค่อนข้างคงที่และเริ่มลดลงอีกครั้งหลังวันที่ 11 ของการเก็บรักษา เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุที่มีการปรับสภาพบรรยากาศลดลงในทุกภาวะ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายเข้าไปในชิ้นอาหารหรือชิ้นหอยเป่าอื้อได้ อีกทั้งยังเข้าไปมีผลโดยตรงต่อเซลล์ของจุลินทรีย์จึงทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงในช่วงนี้ ซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณจุลินทรีย์และค่า pH ด้วย โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุลดลงทำให้ค่า pH ลดลงด้วย ส่งผลให้จุลินทรีย์เจริญได้ช้าลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Barnett Conrad และ Nelson (1987) ที่เก็บรักษาปลา trout โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 80% และการทดลองของ Ruiz-Capillas และ Moral (2001) ที่เก็บรักษาปลา hake ในบรรยากาศปกติและปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 40 และ 60% นั้น ก็พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจะลดลงเนื่องจากละลายเข้าไปในชิ้นปลา hake และส่งผลให้ pH ของเนื้อปลาลดลงด้วย โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายเข้าไปในชิ้นอาหารได้ทั้งส่วนที่เป็น aqueous medium และส่วนที่เป็น tissue lipids จึงทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรจุภัณฑ์ลดลงระหว่างการเก็บรักษา โดยวิธีการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ (Bugueno *et al.*, 2003) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์โดยตรง เนื่องจากมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ decarboxylation ในเซลล์ของจุลินทรีย์จึงทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์เกิดช้าลง นอกจากนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีผลต่อการซึมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์และกรดคาร์บอนิกที่เกิดขึ้นจะเป็นพิษต่อเซลล์ของจุลินทรีย์ (Villemure, Simard, and Picard, 1986) ดังนั้นปริมาณจุลินทรีย์ในหอยเป่าอื้อจึงลดลงในช่วงแรกของการเก็บรักษา

การสิ้นสุดของเวลาในการเก็บรักษาสังเกตได้จากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในตอนหลัง เนื่องจากการเจริญและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและทำให้ผลิตภัณฑ์หมดอายุลง โดย Goncalves Lopez - Caballero และ Nunes (2003) เก็บกึ่ง *Parapenaeus longirostris* โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 40 และ 45% พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจะลดลงในช่วง 2 วันแรกของการเก็บรักษาเพราะละลายเข้าไปในชิ้นอาหารและจะเริ่มคงที่หลังจากผ่านไป 4 วัน ส่วนการเก็บกึ่ง *Pandalus platyceros* โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 50 และ 100% พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุลดลงระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากละลายเข้าไปในเนื้อกุ้งได้เช่นเดียวกัน แต่จะเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายเนื่องจากการหายใจของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ในเนื้อกุ้ง (Layrisse and Matches, 1984)

#### 4.1.2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุที่วัดโดยใช้เครื่อง headspace gas analyzer (Chamber Machines Vicchi Engineering Co., Ltd. Witt-Gasetechnik GmbH & Co. KG D-58454 Witten, Germany) ในภาชนะบรรจุที่เป็นบรรยากาศปกติจะค่อยๆลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ตลอดระยะเวลาการเก็บ แสดงผลดังตารางที่ 4.3 เมื่อเริ่มต้นในภาชนะบรรจุที่เป็นบรรยากาศปกติมีปริมาณก๊าซออกซิเจนอยู่ 21.8% แต่ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาคือวันที่ 15 เหลือเพียง 16.2% ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุที่บรรยากาศปกติจะค่อยๆลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บเช่นเดียวกับการทดลองกับปลา tilapia ที่เก็บในบรรยากาศปกติพบว่าก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุจะค่อยๆลดลง (Reddy, Villanueva, and Kautter, 1995) ส่วน Goncalves Lopez-Caballero และ Nunes (2003) พบว่าการเก็บกึ่ง *Parapenaeus longirostris* ไว้ในภาชนะบรรจุที่สภาพบรรยากาศปกติ ปริมาณก๊าซออกซิเจนจะเริ่มลดลงหลังจากเก็บไว้ 4 วัน ซึ่งการลดลงของก๊าซ

ออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุที่บรรยากาศปกตินั้นเกิดจากจุลินทรีย์และเมตาบอลิซึมภายในชั้นอาหารซึ่งต้องใช้ก๊าซออกซิเจน (Reddy *et al.*, 1994, 1997)

**ตารางที่ 4.3** การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจนระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮ็อตโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่ | ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่วัดได้ (%) |        |                                                            |                                                            |                                                            |                                      |                                                            |
|--------|---------------------------------|--------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|        | Air                             | Vacuum | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:O <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0      | 21.8 <sup>a</sup> ± 0.4         | ND     | 41.1 <sup>a</sup> ± 1.6                                    | 31.4 <sup>a</sup> ± 1.3                                    | 21.0 <sup>a</sup> ± 0.1                                    | 40.1 <sup>a</sup> ± 0.1              | 20.5 <sup>a</sup> ± 0.7                                    |
| 1      | 21.5 <sup>ab</sup> ± 0.7        | ND     | 41.1 <sup>a</sup> ± 1.6                                    | 31.3 <sup>a</sup> ± 1.3                                    | 21.0 <sup>a</sup> ± 0.1                                    | 41.0 <sup>a</sup> ± 0.4              | 20.6 <sup>a</sup> ± 0.6                                    |
| 3      | 21.1 <sup>abc</sup> ± 0.1       | ND     | 40.5 <sup>ab</sup> ± 0.7                                   | 30.5 <sup>a</sup> ± 0.7                                    | 20.0 <sup>a</sup> ± 0                                      | 39.8 <sup>a</sup> ± 0.4              | 20.3 <sup>a</sup> ± 0.4                                    |
| 5      | 20.0 <sup>abcd</sup> ± 1.4      | ND     | 40.3 <sup>abc</sup> ± 1.1                                  | 30.5 <sup>a</sup> ± 0.7                                    | 20.0 <sup>a</sup> ± 0                                      | 39.8 <sup>a</sup> ± 0.4              | 20.0 <sup>ab</sup> ± 0                                     |
| 7      | 19.5 <sup>bcd</sup> ± 0.7       | ND     | 40.2 <sup>abc</sup> ± 1.7                                  | 30.4 <sup>a</sup> ± 0.9                                    | 19.9 <sup>a</sup> ± 0                                      | 39.3 <sup>a</sup> ± 0.4              | 20.0 <sup>ab</sup> ± 0.7                                   |
| 9      | 19.0 <sup>cde</sup> ± 0         | ND     | 40.7 <sup>abc</sup> ± 2.3                                  | 29.6 <sup>ab</sup> ± 0.9                                   | 19.2 <sup>a</sup> ± 2.1                                    | 35.5 <sup>b</sup> ± 1.0              | 19.0 <sup>b</sup> ± 0.4                                    |
| 11     | 18.4 <sup>de</sup> ± 0.5        | ND     | 37.2 <sup>bc</sup> ± 0.8                                   | 27.7 <sup>bc</sup> ± 0.3                                   | 15.3 <sup>b</sup> ± 0.7                                    | 32.6 <sup>bc</sup> ± 3.3             | 17.1 <sup>c</sup> ± 0.7                                    |
| 13     | 17.0 <sup>ef</sup> ± 1.4        | ND     | 37.3 <sup>bc</sup> ± 1.0                                   | 27.8 <sup>bc</sup> ± 0.9                                   | 14.8 <sup>b</sup> ± 0.2                                    | 31.3 <sup>c</sup> ± 1.8              | 16.3 <sup>c</sup> ± 0.4                                    |
| 15     | 16.2 <sup>f</sup> ± 1.3         | ND     | 37.3 <sup>c</sup> ± 1.0                                    | 26.0 <sup>c</sup> ± 0.1                                    | 14.2 <sup>b</sup> ± 0.2                                    | 30.5 <sup>c</sup> ± 0.7              | 15.1 <sup>d</sup> ± 0.3                                    |

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้ง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

ในขณะที่ก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุที่มีการปรับสภาพบรรยากาศจะค่อนข้างคงที่ในช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษาและจะค่อย ๆ ลดลงหลังจากวันที่ 7 อย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการทดลองของ Ruiz-Capillas และ Moral (2004) พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนจะลดลงเล็กน้อยระหว่างการเก็บ Norway lobster โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทั้งสองภาวะคือ CO<sub>2</sub>60:O<sub>2</sub>15:N<sub>2</sub>25 และ CO<sub>2</sub>40:O<sub>2</sub>40:N<sub>2</sub>20 โดยอธิบายว่าการลดลงของก๊าซออกซิเจนเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์และเมตาบอลิซึมภายในเนื้อเยื่ออาหาร การลดลงของก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุที่เป็นบรรยากาศปกติจะใกล้เคียงกับการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ 2 ภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนอยู่ใกล้เคียงกับบรรยากาศปกติคือ CO<sub>2</sub>40:O<sub>2</sub>20:N<sub>2</sub>40 และ CO<sub>2</sub>60:O<sub>2</sub>20:N<sub>2</sub>20 ซึ่งวันสุดท้ายของการเก็บรักษาก็พบว่าเหลือก๊าซออกซิเจนใกล้เคียงกับการเก็บในบรรยากาศปกติ แต่ในภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนปริมาณสูงคือที่ 40% การลดลงของก๊าซออกซิเจนจะไม่ค่อยสัมพันธ์กันอาจเป็นเพราะปริมาณก๊าซที่ค่อนข้างสูงอาจทำให้เกิดความแปรปรวนสูง

#### 4.1.2.3 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ระหว่างการเก็บรักษา

ค่า pH ของหอยเป่าฮ็อตสดมีค่าประมาณ 6.66 (ตารางที่ 4.4) ซึ่งใกล้เคียงกับค่า pH ของหอยเป่าฮ็อตพันธุ์ *Haliotis diversicolor* ที่รายงานไว้โดย Chiou และคณะ (2002) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.57 เมื่อหอยตายในเนื้อเยื่อของหอยจะเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซิสจึงทำให้เกิดกรดแลคติกขึ้น ค่า pH ของหอยเป่าฮ็อตจึงลดลงเล็กน้อยในช่วงแรกของการเก็บรักษา ซึ่ง Baldwin และคณะ (1992) รายงานว่าหอยเป่าฮ็อตพันธุ์ *Haliotis iris* ในประเทศนิวซีแลนด์มีค่า pH เท่ากับ 6.55 เมื่อเก็บไว้ 1 วัน ที่อุณหภูมิ 5.5 องศาเซลเซียส และค่า pH จะลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซิสแบบไม่ใช้ออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อ

ระหว่างการเก็บหอยเป่าฮือในบรรยากาศปกติและสภาพสุญญากาศพบว่าค่า pH ตลอดอายุการเก็บไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงจากเริ่มต้น ค่า pH ของหอยที่เก็บในสภาพสุญญากาศลดลงเพียงเล็กน้อยในวันแรก และเพิ่มขึ้นอีกในวันที่ 3 สอดคล้องกับการเก็บ swordfish ในบรรยากาศปกติพบว่า pH จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Oberlender *et al.*, 1983) Parkin และ Brown (1983) พบว่าการเก็บรักษาปู *Cancer magister* ในบรรยากาศปกติค่า pH เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตลอดการเก็บรักษา เช่นเดียวกับการเก็บรักษากุ้ง brown shrimp (*Penaeus aztecus*) (Lannelongue *et al.*, 1982b) และการเก็บรักษากุ้ง freshwater crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) (Wang and Brown, 1983) ในบรรยากาศปกติซึ่งพบว่าค่า pH สูงขึ้นตลอดการเก็บเช่นกัน การเพิ่มขึ้นของค่า pH ของอาหารที่เก็บในบรรยากาศปกตินั้นเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียที่เข้าไปสลายโปรตีนในเนื้อกุ้งทำให้เกิด volatile amine เช่น แอมโมเนีย เป็นต้น ค่า pH จึงสูงขึ้น (Layrisse and Matches, 1984, Reddy *et al.*, 1994, Reddy, Villanueva, and Kautter, 1995) ในขณะที่ Lannelongue และคณะ (1982a) พบว่าค่า pH ของ swordfish ลดลงเล็กน้อยเนื่องจากเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของเนื้อเยื่อและจุลินทรีย์

ภายในภาชนะบรรจุที่มีการปรับสภาพบรรยากาศนั้นมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ ทำให้ค่า pH ของหอยเป่าฮือลดลงมากในช่วงแรกของการเก็บรักษา ( $p \leq 0.05$ ) เช่นเดียวกับการทดลองของ Lannelongue และคณะ (1982) รายงานว่าภาวะที่เป็นกรดจะเกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษากุ้ง brown shrimp (*Penaeus aztecus*) ในช่วงวันแรกๆ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายเข้าไปในชิ้นอาหารจึงช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ค่า pH ของหอยเป่าฮือที่เก็บในบรรยากาศปกติและในสุญญากาศจึงสูงกว่าหอยเป่าฮือที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ ( $p \leq 0.05$ ) ตลอดระยะเวลาการเก็บ เนื่องจากหอยเป่าฮือนี้น้ำเป็นองค์ประกอบจำนวนมากและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถละลายน้ำและเกิดเป็นกรดคาร์บอนิกจึงทำให้ pH ลดลง (Wang and Brown, 1983, Parkin and Brown, 1983) ดังนั้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจึงลดลงจำนวนหนึ่งโดยละลายเข้าไปในชิ้นหอยเป่าฮือจึงทำให้ค่า pH ของหอยเป่าฮือลดลงไปจากเดิม หลังจากนั้น pH ก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นแต่ก็ยังต่ำกว่าค่า pH เริ่มต้น เพราะปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเกิดเป็นสารประกอบพวกเอมีนที่มีความเป็นด่างจึงทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้น

แต่การลดลงของค่า pH ในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นสัมพันธ์กับการลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุ แต่จะไม่สัมพันธ์กับค่า TMA และ TVB ซึ่งมีค่าต่ำมาก (Ruiz-Capillas and Moral, 2001) โดย Lannelongue และคณะ (1982) อธิบายว่าการปรับสภาพบรรยากาศซึ่งมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บรรจุอยู่ด้วยนั้นจะทำให้ค่า pH ของหอยเป่าฮือลดลงมากในช่วงแรกของการเก็บรักษา จากนั้น pH ก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากเก็บไว้เป็นเวลา 5 วัน การที่ pH ลดลงในช่วงแรกนั้นเกิดจากการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในชิ้นอาหารซึ่งจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของบัพเฟอร์ในชิ้นอาหารด้วย โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายเข้าไปในส่วนที่ละลายน้ำได้ ทำให้ชิ้นอาหารมีค่า pH ลดลง และค่า pH จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยระหว่างการเก็บเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ (Bugueno *et al.*, 2003) การเพิ่มขึ้นของค่า pH จะสัมพันธ์กับการสร้าง volatile amines จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ แต่ก็อาจเกิดจากการผลิตแอมโมเนียจากเอนไซม์ภายในชิ้นอาหารก็ได้ (Goncalves, Lopez-Caballero, and Nunes, 2003)

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ระหว่างการเก็บรักษาหอยน้ำจืดโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| ค่า pH ที่วัดได้ |                            |                              |                                                        |                                                        |                                                        |                                                        |
|------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| วันที่           | Air                        | Vacuum                       | CO <sub>2</sub> 40:O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | CO <sub>2</sub> 40:O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | CO <sub>2</sub> 40:O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0 <sup>NS</sup>  | 6.66 <sup>ab</sup> ± 0.07  | 6.66 <sup>abc</sup> ± 0.07   | 6.66 <sup>a</sup> ± 0.07                               | 6.66 <sup>a</sup> ± 0.07                               | 6.66 <sup>a</sup> ± 0.07                               | 6.66 <sup>a</sup> ± 0.07                               |
| 1                | 6.63 <sup>Ab</sup> ± 0.05  | 6.58 <sup>Ac</sup> ± 0.03    | 6.38 <sup>BCbc</sup> ± 0.10                            | 6.42 <sup>Bbc</sup> ± 0.06                             | 6.42 <sup>Bcd</sup> ± 0.03                             | 6.41 <sup>BCb</sup> ± 0.06                             |
| 3                | 6.60 <sup>Ab</sup> ± 0.02  | 6.62 <sup>Abc</sup> ± 0.04   | 6.27 <sup>BCc</sup> ± 0.08                             | 6.29 <sup>BCc</sup> ± 0.03                             | 6.35 <sup>Bd</sup> ± 0.08                              | 6.23 <sup>Cc</sup> ± 0.03                              |
| 5                | 6.61 <sup>Ab</sup> ± 0.02  | 6.69 <sup>ABab</sup> ± 0.10  | 6.45 <sup>Cb</sup> ± 0.05                              | 6.44 <sup>Cbc</sup> ± 0.04                             | 6.56 <sup>Bab</sup> ± 0.05                             | 6.40 <sup>CDb</sup> ± 0.08                             |
| 7                | 6.60 <sup>Ab</sup> ± 0.10  | 6.66 <sup>ABabc</sup> ± 0.10 | 6.41 <sup>CDbc</sup> ± 0.04                            | 6.47 <sup>BCDbc</sup> ± 0.03                           | 6.56 <sup>ABCab</sup> ± 0.14                           | 6.43 <sup>CDb</sup> ± 0.13                             |
| 9                | 6.61 <sup>Ab</sup> ± 0.01  | 6.67 <sup>Aabc</sup> ± 0.05  | 6.40 <sup>CDbc</sup> ± 0.04                            | 6.46 <sup>BCbc</sup> ± 0.02                            | 6.55 <sup>Bbc</sup> ± 0.05                             | 6.40 <sup>CD</sup> ± 0.06                              |
| 11               | 6.64 <sup>Ab</sup> ± 0.03  | 6.63 <sup>ABbc</sup> ± 0.05  | 6.41 <sup>CDbc</sup> ± 0.17                            | 6.43 <sup>BCDbc</sup> ± 0.19                           | 6.59 <sup>ABCab</sup> ± 0.02                           | 6.44 <sup>ABCDb</sup> ± 0.03                           |
| 13               | 6.66 <sup>Ab</sup> ± 0.02  | 6.68 <sup>Aabc</sup> ± 0.04  | 6.42 <sup>BCbc</sup> ± 0.10                            | 6.47 <sup>BCb</sup> ± 0.14                             | 6.57 <sup>ABab</sup> ± 0.02                            | 6.46 <sup>BCb</sup> ± 0.14                             |
| 15               | 6.69 <sup>ABa</sup> ± 0.03 | 6.74 <sup>Aa</sup> ± 0.06    | 6.39 <sup>Dbc</sup> ± 0.08                             | 6.58 <sup>BCab</sup> ± 0.08                            | 6.58 <sup>BCab</sup> ± 0.04                            | 6.46 <sup>CDb</sup> ± 0.11                             |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05)

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแวนองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05)

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 4.1.2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์

##### 4.1.2.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total plate counts)

ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดที่พบในหอยเป่าอื้อสดเท่ากับ  $4.65 \log \text{CFU/g}$  ดังตารางที่ 4.5 พบว่าเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นทำให้จุลินทรีย์เจริญเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) การเก็บรักษาหอยเป่าอื้อในบรรยากาศปกติและภาวะสุญญากาศร่วมกับการแช่เย็นจะชะลอการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ได้บ้างโดยทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ค่อนข้างคงที่ในช่วง 3 วันแรก เนื่องจากการใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาจะช่วยชะลอเมตาบอลิซึมต่างๆภายในเซลล์ของหอยเป่าอื้อและเซลล์จุลินทรีย์ได้ แต่หลังจากนั้นจำนวนจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หากใช้ปริมาณจุลินทรีย์เท่ากับ  $10^6 \text{CFU/g}$  หรือประมาณ  $6 \log \text{CFU/g}$  เป็นเกณฑ์ในการกำหนดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เนื่องจากเป็นปริมาณที่คาดว่าจะทำให้เกิดการเน่าเสีย (Gram and Dalgaard, 2002) พบว่าการเก็บหอยเป่าอื้อในบรรยากาศปกติมีอายุการเก็บเท่ากับ 5 วัน ส่วนการเก็บในภาวะสุญญากาศจะชะลอการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติโดยจะเก็บได้ 7 วัน

การเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถชะลอการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด โดยสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้บางส่วนจากการที่ปริมาณจุลินทรีย์ลดลงในช่วง 5 วันแรก โดยพบว่าอายุการเก็บของหอยเป่าอื้อที่บรรจุใน  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$ ,  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 20:\text{N}_2 40$ ,  $\text{CO}_2 60:\text{O}_2 40$  และ  $\text{CO}_2 60:\text{O}_2 20:\text{N}_2 20$  มีอายุการเก็บเท่ากับ 11 วัน ส่วนในภาวะ  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 30:\text{N}_2 30$  เท่ากับ 13 วัน โดยมีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Oberlender และคณะ (1983) ที่เก็บรักษาปลา swordfish ในบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดสูงถึง  $10^6 \text{CFU/g}$  เมื่อเก็บไว้นาน 6 วัน ส่วนการเก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 60$  จะมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดสูงถึง  $10^6 \text{CFU/g}$  เมื่อเก็บได้ 14 วัน

ตารางที่ 4.5 ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total Plate Counts) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่          | ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Total Plate Counts) ( $\log \text{CFU/g}$ ) |                      |                                                    |                                                    |                                                    |                                      |                                                    |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                 | Air                                                                 | Vacuum               | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$ | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 30:\text{N}_2 30$ | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 20:\text{N}_2 40$ | $\text{CO}_2 60:$<br>$\text{O}_2 40$ | $\text{CO}_2 60:$<br>$\text{O}_2 20:\text{N}_2 20$ |
| 0 <sup>NS</sup> | $4.65^c \pm 3.60$                                                   | $4.65^c \pm 3.60$    | $4.65^c \pm 3.60$                                  | $4.65^c \pm 3.60$                                  | $4.65^c \pm 3.60$                                  | $4.65^c \pm 3.60$                    | $4.65^c \pm 3.60$                                  |
| 1               | $4.81^{Aa} \pm 3.85$                                                | $4.50^{Bb} \pm 3.33$ | $3.87^{Cc} \pm 2.96$                               | $3.78^{Cc} \pm 3.45$                               | $3.84^{Cc} \pm 2.85$                               | $3.68^{Cc} \pm 2.85$                 | $3.68^{Cc} \pm 2.15$                               |
| 3               | $4.66^{Aa} \pm 3.69$                                                | $4.45^{Bb} \pm 3.15$ | $3.69^{Cc} \pm 3.13$                               | $3.51^{Cc} \pm 2.15$                               | $3.54^{Cc} \pm 1.85$                               | $3.54^{Cc} \pm 1.85$                 | $3.53^{Cc} \pm 2.55$                               |
| 5               | $5.25^{Aa} \pm 4.41$                                                | $4.99^{Bb} \pm 3.63$ | $4.22^{Bc} \pm 3.10$                               | $4.02^B \pm 3.64$                                  | $4.06^{Bd} \pm 3.46$                               | $3.95^{Bb} \pm 3.46$                 | $3.98^{Bb} \pm 3.25$                               |
| 7               | $6.17^{Adc} \pm 4.89$                                               | $5.95^{Bc} \pm 4.69$ | $4.95^{Cc} \pm 4.08$                               | $4.36^{Cb} \pm 4.26$                               | $4.42^{Cd} \pm 3.47$                               | $4.23^{Cb} \pm 3.47$                 | $4.04^{Cb} \pm 3.15$                               |
| 9               | $6.46^{Ad} \pm 5.26$                                                | $6.36^{Bc} \pm 4.15$ | $5.41^{Cc} \pm 4.75$                               | $4.60^{Db} \pm 2.85$                               | $4.79^{Dd} \pm 3.85$                               | $4.30^{Db} \pm 3.85$                 | $4.29^{Db} \pm 3.89$                               |
| 11              | $6.77^{Ac} \pm 6.05$                                                | $6.41^{Bc} \pm 5.61$ | $5.91^{Cb} \pm 5.21$                               | $5.55^{Cb} \pm 3.85$                               | $5.01^{Cdc} \pm 4.39$                              | $5.42^{Cb} \pm 4.39$                 | $5.41^{Cb} \pm 5.30$                               |
| 13              | $7.54^{Ab} \pm 6.85$                                                | $7.04^{Bb} \pm 6.15$ | $6.55^{Ca} \pm 5.86$                               | $5.85^{Cb} \pm 4.63$                               | $6.32^{Cb} \pm 4.45$                               | $6.13^{Cb} \pm 5.86$                 | $6.18^{Cb} \pm 3.85$                               |
| 15              | $7.77^{Aa} \pm 6.45$                                                | $7.53^{Ba} \pm 6.75$ | $6.60^{Ca} \pm 4.85$                               | $6.30^{Ca} \pm 6.15$                               | $6.47^{Ca} \pm 4.93$                               | $6.38^{Ca} \pm 4.93$                 | $6.41^{Ca} \pm 5.93$                               |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

การบรรจุแบบสุญญากาศสามารถลดปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษาได้เมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บในบรรยากาศปกติ เนื่องจากภาวะสุญญากาศสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องการออกซิเจนได้ และการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมีประสิทธิภาพในการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อได้ดีกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ และในสุญญากาศ ซึ่งเป็นผลจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลโดยตรงต่อเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยเมื่อเกิดการเน่าเสีย ของจุลินทรีย์จะทำให้กลิ่นของหอยเป่าอื้อเปลี่ยนไปคือจะเกิดกลิ่นฉุนของแอมโมเนียซึ่งสังเกตได้จากการทดสอบทาง ประสาทสัมผัส เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาชนะบรรจุที่มีการปรับสภาพบรรยากาศอาจมีผลในการชะลอช่วง log phase ให้ยาวนานออกไปและลดอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (Silva, Harkness, and White, 1993) สอดคล้องกับ งานวิจัยของ Reddy และคณะ (1994) ที่พบว่าปลา tilapia ที่เก็บในบรรยากาศปกติจะมีปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น และเมื่อเริ่ม เกิดการเน่าเสียจะมีเมือกเกิดขึ้นและส่งกลิ่นเหม็น การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะช่วยยืดระยะเวลาช่วง lag phase ของการเจริญของจุลินทรีย์ให้ยาวนานกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติและในภาวะสุญญากาศ เช่นเดียวกับการ เก็บกุ้ง *Pandalus platyceros* ที่อุณหภูมิ 0-2°C ซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นประมาณ  $10^4$  CFU/g ในบรรยากาศปกติสามารถ เก็บได้นาน 12 วันโดยมีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดจึงจะสูงถึง  $10^6$  CFU/g และมีแอมโมเนียเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่การ เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% เก็บได้นาน 16 วันและพบว่า lag phase ของจุลินทรีย์ที่พบในกุ้งที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะยาวนานกว่า lag phase ของ จุลินทรีย์ที่พบในกุ้งที่เก็บในบรรยากาศปกติ (Layrisse and Matches, 1984)

การลดปริมาณออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุโดยการปรับสภาพบรรยากาศสามารถยืดอายุการเก็บของ อาหารได้เพราะสามารถลดเมตาบอลิซึมและปฏิกิริยาเคมีที่จะเกิดขึ้น แต่การเติมออกซิเจนปริมาณน้อยเกินไปจะเป็นการ กระตุ้นการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญได้ ส่วนการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากที่มีอยู่เดิมในบรรยากาศจะทำให้เกิดกรดคาร์บอนิกที่ผิวหน้าของอาหาร จุลินทรีย์ที่อยู่ตามผิวหน้าอาหารจึงต้องพยายาม ปรับตัวโดยการปรับ pH ให้สมดุลกับ pH ที่ผิวหน้าอาหารที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะต้องใช้พลังงานมากทำให้มีพลังงานเหลือ ไปใช้ในการเจริญเติบโตลดลง การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์จึงช้าลง (Labuza, Fu, and Taoukis, 1992) โดยอัตราส่วนก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ช่วง 40-60 นั้นถือว่าเหมาะสมกับการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อเพราะสามารถชะลอการเพิ่มจำนวนของ จุลินทรีย์ได้ดีเช่นเดียวกับการเก็บรักษาปลา finfish (*Archosargus probatocephalus*) ซึ่งพบว่า การเพิ่มขึ้นของก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีผลในการเพิ่มการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ (Lannelongue *et al.*, 1982c) แต่ การเติมก๊าซออกซิเจนก็มีความสำคัญต่อการเจริญของจุลินทรีย์ด้วยเนื่องจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงทำให้ จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนเจริญได้ดี จึงควรเติมก๊าซออกซิเจนลงในภาชนะบรรจุอย่างน้อย 5 เปอร์เซ็นต์เพื่อป้องกันการ เจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Lannelongue *et al.*, 1982) โดยจากผลการทดลองพบว่าปริมาณก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนที่เหมาะสมจะช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาได้ดีที่สุดคือการ ปรับสภาพบรรยากาศที่มีอัตราส่วนก๊าซ  $\text{CO}_2:40:\text{O}_2:30:\text{N}_2:30$

#### 4.1.2.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทนความเย็น (Psychrotrophic bacteria)

แบคทีเรียทนความเย็นเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่มีความสำคัญต่อการเน่าเสียของอาหารทะเลและอาหารที่เก็บ รักษาด้วยความเย็น ในการทดลองนี้มีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในอุณหภูมิแช่เย็นเป็นเวลา 15 วันซึ่งมีความเป็นไปได้สูง ที่จะเกิดการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียกลุ่มนี้จึงต้องวิเคราะห์ปริมาณแบคทีเรียทนความเย็น ซึ่งพบว่าปริมาณแบคทีเรียทน ความเย็นจะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกภาวะการเก็บดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณแบคทีเรียทนความเย็น (Psychrotroph) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าสื่อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่          | Psychrotroph (log CFU/g)  |                           |                                                            |                                                            |                                                            |                                          |                                                            |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|                 | Air                       | Vacuum                    | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0               | ND                        | ND                        | ND                                                         | ND                                                         | ND                                                         | ND                                       | ND                                                         |
| 1 <sup>NS</sup> | 2.72 <sup>f</sup> ±1.62   | 2.51 <sup>d</sup> ±1.45   | 2.48 <sup>d</sup> ±2.15                                    | 2.54 <sup>cd</sup> ±1.85                                   | 2.54 <sup>bc</sup> ±1.85                                   | 2.46 <sup>b</sup> ±2.10                  | 2.44 <sup>bc</sup> ±2.25                                   |
| 3               | 3.31 <sup>Aef</sup> ±1.99 | 3.10 <sup>ABd</sup> ±2.94 | 2.66 <sup>Bd</sup> ±1.92                                   | 2.76 <sup>Bc</sup> ±2.03                                   | 2.81 <sup>Bbc</sup> ±3.33                                  | 2.72 <sup>Bb</sup> ±2.13                 | 2.80 <sup>Bbc</sup> ±2.08                                  |
| 5               | 3.46 <sup>Aef</sup> ±2.53 | 3.29 <sup>Bd</sup> ±2.59  | 2.94 <sup>Cc</sup> ±1.75                                   | 2.72 <sup>Cc</sup> ±1.99                                   | 2.94 <sup>Cbc</sup> ±1.62                                  | 2.91 <sup>Cb</sup> ±1.89                 | 2.88 <sup>Cbc</sup> ±2.05                                  |
| 7               | 3.88 <sup>Ade</sup> ±2.55 | 3.61 <sup>Bd</sup> ±2.39  | 2.96 <sup>Cc</sup> ±1.99                                   | 3.04 <sup>Cb</sup> ±2.15                                   | 3.02 <sup>Cbc</sup> ±2.96                                  | 2.88 <sup>Cb</sup> ±2.67                 | 2.91 <sup>Cbc</sup> ±2.92                                  |
| 9               | 4.04 <sup>Acd</sup> ±2.85 | 3.92 <sup>Bcd</sup> ±3.05 | 3.18 <sup>Cb</sup> ±1.99                                   | 3.09 <sup>Cab</sup> ±2.26                                  | 3.00 <sup>Cbc</sup> ±2.45                                  | 3.12 <sup>Cb</sup> ±2.84                 | 3.03 <sup>Cbc</sup> ±2.40                                  |
| 11              | 4.16 <sup>Ac</sup> ±3.00  | 4.09 <sup>Bc</sup> ±3.03  | 3.17 <sup>Cb</sup> ±2.34                                   | 3.08 <sup>Cab</sup> ±2.75                                  | 3.07 <sup>Cbc</sup> ±1.15                                  | 3.13 <sup>Cb</sup> ±1.85                 | 3.22 <sup>Cbc</sup> ±2.33                                  |
| 13              | 4.79 <sup>Ab</sup> ±3.72  | 4.57 <sup>Bb</sup> ±3.98  | 3.29 <sup>Cb</sup> ±2.08                                   | 3.22 <sup>Ca</sup> ±1.85                                   | 3.25 <sup>Cab</sup> ±1.75                                  | 3.30 <sup>Cab</sup> ±2.63                | 3.37 <sup>Cb</sup> ±3.28                                   |
| 15              | 5.21 <sup>Aa</sup> ±3.75  | 5.09 <sup>Ba</sup> ±3.45  | 3.16 <sup>Ca</sup> ±2.10                                   | 3.19 <sup>Cab</sup> ±3.23                                  | 3.41 <sup>Ca</sup> ±3.05                                   | 3.74 <sup>Ca</sup> ±2.68                 | 3.68 <sup>Ca</sup> ±3.05                                   |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ND หมายถึงตรวจไม่พบ

เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละวันที่เก็บรักษาพบว่าวันแรกของการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่าง ( $p > 0.05$ ) ของปริมาณแบคทีเรียทนความเย็นระหว่างภาวะในการเก็บรักษา คาดว่าการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำในระยะแรกนั้นแบคทีเรียทนความเย็นยังไม่สามารถเจริญได้เต็มที่ แต่หลังจากเก็บรักษาไว้นาน 3 วันจะพบความแตกต่างระหว่างภาวะการเก็บรักษาอย่างชัดเจน โดยที่บรรยากาศปกติมีจำนวนจุลินทรีย์สูงกว่าภาวะสุญญากาศ ( $p \leq 0.05$ ) และภาวะสุญญากาศมีปริมาณจุลินทรีย์สูงกว่าการเก็บแบบปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) ตลอดระยะเวลาการเก็บ โดยความแตกต่างของการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียทนความเย็น (psychrotrophic bacteria) ระหว่างการเก็บหอยเป่าสื่อในบรรยากาศปกติและการปรับสภาพบรรยากาศปกติมีแนวโน้มสอดคล้องกับการทดลองของ Gimenez, Roncales, และ Beltran (2002) ที่เก็บรักษาปลา rainbow trout ในภาวะสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 50% และแปรอัตราส่วนก๊าซออกซิเจนระหว่าง 10-30% ก๊าซไนโตรเจน 20-40% ซึ่งรายงานว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะมีผลยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทนความเย็นซึ่งเป็นจุลินทรีย์กลุ่มสำคัญที่มักทำให้เกิดการเน่าเสียได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับการแช่เย็น นอกจากนี้การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มี CO<sub>2</sub>25:N<sub>2</sub>75 ที่อุณหภูมิ 0°C สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียทนความเย็นในปลาสดที่มีแบคทีเรียเริ่มต้นประมาณ 10<sup>4</sup> CFU/g ได้ตลอดระยะเวลา 20 วันในการเก็บรักษาเมื่อเทียบกับการเก็บในบรรยากาศปกติที่มีปริมาณสูงเกณฑ์เกณฑ์ที่กำหนดคือ 10<sup>6</sup> CFU/g เมื่อเก็บไว้เพียง 5 วัน (Villemure, Simard, and Picard, 1986) จึงสรุปได้ว่าการบรรจุแบบสุญญากาศสามารถลดการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียทนความเย็นในหอยเป่าสื่อได้ดีเมื่อเทียบกับการเก็บในบรรยากาศปกติ และการบรรจุโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นสามารถลดการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียทนความเย็นได้ดีกว่าการเก็บแบบสุญญากาศ แต่ยังไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณแบคทีเรียทนความเย็นระหว่างการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทั้ง 5 ภาวะ

#### 4.1.2.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณ *Enterobacteriaceae*

การเก็บรักษาหอยเป่าสื้อในบรรยากาศปกติ สูดอากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ ทำให้ปริมาณ *Enterobacteriaceae* เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาดังตารางที่ 4.7 โดยในช่วงแรกยังไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่หลังจากวันที่ 7 ปริมาณ *Enterobacteriaceae* เพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ *Enterobacteriaceae* แต่ละภาวะการเก็บในช่วงเวลาเดียวกันพบว่า การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุและสภาพ สูดอากาศจะช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่ม *Enterobacteriaceae* ได้ดีเมื่อเทียบกับการเก็บในบรรยากาศปกติซึ่งมี ปริมาณออกซิเจนสูงและไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่สูงพอที่จะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Reddy, Villanueva, และ Kautter (1995) ที่พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 75% ภายใน ภาชนะบรรจุสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์พวก *coliform* ซึ่งอยู่ในกลุ่ม *enterobacteriaceae* ได้เพราะจะช่วยยืด lag phase ของการเจริญให้ยาวนานขึ้น

ในช่วงวันที่ 1 ถึง 5 ของการเก็บรักษาหอยเป่าสื้อ พบความแตกต่างของปริมาณ *Enterobacteriaceae* อย่าง มีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนสูงคือ  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$ ,  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 30:\text{N}_2 30$  และ  $\text{CO}_2 60:\text{O}_2 40$  พบ ปริมาณ *Enterobacteriaceae* สูงกว่าภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนต่ำคือ  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 20:\text{N}_2 40$  และ  $\text{CO}_2 60:\text{O}_2 20:\text{N}_2 20$  และภาวะ สูดอากาศที่ไม่มีก๊าซออกซิเจนเลย เมื่อเปรียบเทียบภาวะที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนสูงเท่ากันคือที่  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$  และ  $\text{CO}_2 60:\text{O}_2 40$  พบว่าอัตราส่วน  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$  มีปริมาณ *Enterobacteriaceae* สูงกว่าทั้งๆที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนซึ่งมี ความจำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มนี้อยู่เท่ากัน อาจเป็นเพราะที่ภาวะ  $\text{CO}_2 60:\text{O}_2 40$  มีปริมาณก๊าซคาร์บอนได- ออกไซด์สูงกว่า ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลโดยตรงต่อการชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นภาวะที่มีก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า จึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* ได้ดีกว่า

ตารางที่ 4.7 ปริมาณจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Enterobacteriaceae* ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าสื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศ ภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่          | <i>Enterobacteriaceae</i> (log CFU/g) |                          |                                                    |                                                    |                                                    |                                      |                                                    |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                 | Air                                   | Vacuum                   | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$ | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 30:\text{N}_2 30$ | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 20:\text{N}_2 40$ | $\text{CO}_2 60:$<br>$\text{O}_2 40$ | $\text{CO}_2 60:$<br>$\text{O}_2 20:\text{N}_2 20$ |
| 0 <sup>NS</sup> | 2.70 <sup>d</sup> ±0.85               | 2.70 <sup>c</sup> ±0.85  | 2.70 <sup>c</sup> ±0.85                            | 2.70 <sup>c</sup> ±0.85                            | 2.70 <sup>c</sup> ±0.85                            | 2.70 <sup>c</sup> ±0.85              | 2.70 <sup>c</sup> ±0.85                            |
| 1               | 2.70 <sup>Ad</sup> ±2.15              | 2.51 <sup>Bc</sup> ±1.45 | 2.69 <sup>Ac</sup> ±0.85                           | 2.60 <sup>ABc</sup> ±1.45                          | 2.48 <sup>Bc</sup> ±1.45                           | 2.61 <sup>ABc</sup> ±1.54            | 2.57 <sup>ABc</sup> ±1.62                          |
| 3               | 2.96 <sup>ABd</sup> ±1.69             | 2.50 <sup>Cc</sup> ±1.32 | 3.04 <sup>Ade</sup> ±2.15                          | 2.90 <sup>Bc</sup> ±2.10                           | 2.58 <sup>Cc</sup> ±1.45                           | 2.92 <sup>Bc</sup> ±1.69             | 2.71 <sup>Cc</sup> ±1.85                           |
| 5               | 3.16 <sup>Ad</sup> ±2.55              | 2.80 <sup>Bc</sup> ±1.99 | 3.11 <sup>Ade</sup> ±1.75                          | 3.00 <sup>ABc</sup> ±2.15                          | 2.81 <sup>Bc</sup> ±2.33                           | 2.85 <sup>Bc</sup> ±2.03             | 2.74 <sup>Bc</sup> ±2.17                           |
| 7               | 3.60 <sup>Ad</sup> ±3.15              | 2.95 <sup>Bc</sup> ±2.34 | 3.28 <sup>Bde</sup> ±2.59                          | 3.18 <sup>Bc</sup> ±2.15                           | 3.04 <sup>Bc</sup> ±1.85                           | 3.07 <sup>Bc</sup> ±2.35             | 3.00 <sup>Bc</sup> ±1.15                           |
| 9               | 4.16 <sup>Acd</sup> ±3.69             | 3.66 <sup>Bd</sup> ±2.63 | 3.56 <sup>Bd</sup> ±2.75                           | 3.48 <sup>Bbc</sup> ±2.72                          | 3.44 <sup>Bd</sup> ±2.73                           | 3.38 <sup>Bbc</sup> ±2.75            | 3.32 <sup>Bbc</sup> ±2.15                          |
| 11              | 4.60 <sup>Ac</sup> ±4.15              | 4.10 <sup>Bc</sup> ±2.39 | 3.83 <sup>Bc</sup> ±2.96                           | 3.72 <sup>Bbc</sup> ±2.15                          | 3.70 <sup>Bc</sup> ±2.63                           | 3.61 <sup>Bbc</sup> ±2.93            | 3.58 <sup>Bbc</sup> ±2.38                          |
| 13              | 4.96 <sup>Ab</sup> ±4.47              | 4.28 <sup>Bb</sup> ±2.15 | 3.99 <sup>Bb</sup> ±1.85                           | 3.96 <sup>Bb</sup> ±2.75                           | 3.86 <sup>Bb</sup> ±3.17                           | 3.81 <sup>Bb</sup> ±2.85             | 3.69 <sup>Bb</sup> ±3.08                           |
| 15              | 5.32 <sup>Aa</sup> ±4.45              | 4.71 <sup>Ba</sup> ±3.33 | 4.41 <sup>BCa</sup> ±3.49                          | 4.34 <sup>Ca</sup> ±3.93                           | 4.21 <sup>Ca</sup> ±3.13                           | 4.10 <sup>Ca</sup> ±3.69             | 4.04 <sup>Ca</sup> ±3.63                           |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 4.1.2.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณ *Staphylococcus aureus*

*S. aureus* เป็นจุลินทรีย์ที่มักพบตามผิวหนังของคน เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 7-47.8°C และสามารถเจริญได้อย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 20-45°C มีโอกาสปนเปื้อนระหว่างทำการทดลองได้จึงจำเป็นต้องหาปริมาณเชื้อ *S. aureus* ที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาด้วย แม้ว่าระหว่างทำการทดลองไม่ได้มีการใช้มือจับกับหอยเป่าฮือโดยตรงก็ตามแต่เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาของการทดลองเป็นอุณหภูมิแช่เย็นเท่ากับ 2°C เป็นอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของ *S. aureus* จึงทำให้ไม่พบเชื้อ *S. aureus* ในตัวอย่างหอยเป่าฮือช่วง 13 วันแรกในภาวะที่เป็นบรรยากาศปกติ สูญญากาศและปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ แต่จะพบเชื้อ *S. aureus* เพียงเล็กน้อย (ประมาณ 50 CFU/g) ในวันที่ 15 ของการเก็บรักษาในทุกๆ ภาวะ โดยไม่มีความแตกต่างของปริมาณเชื้อ *S. aureus* ( $p > 0.05$ ) ของแต่ละภาวะ ซึ่งการพบเชื้อ *S. aureus* ไม่มีผลโดยตรงต่อความปลอดภัยของผู้บริโภคเนื่องจากงานวิจัยนี้พบว่าไม่สามารถเก็บรักษาหอยเป่าฮือสดในทุกๆ ภาวะได้ยาวนานถึง 15 วัน เนื่องจากดัชนีอื่นจะเป็นตัวกำหนดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียก่อน ทำให้มีอายุการเก็บหอยเป่าฮือไม่ถึง 15 วัน การลดปัจจัยเสี่ยงในการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ระหว่างการทำการทดลองและการใช้อุณหภูมิต่ำที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ จึงทำให้ *S. aureus* ไม่สามารถเจริญได้ดีระหว่างการเก็บรักษา *S. aureus* นั้นเป็นจุลินทรีย์ประเภท facultative anaerobe ซึ่งมีการรายงานว่า การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 50 หรือ 100% และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°C สามารถยับยั้งการเจริญ *S. aureus* ได้ โดยอุณหภูมิต่ำสุดที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *S. aureus* ในบรรยากาศปกติคือ 5-10°C (Hintlian and Hotchkiss, 1986)

#### 4.1.2.4.5 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณ *Clostridium botulinum*

*C. botulinum* เป็นแบคทีเรียที่เจริญได้ดีในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ (Peck, 1997) การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในภาวะต่างๆ ในการทดลองจึงเสี่ยงต่อการเจริญของแบคทีเรียชนิดนี้ซึ่งทำให้ไม่ปลอดภัยในการบริโภคจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์หาปริมาณแบคทีเรียชนิดนี้ แต่เมื่อทำการทดลองแล้วไม่พบเชื้อ *C. botulinum* ในตัวอย่างหอยเป่าฮือในตัวอย่างหอยเป่าฮือสดและทุกภาวะตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา เนื่องจากการเก็บรักษาโดยการแช่เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 3°C สามารถยับยั้งการเจริญของ *C. botulinum* ได้อย่างสมบูรณ์ (Ashie, Smith, and Simpson, 1996, and Peck, 1997) จึงทำให้การบรรจุแบบสูญญากาศมีความปลอดภัยจาก *C. botulinum* สำหรับภาวะอื่นๆ นั้น นอกจากจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า 3°C เป็นปัจจัยที่ช่วยป้องกันการเจริญของ *C. botulinum* แล้วภายในภาชนะบรรจุยังคงมีก๊าซออกซิเจนในปริมาณสูงพอที่จะยับยั้งการเจริญของเชื้อ *C. botulinum* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย สอดคล้องกับผลการทดลองของ Silva และ White (1994) ที่ไม่พบ *C. botulinum* จากการเก็บรักษา channel catfish ในการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซเท่ากับ CO<sub>2</sub> 25 และ 80% ที่อุณหภูมิ 2°C นั่นคืออุณหภูมิต่ำกว่า 3°C สามารถยับยั้งการเจริญของ *C. botulinum* ได้แม้ว่าเก็บรักษาในภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจนก็ตาม

#### 4.1.2.4.6 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณ *Vibrio sp.*

*Vibrio sp.* เป็นแบคทีเรียก่อโรคที่สามารถปนเปื้อนมากับอาหารทะเลได้จึงจำเป็นต้องตรวจหาจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค ซึ่งไม่พบ *Vibrio sp.* ในตัวอย่างหอยเป่าฮือสดและทุกภาวะตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความเป็นกรดในทุกๆ ภาวะการเก็บจึงไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อในกลุ่ม *Vibrio sp.* ซึ่งเจริญได้ดีในภาวะที่เป็นด่างเล็กน้อย นอกจากนั้นจุลินทรีย์กลุ่ม *Vibrio sp.* จะเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 10-44°C และมี optimum temperature คือ 35-37°C (Farber, 1991) แต่ภาวะที่ใช้ในการทดลองคือเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยจากเชื้อในกลุ่ม *Vibrio sp.*

#### 4.1.2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total Volatile Base (TVB) ระหว่างการเก็บรักษา

การวิเคราะห์หาปริมาณ TVB โดยวิธี Conway (Hasegawa, 1987) ปรากฏว่าไม่พบ TVB ในหอยเป่าสด (ตารางที่ 4.8) หอยเป่าสดที่เก็บรักษาในภาวะบรรยากาศปกติและภาวะสุญญากาศจะมีค่า TVB เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5 วันแรกของการเก็บรักษา โดยค่า TVB จะเพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยา autolytic deamination ของกรดอะมิโนอิสระจากกระบวนการ proteolysis และเกิดการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ ในขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์ยังคงต่ำอยู่จึงทำให้ค่า pH ของอาหารไม่สูงมาก แต่หลังจากนั้นปริมาณ TVB จะสูงขึ้นจากการย่อยสลายตัวของเอนไซม์และการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่ทำให้ค่า TVB สูงขึ้นได้แก่ lactic acid bacteria และ *Enterobacteriaceae* ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะสร้างสารที่เป็นด่างและทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นด้วย (Bugueno *et al.*, 2003) แต่หลังจากวันที่ 5 ของการเก็บรักษาหอยเป่าสด TVB จะมีค่าค่อนข้างคงที่อยู่ที่ประมาณ 7 mg/100 g จนสิ้นสุดการเก็บรักษา สอดคล้องกับการทดลองในหอยเป่าสด *H. diversicolor* (Chiou, *et al.*, 2002) ที่พบว่าเมื่อค่า TVB  $2.6 \pm 0.9$  mg/100 g ในหอยสดและเพิ่มขึ้นสูงกว่า 7 mg/100 g เมื่อเก็บหอยไว้ที่ 5°C นาน 3.5 วัน แนวโน้มใกล้เคียงกับการเก็บรักษาหอยนางรมสดในน้ำแข็งของ Murata และ Sakaguchi (1986) ที่ TVB ของหอยนางรมเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาและไม่ใช่ที่ยอมรับเมื่อเก็บไว้นาน 6 วัน การเพิ่มขึ้นของค่า TVB มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียและทำให้หอยนางรมมีกลิ่นแตกต่างไปจากหอยนางรมสดจึงไม่ใช่ที่ยอมรับหากเก็บหอยนางรมแช่ในน้ำแข็งไว้เป็นเวลานาน

ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่า TVB ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าสดโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่ | ค่า TVB (mg/ ตัวอย่าง 100 กรัม) |                          |                                     |                                     |                                     |                                      |                                     |
|--------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
|        | Air                             | Vacuum                   | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 60:O <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:                 |
|        |                                 |                          | O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 |                                      | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0      | ND                              | ND                       | ND                                  | ND                                  | ND                                  | ND                                   | ND                                  |
| 1      | 1.39 <sup>Ac</sup> ±0.05        | ND                       | 1.32 <sup>Ad</sup> ±0.07            | ND                                  | 1.24 <sup>Bc</sup> ±0.04            | 1.32 <sup>Ad</sup> ±0.07             | ND                                  |
| 3      | 3.96 <sup>Ad</sup> ±0.17        | 3.49 <sup>Bb</sup> ±0.62 | 1.34 <sup>Dd</sup> ±0.03            | 1.37 <sup>Dd</sup> ±0.06            | 1.28 <sup>Dbc</sup> ±0.02           | 2.64 <sup>Cc</sup> ±0.06             | ND                                  |
| 5      | 6.77 <sup>Abc</sup> ±0.20       | 6.59 <sup>Aa</sup> ±0.68 | 1.34 <sup>Cd</sup> ±0.09            | 1.45 <sup>Cd</sup> ±0.01            | 1.35 <sup>Cbc</sup> ±0.15           | 2.63 <sup>Bc</sup> ±0.04             | ND                                  |
| 7      | 6.56 <sup>Ac</sup> ±0.40        | 6.51 <sup>Aa</sup> ±0.28 | 2.03 <sup>Cc</sup> ±0.65            | 2.90 <sup>Bc</sup> ±0.02            | 1.36 <sup>Dbc</sup> ±0.12           | 2.75 <sup>Bc</sup> ±0.04             | 1.43 <sup>Dc</sup> ±0.02            |
| 9      | 6.60 <sup>Ac</sup> ±0.47        | 6.71 <sup>Aa</sup> ±0.27 | 2.78 <sup>Bb</sup> ±0.25            | 2.88 <sup>Bc</sup> ±0.11            | 1.36 <sup>Cbc</sup> ±0.04           | 2.92 <sup>Bc</sup> ±0.07             | 1.45 <sup>Cc</sup> ±0.02            |
| 11     | 7.18 <sup>Aab</sup> ±0.17       | 6.82 <sup>Ba</sup> ±0.01 | 3.11 <sup>Dd</sup> ±0.24            | 3.20 <sup>Dd</sup> ±0.20            | 1.38 <sup>Ebc</sup> ±0.09           | 3.56 <sup>Cb</sup> ±0.11             | 3.40 <sup>CDb</sup> ±0.20           |
| 13     | 7.21 <sup>Aa</sup> ±0.24        | 6.66 <sup>Ba</sup> ±0.33 | 3.24 <sup>Cb</sup> ±0.07            | 3.25 <sup>Cb</sup> ±0.04            | 1.41 <sup>Dd</sup> ±0.10            | 6.34 <sup>Ba</sup> ±0.19             | 3.51 <sup>Cb</sup> ±0.11            |
| 15     | 7.34 <sup>Aa</sup> ±0.10        | 6.95 <sup>Aa</sup> ±0.35 | 6.46 <sup>Ba</sup> ±0.26            | 3.51 <sup>Da</sup> ±0.25            | 4.17 <sup>Ca</sup> ±0.05            | 6.41 <sup>Ba</sup> ±0.43             | 3.96 <sup>Ca</sup> ±0.04            |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ND หมายถึงตรวจไม่พบ

การเพิ่มขึ้นของค่า TVB ในหอยเป่าสดที่เก็บในภาวะปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะช้ากว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติและในสภาพสุญญากาศ ( $p \leq 0.05$ ) และภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนสูงจะทำให้เกิด TVB สูงกว่าการเก็บรักษาในภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ สอดคล้องกับการเก็บรักษาปลา finfish โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุเทียบกับการเก็บในบรรยากาศปกติซึ่งพบว่า การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทำให้ค่า TVB เพิ่มขึ้นช้ากว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติเพราะการเจริญของจุลินทรีย์ในภาชนะบรรจุที่มีการปรับสภาพบรรยากาศจะ

ช้ากว่าในบรรยากาศปกติ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมีความจำเพาะในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่สร้างสารจำพวกเอมีนได้ และยังพบว่า การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ  $\text{CO}_2:\text{O}_2:80$  จะมีการสร้างสารเอมีนปริมาณสูงกว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุภาวะอื่นๆ ที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนต่ำกว่า (Lannelongue, *et al.*, 1982c) และพบว่า การเก็บรักษา gutted hake (*Merluccius merluccius* L.) (Ruiz-Capillas and Moral, 2001) และการเก็บรักษา pota และ octopus (Ruiz-Capillas *et al.*, 2002) โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมีปริมาณ TVB ของสัตว์น้ำที่เก็บในภาวะปรับสภาพบรรยากาศในภาชนะบรรจุมีค่าต่ำกว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ เช่นเดียวกัน

ดังนั้นการเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจึงชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า TVB ของหอยเป่าฮื้อได้เมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บรักษาในบรรยากาศปกติและในสภาพสุญญากาศ โดย TVB นั้นจะรวมปริมาณ TMA และแอมโมเนีย ซึ่งสารเหล่านี้มักเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ภายในชิ้นอาหารเอง (Villemure, Simard, and Picard, 1986) การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถลดการเจริญแบคทีเรียทนเย็นและจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญได้ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สร้าง TVB ได้จึงสามารถลด TVB ที่เกิดขึ้นได้ (Lannelongue *et al.* 1982) ในขณะที่ Gimenez, Roncales, และ Beltran (2002) ที่เก็บรักษาปลา rainbow trout โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 50% และแปรอัตราส่วนก๊าซออกซิเจนระหว่าง 10-30% ก๊าซไนโตรเจน 20-40% พบว่าไม่มีความแตกต่างของค่า TVB ระหว่างอัตราส่วนต่างๆ ที่มีการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ การเพิ่มขึ้นของค่า TVB ของหอยเป่าฮื้อที่มีการบรรจุโดยการปรับสภาพบรรยากาศจะเป็นไปอย่างช้าๆ และค่า TVB ของหอยเป่าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศมีค่าไม่สูงนักเมื่อเทียบกับอาหารทะเลชนิดอื่น ๆ นั้น จึงสรุปว่าค่า TVN ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอยเป่าฮื้อ เช่นเดียวกับผลการทดลองเก็บ disk abalone ที่อุณหภูมิ 0 และ 5°C ที่พบว่าค่า TVB ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอยเป่าฮื้อพันธุ์นี้ เนื่องจากค่า TVB จะไม่เพิ่มขึ้นจนกว่าจะเก็บไว้นาน 3 หรือ 5 วัน และจะเพิ่มขึ้นช้ามากระหว่างการเก็บรักษา โดยเมื่อผ่านไป 13 วันจะมีค่าเพียง 10 mg/100g เท่านั้น (Watanabe, Yamanaka, and Yamakawa, 1992b)

#### 4.1.2.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Trimethylamine (TMA) ระหว่างการเก็บรักษา

จากการวิเคราะห์หาปริมาณ TMA โดยวิธี Conway (Hasegawa, 1987) ไม่พบปริมาณของ TMA ในหอยเป่าฮื้อสดและหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติ สุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา คาดว่าหอยเป่าฮื้อมีปริมาณ TMAO ต่ำมากจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น TMA ระหว่างการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสอดคล้องกับการรายงานของ Olley และ Thrower (1977) ที่พบว่า TMA เกิดจากการแตกตัวของ TMAO ซึ่งมีอยู่ในอาหารทะเลสด โดยในหอยเป่าฮื้อ *Halotis gigantean* จะมีค่าต่ำมากจนเกือบจะไม่มีเลย ทั้งนี้ปริมาณของ TMAO และ TMA ที่พบนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์น้ำและสิ่งแวดล้อมด้วย ซึ่ง TMA จะเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการเน่าเสียของปลาหลายชนิด (Ozogul, Ozogul, and Gokbulut, 2006) Murata และ Sakaguchi (1986) ได้ทดลองหาปริมาณ TMAO ในหอยนางรมสดพบว่ามีค่าต่ำมาก คือพบต่ำกว่า 0.5 mg/100g เช่นเดียวกับปลา tilapia สดที่พบปริมาณ TMA ต่ำมากคือประมาณ 0.05 mg/100g (Reddy, Villanueva, and Kautter, 1995) ปลา albacore สดก็มีค่า TMA ต่ำมากประมาณ 1.1 mg/100g เช่นกัน และจะมีค่าสูงเพียง 2.8 mg/100g เมื่อเก็บรักษาโดยการแช่เย็นนานถึง 33 วัน (Price, Melvin, and Bell, 1991) จากการเก็บรักษาปลา tilapia พบว่าอุณหภูมิจะช่วยชะลอการเกิด TMA ได้ โดยมีการทดลองเก็บปลา tilapia ที่อุณหภูมิ 4°C พบว่ามีค่า TMA ต่ำมากใน 6 วันแรก จากเดิมที่มีค่า TMA ที่พบในปลา tilapia สดต่ำอยู่แล้วคือประมาณ 0.07 mg/100g ตัวอย่าง (Reddy *et al.*, 1994) จึงสามารถสรุปได้ว่าการที่

ไม่พบปริมาณ TMA ในตัวอย่างหอยเป่าอื้อเนื่องจากในหอยเป่าอื้อชนิด *Haliotis asinina* มีปริมาณ TMAO ต่ำมากจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็น TMA ระหว่างการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุและ TMA ไม่สามารถใช้เป็นดัชนีในการกำหนดอายุการเก็บของหอยเป่าอื้อได้

#### 4.1.2.7 การเปลี่ยนแปลงด้านประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

##### 4.1.2.7.1 ด้านลักษณะปรากฏ

คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์หอยเป่าอื้อมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์หอยเป่าอื้อจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่ | คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์หอยเป่าอื้อ |                         |                                                            |                                                            |                                                            |                                         |                                                            |
|--------|---------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|        | จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส                        |                         |                                                            |                                                            |                                                            |                                         |                                                            |
|        | Air                                               | Vacuum                  | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub><br>60:O <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 1      | 4.4 <sup>Aa</sup> ±0.7                            | 3.9 <sup>Ba</sup> ±1.0  | 4.4 <sup>Aa</sup> ±0.7                                     | 4.5 <sup>Aa</sup> ±0.5                                     | 4.6 <sup>Aa</sup> ±0.5                                     | 4.6 <sup>Aa</sup> ±0.5                  | 4.5 <sup>Aa</sup> ±0.6                                     |
| 3      | 3.0 <sup>Bb</sup> ±0.9                            | 3.0 <sup>Bb</sup> ±0.8  | 3.6 <sup>ABb</sup> ±1.1                                    | 4.1 <sup>Ab</sup> ±0.9                                     | 3.4 <sup>Bb</sup> ±0.8                                     | 3.4 <sup>Bcd</sup> ±0.9                 | 3.2 <sup>Bb</sup> ±0.8                                     |
| 5      | 2.7 <sup>Cb</sup> ±0.7                            | 2.8 <sup>Cb</sup> ±0.8  | 3.3 <sup>Bb</sup> ±0.7                                     | 3.7 <sup>ABb</sup> ±0.6                                    | 3.8 <sup>ABb</sup> ±0.8                                    | 3.9 <sup>Ab</sup> ±0.7                  | 3.3 <sup>Bb</sup> ±1.0                                     |
| 7      | 2.0 <sup>Bc</sup> ±0.6                            | 2.1 <sup>Bc</sup> ±0.7  | 3.3 <sup>Ab</sup> ±0.5                                     | 3.8 <sup>Ab</sup> ±0.7                                     | 3.4 <sup>Ab</sup> ±0.9                                     | 3.5 <sup>Abc</sup> ±1.0                 | 3.5 <sup>Ab</sup> ±0.8                                     |
| 9      | 1.9 <sup>Bc</sup> ±0.6                            | 1.7 <sup>Bcd</sup> ±0.6 | 2.7 <sup>Ac</sup> ±0.6                                     | 3.0 <sup>Ac</sup> ±0.5                                     | 2.7 <sup>Ac</sup> ±1.1                                     | 2.8 <sup>Ac</sup> ±1.0                  | 3.0 <sup>Ab</sup> ±0.9                                     |
| 11     | 1.4 <sup>Dd</sup> ±0.5                            | 1.4 <sup>Ddc</sup> ±0.5 | 2.3 <sup>Ccd</sup> ±0.6                                    | 3.0 <sup>Ac</sup> ±0.8                                     | 2.5 <sup>BCcd</sup> ±0.6                                   | 2.9 <sup>ABdc</sup> ±0.8                | 2.5 <sup>BCc</sup> ±0.7                                    |
| 13     | 1.0 <sup>Dd</sup> ±0                              | 1.1 <sup>De</sup> ±0.2  | 2.0 <sup>Cd</sup> ±0.9                                     | 2.6 <sup>ACd</sup> ±0.7                                    | 2.1 <sup>BCdc</sup> ±0.8                                   | 2.5 <sup>ABc</sup> ±0.8                 | 2.3 <sup>ABCc</sup> ±0.7                                   |
| 15     | 1.0 <sup>Ed</sup> ±0                              | 1.0 <sup>Ec</sup> ±0    | 2.0 <sup>BCD</sup> ±0.8                                    | 2.4 <sup>ABd</sup> ±1.0                                    | 1.6 <sup>CDe</sup> ±0.8                                    | 2.5 <sup>Ac</sup> ±0.8                  | 1.5 <sup>Dd</sup> ±0.8                                     |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อพิจารณาแต่ละภาวะการเก็บรักษาพบว่า การเก็บในบรรยากาศปกติและในภาวะสุญญากาศจะเก็บผลิตภัณฑ์ได้เพียง 5 วันเมื่อใช้คะแนนเท่ากับ 2.5 เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจตัดสินใจ ในการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถยืดระยะเวลาในการยอมรับทางประสาทสัมผัสออกไปได้มากขึ้น โดยที่ CO<sub>2</sub>40:O<sub>2</sub>40:N<sub>2</sub>20 เก็บได้ 9 วัน CO<sub>2</sub>40:O<sub>2</sub>30:N<sub>2</sub>30 เก็บได้ 13 วัน CO<sub>2</sub>40:O<sub>2</sub>20:N<sub>2</sub>40 เก็บได้ 11 วัน CO<sub>2</sub>60:O<sub>2</sub>40 เก็บได้ 15 วัน และ CO<sub>2</sub>60:O<sub>2</sub>20:N<sub>2</sub>20 เก็บได้ 11 วัน สอดคล้องกับการทดลองของ Goncalves, Lopez-caballero, และ Nunes (2003) ที่พบว่ากุ้ง *Parapenaeus longirostris* เก็บใน CO<sub>2</sub>40:O<sub>2</sub>30:N<sub>2</sub>30 จะได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสมากที่สุด และสรุปไว้ว่าการเก็บรักษากุ้งใน MAP จะทำให้มีอายุการเก็บนานกว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ จากการทดลองพบว่ามีค่าแตกต่าง ( $p \leq 0.05$ ) ของคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏของหอยเป่าอื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศกับหอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ในขณะที่การยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏของหอยเป่าอื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติเทียบกับสุญญากาศจะไม่มีค่าแตกต่าง กล่าวคือการบรรจุแบบสุญญากาศไม่ได้ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับด้านลักษณะปรากฏเพิ่มขึ้น การใช้อัตราส่วน

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 40-60% จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะทำให้หอยเป่าอ้อมมีลักษณะปรากฏที่ดี การเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 20% ในการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุเป็นปริมาณที่ต่ำเกินไปในการช่วยคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏดีขึ้น (Brown *et al.*, 1980) ผลลัพธ์จะมีอายุการเก็บเมื่อใช้ดัชนีการยอมรับทางประสาทสัมผัสสูงกว่าการใช้ดัชนีทางเคมี (Ruiz-Capillas and Moral, 2001)

#### 4.1.2.7.2 ด้านกลิ่น

คะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์หอยเป่าอ้อมจะมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้นดังตารางที่ 4.10 ถ้าใช้คะแนนเท่ากับ 2.5 (หอยเป่าอ้อมมีกลิ่นคาว กลิ่นคล้ายกลิ่นแอมโมเนีย) เป็นเกณฑ์ในการตัดสินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในแต่ละภาวะพบว่า การเก็บหอยเป่าอ้อมในบรรยากาศปกติและภาวะสุญญากาศจะมีอายุการเก็บเท่ากับ 3 วันใกล้เคียงกับการเก็บหอยเป่าอ้อมพันธุ์ *Halotis diversicolor* ที่อุณหภูมิ 5°C ซึ่งมีอายุการเก็บ 3.5 วันเมื่อใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นเป็นเกณฑ์ในการตัดสิน (Chiou *et al.*, 2002) ในภาวะ CO<sub>2</sub>40:O<sub>2</sub>40:N<sub>2</sub>20 สามารถเก็บได้ 9 วัน CO<sub>2</sub>40:O<sub>2</sub>30:N<sub>2</sub>30 เก็บได้ 15 วัน CO<sub>2</sub>40:O<sub>2</sub>20:N<sub>2</sub>40 เก็บได้ 11 วัน CO<sub>2</sub>60:O<sub>2</sub>40 เก็บได้ 15 วัน และ CO<sub>2</sub>60:O<sub>2</sub>20:N<sub>2</sub>20 เก็บได้ 13 วัน สอดคล้องกับผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสกับปลา tilapia จากการทดลองของ Reddy, Villanueva, และ Kautter (1995) ที่พบว่า การเก็บปลา tilapia ไว้ในบรรยากาศปกติปลาจะเกิดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ที่จะสร้างกลิ่นเหม็นขึ้น ทำให้เกิดการไม่ยอมรับทางประสาทสัมผัสเร็วกว่า ในขณะที่การบรรจุโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 75% จะสามารถชะลอการเน่าเสียและการเกิดกลิ่นดังกล่าวได้ยาวนานกว่าเช่นเดียวกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสในการเก็บรักษากุ้ง *Parapenaeus longirostris* ที่พบว่า การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ CO<sub>2</sub>40:O<sub>2</sub>30:N<sub>2</sub>30 และ CO<sub>2</sub>45:O<sub>2</sub>5:N<sub>2</sub>50 จะช่วยให้มีอายุการเก็บนานกว่าในบรรยากาศปกติได้ 2 วัน (Goncalves, Lopez-Caballero, and Nunes, 2003)

ตารางที่ 4.10 คะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์หอยเป่าอ้อมจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าอ้อมโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่          | คะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์หอยเป่าอ้อม |                         |                                                            |                                                            |                                                            |                                          |                                                            |
|-----------------|---------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|                 | จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส                  |                         |                                                            |                                                            |                                                            |                                          |                                                            |
|                 | Air                                         | Vacuum                  | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 1 <sup>NS</sup> | 4.4 <sup>ABa</sup> ±0.6                     | 4.2 <sup>Ba</sup> ±0.7  | 4.6 <sup>Aa</sup> ±0.5                                     | 4.7 <sup>Aa</sup> ±0.5                                     | 4.6 <sup>Aa</sup> ±0.5                                     | 4.6 <sup>Aa</sup> ±0.5                   | 4.6 <sup>Aa</sup> ±0.5                                     |
| 3               | 2.9 <sup>Bb</sup> ±0.8                      | 3.0 <sup>Bb</sup> ±1.0  | 3.6 <sup>Ab</sup> ±0.7                                     | 3.7 <sup>Ab</sup> ±0.9                                     | 3.9 <sup>Ab</sup> ±0.9                                     | 3.6 <sup>Abc</sup> ±0.9                  | 3.6 <sup>Abc</sup> ±0.8                                    |
| 5               | 2.2 <sup>Dc</sup> ±0.6                      | 2.2 <sup>Dc</sup> ±0.5  | 3.3 <sup>Cb</sup> ±0.7                                     | 3.4 <sup>BCbc</sup> ±0.8                                   | 3.8 <sup>ABCb</sup> ±0.8                                   | 3.9 <sup>ABb</sup> ±0.8                  | 4.1 <sup>Ab</sup> ±0.8                                     |
| 7               | 2.1 <sup>Bc</sup> ±0.5                      | 2.2 <sup>Bc</sup> ±0.9  | 3.7 <sup>Ab</sup> ±0.5                                     | 3.8 <sup>Ab</sup> ±0.6                                     | 3.9 <sup>Ab</sup> ±0.6                                     | 3.7 <sup>Abc</sup> ±0.6                  | 3.8 <sup>Abc</sup> ±0.7                                    |
| 9               | 1.6 <sup>Cd</sup> ±0.7                      | 1.9 <sup>Ccd</sup> ±0.8 | 2.6 <sup>Bc</sup> ±0.6                                     | 3.4 <sup>Abc</sup> ±0.6                                    | 3.2 <sup>Ac</sup> ±0.9                                     | 3.4 <sup>Ac</sup> ±0.7                   | 3.4 <sup>Acd</sup> ±0.7                                    |
| 11              | 1.5 <sup>Bd</sup> ±0.5                      | 1.6 <sup>Bdc</sup> ±0.7 | 1.7 <sup>Bd</sup> ±0.7                                     | 3.0 <sup>Ac</sup> ±0.7                                     | 2.8 <sup>Ac</sup> ±0.5                                     | 2.8 <sup>Ad</sup> ±0.8                   | 2.9 <sup>Ade</sup> ±0.7                                    |
| 13              | 1.4 <sup>Cd</sup> ±0.5                      | 1.3 <sup>Cc</sup> ±0.5  | 1.6 <sup>Cd</sup> ±0.7                                     | 2.5 <sup>ABd</sup> ±0.8                                    | 2.3 <sup>Bd</sup> ±0.9                                     | 2.9 <sup>Ad</sup> ±0.8                   | 2.6 <sup>ABc</sup> ±0.9                                    |
| 15              | 1.0 <sup>De</sup> ±0                        | 1.3 <sup>CDc</sup> ±0.4 | 1.8 <sup>Bd</sup> ±0.8                                     | 2.5 <sup>Ad</sup> ±1.0                                     | 1.8 <sup>Bc</sup> ±0.9                                     | 2.6 <sup>Ad</sup> ±0.8                   | 1.6 <sup>BCf</sup> ±0.9                                    |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยทางสถิติ

เมื่อใช้ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นเป็นเกณฑ์พบว่าอายุการเก็บของหอยเป่าอื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและภาวะสูญญากาศลดลงกว่าการใช้ลักษณะปรากฏในการตัดสินใจอย่างเดียวนั้น ในขณะที่ยอมรับหอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุแล้วยังคงใกล้เคียงกับการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ โดยพบความแตกต่าง ( $p \leq 0.05$ ) ของคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นของหอยเป่าอื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและภาวะสูญญากาศ กับหอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุตั้งแต่วันที่ 3 ของการเก็บรักษา คะแนนด้านประสาทสัมผัสของหอยเป่าอื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและภาวะสูญญากาศจะมีค่าต่ำกว่าการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ สอดคล้องกับการทดลองของ Pastoriza และคณะ (1996) ที่พบว่าปลาแซลมอนที่เก็บรักษาในบรรยากาศปกติจะไม่ใช่ที่ยอมรับด้านกลิ่นหลังจากเก็บไว้ 8 วัน ส่วนการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ  $\text{CO}_2 100\%$  จะยังคงยอมรับได้ในวันที่ 20 ส่วนการทดลองของ Wang และ Brown (1983) พบว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุช่วยยืดอายุการเก็บของอาหารได้ โดยเก็บ crayfish ในบรรยากาศปกติจะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเร็วกว่าในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ เท่ากับ  $\text{CO}_2 80:\text{air} 20$  โดยในบรรยากาศปกติจะเกิดกลิ่นเหม็นหลังจาก 7 วัน ส่วน  $\text{CO}_2 80:\text{air} 20$  นั้นผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสยังยอมรับได้ที่ 14 วัน การเกิดกลิ่นเหม็นของ crayfish ที่เก็บในบรรยากาศปกตินั้นเกิดจากจุลินทรีย์เข้าไปใช้โปรตีนและสารเพปไทด์เป็นแหล่งอาหาร จึงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียและเกิดการไม่ยอมรับด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งก็มีแนวโน้มเดียวกันกับผลการทดลองเพราะถ้าเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทั้ง 5 ภาวะพบว่าภาวะที่มี  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$  จะได้รับการยอมรับน้อยกว่าภาวะอื่นๆ เนื่องจากภาวะดังกล่าวมีปริมาณออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุสูงจึงทำให้เกิดการเน่าเสียและเกิดกลิ่นเหม็นเร็วกว่าภาวะอื่นๆ ที่แม้จะมีปริมาณออกซิเจนเท่ากัน แต่ภาวะ  $\text{CO}_2 60:\text{O}_2 40$  มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงด้วยจึงช่วยชะลอการเสื่อมเสียได้ดีกว่า

#### 4.1.2.7.3 ด้านสี

คะแนนเฉลี่ยด้านสีของผลิตภัณฑ์หอยเป่าอื้อแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 คะแนนเฉลี่ยด้านสีของผลิตภัณฑ์หอยเป่าอื้อจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่ | คะแนนเฉลี่ยด้านสีของผลิตภัณฑ์หอยเป่าอื้อจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส |                          |                                                    |                                                    |                                                    |                                      |                                                    |
|--------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|
|        | Air                                                                | Vacuum                   | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$ | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 30:\text{N}_2 30$ | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 20:\text{N}_2 40$ | $\text{CO}_2 60:$<br>$\text{O}_2 40$ | $\text{CO}_2 60:$<br>$\text{O}_2 20:\text{N}_2 20$ |
| 1      | 4.4 <sup>Aa</sup> ±0.5                                             | 3.8 <sup>Ba</sup> ±1.1   | 4.3 <sup>ABa</sup> ±0.9                            | 4.3 <sup>Aa</sup> ±0.7                             | 4.5 <sup>Aa</sup> ±0.6                             | 4.6 <sup>Aa</sup> ±0.5               | 4.6 <sup>Aa</sup> ±0.7                             |
| 3      | 2.9 <sup>Cc</sup> ±0.8                                             | 3.1 <sup>BCbc</sup> ±0.8 | 3.5 <sup>ABbc</sup> ±0.8                           | 3.9 <sup>Aa</sup> ±1.0                             | 3.9 <sup>Ab</sup> ±0.7                             | 3.9 <sup>Ab</sup> ±0.8               | 3.6 <sup>ABb</sup> ±1.0                            |
| 5      | 2.4 <sup>Bd</sup> ±0.5                                             | 2.5 <sup>Bd</sup> ±0.5   | 3.3 <sup>Ac</sup> ±0.7                             | 3.2 <sup>Abc</sup> ±0.9                            | 3.4 <sup>Ac</sup> ±0.8                             | 3.7 <sup>Abc</sup> ±0.9              | 3.6 <sup>Ab</sup> ±0.8                             |
| 7      | 3.2 <sup>Bbc</sup> ±0.6                                            | 3.4 <sup>Bb</sup> ±0.6   | 3.8 <sup>Aab</sup> ±0.4                            | 3.9 <sup>Aa</sup> ±0.5                             | 4.0 <sup>Ab</sup> ±0.6                             | 4.1 <sup>Aab</sup> ±0.6              | 3.9 <sup>Ab</sup> ±0.6                             |
| 9      | 3.1 <sup>Bbc</sup> ±1.0                                            | 2.9 <sup>Bcd</sup> ±0.7  | 3.1 <sup>Bcd</sup> ±0.7                            | 3.4 <sup>ABb</sup> ±0.8                            | 3.3 <sup>ABc</sup> ±0.9                            | 3.4 <sup>ABcd</sup> ±0.8             | 3.8 <sup>Ab</sup> ±0.6                             |
| 11     | 3.4 <sup>Ab</sup> ±0.5                                             | 3.2 <sup>ABbc</sup> ±0.6 | 2.9 <sup>Bdef</sup> ±0.7                           | 3.2 <sup>ABbc</sup> ±0.8                           | 2.7 <sup>Bd</sup> ±0.7                             | 2.8 <sup>Bc</sup> ±0.8               | 2.8 <sup>Bc</sup> ±0.6                             |
| 13     | 3.3 <sup>Ab</sup> ±0.6                                             | 2.5 <sup>Bd</sup> ±0.6   | 2.5 <sup>Bf</sup> ±1.1                             | 2.7 <sup>Bc</sup> ±1.0                             | 2.6 <sup>Bd</sup> ±0.9                             | 2.9 <sup>ABc</sup> ±0.9              | 2.8 <sup>ABc</sup> ±0.8                            |
| 15     | 3.4 <sup>Ab</sup> ±0.5                                             | 2.6 <sup>Bd</sup> ±0.5   | 2.6 <sup>Bef</sup> ±1.1                            | 3.5 <sup>ABbc</sup> ±0.7                           | 1.9 <sup>Cc</sup> ±0.8                             | 3.1 <sup>ABde</sup> ±0.6             | 2.0 <sup>Cd</sup> ±0.7                             |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.11 ถ้าใช้คะแนนเท่ากับ 2.5 (สีมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม) เป็นเกณฑ์ในการตัดสินอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาในแต่ละภาวะ พบว่าทุกภาวะยังคงมีคะแนนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เนื่องจากสีของหอยเป่าฮือไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงและผู้บริโภคยังคงให้คะแนนอยู่ในเกณฑ์ดี ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ว่าต้องการเก็บรักษาหอยให้ยาวนานโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้านสี

#### 4.1.2.8 การเปลี่ยนแปลงสีระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮือ

##### 4.1.2.8.1 การเปลี่ยนแปลงค่า L

การวัดการเปลี่ยนแปลงของค่า L โดยใช้ Chroma meter (Minolta Chroma Meter, CR 300 Series) พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของหอยเป่าฮือที่บรรจุในบรรยากาศปกติและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในตารางที่ 4.12 ยกเว้นการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$  และการบรรจุแบบสุญญากาศที่พบว่าระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ไม่พบความแตกต่างของค่าความสว่างระหว่างอัตราส่วนก๊าซ ยกเว้นในวันที่ 13 ของการเก็บรักษาที่พบว่าค่าความสว่างของหอยเป่าฮือที่เก็บใน  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 20:\text{N}_2 40$  จะต่ำกว่าการเก็บรักษาในภาวะอื่น ๆ เพียงเล็กน้อย ซึ่งวันที่ 13 นั้นก็เป็นวันท้ายๆ ของการเก็บรักษาจึงไม่น่าจะส่งผลต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านสีก็ยังคงมีคะแนนในเกณฑ์ที่ยอมรับได้อยู่

ตารางที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่า L ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮือโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่           | ค่า L ที่วัดได้         |                           |                                                    |                                                                |                                                                |                                                  |                                                                |
|------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|                  | Air <sup>NS</sup>       | Vacuum                    | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$ | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 30:\text{N}_2 30^{\text{NS}}$ | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 20:\text{N}_2 40^{\text{NS}}$ | $\text{CO}_2 60:$<br>$\text{O}_2 40^{\text{NS}}$ | $\text{CO}_2 60:$<br>$\text{O}_2 20:\text{N}_2 20^{\text{NS}}$ |
| 0 <sup>NS</sup>  | 68.6±2.1                | 68.6 <sup>b</sup> ±2.1    | 68.6 <sup>b</sup> ±2.1                             | 68.6±2.1                                                       | 68.6±2.1                                                       | 68.6±2.1                                         | 68.6±2.1                                                       |
| 1 <sup>NS</sup>  | 68.0±0.9                | 67.8 <sup>b</sup> ±1.5    | 68.5 <sup>b</sup> ±1.5                             | 69.1±1.8                                                       | 68.2±1.2                                                       | 69.6±0.9                                         | 67.6±1.9                                                       |
| 3 <sup>NS</sup>  | 68.5±1.5                | 69.6 <sup>ab</sup> ±0.5   | 67.8 <sup>b</sup> ±0.2                             | 69.2±1.4                                                       | 69.9±0.3                                                       | 70.8±1.6                                         | 69.1±1.9                                                       |
| 5 <sup>NS</sup>  | 67.8±2.6                | 68.0 <sup>b</sup> ±2.5    | 69.3 <sup>b</sup> ±1.2                             | 68.1±1.6                                                       | 68.3±3.0                                                       | 69.1±3.0                                         | 69.7±0.7                                                       |
| 7 <sup>NS</sup>  | 68.3±4.5                | 68.0 <sup>b</sup> ±1.3    | 69.8 <sup>ab</sup> ±1.5                            | 68.7±2.7                                                       | 68.3±2.1                                                       | 70.2±0.1                                         | 68.5±5.8                                                       |
| 9 <sup>NS</sup>  | 69.0±3.9                | 68.2 <sup>b</sup> ±0.7    | 68.7 <sup>b</sup> ±0.5                             | 68.4±2.6                                                       | 67.5±4.6                                                       | 67.7±1.5                                         | 69.7±3.1                                                       |
| 11 <sup>NS</sup> | 68.6±0.6                | 69.6 <sup>ab</sup> ±0.9   | 67.8 <sup>b</sup> ±0.7                             | 69.7±1.1                                                       | 67±0                                                           | 68.3±2.2                                         | 68.9±0.5                                                       |
| 13               | 68.4 <sup>AB</sup> ±0.6 | 70.1 <sup>ABab</sup> ±0.5 | 68.7 <sup>ABb</sup> ±1.1                           | 71.6 <sup>A</sup> ±0.3                                         | 69.1 <sup>B</sup> ±2.5                                         | 71.9 <sup>AB</sup> ±3.4                          | 69.1 <sup>AB</sup> ±0.1                                        |
| 15 <sup>NS</sup> | 71.0±1.4                | 72.3 <sup>a</sup> ±2.4    | 71.8 <sup>a</sup> ±0.7                             | 70.2±1.4                                                       | 70.0±0.1                                                       | 71.1±0.2                                         | 70.0±0.5                                                       |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุภาวะ  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$  และการบรรจุแบบสุญญากาศจะมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Silva และ White (1994) ที่ทดลองเก็บ channel catfish โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 และ 80% ที่พบว่าค่าความสว่างของชิ้นอาหารจะเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บ แต่พบว่าไม่มีความแตกต่างของค่าความสว่างระหว่าง

อัตราส่วนก๊าซ ตรงกับการทดลองเก็บปูดำ *Cancer magister* โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ CO<sub>2</sub>:air 20 พบว่าไม่มีความแตกต่างของค่าความสว่างระหว่างการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติและการเก็บใน CO<sub>2</sub>:air 20 (Parkin and Brown, 1983) การเก็บรักษาปลาแซลมอนรวมควันโดยการบรรจุในสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub> 60:40 ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า L เมื่อเทียบกับการบรรจุในบรรยากาศปกติ (Bugueno *et al.*, 2003)

#### 4.1.2.8.2 การเปลี่ยนแปลงค่า a

จากการวัดค่า a ของเนื้อหอยเป่าฮื้อโดยใช้ Minolta Chroma meter ได้ผลดังตารางที่ 4.13 โดยพบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญของระยะเวลาในการเก็บรักษาเนื้อหอยเป่าฮื้อต่อค่า a (ช่วงสีเขียว) ของเนื้อหอยเป่าฮื้อในบรรยากาศปกติและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มี CO<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> 40:40:20 และ CO<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> 60:40:40 แต่การบรรจุแบบสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มี CO<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> 30:30:40, CO<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> 40:20:40 และ CO<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> 60:20:20 มีค่าสีเขียวยเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บ พบความแตกต่างของค่า a ช่วงสีเขียวยอย่างไม่มีนัยสำคัญระหว่างอัตราส่วนก๊าซยกเว้นในวันที่ 1 ของการเก็บรักษาที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราส่วนก๊าซแต่ละอัตราส่วน ซึ่งไม่ได้มีแนวโน้มที่แน่นอน การเก็บรักษาในวันที่ 1 พบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญระหว่างภาวะต่างๆในการเก็บรักษาต่อค่าช่วงสีเขียวย สอดคล้องกับการเก็บรักษาปลาแซลมอนรวมควันโดยการบรรจุในสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub> 60:40:40 ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า a เมื่อเทียบกับการบรรจุในบรรยากาศปกติ (Bugueno *et al.*, 2003) ในขณะที่การทดลองใน channel catfish พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 และ 80% จากการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะเข้าไปทำให้มีสีเขียวยเพิ่มขึ้น คือทำให้ค่า a ลดลงในช่วงแรกแล้วจึงเพิ่มขึ้น (Silva and White, 1994) และการเก็บ swordfish โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มี CO<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> 40:60 และ CO<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> 70:30 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสีขึ้นหลังจากเก็บไว้นาน 11 วัน โดยจะมีสีเขียวยเพิ่มขึ้น (Lannelongue *et al.*, 1982)

ตารางที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่า a ระหว่างการเก็บรักษาเนื้อหอยเป่าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่           | ค่า a ที่วัดได้         |                          |                                                                          |                                                            |                                                            |                                                        |                                                            |
|------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|                  | Air <sup>NS</sup>       | Vacuum                   | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 <sup>NS</sup> | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 40 <sup>NS</sup> | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0 <sup>NS</sup>  | -1.4±0.5                | -1.4±0.5                 | -1.4±0.5                                                                 | -1.4 <sup>ab</sup> ±0.5                                    | -1.4 <sup>ab</sup> ±0.5                                    | -1.4±0.5                                               | -1.4 <sup>abc</sup> ±0.5                                   |
| 1                | -1.8 <sup>AB</sup> ±0.1 | -1.6 <sup>Aab</sup> ±0.1 | -1.5 <sup>A</sup> ±0.3                                                   | -2.1 <sup>Bab</sup> ±0.4                                   | -1.7 <sup>ABabc</sup> ±0                                   | -1.5 <sup>A</sup> ±0.7                                 | -1.5 <sup>Abc</sup> ±0.1                                   |
| 3 <sup>NS</sup>  | -2.1±0.6                | -1.5 <sup>ab</sup> ±0.8  | -1.4±0.2                                                                 | -2.4 <sup>b</sup> ±0.8                                     | -1.4 <sup>ab</sup> ±0.5                                    | -1.8±0                                                 | -1.1 <sup>bc</sup> ±0.1                                    |
| 5 <sup>NS</sup>  | -1.6±0.2                | -1.8 <sup>ab</sup> ±0.4  | -1.4±0                                                                   | -1.5 <sup>ab</sup> ±2.1                                    | -1.5 <sup>ab</sup> ±0                                      | -1.4±0.4                                               | -1.4 <sup>bc</sup> ±0.2                                    |
| 7 <sup>NS</sup>  | -1.9±1.1                | -1.2 <sup>b</sup> ±0.2   | -1.2±0.3                                                                 | -1.6 <sup>ab</sup> ±0.7                                    | -1.1 <sup>a</sup> ±0.5                                     | -1.7±0.2                                               | -1.6 <sup>bc</sup> ±1.3                                    |
| 9 <sup>NS</sup>  | -2.2±0.5                | -2.4 <sup>c</sup> ±0.2   | -1.2±0.5                                                                 | -2.1 <sup>ab</sup> ±1.0                                    | -1.5 <sup>ab</sup> ±0.5                                    | -1.2±0                                                 | -1.7 <sup>bc</sup> ±0.3                                    |
| 11 <sup>NS</sup> | -1.7±0.7                | -0.9 <sup>a</sup> ±0.6   | -1.6±0.3                                                                 | -1.5 <sup>a</sup> ±0.5                                     | -1.6 <sup>ab</sup> ±0.3                                    | -2.0±0.9                                               | -1.3 <sup>bc</sup> ±0                                      |
| 13 <sup>NS</sup> | -1.4±0.4                | -1.0 <sup>a</sup> ±0.2   | -1.9±1.2                                                                 | -1.7 <sup>ab</sup> ±0.2                                    | -2.1 <sup>bc</sup> ±0                                      | -1.6±1.3                                               | -2.1 <sup>b</sup> ±0.6                                     |
| 15 <sup>NS</sup> | -1.7±0.7                | -1.5 <sup>ab</sup> ±0.6  | -1.8±0.7                                                                 | -2.3 <sup>ab</sup> ±0.2                                    | -2.4 <sup>c</sup> ±0.2                                     | -2.1±0.1                                               | -2.2 <sup>a</sup> ±0.1                                     |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยทางสถิติ

#### 4.1.2.8.3 การเปลี่ยนแปลงค่า b

จากการวัดการเปลี่ยนแปลงของค่า b โดยใช้ Chroma meter (Minolta Chroma Meter, CR 300 Series) แสดงผลดังตารางที่ 4.14 พบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อค่า b ช่วงสีเหลืองของเนื้อหอยเป่าอื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มี CO<sub>2</sub> 60:O<sub>2</sub>40 ในขณะที่การเก็บรักษาในภาวะอื่นๆ จะมีค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญของอัตราส่วนก๊าซต่อค่า b ช่วงสีเหลือง ยกเว้นในวันที่ 11 ของการเก็บรักษาที่มีความแตกต่าง ( $p \leq 0.05$ ) โดยหอยเป่าอื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติ และการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วน CO<sub>2</sub>60:O<sub>2</sub>20:N<sub>2</sub>20 จะมีค่าสีเหลืองต่ำกว่าหอยเป่าอื้อที่เก็บในภาวะอื่น แต่ความแตกต่างนี้ไม่น่าจะมีผลต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์เนื่องจากการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในด้านสีก็ยังคงมีคะแนนในเกณฑ์ที่ยอมรับได้อยู่ ระยะเวลาในการเก็บรักษาจะทำให้หอยเป่าอื้อมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้นในทุกภาวะ ยกเว้นการเก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ CO<sub>2</sub> 60:O<sub>2</sub>40 ซึ่งจากการทดลองเก็บปลา bass โดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 60% ก็ให้ผลตรงกับผลการทดลองโดยรวมคือ ปลา bass จะมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น (Handumrongkul and Silva, 1994) ในขณะที่การทดลองใน channel catfish พบว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 และ 80% ไม่มีผลต่อค่า b ของ channel catfish (Silva and White, 1994) เช่นเดียวกับการเก็บรักษาปลาแซลมอนรมควันโดยการบรรจุในสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ CO<sub>2</sub>60:N<sub>2</sub>40 ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า b เมื่อเทียบกับการบรรจุในบรรยากาศปกติ (Bugueno *et al.*, 2003)

ตารางที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่า b ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่           | ค่า b ที่วัดได้          |                          |                                                            |                                                            |                                                            |                                                        |                                                            |
|------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|                  | Air                      | Vacuum                   | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 40 <sup>NS</sup> | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0 <sup>NS</sup>  | 7.4 <sup>b</sup> ±1.9    | 7.4 <sup>d</sup> ±1.9    | 7.4 <sup>c</sup> ±1.9                                      | 7.4 <sup>c</sup> ±1.9                                      | 7.4 <sup>c</sup> ±1.9                                      | 7.4±1.9                                                | 7.4 <sup>c</sup> ±1.9                                      |
| 1 <sup>NS</sup>  | 10.1 <sup>ab</sup> ±2.8  | 7.3 <sup>d</sup> ±0.6    | 8.5 <sup>cd</sup> ±0.5                                     | 9.0 <sup>de</sup> ±2.5                                     | 11.4 <sup>abc</sup> ±0                                     | 9.5±2.4                                                | 6.7 <sup>c</sup> ±2.0                                      |
| 3 <sup>NS</sup>  | 9.3 <sup>ab</sup> ±1.4   | 11.5 <sup>c</sup> ±2.8   | 11.4 <sup>bcd</sup> ±1.5                                   | 9.9 <sup>cde</sup> ±2.5                                    | 10.2 <sup>bc</sup> ±1.9                                    | 11.4±7.0                                               | 11.8 <sup>b</sup> ±0.3                                     |
| 5 <sup>NS</sup>  | 10.0 <sup>ab</sup> ±0.4  | 12.5 <sup>bc</sup> ±2.2  | 10.7 <sup>cde</sup> ±1.1                                   | 10.5 <sup>bcde</sup> ±1.9                                  | 10.3 <sup>bc</sup> ±2.3                                    | 11.8±0.9                                               | 11.4 <sup>b</sup> ±1.0                                     |
| 7 <sup>NS</sup>  | 10.4 <sup>ab</sup> ±0.3  | 12.3 <sup>bc</sup> ±0.2  | 14.4 <sup>ab</sup> ±0.8                                    | 11.2 <sup>abcd</sup> ±2.5                                  | 14.1 <sup>ab</sup> ±3.1                                    | 11.6±3.0                                               | 12.9 <sup>b</sup> ±0.4                                     |
| 9 <sup>NS</sup>  | 13.7 <sup>a</sup> ±1.7   | 12.9 <sup>bc</sup> ±0.4  | 13.2 <sup>abc</sup> ±2.8                                   | 12.4 <sup>abcd</sup> ±0.9                                  | 14.0 <sup>ab</sup> ±0.4                                    | 11.6±3.0                                               | 12.7 <sup>b</sup> ±0.9                                     |
| 11               | 12.2 <sup>Bab</sup> ±1.3 | 15.7 <sup>Aab</sup> ±0.4 | 14.6 <sup>ABab</sup> ±2.1                                  | 13.4 <sup>ABabc</sup> ±0.8                                 | 14.6 <sup>Aab</sup> ±4.0                                   | 12.2 <sup>AB</sup> ±1.3                                | 13.2 <sup>Bab</sup> ±0.9                                   |
| 13 <sup>NS</sup> | 13.4 <sup>a</sup> ±2.6   | 17.9 <sup>a</sup> ±2.3   | 16.4 <sup>a</sup> ±0.6                                     | 14.4 <sup>a</sup> ±1.7                                     | 15.5 <sup>a</sup> ±1.2                                     | 13.8±1.5                                               | 13.6 <sup>ab</sup> ±0.3                                    |
| 15 <sup>NS</sup> | 14.3 <sup>a</sup> ±4.7   | 16.8 <sup>a</sup> ±1.4   | 16.3 <sup>a</sup> ±1.5                                     | 13.8 <sup>ab</sup> ±0.1                                    | 15.5 <sup>a</sup> ±0.7                                     | 12.8±1.6                                               | 16.1 <sup>a</sup> ±2.7                                     |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 4.1.2.9 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา

##### 4.1.2.9.1 การเปลี่ยนแปลงค่า hardness

การเปลี่ยนแปลงค่า hardness ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อ แสดงผลดังตารางที่ 4.15 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลให้ค่า hardness ของหอยเป่าฮื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกภาวะการเก็บ โดยระยะเวลาในการเก็บนานขึ้นจะทำให้ค่า hardness ลดลง ไม่มีความแตกต่าง ( $p>0.05$ ) ของอัตราส่วนก๊าซต่อค่า hardness ยกเว้นในช่วงหนึ่งของการเก็บรักษาคือช่วงวันที่ 1 และ 3 ที่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) โดยหอยเป่าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณสูงคือ  $\text{CO}_2 60:\text{O}_2 20:\text{N}_2 20$  และ  $\text{CO}_2 60:\text{O}_2 40$  จะมีค่า hardness ต่ำกว่าหอยเป่าฮื้อที่เก็บในภาวะอื่น อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงเกินไป จึงทำให้เนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อเกิดการเปลี่ยนแปลง และระยะเวลาการเก็บรักษาส่งผลให้ค่า hardness ของหอยเป่าฮื้อลดลง แต่อัตราส่วนก๊าซไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า hardness ซึ่งตรงตามวัตถุประสงค์ที่คาดไว้คือไม่ต้องการให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสเนื่องจากการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

ตารางที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงค่า hardness ระหว่างเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่           | ค่า hardness (kg) ที่วัดได้ |                            |                                                    |                                                    |                                                    |                                      |                                                    |
|------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                  | Air                         | Vacuum                     | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$ | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 30:\text{N}_2 30$ | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 20:\text{N}_2 40$ | $\text{CO}_2 60:$<br>$\text{O}_2 40$ | $\text{CO}_2 60:$<br>$\text{O}_2 20:\text{N}_2 20$ |
| 0 <sup>NS</sup>  | 22.3 <sup>a</sup> ±3.4      | 22.3 <sup>a</sup> ±3.4     | 22.3 <sup>a</sup> ±3.4                             | 22.3 <sup>a</sup> ±2.8                             | 22.3 <sup>a</sup> ±3.4                             | 22.3 <sup>a</sup> ±3.4               | 22.3 <sup>a</sup> ±3.3                             |
| 1 <sup>NS</sup>  | 18.7 <sup>ab</sup> ±1.8     | 18.7 <sup>ab</sup> ±1.8    | 18.6 <sup>ab</sup> ±1.9                            | 17.3 <sup>ab</sup> ±4.1                            | 19.6 <sup>a</sup> ±1.2                             | 13.2 <sup>bc</sup> ±2.1              | 15.1 <sup>b</sup> ±0.4                             |
| 3                | 20.6 <sup>Aab</sup> ±1.9    | 18.5 <sup>ABabc</sup> ±3.5 | 18.3 <sup>ABabc</sup> ±1.1                         | 17.9 <sup>ABab</sup> ±5.6                          | 17.9 <sup>ABab</sup> ±2.1                          | 13.2 <sup>Bbc</sup> ±0.7             | 13.1 <sup>Bbc</sup> ±0.2                           |
| 5                | 17.5 <sup>Aab</sup> ±3.3    | 17.0 <sup>ABabcd</sup> ±0  | 15.8 <sup>ABbcd</sup> ±1.6                         | 15.7 <sup>ABb</sup> ±0.7                           | 17.6 <sup>Aab</sup> ±1.2                           | 13.4 <sup>Bbc</sup> ±0.2             | 13.8 <sup>Bbc</sup> ±0.5                           |
| 7 <sup>NS</sup>  | 16.4 <sup>b</sup> ±2.3      | 13.8 <sup>bcd</sup> ±3.5   | 15.2 <sup>bcd</sup> ±1.6                           | 15.3 <sup>b</sup> ±2.8                             | 12.4 <sup>c</sup> ±1.8                             | 16.3 <sup>b</sup> ±2.8               | 13.6 <sup>bc</sup> ±0.2                            |
| 9 <sup>NS</sup>  | 10.4 <sup>c</sup> ±0.3      | 11.6 <sup>dc</sup> ±0.4    | 14.1 <sup>cd</sup> ±2.0                            | 13.1 <sup>b</sup> ±1.3                             | 14.7 <sup>bc</sup> ±3.6                            | 13.7 <sup>bc</sup> ±1.7              | 13.3 <sup>bc</sup> ±0.7                            |
| 11 <sup>NS</sup> | 11.1 <sup>c</sup> ±1.0      | 11.1 <sup>c</sup> ±0.2     | 14.2 <sup>cd</sup> ±0.6                            | 12.8 <sup>b</sup> ±1.2                             | 11.1 <sup>c</sup> ±0.7                             | 12.0 <sup>bc</sup> ±2.9              | 12.2 <sup>bc</sup> ±1.4                            |
| 13 <sup>NS</sup> | 11.4 <sup>c</sup> ±0.6      | 12.0 <sup>dc</sup> ±0.2    | 12.2 <sup>d</sup> ±0.1                             | 12.6 <sup>b</sup> ±0.2                             | 11.1 <sup>c</sup> ±1.1                             | 10.2 <sup>c</sup> ±0.3               | 10.7 <sup>c</sup> ±2.2                             |
| 15 <sup>NS</sup> | 9.7 <sup>c</sup> ±1.1       | 12.8 <sup>cdc</sup> ±3.5   | 12.5 <sup>d</sup> ±1.6                             | 13.3 <sup>b</sup> ±0                               | 11.3 <sup>c</sup> ±0.2                             | 11.6 <sup>bc</sup> ±0.1              | 11.3 <sup>bc</sup> ±1.6                            |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แสดงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 4.1.2.9.2 การเปลี่ยนแปลงค่า Springiness

ในการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของระยะเวลาในการเก็บต่อค่า springiness ของหอยเป่าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติ สุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$  ในขณะที่การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุภาวะอื่นๆ พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า springiness ลดลง ดังตารางที่ 4.16 แต่การลดลงของค่า springiness ของหอยที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุส่วนมากนั้นไม่น่าจะส่งผลเสียต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากไม่มีความแตกต่างของอัตราส่วนก๊าซต่อค่า springiness ในแต่ละวันของการเก็บรักษา จึงสรุปได้ว่าการเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อโดยการบรรจุแบบสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุไม่ทำให้ค่า springiness ของเนื้อหอยเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ

ค่า springiness ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับค่า hardness คือระยะเวลาในการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะมีผลทำให้ค่า springiness ลดลง แต่หอยเป่าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติ สุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$  ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่า springiness เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเปลี่ยนไป อีกทั้งอัตราส่วนก๊าซไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า springiness เช่นเดียวกัน ตรงตามวัตถุประสงค์ที่คาดไว้คือไม่ต้องการให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสเนื่องจากการเก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

**ตารางที่ 4.16** การเปลี่ยนแปลงค่า Springiness ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่           | ค่า Springiness ที่วัดได้ |                      |                                                                |                                                    |                                                    |                                      |                                                    |
|------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                  | Air <sup>NS</sup>         | Vacuum <sup>NS</sup> | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 40:\text{N}_2 20^{\text{NS}}$ | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 30:\text{N}_2 30$ | $\text{CO}_2 40:$<br>$\text{O}_2 20:\text{N}_2 40$ | $\text{CO}_2 60:$<br>$\text{O}_2 40$ | $\text{CO}_2 60:$<br>$\text{O}_2 20:\text{N}_2 20$ |
| 0 <sup>NS</sup>  | 0.97±0                    | 0.97±0               | 0.97±0                                                         | 0.97 <sup>a</sup> ±0.04                            | 0.97 <sup>a</sup> ±0.01                            | 0.97 <sup>a</sup> ±0                 | 0.97 <sup>a</sup> ±0                               |
| 1 <sup>NS</sup>  | 0.99±0.01                 | 0.88±0.16            | 0.81±0.11                                                      | 0.98 <sup>a</sup> ±0.02                            | 0.89 <sup>ab</sup> ±0.12                           | 0.93 <sup>a</sup> ±0.01              | 0.99 <sup>a</sup> ±0.01                            |
| 3 <sup>NS</sup>  | 0.98±0.02                 | 0.80±0.28            | 0.84±0.07                                                      | 0.91 <sup>ab</sup> ±0.09                           | 0.97 <sup>a</sup> ±0.01                            | 0.89 <sup>ab</sup> ±0.13             | 0.87 <sup>ab</sup> ±0.08                           |
| 5 <sup>NS</sup>  | 0.99±0.01                 | 0.91±0.11            | 0.89±0.02                                                      | 0.85 <sup>abc</sup> ±1.56                          | 0.81 <sup>ab</sup> ±0.07                           | 0.85 <sup>ab</sup> ±0.07             | 0.84 <sup>ab</sup> ±0.14                           |
| 7 <sup>NS</sup>  | 0.94±0.06                 | 0.81±0.04            | 0.84±0.11                                                      | 0.88 <sup>abc</sup> ±0.03                          | 0.83 <sup>ab</sup> ±0.08                           | 0.86 <sup>ab</sup> ±0.03             | 0.86 <sup>ab</sup> ±0.07                           |
| 9 <sup>NS</sup>  | 0.98±0.01                 | 0.89±0.15            | 0.77±0.16                                                      | 0.89 <sup>ab</sup> ±0.04                           | 0.78 <sup>ab</sup> ±0.04                           | 0.83 <sup>ab</sup> ±0.12             | 0.81 <sup>ab</sup> ±0.12                           |
| 11 <sup>NS</sup> | 0.89±0.16                 | 0.89±0.07            | 0.89±0.01                                                      | 0.78 <sup>bc</sup> ±0.01                           | 0.78 <sup>ab</sup> ±0.11                           | 0.81 <sup>ab</sup> ±0.11             | 0.83 <sup>ab</sup> ±0.01                           |
| 13 <sup>NS</sup> | 0.86±0.15                 | 0.98±0.07            | 0.90±0.08                                                      | 0.83 <sup>bc</sup> ±0.02                           | 0.82 <sup>ab</sup> ±0.04                           | 0.80 <sup>ab</sup> ±0.12             | 0.80 <sup>ab</sup> ±0.04                           |
| 15 <sup>NS</sup> | 0.84±0.01                 | 0.86±0.13            | 0.90±0.09                                                      | 0.76 <sup>c</sup> ±0.06                            | 0.69 <sup>b</sup> ±0.13                            | 0.67 <sup>b</sup> ±0.11              | 0.76 <sup>b</sup> ±0.08                            |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 4.1.2.9.3 การเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness

การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทุกภาวะจะมีค่า cohesiveness ลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในขณะที่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญของระยะเวลาในการเก็บต่อค่า springiness ของหอยเป่าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศ ดังตารางที่ 4.17 แต่การลดลงของค่า cohesiveness ของหอยเป่าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นไม่ส่งต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของอัตราส่วนก๊าซต่อค่า cohesiveness ในแต่ละวันของการเก็บรักษา ยกเว้นวันที่ 13 ซึ่งเป็นระยะเวลานานจนเกิดการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์แล้ว จึงสรุปได้ว่าการเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อโดยการบรรจุแบบสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุไม่ทำให้ค่า cohesiveness ของเนื้อหอยเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ ระยะเวลาในการเก็บไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า cohesiveness ของหอยเป่าฮื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศ ในขณะที่การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทุกภาวะจะมีค่า cohesiveness ลดลง แต่การลดลงของค่า cohesiveness ของหอยเป่าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุนั้นไม่ส่งต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์

**ตารางที่ 4.17** การเปลี่ยนแปลงค่า Cohesiveness ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่           | ค่า Cohesiveness ที่วัดได้ |                          |                                                            |                                                            |                                                            |                                         |                                                            |
|------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|                  | Air <sup>NS</sup>          | Vacuum <sup>NS</sup>     | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub><br>60:O <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0 <sup>NS</sup>  | 0.41±0                     | 0.41±0                   | 0.41 <sup>a</sup> ±0                                       | 0.41 <sup>a</sup> ±0.09                                    | 0.41 <sup>a</sup> ±0.08                                    | 0.41 <sup>a</sup> ±0.10                 | 0.41 <sup>a</sup> ±0                                       |
| 1 <sup>NS</sup>  | 0.38±0.06                  | 0.36±0.03                | 0.37 <sup>ab</sup> ±0.04                                   | 0.36 <sup>ab</sup> ±0.03                                   | 0.35 <sup>ab</sup> ±0.04                                   | 0.36 <sup>ab</sup> ±0.04                | 0.42 <sup>a</sup> ±0.05                                    |
| 3 <sup>NS</sup>  | 0.28±0.06                  | 0.38±0.06                | 0.30 <sup>bc</sup> ±0.06                                   | 0.39 <sup>ab</sup> ±0.01                                   | 0.32 <sup>bc</sup> ±0.04                                   | 0.37 <sup>ab</sup> ±0.07                | 0.34 <sup>b</sup> ±0.02                                    |
| 5 <sup>NS</sup>  | 0.35±0.05                  | 0.32±0.07                | 0.33 <sup>bc</sup> ±0.04                                   | 0.36 <sup>ab</sup> ±0.01                                   | 0.33 <sup>bc</sup> ±0                                      | 0.31 <sup>b</sup> ±0.02                 | 0.33 <sup>bc</sup> ±0.01                                   |
| 7 <sup>NS</sup>  | 0.27±0.01                  | 0.29±0.03                | 0.28 <sup>c</sup> ±0.04                                    | 0.30 <sup>bc</sup> ±0.10                                   | 0.32 <sup>bc</sup> ±0.04                                   | 0.35 <sup>ab</sup> ±0.03                | 0.33 <sup>b</sup> ±0.03                                    |
| 9 <sup>NS</sup>  | 0.34±0.07                  | 0.40±0.13                | 0.32 <sup>bc</sup> ±0.07                                   | 0.33 <sup>abc</sup> ±0.04                                  | 0.31 <sup>bc</sup> ±0.05                                   | 0.29 <sup>b</sup> ±0.01                 | 0.32 <sup>bc</sup> ±0.01                                   |
| 11 <sup>NS</sup> | 0.34±0.12                  | 0.37±0.02                | 0.31 <sup>bc</sup> ±0.02                                   | 0.35 <sup>abc</sup> ±0.07                                  | 0.30 <sup>bc</sup> ±0.01                                   | 0.31 <sup>b</sup> ±0.01                 | 0.26 <sup>c</sup> ±0.05                                    |
| 13               | 0.39 <sup>A</sup> ±0.04    | 0.36 <sup>AB</sup> ±0.02 | 0.29 <sup>Bbc</sup> ±0.02                                  | 0.30 <sup>Bbc</sup> ±0.03                                  | 0.31 <sup>ABbc</sup> ±0.04                                 | 0.30 <sup>Bb</sup> ±0.04                | 0.31 <sup>ABbc</sup> ±0.01                                 |
| 15 <sup>NS</sup> | 0.33±0.09                  | 0.37±0.08                | 0.27 <sup>c</sup> ±0.04                                    | 0.26 <sup>c</sup> ±0.04                                    | 0.26 <sup>c</sup> ±0.02                                    | 0.30 <sup>b</sup> ±0.02                 | 0.32 <sup>bc</sup> ±0.04                                   |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวดิ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 4.1.2.9.4 การเปลี่ยนแปลงค่า Chewiness

ระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นทำให้ค่า chewiness ลดลง โดยพบความแตกต่าง ( $p \leq 0.05$ ) ของระยะเวลาในการเก็บต่อค่า chewiness ของหอยเป่าฮื้อที่เก็บในทุกภาวะการเก็บ ดังตารางที่ 4.18 แต่การลดลงของค่า chewiness ของหอยเป่าฮื้อไม่มีความแตกต่างของอัตราส่วนก๊าซในแต่ละวันของการเก็บรักษา จึงสรุปได้ว่าการเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อโดยการบรรจุแบบสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุไม่ทำให้ค่า chewiness ของเนื้อหอยเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับเก็บรักษาในบรรยากาศปกติ แต่ระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นจะมีผลให้ค่า chewiness ลดลง

สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้บริโภคเกิดความนิยมเช่นในประเทศญี่ปุ่นมักมีการบริโภคหอยในลักษณะดิบ ดังนั้นการที่ลักษณะเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุไม่แตกต่างกับการเก็บในบรรยากาศปกติเช่นเดียวกับการเก็บรักษาปลาแซลมอนรมควันโดยการบรรจุในสุญญากาศและการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ CO<sub>2</sub>60:N<sub>2</sub>40 ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านเนื้อสัมผัสเมื่อเทียบกับการบรรจุในบรรยากาศปกติ (Bugueno *et al.*, 2003) จึงน่าจะเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ในการแปรรูปหอยเป่าฮื้อในอนาคตต่อไปได้

ลักษณะเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณคอลลาเจนที่มีอยู่ในเนื้อหอย แต่ก็ยังขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของหอยด้วย โดย Olacchia และคณะ (1993) ได้ศึกษาปริมาณคอลลาเจนและสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อ 4 พันธุ์ พบว่าทั้ง 4 พันธุ์มีค่าแตกต่างกัน จากการวัดลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อทั้งตัวด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i หัววัด P100 วัดค่า hardness cohesiveness springiness และ chewiness ดังผลที่แสดงไปแล้วนั้น โดยรวมก็พบว่าหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศ

ภายในภาชนะบรรจุนั้นมีค่า hardness, cohesiveness, springiness และ chewiness ไม่แตกต่างกับการเก็บในบรรยากาศปกติจึงน่าจะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์โดยคาดว่าจะยังคงเป็นที่ยอมรับอยู่

**ตารางที่ 4.18** การเปลี่ยนแปลงค่า Chewiness ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าสื่อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่           | ค่า Chewiness (kg) ที่วัดได้ |                        |                                     |                                     |                                     |                         |                                     |
|------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
|                  | Air                          | Vacuum                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 60:     | CO <sub>2</sub> 60:                 |
|                  |                              |                        | O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | O <sub>2</sub> 40       | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0 <sup>NS</sup>  | 8.9 <sup>a</sup> ±1.4        | 8.9 <sup>a</sup> ±1.4  | 8.9 <sup>a</sup> ±1.4               | 8.9 <sup>a</sup> ±1.1               | 8.9 <sup>a</sup> ±1.3               | 8.9 <sup>a</sup> ±1.4   | 8.9 <sup>a</sup> ±1.3               |
| 1 <sup>NS</sup>  | 6.9 <sup>ab</sup> ±1.8       | 6.0 <sup>ab</sup> ±2.1 | 5.5 <sup>b</sup> ±0.7               | 6.1 <sup>b</sup> ±1.4               | 6.1 <sup>b</sup> ±1.2               | 4.4 <sup>bc</sup> ±0.2  | 6.2 <sup>b</sup> ±1.0               |
| 3 <sup>NS</sup>  | 5.6 <sup>bc</sup> ±0.5       | 5.4 <sup>b</sup> ±1.8  | 4.7 <sup>bc</sup> ±1.5              | 6.1 <sup>b</sup> ±1.2               | 5.5 <sup>b</sup> ±1.2               | 4.3 <sup>bcd</sup> ±0   | 3.8 <sup>c</sup> ±0.1               |
| 5 <sup>NS</sup>  | 6.0 <sup>abc</sup> ±1.9      | 5.0 <sup>b</sup> ±1.7  | 4.5 <sup>bc</sup> ±0.2              | 4.8 <sup>bc</sup> ±1.3              | 4.7 <sup>bc</sup> ±0.1              | 3.5 <sup>bcd</sup> ±0.6 | 3.7 <sup>c</sup> ±0.6               |
| 7 <sup>NS</sup>  | 4.2 <sup>bcd</sup> ±1.1      | 3.2 <sup>b</sup> ±1.0  | 3.5 <sup>c</sup> ±0.6               | 3.9 <sup>bc</sup> ±0.8              | 3.2 <sup>cd</sup> ±0.5              | 4.9 <sup>b</sup> ±1.5   | 3.8 <sup>c</sup> ±0.6               |
| 9 <sup>NS</sup>  | 3.5 <sup>cd</sup> ±0.7       | 4.3 <sup>b</sup> ±2.2  | 3.4 <sup>c</sup> ±0.1               | 3.8 <sup>bc</sup> ±0.3              | 3.4 <sup>cd</sup> ±0.1              | 3.2 <sup>bcd</sup> ±0.2 | 3.4 <sup>c</sup> ±0.2               |
| 11 <sup>NS</sup> | 3.3 <sup>cd</sup> ±1.5       | 3.6 <sup>b</sup> ±0.6  | 3.9 <sup>bc</sup> ±0.5              | 3.5 <sup>c</sup> ±1.1               | 2.6 <sup>d</sup> ±0.4               | 3.0 <sup>bcd</sup> ±1.0 | 2.6 <sup>c</sup> ±0.2               |
| 13               | 3.7 <sup>ABcd</sup> ±0.5     | 4.1 <sup>Ab</sup> ±0.1 | 3.1 <sup>BCc</sup> ±0.1             | 3.1 <sup>BCc</sup> ±0.3             | 2.8 <sup>Cd</sup> ±0.3              | 2.4 <sup>Ccd</sup> ±0.1 | 2.6 <sup>Cc</sup> ±0.5              |
| 15               | 2.6 <sup>Bd</sup> ±0.4       | 4.0 <sup>Ab</sup> ±0.4 | 3.0 <sup>ABc</sup> ±0.5             | 2.6 <sup>Bc</sup> ±0.7              | 2.0 <sup>Bd</sup> ±0.5              | 2.3 <sup>Bd</sup> ±0.6  | 2.6 <sup>Bc</sup> ±0.2              |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 4.1.2.10 การเปลี่ยนแปลงสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ระหว่างการเก็บรักษา

##### 4.1.2.10.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Adenosine Triphosphate (ATP)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ ATP ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าสื่อจากการวิเคราะห์ด้วย HPLC แสดงดังตารางที่ 4.19 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณ ATP ในหอยเป่าสื่อลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกภาวะการเก็บ โดยไม่มีความแตกต่างของปริมาณ ATP ในหอยเป่าสื่อสด แต่พบว่าปริมาณ ATP ในหอยเป่าสื่อที่เก็บในบรรยากาศปกติลดลงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับภาวะการเก็บรักษาในภาวะอื่น ตามด้วยหอยเป่าสื่อที่เก็บในสุญญากาศ การลดลงของปริมาณ ATP ในหอย scallop ที่เก็บโดยการแช่เย็นจะเป็นไปอย่างรวดเร็วตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา (Wongso and Yamanaka, 1998) เช่นเดียวกับปลาจารดินและปลาแมคเคอเรล (Watabe *et al.*, 1989) ส่วนการเก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะช่วยชะลอการแตกตัวของ ATP ได้ ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของอัตราส่วนก๊าซต่อปริมาณ ATP โดยพบว่าหอยเป่าสื่อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศมี ATP เหลืออยู่น้อยกว่าหอยเป่าสื่อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ และการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่ภาวะ CO<sub>2</sub>40:O<sub>2</sub>40:N<sub>2</sub>20 และ CO<sub>2</sub>40:O<sub>2</sub>30:N<sub>2</sub>30 จะมีปริมาณ ATP สูงกว่าหอยเป่าสื่อที่เก็บในภาวะอื่น หลังจากนั้นจะไม่พบความแตกต่าง ของปริมาณ ATP ในแต่ละภาวะการเก็บรักษา เริ่มพบความแตกต่าง ( $p \leq 0.05$ ) อีกครั้งในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา โดยไม่พบปริมาณ ATP ในหอยเป่าสื่อที่เก็บในบรรยากาศปกติและในสุญญากาศ ขณะที่หอยเป่าสื่อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุยังคงมี ATP เหลืออยู่เล็กน้อย นั่นคือการเก็บรักษาหอยเป่าสื่อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุจะช่วยชะลอการสลายตัวของสาร ATP ซึ่งมักจะพบใน

หอยเป่าอื้อที่ยังคงสภาพสดอยู่ โดยหอยเป่าอื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซออกซิเจนปริมาณสูงคือ CO<sub>2</sub>40:O<sub>2</sub>40:N<sub>2</sub>20 และ CO<sub>2</sub> 60:O<sub>2</sub>40 จะมีปริมาณ ATP ต่ำกว่าหอยเป่าอื้อที่เก็บในภาวะอื่น ไม่พบปริมาณ ATP ในหอยเป่าอื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุเมื่อเก็บรักษานาน 13 วัน จึงสรุปว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถชะลอการสลายตัวของสาร ATP ได้เพียงช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น

**ตารางที่ 4.19** การเปลี่ยนแปลงค่า Adenosine Triphosphate (ATP) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่          | ปริมาณ ATP (mg/100g ตัวอย่าง) |                         |                                     |                                     |                                     |                         |                                     |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
|                 | Air                           | Vacuum                  | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 60:     | CO <sub>2</sub> 60:                 |
|                 |                               |                         | O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | O <sub>2</sub> 40       | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0 <sup>NS</sup> | 2.9 <sup>a</sup> ±0.1         | 2.7 <sup>a</sup> ±0.3   | 2.9 <sup>a</sup> ±0                 | 2.6 <sup>a</sup> ±0.2               | 2.7 <sup>a</sup> ±0.1               | 2.7 <sup>a</sup> ±0.1   | 2.7 <sup>a</sup> ±0.2               |
| 1               | 1.1 <sup>Cb</sup> ±0.1        | 1.87 <sup>Bb</sup> ±0.1 | 2.3 <sup>Ab</sup> ±0                | 2.2 <sup>Ab</sup> ±0.1              | 2.2 <sup>Ab</sup> ±0                | 2.3 <sup>Ab</sup> ±0.1  | 2.3 <sup>Ab</sup> ±0                |
| 3               | 1.0 <sup>Cbc</sup> ±0.1       | 1.0 <sup>Cc</sup> ±0.3  | 2.1 <sup>Ac</sup> ±0.1              | 2.1 <sup>Ab</sup> ±0.1              | 1.5 <sup>Bc</sup> ±0                | 1.5 <sup>Bc</sup> ±0    | 1.5 <sup>Bc</sup> ±0                |
| 5 <sup>NS</sup> | 0.9 <sup>bc</sup> ±0.2        | 1.2 <sup>c</sup> ±0.1   | 1.2 <sup>d</sup> ±0                 | 1.2 <sup>c</sup> ±0.3               | 1.2 <sup>d</sup> ±0.2               | 1.1 <sup>d</sup> ±0     | 1.2 <sup>d</sup> ±0.1               |
| 7 <sup>NS</sup> | 0.7 <sup>c</sup> ±0.2         | 1.0 <sup>c</sup> ±0.3   | 1.2 <sup>d</sup> ±0                 | 1.1 <sup>c</sup> ±0                 | 1.1 <sup>d</sup> ±0.1               | 1.0 <sup>d</sup> ±0     | 1.1 <sup>d</sup> ±0.1               |
| 9               | ND                            | ND                      | 0.5 <sup>Bc</sup> ±0.1              | 0.6 <sup>ABd</sup> ±0.2             | 0.6 <sup>Bc</sup> ±0.1              | 0.5 <sup>Bc</sup> ±0    | 0.8 <sup>Ac</sup> ±0.1              |
| 11              | ND                            | ND                      | 0.3 <sup>Bf</sup> ±0                | 0.4 <sup>ABd</sup> ±0               | 0.4 <sup>ABc</sup> ±0.1             | 0.3 <sup>ABf</sup> ±0.1 | 0.5 <sup>Ac</sup> ±0.1              |
| 13              | ND                            | ND                      | ND                                  | ND                                  | ND                                  | ND                      | ND                                  |
| 15              | ND                            | ND                      | ND                                  | ND                                  | ND                                  | ND                      | ND                                  |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสมมุติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แสดงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

#### 4.1.2.10.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Adenosine Diphosphate (ADP)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ ADP ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อแสดงดังตารางที่ 4.20 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลให้ปริมาณ ADP ในหอยเป่าอื้อลดลงในทุกภาวะการเก็บ โดย ADP มีความสำคัญในหอยเป่าอื้อ *H. diversicolor* รองจาก AMP (Chiou and Lai, 2002) ในหอย ascidian (*Halocynthia roretzi*) จะพบปริมาณ ADP ก่อนข้างสูงในขณะที่ปริมาณ ATP เริ่มลดลงเรื่อยๆ (Nontratip, Wada, and Yamanaka, 1991) ไม่มีความแตกต่างของปริมาณ ADP ในหอยเป่าอื้อสด แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของอัตราส่วนก๊าซในวันที่ 1 ถึงวันที่ 9 ของการเก็บรักษา โดยพบว่าปริมาณ ADP ที่พบในหอยเป่าอื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมีค่าสูงกว่าหอยเป่าอื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศ อัตราส่วนก๊าซที่เหมาะสมมีผลต่อการสลายตัวของสาร ADP ระหว่างการเก็บรักษา ผลการทดลองส่วนใหญ่พบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 40% ทำให้เกิดการสลายตัวของสาร ADP ช้ากว่าการเก็บหอยเป่าอื้อไว้ในภาวะอื่น ปริมาณสาร ADP ในหอยเป่าอื้อที่เก็บในบรรยากาศปกติและสุญญากาศจะสลายหมดไปภายใน 7 วัน การเก็บรักษาหอยเป่าอื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถรักษาปริมาณ ADP ให้คงอยู่ได้ระยะเวลานานหนึ่ง แต่เมื่อเวลาผ่านไป 11 วันจะไม่พบสาร ADP ในหอยเป่าอื้ออีก

**ตารางที่ 4.20** การเปลี่ยนแปลงค่า Adenosine Diphosphate (ADP) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่           | ปริมาณ ADP (mg/100g ตัวอย่าง) |                         |                                     |                                     |                                     |                         |                                     |
|------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
|                  | Air                           | Vacuum                  | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 60:     | CO <sub>2</sub> 60:                 |
|                  |                               |                         | O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | O <sub>2</sub> 40       | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0 <sup>NS</sup>  | 9.0 <sup>a</sup> ±0.53        | 17.3 <sup>a</sup> ±3.6  | 13.6 <sup>a</sup> ±1.7              | 13.5 <sup>a</sup> ±1.6              | 14.6 <sup>a</sup> ±0.8              | 13.3 <sup>a</sup> ±1.0  | 12.4 <sup>a</sup> ±0.6              |
| 1                | 7.3 <sup>Cb</sup> ±0.2        | 8.9 <sup>BCb</sup> ±0.3 | 10.49 <sup>ABb</sup> ±1.8           | 11.8 <sup>Ab</sup> ±0.3             | 11.1 <sup>ABb</sup> ±0.9            | 9.9 <sup>ABb</sup> ±0.6 | 10.9 <sup>ABa</sup> ±1.5            |
| 3                | 5.8 <sup>Bbc</sup> ±2.0       | 6.5 <sup>Bbc</sup> ±0.5 | 8.30 <sup>ABbc</sup> ±1.4           | 7.2 <sup>ABc</sup> ±0.16            | 10.4 <sup>Ab</sup> ±1.6             | 7.7 <sup>ABc</sup> ±0   | 7.1 <sup>ABb</sup> ±1.9             |
| 5                | 4.3 <sup>Dc</sup> ±0.2        | 4.8 <sup>CDc</sup> ±0.2 | 5.98 <sup>BCc</sup> ±1.2            | 6.6 <sup>ABcd</sup> ±0.1            | 7.8 <sup>Ac</sup> ±0.3              | 6.0 <sup>BCd</sup> ±0.1 | 6.4 <sup>Bb</sup> ±0.8              |
| 7                | ND                            | ND                      | 6.63 <sup>Ac</sup> ±0.3             | 5.5 <sup>Bd</sup> ±0.2              | 3.6 <sup>Cd</sup> ±1.1              | 1.4 <sup>De</sup> ±0    | 1.4 <sup>Dc</sup> ±0                |
| 9                | ND                            | ND                      | 1.34 <sup>Ad</sup> ±0.4             | 1.6 <sup>Ae</sup> ±0.1              | 1.4 <sup>Ae</sup> ±0                | ND                      | ND                                  |
| 11 <sup>NS</sup> | ND                            | ND                      | ND                                  | ND                                  | ND                                  | ND                      | ND                                  |
| 13 <sup>NS</sup> | ND                            | ND                      | ND                                  | ND                                  | ND                                  | ND                      | ND                                  |
| 15 <sup>NS</sup> | ND                            | ND                      | ND                                  | ND                                  | ND                                  | ND                      | ND                                  |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

#### 4.1.2.10.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Adenosine Monophosphate (AMP)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ AMP ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อแสดงดังตารางที่ 4.21 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ปริมาณ AMP ในหอยเป่าฮื้อลดลงอย่างมีนัยสำคัญในทุกภาวะการเก็บ โดยพบ AMP ในหอยเป่าฮื้อสดปริมาณสูงกว่าสารอนุพันธ์ของนิวคลีโอไทด์ชนิดอื่นๆ เนื่องจาก AMP เป็นสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่มีการสะสมมากที่สุดในตัวจำพวกหอย (Yokoyama *et al.*, 1994) หรือสัตว์จำพวกมอลลัส ส่วน IMP จะเป็นสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่สะสมมากและให้กลิ่นรสในปลา (Kawashima and Yamanaka, 1992) AMP ในหอยเป่าฮื้อ *H. diversicolor* มีปริมาณสูงกว่านิวคลีโอไทด์ชนิดอื่นๆ โดย AMP และกรดกลูตามิกจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดกลิ่นรสในหอยเป่าฮื้อ (Chiou and Lai, 2002) ไม่มีความแตกต่างของปริมาณ AMP ในหอยเป่าฮื้อสด โดยพบสาร AMP ในหอยเป่าฮื้อสดปริมาณสูงกว่านิวคลีโอไทด์ชนิดอื่นๆ แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของอัตราส่วนก๊าซระหว่างการเก็บรักษา โดยพบว่าปริมาณ AMP ที่พบในหอยเป่าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมีค่าสูงกว่าหอยเป่าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศ และปริมาณ AMP ของหอยเป่าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศก็มีค่าสูงกว่าหอยเป่าฮื้อที่เก็บในสภาพบรรยากาศปกติ ยกเว้นวันที่ 3 ที่ไม่พบความแตกต่าง ( $p > 0.05$ ) ระหว่างแต่ละอัตราส่วนก๊าซ

AMP เป็นสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่สำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ดีในหอยเป่าฮื้อ เนื่องจากเป็นสารที่มีการสะสมอยู่ในเนื้อหอยมากที่สุด และจากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจนภายในภาชนะบรรจุจะมีผลเล็กน้อยต่อการสะสมของสารประกอบ AMP โดยภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะมีการสะสมของสาร AMP สูงกว่าการเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วนก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ เนื่องจากที่อัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ (40%) เกิดการสลายตัวของสาร ADP ซ้ำกว่า การเก็บหอยเป่าอื้อไว้ในภาวะอื่น จึงเกิด AMP ที่เป็นสารที่เกิดจากการสลายตัวของ ADP น้อย

**ตารางที่ 4.21** การเปลี่ยนแปลงค่า Adenosine Monophosphate (AMP) ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่          | ปริมาณ AMP (mg/100g ตัวอย่าง) |                           |                                     |                                     |                                     |                             |                                     |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
|                 | Air                           | Vacuum                    | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 60:         | CO <sub>2</sub> 60:                 |
|                 |                               |                           | O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | O <sub>2</sub> 40           | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0 <sup>NS</sup> | 59.1 <sup>a</sup> ±8.2        | 63.2 <sup>a</sup> ±3.0    | 61.5 <sup>a</sup> ±2.5              | 75.0 <sup>a</sup> ±2.8              | 70.6 <sup>a</sup> ±7.7              | 70.5 <sup>a</sup> ±7.2      | 72.3 <sup>a</sup> ±1.9              |
| 1               | 34.3 <sup>Bb</sup> ±2.2       | 44.9 <sup>ABb</sup> ±4.4  | 47.5 <sup>ABb</sup> ±1.8            | 70.5 <sup>Ab</sup> ±1.0             | 56.5 <sup>ABa</sup> ±16.7           | 57.2 <sup>ABa</sup> ±16.3   | 58.5 <sup>ABb</sup> ±13.0           |
| 3 <sup>NS</sup> | 28.4 <sup>b</sup> ±3.9        | 28.4 <sup>c</sup> ±2.5    | 33.5 <sup>c</sup> ±3.9              | 34.6 <sup>c</sup> ±1.0              | 34.2 <sup>b</sup> ±2.4              | 33.7 <sup>b</sup> ±7.0      | 35.6 <sup>c</sup> ±0.3              |
| 5               | 13.3 <sup>Cc</sup> ±1.6       | 17.5 <sup>Bd</sup> ±0.6   | 24.2 <sup>Ad</sup> ±1.7             | 25.7 <sup>Ad</sup> ±0.7             | 24.0 <sup>Abc</sup> ±1.2            | 26.6 <sup>Abc</sup> ±1.6    | 24.6 <sup>Ad</sup> ±1.2             |
| 7               | 13.2 <sup>Dc</sup> ±0.8       | 15.8 <sup>CDd</sup> ±0.1  | 15.6 <sup>CDc</sup> ±0.1            | 17.3 <sup>BCDe</sup> ±3.4           | 21.3 <sup>ABbc</sup> ±3.7           | 19.9 <sup>ABCbcd</sup> ±0.1 | 24.2 <sup>Ad</sup> ±1.7             |
| 9               | 11.5 <sup>Dcd</sup> ±1.2      | 13.1 <sup>CDde</sup> ±1.5 | 15.1 <sup>ABCc</sup> ±1.2           | 16.7 <sup>ABc</sup> ±0.8            | 14.4 <sup>BCc</sup> ±0.8            | 16.6 <sup>ABcd</sup> ±0.3   | 17.4 <sup>Adc</sup> ±0.3            |
| 11              | 9.2 <sup>Bcd</sup> ±2.6       | 9.6 <sup>Bef</sup> ±0     | 11.5 <sup>ABef</sup> ±0.3           | 14.1 <sup>Aef</sup> ±0.1            | 12.0 <sup>ABc</sup> ±0.4            | 11.5 <sup>ABcd</sup> ±1.9   | 14.0 <sup>Adc</sup> ±0.5            |
| 13              | 7.5 <sup>Ccd</sup> ±0.7       | 8.0 <sup>Cf</sup> ±0.5    | 9.7 <sup>Bf</sup> ±0.7              | 9.9 <sup>Bfg</sup> ±0.2             | 11.2 <sup>Ac</sup> ±0.5             | 9.4 <sup>Bd</sup> ±0.1      | 9.9 <sup>Bc</sup> ±0                |
| 15              | 4.8 <sup>Cd</sup> ±1.2        | 7.1 <sup>Bf</sup> ±0.1    | 9.7 <sup>Af</sup> ±0.3              | 10.5 <sup>Ag</sup> ±0.1             | 9.2 <sup>Ac</sup> ±0.4              | 9.4 <sup>Ad</sup> ±0.5      | 9.2 <sup>Ac</sup> ±0.5              |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 4.1.2.10.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Adenosine

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Adenosine ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อแสดงดังตารางที่ 4.22 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลต่อการสะสมของสาร Adenosine ในหอยเป่าอื้ออย่างมีนัยสำคัญในทุกภาวะการเก็บ โดยพบว่าจะมีการสะสมของสาร Adenosine เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น โดยปริมาณ Adenosine ที่พบในหอยเป่าอื้อมีปริมาณไม่สูงนักเช่นเดียวกับหอยเป่าอื้อพันธุ์ *H. discus* ที่พบปริมาณ IMP น้อยมากและพบ Adenosine ปริมาณเล็กน้อย (Yokoyama *et al.*, 1994) และไม่พบความแตกต่างของปริมาณ Adenosine ในหอยเป่าอื้อสด และภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาต่อปริมาณ Adenosine ในหอยเป่าอื้อที่เก็บไว้นาน 1 วัน แต่พบความแตกต่างของอัตราส่วนก๊าซระหว่างการเก็บรักษาตั้งแต่วันที่ 3 โดยพบว่าปริมาณ Adenosine ที่พบในหอยเป่าอื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมีค่าต่ำกว่าหอยเป่าอื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศและในสภาพบรรยากาศปกติ

#### 4.1.2.10.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Hypoxanthine

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Hypoxanthine ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อแสดงดังตารางที่ 4.23 พบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษาส่งผลต่อการสะสมของสาร Hypoxanthine ในหอยเป่าอื้ออย่างมีนัยสำคัญในทุกภาวะการเก็บ โดยพบว่าจะมีการสะสมของสาร Hypoxanthine เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ไม่พบปริมาณ Hypoxanthine ในหอยเป่าอื้อสดและในหอยเป่าอื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศและปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา เริ่มตรวจพบสาร Hypoxanthine ในหอยเป่าอื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน โดยพบว่าปริมาณ

Hypoxanthine ที่พบในหอยเป่าฮื้อที่บรรจุในบรรยากาศปกติมีค่าสูงกว่าหอยเป่าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่พบว่าปริมาณ Hypoxanthine ในหอยเป่าฮื้อพันธุ์ *H. discus* ในบรรยากาศปกติจะไม่เพิ่มขึ้นจนกว่าจะเก็บไว้นาน 7 วัน (Yokoyama *et al.*, 1994) เริ่มมีการสะสม Hypoxanthine ในหอยเป่าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุในวันที่ 11 โดยพบว่าปริมาณ Hypoxanthine ที่พบในหอยเป่าฮื้อที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุมีค่าต่ำกว่าหอยเป่าฮื้อที่เก็บในภาวะสุญญากาศและในสภาพบรรยากาศปกติ นั่นคือการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในเนื้อหอยเป่าฮื้อข้าง กลายเป็นสาร Hypoxanthine ได้ช้ากว่าการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติและการเก็บแบบสุญญากาศ

**ตารางที่ 4.22** การเปลี่ยนแปลงค่า Adenosine ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่          | ปริมาณ Adenosine (mg/100g ตัวอย่าง) |                         |                                     |                                     |                                     |                           |                                     |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
|                 | Air                                 | Vacuum                  | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 60:       | CO <sub>2</sub> 60:                 |
|                 |                                     |                         | O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | O <sub>2</sub> 40         | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0 <sup>NS</sup> | 0.8 <sup>f</sup> ±0.3               | 1.2 <sup>f</sup> ±0.4   | 0.9 <sup>f</sup> ±0.1               | 0.8 <sup>g</sup> ±0.2               | 0.9 <sup>f</sup> ±0.3               | 0.9 <sup>f</sup> ±0.3     | 0.9 <sup>f</sup> ±0.1               |
| 1 <sup>NS</sup> | 2.4 <sup>c</sup> ±0.3               | 1.7 <sup>ef</sup> ±0.4  | 1.6 <sup>ef</sup> ±0.7              | 1.6 <sup>f</sup> ±0.6               | 1.7 <sup>ef</sup> ±0.2              | 2.0 <sup>c</sup> ±0.1     | 2.3 <sup>c</sup> ±0.4               |
| 3               | 3.7 <sup>Adc</sup> ±0.3             | 2.2 <sup>Be</sup> ±0.2  | 2.5 <sup>Bde</sup> ±0.2             | 2.1 <sup>Bef</sup> ±0.2             | 2.3 <sup>Bde</sup> ±0               | 2.3 <sup>Be</sup> ±0.2    | 2.5 <sup>Be</sup> ±0.2              |
| 5               | 3.7 <sup>Adc</sup> ±0.8             | 3.1 <sup>ABd</sup> ±0.4 | 2.7 <sup>Bcd</sup> ±0.1             | 2.9 <sup>ABde</sup> ±0              | 3.0 <sup>ABcd</sup> ±0.2            | 2.7 <sup>Bde</sup> ±0.3   | 3.2 <sup>ABd</sup> ±0.3             |
| 7               | 4.7 <sup>Ac</sup> ±0.2              | 4.3 <sup>Bc</sup> ±0.1  | 2.8 <sup>Dcd</sup> ±0               | 2.8 <sup>Dd</sup> ±0.2              | 3.5 <sup>Cbc</sup> ±0.1             | 3.4 <sup>Ccd</sup> ±0.1   | 3.6 <sup>Ccd</sup> ±0.1             |
| 9               | 4.6 <sup>Ac</sup> ±0.5              | 4.4 <sup>ABc</sup> ±0   | 3.0 <sup>Dcd</sup> ±0.1             | 4.3 <sup>ABc</sup> ±0               | 3.7 <sup>Cbc</sup> ±0               | 4.1 <sup>ABCbc</sup> ±0.2 | 3.9 <sup>BCc</sup> ±0               |
| 11              | 5.7 <sup>Abc</sup> ±1.3             | 4.9 <sup>ABc</sup> ±0.4 | 3.6 <sup>Bbc</sup> ±0.3             | 4.4 <sup>ABc</sup> ±0.1             | 4.1 <sup>Bb</sup> ±0.7              | 4.6 <sup>ABb</sup> ±0.1   | 4.0 <sup>Bc</sup> ±0.4              |
| 13              | 6.9 <sup>Ab</sup> ±1.0              | 6.2 <sup>ABb</sup> ±0.1 | 4.2 <sup>Db</sup> ±0.4              | 5.5 <sup>BCb</sup> ±0.6             | 5.8 <sup>ABCa</sup> ±0.3            | 4.9 <sup>CDb</sup> ±0.2   | 5.1 <sup>BCDb</sup> ±0.2            |
| 15              | 8.6 <sup>Aa</sup> ±0.2              | 8.0 <sup>ABa</sup> ±0.2 | 5.5 <sup>Ca</sup> ±0.9              | 6.6 <sup>BCa</sup> ±0.5             | 6.2 <sup>BCa</sup> ±0.9             | 6.0 <sup>Ca</sup> ±1.3    | 6.8 <sup>BCa</sup> ±0               |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

NS แตกต่างอย่างไม่มีความนัยสำคัญทางสถิติ

การแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์จะเกิดระหว่างการเก็บรักษาและเริ่มจากสารตั้งต้น ATP เกิดการสะสม Hypoxanthine ซึ่งทำให้เกิดรสและเป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอาหารด้วย (Ozogul, Ozogul, and Gokbulut, 2006) ไม่พบ Hypoxanthine ในหอยเป่าฮื้อสด เช่นเดียวกับหอย ascidian (*Halocynthia roretzi*) (Nontratip, Wada, and Yamanaka, 1991) และจะไม่พบ Hypoxanthine ในช่วงแรกของการเก็บรักษา โดย Hypoxanthine จะเพิ่มขึ้นในช่วงหลังเมื่อเกิดการเน่าเสียแล้วเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ (Kawashima and Yamanaka, 1992) ปริมาณ Hypoxanthine จึงน่าจะเป็นดัชนีที่ดีในการบอการเสื่อมเสียของอาหารทะเลพวก kuruma prawn (*Penaeus japonicus*) (Matsumoto and Yamanaka, 1990)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในภาชนะบรรจุจะไม่มีผลยับยั้งการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในช่วงแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากการแตกตัวในช่วงแรกนั้นเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ในเนื้อเยื่ออาหารเอง แต่หลังจากนั้นจะมีจุลินทรีย์เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไปยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ทำให้เกิด

hypoxanthine ซ้ำกว่าการเก็บในบรรยากาศปกติ โดยพบการสะสมของ hypoxanthine หลังจากวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ปลา whitefish โดยการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในภาชนะบรรจุ (Boyle, Lindsay, and Stuibler, 1991)

**ตารางที่ 4.23** การเปลี่ยนแปลงค่า Hypoxanthine ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮือโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่ | ปริมาณ Hypoxanthine (mg/100g ตัวอย่าง) |                          |                                     |                                     |                                     |                         |                                     |
|--------|----------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
|        | Air                                    | Vacuum                   | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 40:                 | CO <sub>2</sub> 60:     | CO <sub>2</sub> 60:                 |
|        |                                        |                          | O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | O <sub>2</sub> 40       | O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0      | ND                                     | ND                       | ND                                  | ND                                  | ND                                  | ND                      | ND                                  |
| 1      | 3.2 <sup>Af</sup> ±0.9                 | ND                       | ND                                  | ND                                  | ND                                  | ND                      | ND                                  |
| 3      | 4.6 <sup>Aef</sup> ±0.3                | 1.6 <sup>Bef</sup> ±0.2  | ND                                  | ND                                  | ND                                  | ND                      | ND                                  |
| 5      | 5.1 <sup>Aef</sup> ±0.1                | 4.4 <sup>Bde</sup> ±0.54 | ND                                  | ND                                  | ND                                  | ND                      | ND                                  |
| 7      | 5.9 <sup>Ade</sup> ±0.4                | 5.4 <sup>Ad</sup> ±0.5   | ND                                  | ND                                  | ND                                  | ND                      | ND                                  |
| 9      | 7.9 <sup>Ad</sup> ±1.9                 | 6.2 <sup>Acd</sup> ±0.6  | ND                                  | ND                                  | ND                                  | ND                      | ND                                  |
| 11     | 11.7 <sup>Ac</sup> ±2.5                | 8.7 <sup>Bc</sup> ±0.8   | 3.8 <sup>Cc</sup> ±0.5              | 2.8 <sup>Cc</sup> ±0                | 2.1 <sup>Cc</sup> ±0.3              | 2.6 <sup>Cc</sup> ±0.6  | 4.4 <sup>Cb</sup> ±0.2              |
| 13     | 14.6 <sup>Bb</sup> ±0.3                | 18.8 <sup>Ab</sup> ±3.5  | 9.0 <sup>Cb</sup> ±1.2              | 5.9 <sup>CDb</sup> ±2.4             | 4.3 <sup>Db</sup> ±0.7              | 5.7 <sup>CDb</sup> ±0.3 | 7.9 <sup>CDa</sup> ±0.8             |
| 15     | 24.6 <sup>Aa</sup> ±0.2                | 25.3 <sup>Aa</sup> ±1.9  | 13.0 <sup>Ba</sup> ±2.5             | 13.1 <sup>Ba</sup> ±1.2             | 7.9 <sup>Ca</sup> ±1.8              | 9.2 <sup>Ca</sup> ±1.6  | 8.4 <sup>Ca</sup> ±0.2              |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละสมมุติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ND หมายถึงตรวจไม่พบ

#### 4.1.2.10.6 การเปลี่ยนแปลงของค่า K

การเปลี่ยนแปลงค่า K ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮือแสดงดังตารางที่ 4.24 ซึ่งปริมาณของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่ส่งผลต่อค่า K ของหอยเป่าฮือได้แก่ ปริมาณ ATP ADP AMP และ Hypoxanthine เนื่องจากไม่พบปริมาณ IMP และ Inosine ในหอยเป่าฮือพันธุ์ *Haliothis asinina* ในการทดลอง จึงทำให้ค่า K ที่คำนวณได้ขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์เพียง 4 ชนิด คือปริมาณ ATP ADP AMP และ Hypoxanthine ระหว่างเวลาในการเก็บรักษา ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า K ในหอยเป่าฮืออย่างมีนัยสำคัญในทุกภาวะการเก็บ โดยพบว่าค่า K เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น โดยทิศทางการเพิ่มขึ้นของค่า K นั้นจะเป็นทิศทางเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Hypoxanthine

หอยเป่าฮือสดจะมีค่า K ซึ่งเป็นค่าที่บอกความสดของอาหารทะเล เท่ากับ 0 หมายความว่าหอยเป่าฮือมีสภาพที่สดมาก และยังไม่มีการเพิ่มขึ้นของค่า K ในหอยเป่าฮือที่เก็บในภาวะสุญญากาศและปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา ในขณะที่สามารถคำนวณค่าความสดของหอยเป่าฮือที่เก็บไว้ในบรรยากาศปกติ นาน 1 วันได้ เริ่มมีการสะสมของสาร Hypoxanthine ในหอยเป่าฮือที่เก็บในภาวะสุญญากาศเมื่อเวลาผ่านไป 3 วัน และพบการสะสมของสาร Hypoxanthine ในหอยเป่าฮือที่เก็บโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุเมื่อเวลาผ่านไป 11 วันจึงสามารถคำนวณค่าความสดของหอยเป่าฮือได้เมื่อมีการสะสมของปริมาณ Hypoxanthine สรุปได้ว่าการเก็บรักษาหอยเป่าฮือโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถรักษาความสดของหอยเป่าฮือเอาไว้ได้เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติหรือสภาพสุญญากาศ

ตารางที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลง K-value ระหว่างการเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

| วันที่ | K-value (%) ที่วัดได้    |                         |                                                            |                                                            |                                                            |                                          |                                                            |
|--------|--------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|        | Air                      | Vacuum                  | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 40:N <sub>2</sub> 20 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 30:N <sub>2</sub> 30 | CO <sub>2</sub> 40:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 40 | CO <sub>2</sub> 60:<br>O <sub>2</sub> 20:N <sub>2</sub> 20 |
| 0      | ND                       | ND                      | ND                                                         | ND                                                         | ND                                                         | ND                                       | ND                                                         |
| 1      | 7.0 <sup>Af</sup> ±2.1   | ND                      | ND                                                         | ND                                                         | ND                                                         | ND                                       | ND                                                         |
| 3      | 11.6 <sup>Acf</sup> ±0.1 | 4.3 <sup>Bg</sup> ±0.8  | ND                                                         | ND                                                         | ND                                                         | ND                                       | ND                                                         |
| 5      | 21.7 <sup>Adc</sup> ±2.2 | 15.7 <sup>Bf</sup> ±1.5 | ND                                                         | ND                                                         | ND                                                         | ND                                       | ND                                                         |
| 7      | 29.8 <sup>Acd</sup> ±2.8 | 24.2 <sup>Bc</sup> ±2.0 | ND                                                         | ND                                                         | ND                                                         | ND                                       | ND                                                         |
| 9      | 40.5 <sup>Ac</sup> ±8.1  | 32.2 <sup>Bd</sup> ±0.3 | ND                                                         | ND                                                         | ND                                                         | ND                                       | ND                                                         |
| 11     | 56.1 <sup>Ab</sup> ±12.2 | 47.5 <sup>Ac</sup> ±2.2 | 24.3 <sup>Bc</sup> ±1.8                                    | 15.1 <sup>Bc</sup> ±0.2                                    | 14.7 <sup>Bc</sup> ±2.4                                    | 18.1 <sup>Bc</sup> ±1.0                  | 23.2 <sup>Bc</sup> ±0.1                                    |
| 13     | 66.0 <sup>Ab</sup> ±1.6  | 69.8 <sup>Ab</sup> ±2.6 | 47.8 <sup>Bb</sup> ±1.6                                    | 36.3 <sup>CDb</sup> ±9.1                                   | 27.8 <sup>Db</sup> ±2.3                                    | 37.8 <sup>Cb</sup> ±1.0                  | 44.4 <sup>BCb</sup> ±2.6                                   |
| 15     | 83.7 <sup>Aa</sup> ±3.4  | 78.1 <sup>Aa</sup> ±1.6 | 57.0 <sup>Ba</sup> ±5.6                                    | 55.4 <sup>BCa</sup> ±2.4                                   | 45.8 <sup>Ca</sup> ±4.7                                    | 49.3 <sup>BCa</sup> ±5.6                 | 47.7 <sup>BCa</sup> ±2.0                                   |

A,B,C,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ND หมายถึงตรวจไม่พบ

ระยะเวลาในการเก็บรักษาทำให้ค่า K ในหอยเป่าฮื้อเพิ่มขึ้นโดยค่า K มีทิศทางเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับปริมาณ Hypoxanthine การเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถรักษาความสดของหอยเป่าฮื้อเอาไว้ได้เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาในบรรยากาศปกติหรือสภาพสูญญากาศ เช่นเดียวกับปลา tilapia ที่พบค่า K ของปลา tilapia สดมีค่า 13.0% และการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มี CO<sub>2</sub> 75:N<sub>2</sub> 25 จะชะลอการเพิ่มขึ้นของค่า K ได้เมื่อเทียบกับการเก็บในบรรยากาศปกติ (Reddy, Villanueva, and Kautter, 1995) แต่อย่างไรก็ตามค่า K ก็ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอการบูดของหอยเป่าฮื้อพันธุ์ *H. asinina* เช่นเดียวกับที่ค่า K ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอยเป่าฮื้อพันธุ์ *H. discus* เนื่องจากไม่มีการเพิ่มขึ้นของค่า K ในช่วงแรกของการเก็บรักษา แต่จะเพิ่มขึ้นในช่วงหลังซึ่งหอยเป่าฮื้อเกิดการเน่าเสียแล้วในขณะที่ค่า K ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอยเป่าฮื้อพันธุ์ *H. discus* ที่เก็บโดยการแช่เย็นในบรรยากาศปกติ เนื่องจากค่า K เพิ่มขึ้นช้ามากระหว่างการเก็บรักษา (Yokoyama *et al.*, 1994) และค่า K ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอย scallop เช่นกัน (Kawashima and Yamanaka, 1992)

ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในสัตว์น้ำนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของสัตว์ โดยสัตว์แต่ละชนิดจะมีชนิดและปริมาณของสารประกอบนิวคลีโอไทด์แตกต่างกัน โดยพบปริมาณ IMP ในปลาไหล *Anguilla anguilla* ปริมาณสูงเนื่องจากเป็นสารสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นรสในปลา แต่พบปริมาณ ATP ADP และ AMP ต่ำ (Ozogul, Ozogul, and Gokbulut, 2006) แตกต่างจากหอยเป่าฮื้อซึ่งมีการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ได้ทั้งเปลี่ยนจาก ATP → ADP → AMP → IMP → Inosine → Hypoxanthine เหมือนในปลาและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม หรืออาจมีการเปลี่ยนแปลงเหมือนสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลังก็ได้คือเปลี่ยนจาก ATP → ADP → AMP → Adenosine → Inosine → Hypoxanthine แต่ในหอยเป่าฮื้อจะพบเอนไซม์ AMP-deaminase และ Adenosine-deaminase คำจึงคาดว่าน่าจะมีการสะสมของปริมาณ AMP มากกว่า IMP ซึ่ง AMP จะไม่สามารถเกิดรสชาติได้เพียงลำพัง แต่จะแสดง umami taste โดยการเกิดปฏิกิริยาร่วมกับกรดกลูตามิก (Hatae *et al.*, 1995) การเปลี่ยนแปลงของสารนิวคลีโอไทด์ในหอยเป่าฮื้อ *H. discus* สามารถเกิดได้ 2 แบบเช่นกัน

คือ เกิดการแตกตัวจาก AMP ไปเป็น IMP หรือ Adenosine โดย ATP และ ADP จะเป็นสารหลักที่มีอยู่ในขณะที่พบปริมาณ AMP สะสมอยู่จำนวนมากที่สุดในหอยเป่าฮื้อ (Watanabe, Yamanaka, and Yamakawa, 1992) และการเก็บหอยเป่าฮื้อ *H. discus* ที่อุณหภูมิ 0°C พบว่า ATP ลดลงอย่างรวดเร็วและลดลงเกือบหมดเมื่อผ่านไป 9 วัน ปริมาณ ADP จะเริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 1 ของการเก็บรักษาแต่ก็ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บ ส่วนปริมาณ AMP จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 11 จึงเริ่มลดลง สำหรับ Hypoxanthine นั้นก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และตรวจพบ IMP และ Adenosine เพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้พบว่าอัตราการสลายตัวของ ATP ใน *H. discus* ช้ากว่าสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลังชนิดอื่นและการสะสมของ AMP เกิดได้ดีเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ โดยอัตราการสลายตัวของ AMP ในสัตว์พวก mollusks จะกลายเป็น IMP และ Adenosine ส่วนค่า K จะไม่เพิ่มขึ้นจนกว่าจะผ่านไป 5 วัน และก็จะเพิ่มขึ้นช้า จึงสรุปว่าค่า K ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของ *H. discus* (Watanabe, Yamanaka, and Yamakawa, 1992)

## 4.2 การยืดอายุการเก็บของหอยเป่าฮื้อระยะยาว โดยใช้กระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน

### 4.2.1 การแปรรูปหอยเป่าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตแพซ

#### 4.2.1.2 ผลของวิธีการจัดการ อุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเกิดฮิสตามีนในหอยเป่าฮื้อสด

ฮิสตามีนเป็นสารพิษประเภท biogenic amine ชนิดหนึ่งที่เกิดจากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ของกรดอะมิโนฮิสติดีน โดยมีเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซิเลส (histidine decarboxylase) ที่สร้างโดยแบคทีเรียทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา และทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ histamine fish poisoning ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเจ็บป่วยจากการบริโภคอาหารทะเลทั้งสดและอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ เช่น อาหารกระป๋อง อาหารรมควัน เป็นต้น ฮิสตามีนมีความคงตัวสูงและไม่สามารถทำลายด้วยกระบวนการแช่แข็ง การหุงต้ม หรือการแปรรูปด้วยความร้อนสูง เป็นต้น (Lehane and Olley, 2000) ฮิสตามีนถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์กำหนดด้านความปลอดภัยของอาหาร (food safety) ในทางการค้าระหว่างประเทศ ดังนั้นเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว ในฐานะที่เป็นประเทศผู้ผลิตหอยเป่าฮื้อในเชิงพาณิชย์จึงควรศึกษาฮิสตามีนในหอยเป่าฮื้อสดด้วย จากการทดลองเมื่อนำหอยเป่าฮื้อแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 10°C ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างการจัดการก่อนการเก็บรักษา (เก็บรักษาแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก) และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ปริมาณแบคทีเรียที่ต้องการอากาศ และค่า firmness ของหอยเป่าฮื้ออย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ปัจจัยดังกล่าวไม่มีผลต่อปริมาณฮิสตามีนและปริมาณแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซิเลส

#### 4.2.1.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ระหว่างการเก็บรักษา

จากการทดลอง พบว่าที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่มีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการจัดการหอยเป่าฮื้อ (เก็บรักษาแบบทั้งตัวหรือแกะเปลือกเอาเครื่องในออก) และระยะเวลาการเก็บรักษา ( $p \leq 0.05$ ) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของหอยเป่าฮื้อที่อุณหภูมิการเก็บรักษาเท่ากัน หอยเป่าฮื้อที่เก็บแบบทั้งตัวมีค่า pH สูงกว่าแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ( $p \leq 0.05$ ) การเปลี่ยนแปลงค่า pH ของหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0°C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ในขณะที่ pH ของหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาที่ 10°C มีแนวโน้มลดลง หอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0°C มีค่า pH เพิ่มขึ้น อาจเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายโปรตีนทำให้เกิดสาร volatile amine เช่น แอมโมเนีย เป็นต้น ทำให้ค่า pH สูงขึ้น (Ashie, Smith, and Simpson, 1996; สุมนงา วัฒนสินธุ์, 2545) รวมถึงเกิดสารอื่นๆ เช่น สารประกอบ amines และ sulfides ทำให้เกิดกลิ่นและรสผิดปกติขึ้นได้ (Sofos, 1994) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองเก็บรักษาปู Dungeness crab (*Cancer magister*) (Parkin and Brown, 1983) กุ้ง brown shrimp (*Penaeus aztecus*) (Lannelongue และ

คณะ, 1982) และกุ้งน้ำจืด (*Pacifastacus leniusculus*) (Wang and Brown, 1983) ในบรรยากาศปกติที่พบว่าค่า pH เพิ่มขึ้นเรื่อยๆตลอดการเก็บรักษา

หอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาแบบทั้งตัวมีค่า pH สูงกว่าแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก อาจเนื่องจากการเก็บแบบทั้งตัวมีการปนเปื้อนของแบคทีเรียในลำไส้หรือท้องมากกว่าและมีหลายชนิดที่สามารถเจริญได้ดี โดยแบคทีเรียพวกที่ทำให้ค่า pH สูงขึ้น เช่น *Pseudomonas Moraxella* และ *Acinetobacter* เป็นต้น (Sofos, 1994) อาจมีการเจริญมากกว่าพวกที่สร้างกรดแลกติก ทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH มากกว่า

**ตารางที่ 4.25** ค่า pH ของหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกระหว่างเก็บที่ 0 และ 10°C

| ระยะเวลาการเก็บ |                         |                              | ระยะเวลาการเก็บ |                         |                              |
|-----------------|-------------------------|------------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------------|
| 0°C             |                         |                              | 10°C            |                         |                              |
| (วัน)           | ทั้งตัว                 | แกะเปลือก<br>เอาเครื่องในออก | (วัน)           | ทั้งตัว                 | แกะเปลือก<br>เอาเครื่องในออก |
| 0               | 6.12 <sup>b</sup> ±0.01 | 6.12 <sup>b</sup> ±0.01      | 0               | 6.12 <sup>i</sup> ±0.01 | 6.12 <sup>i</sup> ±0.01      |
| 3               | 6.22 <sup>c</sup> ±0.01 | 6.07 <sup>a</sup> ±0.01      | 1               | 6.20 <sup>j</sup> ±0.02 | 6.06 <sup>h</sup> ±0.01      |
| 6               | 6.29 <sup>f</sup> ±0.01 | 6.11 <sup>b</sup> ±0.01      | 2               | 6.16 <sup>k</sup> ±0.02 | 5.95 <sup>f</sup> ±0.01      |
| 9               | 6.29 <sup>f</sup> ±0.01 | 6.08 <sup>a</sup> ±0.01      | 3               | 6.19 <sup>j</sup> ±0.02 | 6.04 <sup>g</sup> ±0.01      |
| 12              | 6.37 <sup>g</sup> ±0.01 | 6.14 <sup>c</sup> ±0.01      | 4               | 6.17 <sup>k</sup> ±0.02 | 5.92 <sup>e</sup> ±0.01      |
| 15              | 6.42 <sup>h</sup> ±0.01 | 6.15 <sup>c</sup> ±0.01      | 5               | 6.14 <sup>j</sup> ±0.01 | 5.79 <sup>e</sup> ±0.01      |
| 18              | 6.42 <sup>h</sup> ±0.01 | 6.19 <sup>d</sup> ±0.02      | 6               | 6.06 <sup>j</sup> ±0.01 | 5.64 <sup>b</sup> ±0.02      |
| 21              | 6.42 <sup>h</sup> ±0.01 | 6.23 <sup>c</sup> ±0.01      | 7               | 5.86 <sup>d</sup> ±0.01 | 5.47 <sup>a</sup> ±0.01      |

a, b, c, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

หอยเป่าฮื้อที่เก็บที่อุณหภูมิ 10°C มีแนวโน้มค่า pH ลดลง อาจเนื่องมาจากสัตว์จำพวกหอยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตซึ่งอยู่ในรูปไกลโคเจน เมื่อสัตว์น้ำตายเซลล์จะไม่ได้รับออกซิเจน ไกลโคเจนจึงไม่สามารถเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้เหมือนในสภาพที่ยังมีชีวิตอยู่ แต่ไกลโคเจนยังคงแตกตัวต่อไปโดยการเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซิส (glycolysis) จากการทำงานของเอนไซม์ภายใต้ภาวะไม่มีอากาศ ทำให้เกิดกรดแลกติกขึ้น เมื่อมีการสะสมของกรดแลกติกเพิ่มมากขึ้นทำให้กล้ามเนื้อมี pH ลดต่ำลง (James and Olley, 1970; นงลักษณ์ สุทธิวิช, 2531) สอดคล้องกับการทดลองของ Baldwin และคณะ (1992) ซึ่งพบว่าเมื่อเก็บหอยเป่าฮื้อ *H. iris* ไว้ 1 วัน ที่อุณหภูมิ 5.5°C ค่า pH จะลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไกลโคไลซิสแบบไม่ใช้ออกซิเจนภายในกล้ามเนื้อ และจากการศึกษาของ Chiou และคณะ (2002) พบว่าเมื่อเก็บหอยเป่าฮื้อ small abalone (*H. diversicolor*) ที่อุณหภูมิ 5, 15 และ 25°C ค่า pH มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และพบว่า pH ที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับปริมาณไกลโคเจนในเนื้อหอยด้วย เช่นเดียวกับที่พบในหอยลาย (Chiou, Lin, and Shiau, 1998) และหอยแครงญี่ปุ่น (Japanese baking scallop) (Wongso and Yamanaka, 1998)

นอกจากนี้การลดลงของค่า pH อาจเกิดจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแลกติกได้ เช่น Lactobacilli, Streptococci และ ยีสต์ เป็นต้น (Ashie *et al.*, 1996) เช่นเดียวกับที่พบว่าค่า pH ของหอยนางรมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7°C เป็นเวลา 2 วัน ลดลงเนื่องจากการเจริญของ acid-tolerant lactic acid bacteria ซึ่งพบมากถึง 75% ของปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (Fieger and Novak, 1961) James และ Olley (1970) รายงานว่าการเก็บหอยเป่าสัสนี้แบบทั้งตัวและแกะเปลือกที่อุณหภูมิสูงกว่า 5-7°C ค่า pH ลดลงมากอย่างเห็นได้ชัดและทำให้เกิดการสูญเสียจำนวนมากด้วย ในขณะที่เมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า ค่า pH เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ก็มี การสูญเสีย น้ำออกจากเนื้อ อาจเนื่องมาจากผลกระทบจากความเย็น และสรุปว่าค่า pH ที่ต่ำลงและการสูญเสียของหอยเป่าสัสนี้มีผลทำให้ปริมาณน้ำในเนื้อลดลง และทำให้น้ำสัมผัสของผลิตภัณฑ์หอยเป่าสัสนี้บรรจุกระป๋องเนืวยาวขึ้นด้วย

#### 4.2.1.2.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของหอยเป่าสัสนี้ที่เก็บแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกที่อุณหภูมิ 0 และ 10°C พบว่า ค่า firmness มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0°C มีผลให้ค่า firmness ของหอยเป่าสัสนี้ที่เก็บแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกมีค่าลดลงมากอย่างเห็นได้ชัดหลังจากเก็บ 3 และ 12 วัน และเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 10°C ค่า firmness ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) หลังการเก็บ 2 และ 5 วันตามลำดับ โดยหอยเป่าสัสนี้ที่เก็บรักษาแบบทั้งตัวมีค่า firmness ต่ำกว่าแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกที่ทุกอุณหภูมิ การเก็บรักษา เนื่องจากการเสื่อมเสียของหอยเป่าสัสนี้เป็นไปอย่างรวดเร็วถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงและไม่มีการเอาเปลือกออก การเอาเปลือกและเครื่องในออกเป็นการป้องกันการปนเปื้อนจากแบคทีเรียที่อยู่ในเครื่องในและป้องกันการเสื่อมเสียจากเอนไซม์ด้วย (James and Olley, 1974) ลำไส้ของปลาตามปกติต้องฆ่าและออกก่อนที่ปลาจะเสีย เนื่องจากแบคทีเรียในลำไส้สามารถปนเปื้อนเข้าไปในเนื้อปลาโดยอาศัยเอนไซม์ย่อยโปรตีนช่วยในกลไกนี้ (สุมนชา วัฒนสินธุ์, 2545) การเจริญของจุลินทรีย์ที่พบได้ทั่วไปบริเวณผิวหนัง เหงือก หรือลำไส้ และการย่อยสลายตัวเอง (autolysis) ของ endogenous enzyme ของแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ ทำให้เกิดการเน่าเสียและมีผลให้เกิดลักษณะที่ไม่ดีต่างๆ เช่น การทำลายเนื้อสัมผัส การเกิดกลิ่นไม่ดีและการเปลี่ยนสี เป็นต้น (Ashie *et al.*, 1996) Robbins และคณะ (1979) พบว่าการที่ปลาหรืออาหารทะเลมีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่เป็นที่ต้องการนั้น นอกจากจะเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์จากจุลินทรีย์แล้วยังพบว่า endogenous protease ในกล้ามเนื้อบางชนิดที่สามารถทำงานได้ดีที่ pH ระหว่างการเก็บซึ่งอยู่ในช่วง 5.5-6.5 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสด้วย ดังนั้นหอยเป่าสัสนี้ที่เก็บรักษาแบบทั้งตัวจึงเกิดการเน่าเสียได้เร็วกว่า ทำให้ค่า firmness ลดลงมากกว่าเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์และเอนไซม์ นอกจากนี้การเปลี่ยนกลูโคสไปเป็นกรดแลกติกซึ่งมีผลให้ pH ลดลง ก็อาจมีผลกระทบต่อเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏของเนื้อปลาได้ (Konagaya and Konagaya, 1979; Ang and Haard, 1985)

**ตารางที่ 4.26** การเปลี่ยนแปลงค่า firmness ( $\times 10^3$  g.mm) ของหอยเป่าฮื้อที่เก็บแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 10°C

| ระยะเวลาการเก็บ |                          |                              | ระยะเวลาการเก็บ |                           |                              |
|-----------------|--------------------------|------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------------|
| 0°C             |                          |                              | 10°C            |                           |                              |
| (วัน)           | ทั้งตัว                  | แกะเปลือก<br>เอาเครื่องในออก | (วัน)           | ทั้งตัว                   | แกะเปลือก<br>เอาเครื่องในออก |
| 0               | 18.62 <sup>f</sup> ±2.48 | 18.62 <sup>f</sup> ±2.48     | 0               | 24.62 <sup>i</sup> ±2.64  | 24.62 <sup>i</sup> ±2.64     |
| 3               | 10.26 <sup>c</sup> ±0.80 | 15.17 <sup>e</sup> ±1.57     | 1               | 21.23 <sup>h</sup> ±1.67  | 28.97 <sup>j</sup> ±0.93     |
| 6               | 5.24 <sup>b</sup> ±0.05  | 14.96 <sup>e</sup> ±2.37     | 2               | 16.38 <sup>g</sup> ±1.85  | 25.22 <sup>i</sup> ±1.46     |
| 9               | 4.64 <sup>b</sup> ±0.06  | 15.49 <sup>e</sup> ±1.26     | 3               | 11.92 <sup>de</sup> ±0.72 | 25.16 <sup>i</sup> ±2.37     |
| 12              | 1.79 <sup>a</sup> ±0.02  | 12.17 <sup>d</sup> ±1.28     | 4               | 9.59 <sup>cd</sup> ±1.08  | 23.17 <sup>hi</sup> ±2.59    |
| 15              | 1.51 <sup>a</sup> ±0.01  | 4.87 <sup>b</sup> ±0.66      | 5               | 7.40 <sup>bc</sup> ±0.75  | 17.52 <sup>e</sup> ±2.55     |
| 18              | 1.20 <sup>a</sup> ±0.01  | 1.90 <sup>a</sup> ±0.23      | 6               | 6.13 <sup>b</sup> ±0.59   | 14.15 <sup>ef</sup> ±1.43    |
| 21              | 1.55 <sup>a</sup> ±0.02  | 1.67 <sup>a</sup> ±0.01      | 7               | 3.54 <sup>a</sup> ±0.64   | 12.75 <sup>c</sup> ±1.58     |

a, b, c, ... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.1.2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์

##### 4.2.1.2.3.1 ปริมาณแบคทีเรียที่ต้องการอากาศ (aerobic plate count)

ปริมาณแบคทีเรียที่ต้องการอากาศที่พบในหอยเป่าฮื้อสดเท่ากับ 4.22 log cfu/g เมื่อระยะเวลาการเก็บหอยเป่าฮื้อนานขึ้นปริมาณแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อใช้ปริมาณจุลินทรีย์เท่ากับ  $10^6$  cfu/g หรือประมาณ 6 log cfu/g เป็นเกณฑ์ในการกำหนดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์เนื่องจากเป็นปริมาณที่คาดว่าจะทำให้เกิดการเน่าเสีย (Gram and Dalgaard, 2002) และมักเป็นระดับที่ทำให้อาหารไม่เป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัส (Olafsdottir *et al.*, 1997) พบว่าสามารถเก็บรักษาหอยเป่าฮื้อแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกที่อุณหภูมิ 0°C ได้เป็นเวลา 6 และ 9 วัน ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 3 และ 4 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.27) การเก็บรักษาที่ 0°C ช่วยชะลอเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ภายในเซลล์ของหอยเป่าฮื้อและเซลล์จุลินทรีย์ได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่ 10°C รวมถึงการแกะเปลือกเอาเครื่องในออกช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ Scott และคณะ (1986) ที่พบว่าปลา orange roughy ที่ตัดหัวและเอาเครื่องในออกมีอายุการเก็บรักษานานกว่าปลาที่เก็บแบบทั้งตัว โดยสามารถเก็บได้นานถึง 13-16 วัน James และ Olley (1970, 1974) พบว่าการเสื่อมเสียของหอยเป่าฮื้อเป็นไปอย่างรวดเร็วถ้าเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงและไม่มีการเอาเปลือกออก การแกะเปลือกและเครื่องในออกเป็นการป้องกันการปนเปื้อนจากแบคทีเรียที่อยู่ในเครื่องในและป้องกันการเสื่อมเสียจากเอนไซม์ด้วย จึงควรเก็บหอยเป่าฮื้อในสภาพที่แกะเปลือกและเอาเครื่องในออกภายใต้อุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 4.27 ปริมาณแบคทีเรียที่ต้องการอากาศ ( $\times 10^6$  cfu/g) ของหอยเป่าสื้อที่เก็บแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0 และ 10°C

| ระยะเวลาการเก็บ |                          |                              | ระยะเวลาการเก็บ |                            |                              |
|-----------------|--------------------------|------------------------------|-----------------|----------------------------|------------------------------|
| 0°C             |                          |                              | 10°C            |                            |                              |
| (วัน)           | ทั้งตัว                  | แกะเปลือก<br>เอาเครื่องในออก | (วัน)           | ทั้งตัว                    | แกะเปลือก<br>เอาเครื่องในออก |
| 0               | 0.02 <sup>a</sup> ±0.01  | 0.02 <sup>a</sup> ±0.01      | 0               | 0.02 <sup>a</sup> ±0.01    | 0.02 <sup>a</sup> ±0.01      |
| 3               | 0.27 <sup>a</sup> ±0.02  | 0.10 <sup>a</sup> ±0.01      | 1               | 0.01 <sup>a</sup> ±0.01    | 0.05 <sup>a</sup> ±0.01      |
| 6               | 1.16 <sup>a</sup> ±0.06  | 0.46 <sup>a</sup> ±0.01      | 2               | 0.08 <sup>a</sup> ±0.02    | 0.20 <sup>a</sup> ±0.01      |
| 9               | 5.07 <sup>b</sup> ±0.06  | 1.08 <sup>a</sup> ±0.06      | 3               | 5.64 <sup>a</sup> ±0.04    | 0.86 <sup>a</sup> ±0.07      |
| 12              | 7.52 <sup>c</sup> ±0.07  | 3.41 <sup>b</sup> ±0.10      | 4               | 13.27 <sup>a</sup> ±0.57   | 4.87 <sup>a</sup> ±0.20      |
| 15              | 12.65 <sup>d</sup> ±0.07 | 9.39 <sup>c</sup> ±0.02      | 5               | 124.10 <sup>c</sup> ±5.42  | 44.31 <sup>b</sup> ±1.01     |
| 18              | 20.87 <sup>f</sup> ±0.89 | 18.36 <sup>c</sup> ±0.75     | 6               | 226.29 <sup>c</sup> ±6.86  | 130.32 <sup>c</sup> ±9.31    |
| 21              | 92.80 <sup>h</sup> ±0.90 | 56.04 <sup>e</sup> ±4.09     | 7               | 226.29 <sup>f</sup> ±41.54 | 188.63 <sup>d</sup> ±13.24   |

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นหรือต่ำกว่าจะช่วยยืดอายุของอาหารได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำไม่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophiles) แต่เหมาะสมกับแบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (psychrophiles) หรือแบคทีเรียที่ปรับตัวเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ (psychrotrophs) แม้ว่าแบคทีเรียจำพวก psychrotrophs เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำแต่การเจริญก็เป็นไปอย่างช้าๆ การเน่าเสียจึงเกิดขึ้นช้ากว่า (Ashie *et al*, 1996)

#### 4.2.1.2.3.2 ปริมาณแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลส

จากการทดลองพบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกที่อุณหภูมิ 0 และ 10°C ไม่พบแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลส ซึ่งช่วยเร่งปฏิกิริยาดีคาร์บอกซีเลชัน (decarboxylation) ของกรดอะมิโนฮิสติดีนไปเป็นฮิสตามีน

โดยปกติจะพบแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสได้ทั่วไปในวัตถุดิบและสภาพแวดล้อมของกระบวนการผลิตหรือการเก็บรักษา แบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสมักเป็นแบคทีเรียพวก mesophile ที่สำคัญ ได้แก่ แบคทีเรียในแฟมิลี Enterobacteriaceae โดยเฉพาะพวก Clostridium และ Lactobacillus (Taylor และคณะ, 1978) เช่น *Morganella morganii*, *Klebsiella pneumoniae*, และ *Klebsiella oxytoca* เป็นแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสที่มีกิจกรรมสูงมาก สามารถสร้างฮิสตามีนได้มากกว่า 300 mg/100g เมื่อเพาะเลี้ยงเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อและบ่มที่ 37°C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ส่วน *Hafnia alvei*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter agglomerans*, *Enterobacter cloacae*, และ *Serratia marcescens* สร้างฮิสตามีนได้มากกว่า 100 mg/100g (Lopez-Sabater *et al.*, 1996) McMeekin และคณะ (1993) รายงานว่าแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสสามารถเจริญได้ทั้งที่อุณหภูมิการแปรรูปและที่อุณหภูมิการเก็บรักษา โดยพบว่า *Photobacterium phosphoreum* เป็นแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญอยู่ในช่วง 10-15°C ส่วนแบคทีเรียพวก *Vibrio* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 25-30°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิที่ใช้ในการรมควันแบบเย็น (cold smoking) ในประเทศเขตอบอุ่น แต่ในประเทศเขตร้อนจะพบ *Morganella morganii*, *Klebsiella pneumoniae*, และ *Hafnia alvei* ซึ่งเจริญได้ดีที่ 35-40°C แม้กระทั่งอุณหภูมิที่ใช้รมควันแบบร้อน (hot smoking) (50-55°C) ก็พบแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสด้วย สอดคล้องกับรายงานของ Lopez-Sabater และคณะ (1994) ที่พบว่าการปนเปื้อนของแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลสในเนื้อปลาห่านที่ใช้ทำปลาห่านกระป๋องในระหว่างขั้นตอนการตัดแต่งวัตถุดิบ ซึ่งอาจปนเปื้อนจากมีดหรืออุปกรณ์ที่ใช้หรือจากสภาพแวดล้อมในการผลิต และพบการปนเปื้อนในวัตถุดิบที่ลวกแล้ว ซึ่งอาจเกิดจากความล่าช้าในระหว่างรอเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป และปลาห่านถูกทิ้งไว้ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญและการฟุ้งตัวของแบคทีเรีย รวมถึงอาจเกิดการปนเปื้อนซ้ำจากสภาพแวดล้อมในการผลิตด้วย

#### 4.2.1.2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฮิสตามีน

จากการวิเคราะห์ปริมาณฮิสตามีนในหอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออกที่อุณหภูมิ 0 และ 10°C โดยใช้ชุดทดสอบฮิสตามีนที่มีค่า detection limit 20-200 ppm (Kikkoman Corporation, Japan) ปรากฏว่าไม่พบฮิสตามีนในเนื้อหอยเป่าอื้อจากทุกภาวะการเก็บรักษา เนื่องจากขาดปัจจัยส่งเสริมการเกิดฮิสตามีน ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนฮิสติดีนในเนื้อและแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซีเลส โดยหอยเป่าอื้อมีองค์ประกอบที่เป็นกรดอะมิโนฮิสติดีนอยู่เพียง 10 mg/100g (Chiou *et al.*, 2002) ส่วนปลาที่ทำให้เกิดโรควิดเป็นพิษ histamine fish poisoning เช่น ปลา kahawai kingfish และ albacore มีปริมาณสูงกว่า 1,000 mg/100g ปลาที่ไม่เกี่ยวข้องกับโรควิดเป็นพิษ เช่น ปลา sea perch, flounder, และ red snapper มีปริมาณกรดอะมิโนต่ำกว่า 5 mg/100g (Arnold and Brown, 1978) ปลาที่มักเป็นสาเหตุของโรควิดเป็นพิษ ส่วนใหญ่มีปริมาณฮิสติดีนในกล้ามเนื้อสูง ได้แก่ ปลาพวก scombroid เช่น ปลา mackerel, tuna, bonito, saury เป็นต้น และปลาอื่นๆ เช่น mahi-mahi, sardine, herring, marlin, bluefish, salmon, amberjack, anchovies, kahawai เป็นต้น (Lehane and Olley, 2000) ปลา mackerel มีปริมาณกรดอะมิโนฮิสติดีนในเนื้อ 210-726 mg/100g (Arnold and Brown, 1978) ปลา skipjack tuna พบอยู่ในช่วง 268-1389 mg/100g (Yoshinaga and Frank, 1982; Abe, 1983) และในปลา mahi-mahi พบ 182-541 mg/100g (Antoine *et al.*, 1999)

นอกจากนี้ยังไม่พบแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซิเลสในหอยเป่าอีกด้วย ดังที่ได้กล่าวถึงในข้อ 4.2.1.2.3.2 จึงเป็นไปได้ที่ไม่พบฮิสตามีนในหอยเป่าฮือในทุกภาวะการเก็บ แม้อุณหภูมิการเก็บไม่เหมาะสม ( $10^{\circ}\text{C}$ ) ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีผลต่อการสร้างฮิสตามีน เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญของแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซิเลส ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียพวก mesophile สามารถเจริญและสร้างฮิสตามีนได้อย่างรวดเร็วในภาวะที่มีอุณหภูมิสูง เช่น อุณหภูมิห้อง (Price and Tom, 2004) จากการศึกษาของ Du และคณะ (2002) รายงานว่าแบคทีเรียที่สร้างฮิสตามีนเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วและสร้างฮิสตามีนได้มากที่สุดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $22^{\circ}\text{C}$  ส่วนการเก็บที่  $0^{\circ}\text{C}$  นาน 9 วัน พบปริมาณฮิสตามีนน้อยกว่า  $20\text{ mg/kg}$  แม้ปริมาณแบคทีเรียที่สร้างฮิสตามีนจะสูงถึง  $6\text{ log cfu/g}$  ในขณะที่การเก็บที่  $10$  และ  $22^{\circ}\text{C}$  ปริมาณแบคทีเรียเพียง  $2-3\text{ log cfu/g}$  สามารถสร้างได้มากกว่า  $50\text{ mg/kg}$  อาจเนื่องจากการเป็นแบคทีเรียต่างชนิดกัน โดยแบคทีเรียพวกที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ  $22^{\circ}\text{C}$  สามารถสร้างเอนไซม์ที่มี activity สูงกว่าแบคทีเรียพวกที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า สอดคล้องกับรายงานของ Lopez-Sabater และคณะ (1996) ที่พบว่าเมื่อเก็บปลาทูน่าที่อุณหภูมิ  $8^{\circ}\text{C}$  ปริมาณฮิสตามีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังการเก็บ 24 ชั่วโมง และหลังจาก 4 วัน ปริมาณฮิสตามีนเพิ่มสูงกว่า  $1,000\text{ mg/kg}$  ในขณะที่เก็บที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  แม้จะพบเชื้อ *Morganella morganii* หรือ *Klebsiella oxytoca* มากถึง  $5\text{ log cfu/g}$  แต่ปริมาณฮิสตามีนที่เกิดขึ้นยังต่ำกว่าระดับที่เป็นอันตราย เนื่องจากอุณหภูมิไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและการทำงานของเอนไซม์ ทำให้เอนไซม์มี activity ต่ำ จึงสร้างฮิสตามีนได้น้อย

ฮิสตามีนมีความสำคัญและถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์กำหนดด้านความปลอดภัยของอาหารในทางการค้าระหว่างประเทศ เนื่องจากเกี่ยวข้องกับปัญหาสุขภาพของผู้บริโภค ดังนั้นในทางการค้าระหว่างประเทศจึงต้องมีเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน เพื่อประกันความปลอดภัยของผู้บริโภคและใช้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อป้องกันการเอารัดเอาเปรียบของประเทศคู่ค้า โดยมาตรฐาน Codex กำหนดระดับฮิสตามีนในปลาที่อยู่ในแฟมิลี Scrombidae, Scrombresocidae, Pomatomidae, Clupeidae, และ Coryphaenidae จะต้องไม่เกิน  $100\text{ mg/kg}$  ซึ่งเป็นระดับที่บ่งชี้ถึงการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับ The European Community กำหนดให้ปลาที่นำเข้าจะต้องมีปริมาณฮิสตามีนไม่เกิน  $100\text{ mg/kg}$  สำหรับ The United State Food and Drug Administration (USFDA) กำหนดระดับการยอมรับปริมาณฮิสตามีนในปลาและผลิตภัณฑ์ต้องไม่เกิน  $50\text{ mg/kg}$  และ  $200\text{ mg/kg}$  เป็นระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพผู้บริโภค เช่นเดียวกับ Australian New Zealand Food Standard Code กำหนดระดับฮิสตามีนในปลาและผลิตภัณฑ์ต้องไม่เกิน  $200\text{ mg/kg}$  (Bermejo and Mondaca, 2002; Bremer, Fletcher, and Osborne, 2003) ผลจากการทดลองนี้ช่วยยืนยันว่าหอยเป่าฮือปลอดภัยจากฮิสตามีนในภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $10^{\circ}\text{C}$  หรือต่ำกว่า ทั้งการเก็บแบบทั้งตัวหรือแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก

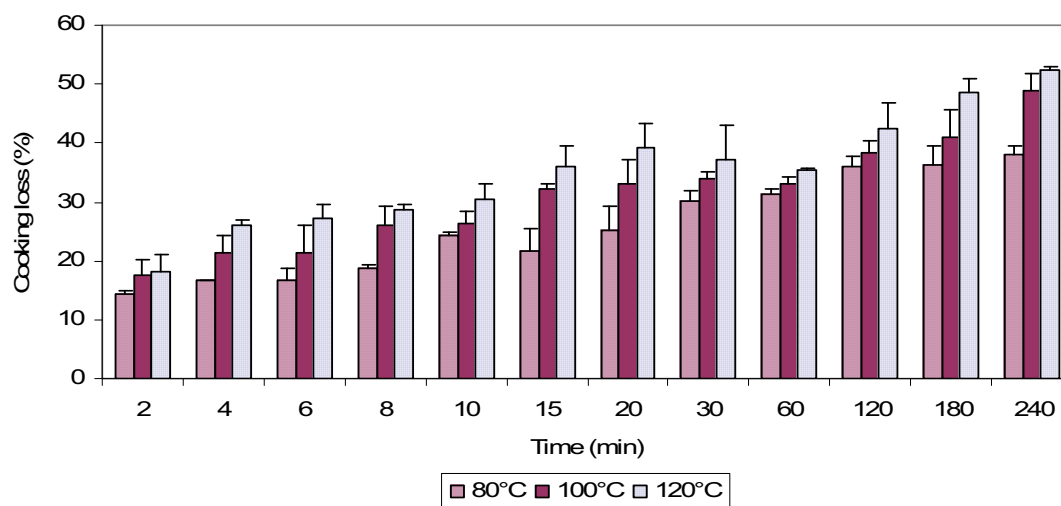
#### 4.2.1.3 ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป่าฮือ

กระบวนการแปรรูปเนื้อสัตว์ด้วยความร้อนมีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงของโปรตีน ปริมาณผลผลิต (cooking yield) และปัจจัยคุณภาพคุณภาพที่สำคัญอื่นๆ เช่น ความชุ่มน้ำ (juiciness) สี กลิ่นรส เป็นต้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความน่ารับประทานและการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค (Califano *et al.*, 1997) และเนื่องจากการแปรรูปหอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตแพซเป็นการแปรรูปอาหารโดยใช้ความร้อนสูง ย่อมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์ด้วย การวิจัยส่วนนี้จึงศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการให้ความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป่าฮือ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $80$ ,  $100$  และ  $120^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา  $2-240$  นาที

##### 4.2.1.3.1 ปริมาณ cooking loss

จากการทดลองเมื่อให้ความร้อนเนื้อหอยเป่าฮือที่อุณหภูมิ  $80$ ,  $100$  และ  $120^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา  $2-240$  นาที พบว่าปริมาณ cooking loss มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.1 โดยการสูญเสียน้ำหนัก

ของเนื้อจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน (Laakkonen *et al*, 1970; Bouton, Harris, and Shorthose, 1975; Offer *et al*, 1984) สอดคล้องกับการทดลองของ Chiou และคณะ (2004) ที่พบว่าเมื่อให้ความร้อนเนื้อหอยเป่าสี small abalone (*H. diversicolor*) ที่อุณหภูมิ 98°C ทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นและน้ำหนักมากกว่าที่ 80°C และรายงานของ Gao และ Ogawa (2002) ที่พบว่าการต้มเนื้อหอยเป่าสี *H. discus* นาน 1-3 ชั่วโมง เนื้อหอยสูญเสียน้ำหนักถึง 34-39%



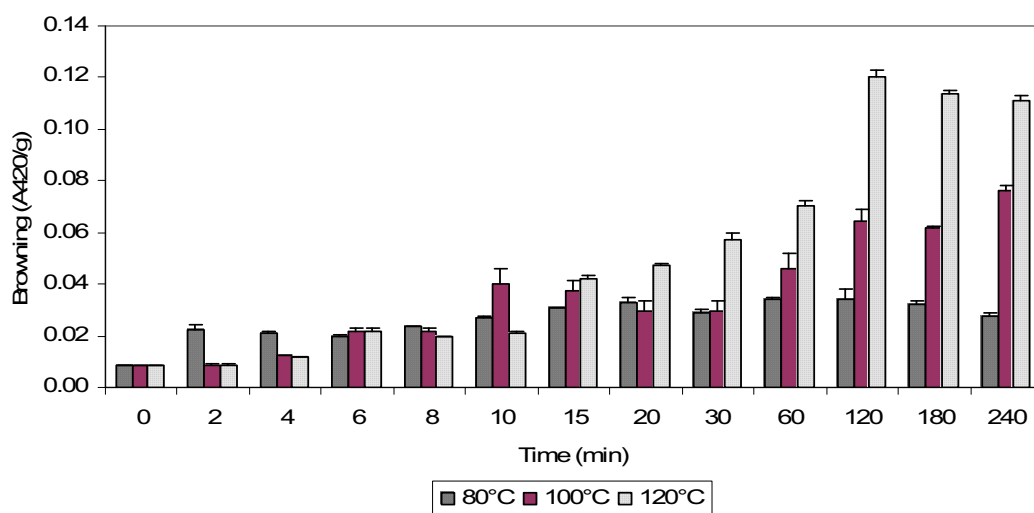
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ cooking loss ของเนื้อหอยเป่าสีที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ cooking loss มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนโครงสร้าง 2 ชนิด คือ actomyosin complex และ คอลลาเจน (Bailey and Light, 1989; Tyszkiewicz, 1979) การเสียสภาพเนื่องจากความร้อนของโปรตีนที่อุณหภูมิ 70-80°C เป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียน้ำ โดยไมโอซินเสียสภาพที่ 40-60°C ส่วนแอคตินเสียสภาพที่ 66-73°C และช่วง 56-62°C คอลลาเจนเกิดการหดตัว (Marten *et al*, 1982) สอดคล้องกับผลการศึกษาการเสียสภาพของโปรตีนกล้ามเนื้อของหอยเป่าสีด้วยวิธี differential scanning calorimetry (dsc) ของ Gao และคณะ (2001) ซึ่งพบว่าไมโอซิน คอลลาเจน และแอคติน เกิดการเสียสภาพที่อุณหภูมิ 51.3, 57.5 และ 68.3°C ตามลำดับ

น้ำในเนื้อหอยเป่าสีส่วนใหญ่ถูกเก็บรักษาอยู่ระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อ การให้ความร้อนทำให้เกิดการหดตัวของกล้ามเนื้อ 2 ช่วง โดยการหดตัวครั้งแรกอาจเกิดจากการเสียสภาพของไมโอซินมีผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำในเนื้อไปปริมาณมาก และการหดตัวครั้งที่สองน่าจะเกิดจากการเสียสภาพของ actomyosin complex (Bertola *et al*, 1994; Palka and Daun, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Offer และคณะ (1984) ที่รายงานว่าที่อุณหภูมิประมาณ 45-60°C เนื้อเกิดการหดตัวครั้งแรก โดยเกิดการหดตัวตามขวาง (transverse) กับแนวแกนเส้นใย (fiber axis) และต่อมาเกิดการหดตัวตามยาว (parallel) ที่อุณหภูมิ 60-90°C ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียน้ำของเนื้อได้ และนอกจากนี้การหดตัวที่เกิดขึ้นยังอาจเกี่ยวข้องกับการหดสั้นลงของซาร์โคเมอร์และการสูญเสียความชุ่มน้ำเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนด้วย (Laakkonen *et al*, 1970; Bouton *et al*, 1975; Findlay, Stanley, and Gullet, 1986) โดย Palka และ Daun (1999) พบว่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของซาร์โคเมอร์แปรผกผันกับปริมาณ cooking loss โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการให้ความร้อนแก่เนื้อ ความยาวของซาร์โคเมอร์สั้นลงอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ปริมาณ cooking loss เพิ่มขึ้น และปริมาณ cooking loss ที่เพิ่มขึ้นนี้มีความสัมพันธ์กับค่า hardness ซึ่งเพิ่มตามอุณหภูมิในระหว่าง 50-90°C เท่านั้น และเมื่อให้ความร้อนสูงขึ้นอีก แม้ปริมาณ cooking loss เพิ่มขึ้น แต่ค่า hardness มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากคอลลาเจนเปลี่ยนไปเป็นเจลาติน

#### 4.2.1.3.2 Degree of browning

อุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อนมีอิทธิพลร่วมกันต่อการเกิดสีน้ำตาลอย่างมีนัยสำคัญ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อให้ความร้อนเนื้อหอยเป่าฮื้อที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที การเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยเป่าฮื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.2) สีน้ำตาลของเนื้อหอยเป่าฮื้อเกิดได้ดีเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C โดยจะเห็นว่าที่ 80°C การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อหอยค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการให้ความร้อน 4 ชั่วโมง แต่เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C การเกิดสีน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดหลังผ่านความร้อนเป็นเวลา 60 นาที ขึ้นไป ในขณะที่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120°C สีน้ำตาลเกิดได้เร็วและมากกว่าอย่างเห็นได้ชัดหลังให้ความร้อนเพียง 20 นาที เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิ 80 และ 100°C



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที

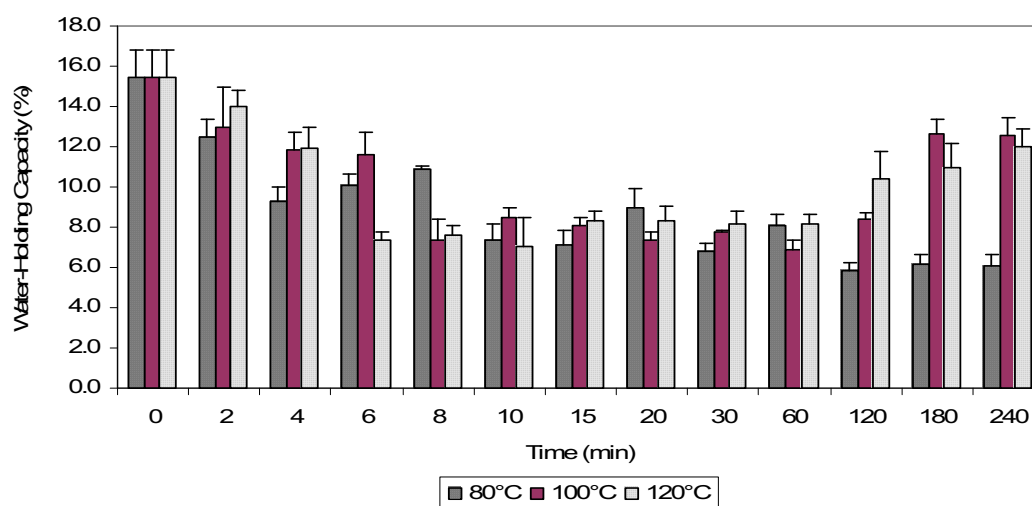
Kawashima และ Yamanaka (1996) รายงานว่าเนื้อหอยแครงมีสีน้ำตาลมากขึ้นหลังผ่านการให้ความร้อนเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ของ sugar phosphate โดยเฉพาะ glucose-6-phosphate กับกรดอะมิโนอิสระ เช่น taurine และ alanine เช่นเดียวกับที่พบในเนื้อหอยเป่าฮื้อ *H. diversicolor* (Chiou et al, 2004) Nakayama และ Kimura (1979) และ Kawashima และ Yamanaka (1995, 1996) พบว่าปริมาณ glucose-6-phosphate มีความสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยแครงเป็นอย่างมาก

การเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยแครงทั้งชนิดแห้งและบรรจุกระป๋องนั้นเกิดขึ้นในระหว่างการแปรรูป (Kawashima and Yamanaka, 1995) ซึ่งในภาวะที่กรดอะมิโนอิสระและ glucose-6-phosphate รวมถึงน้ำตาลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง กับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลมีปริมาณสูง ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นได้ในระหว่างกระบวนการทำแห้งหรือกระบวนการให้ความร้อนอื่นๆ ได้ (Wongso and Yamanaka, 1998) ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงประมาณ 90°C (ชัยณรงค์ คันทพนิต, 2529) การเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการสลายตัว (autocatalytic) ขององค์ประกอบต่างๆ อัตราเร็วของปฏิกิริยานี้เพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10°C (นิธิยา รัตนพานนท์, 2545) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Chiou และคณะ (2004) ที่พบว่าการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยเป่าฮื้อ *H. diversicolor* ที่ 98°C เกิดได้มากกว่าที่ 80°C

#### 4.2.1.3.3 Water-Holding Capacity

การให้ความร้อนแก่เนื้อหอยเป่าฮื้อที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120°C ในช่วง 0-10 นาที มีผลให้ค่า WHC ลดลง ดังรูปที่ 4.3 การลดลงของค่า WHC นี้เกิดจากการเสียสภาพของโปรตีน เกิดการหดตัวของไมโอไฟบริลที่อุณหภูมิช่วง 40-50°C (Cheng and Parrish, 1976; Davey and Gilbert, 1974; Jones *et al*, 1977) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันเกิดการหดตัวเหลือ 1 ใน 3 ของความยาวเดิมที่อุณหภูมิ 60-65°C ทำให้สูญเสียน้ำออกไปจากกล้ามเนื้อ (มาลัยวรรณ อารยะสกุล และ วรรณวิบูลย์ กาญจนกฤษ, 2540; Davey and Gilbert, 1974) ทำให้น้ำในเนื้อซึ่งส่วนใหญ่จะถูกเก็บกักไว้ในช่องว่างระหว่างเส้นใยหนาและเส้นใยบางของไมโอไฟบริลถูกขับออกมา (Zayas, 1997) Hamm (1970) อธิบายว่าการจัดเรียงตัวของเส้นใยไมโอไฟบริลมีบทบาทอย่างมากในการกักเก็บน้ำอิสระไว้ในกล้ามเนื้อ ดังนั้นการจับตัวกันแน่นขึ้นของโปรตีนกล้ามเนื้อเนื่องจากการเสียสภาพของโปรตีน จึงอาจเป็นสาเหตุทำให้สูญเสียความสามารถในการจับน้ำได้

ค่า WHC มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 และ 120°C เป็นเวลา 60 นาที เนื่องจากคอลลาเจนถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นเจลาตินโดยที่โครงสร้างของเจลาตินยังคงรูปเดิมเป็นมัดเกลียวของคอลลาเจน แต่มีขนาดเล็กลงทำให้มีความสามารถจับน้ำได้มากขึ้น (Ward and Court, 1977; ชัยณรงค์ กันธพนิต, 2529) ในขณะที่ค่า WHC ไม่เพิ่มขึ้นและค่อนข้างคงที่เมื่อให้ความร้อนที่ 80°C แม้ว่าคอลลาเจนที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันบริเวณเพอริไมเซียมบางส่วนเปลี่ยนไปเป็นเจลาตินบ้างแล้วก็ตาม (Cheng and Parrish, 1976; Jones *et al*, 1977; Larick and Turner, 1992) ทั้งนี้เนื่องจากคอลลาเจนส่วนใหญ่เปลี่ยนไปเป็นเจลาตินที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C (Davey and Gilbert, 1974) Ledward (1984) รายงานว่าแม้ว่าการที่คอลลาเจนเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้จะเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการหดตัวของคอลลาเจน แต่ก็พบว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 90°C อัตราการเปลี่ยนแปลงเกิดได้ช้ากว่า ในขณะที่อุณหภูมิ 100°C อัตราการเกิดจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด



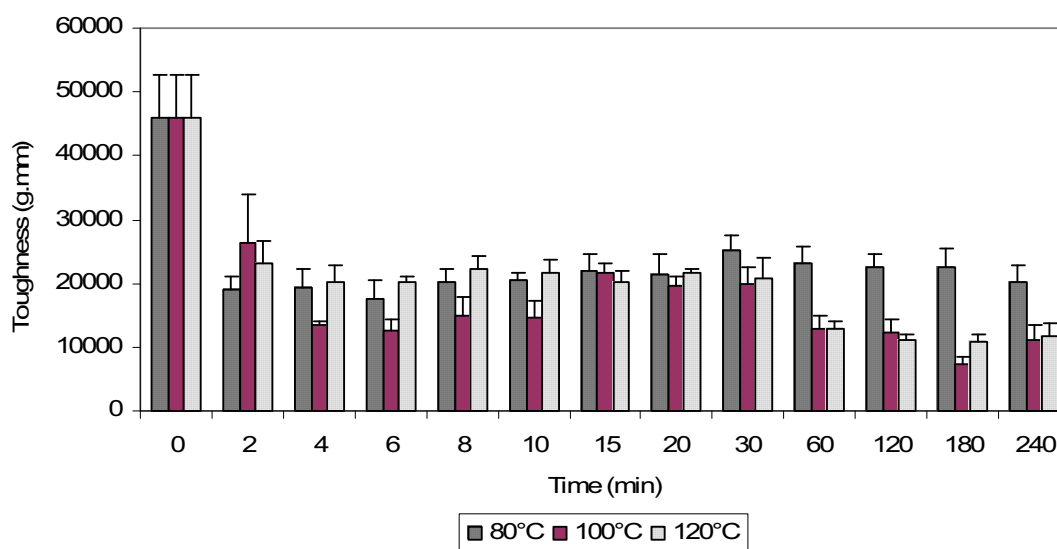
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลง water-holding capacity ของเนื้อหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที

#### 4.2.1.3.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส

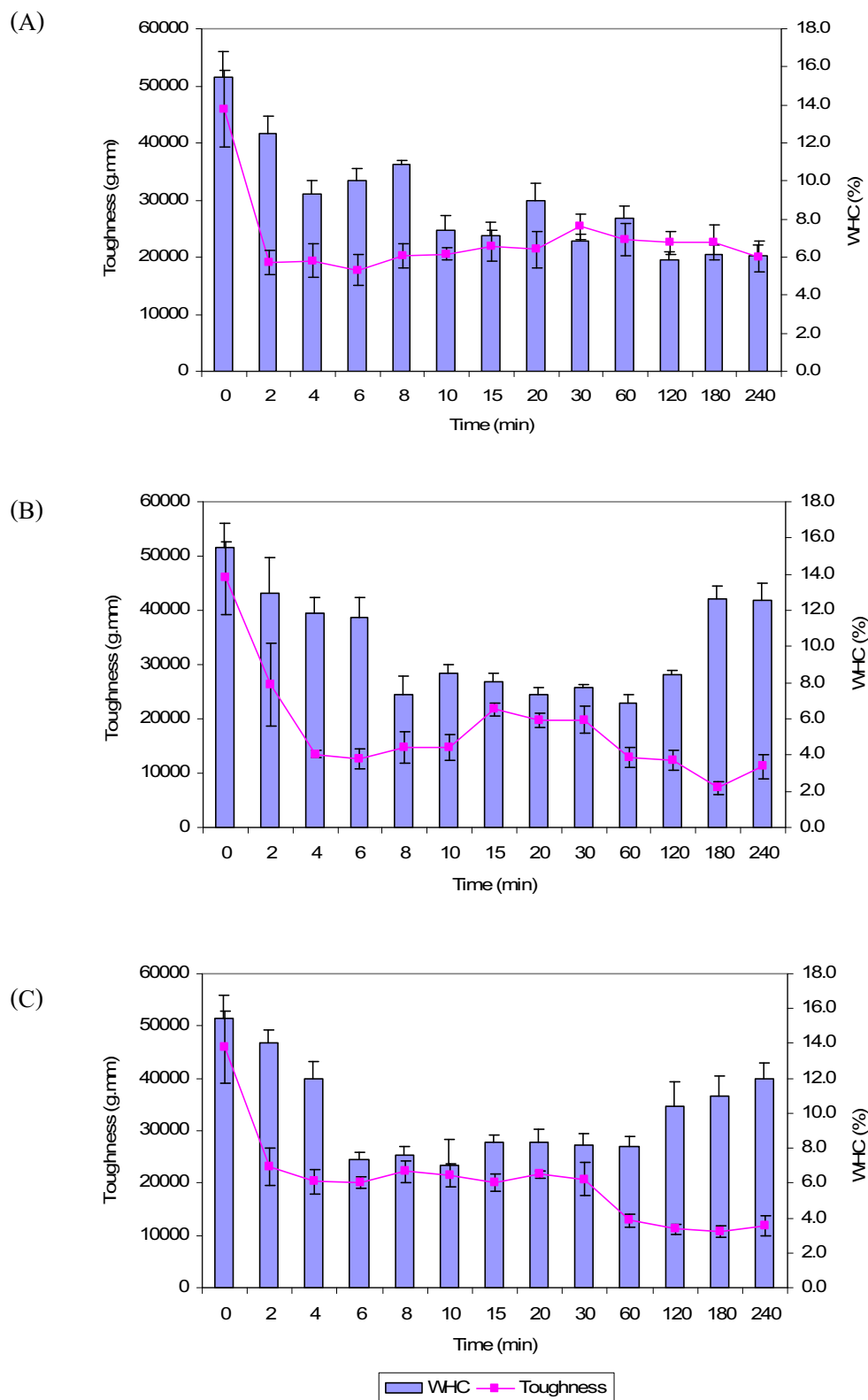
ค่า toughness ของเนื้อหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120°C เป็นเวลา 2-240 นาที ลดลงในช่วง 10 นาทีแรกของการให้ความร้อน (รูปที่ 4.4) จะเห็นว่าค่า toughness ที่ลดลงมีความสัมพันธ์กับค่า WHC ที่มีแนวโน้มลดลงในช่วงแรกของการให้ความร้อนด้วย (รูปที่ 4.5) อาจเกิดจากการเสียสภาพของโปรตีนเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน มีผล

ทำให้ความแข็งแรงของโครงร่างเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue network) ลดลง ซึ่งเกิดพร้อมกับการหดตัวของคอลลาเจนที่อุณหภูมิประมาณ  $55-65^{\circ}\text{C}$  (Ledward, 1979) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Gao และคณะ (2001) พบว่าเนื้อหอยเป่าสื่อเกิดการเสียสภาพที่อุณหภูมิ  $57.5^{\circ}\text{C}$  โดยในขณะที่คอลลาเจนเกิดการหดตัวเนื่องจากความร้อน จะมีชิ้นส่วนที่ละลายน้ำได้ (soluble fragments) ของเส้นใยบางส่วนละลายออกมา และทำให้ความเหนียวลดลงได้ (Ledward, 1979) โดยปกติเนื้อหอยเป่าสื่อประกอบด้วยคอลลาเจนสูงถึง 30-50% ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Olaechea *et al*, 1993) การเปลี่ยนแปลงของคอลลาเจนเนื่องจากความร้อนจึงมีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัสของหอยเป่าสื่อมาก ในขณะที่ myofibrillar protein แทบไม่มีบทบาทต่อเนื้อสัมผัสเลย (Ochiai *et al*, 1985; Olaechea *et al*, 1993)

เมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น พบว่าเนื้อหอยเป่าสื่อที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 100 และ  $120^{\circ}\text{C}$  ค่า toughness ลดลงอย่างเห็นได้ชัดหลังการให้ความร้อน 60 นาทีขึ้นไป เช่นเดียวกับที่พบว่าค่า WHC เพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.5) คาดว่าเนื่องมาจากคอลลาเจนเปลี่ยนไปเป็นเจลาตินอย่างสมบูรณ์ น้ำถูกจับไว้ในเนื้อมากขึ้น จึงทำให้เนื้อสัมผัสนุ่มมากขึ้นด้วย (Gao *et al*, 2001) ในขณะที่การให้ความร้อนที่  $80^{\circ}\text{C}$  ค่า toughness ก่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการให้ความร้อน (รูปที่ 4.4) เนื่องจากคอลลาเจนเปลี่ยนไปเป็นเจลาตินได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า  $80^{\circ}\text{C}$  และอัตราการเกิดเจลาตินจะเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า (Davey and Gilbert, 1974; Ledward, 1984) จึงทำให้ค่า toughness มีการเปลี่ยนแปลงน้อย



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่า toughness ของหอยเป่าสื่อที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80, 100 และ  $120^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2-240 นาที



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่า toughness กับ ค่า water-holding capacity (WHC) ของเนื้อหอยเป่าฮือที่ผ่านการให้ความร้อนที่ (A) 80°C (B) 100°C และ (C) 120°C

#### 4.2.1.3.5 Kinetic parameters ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อหอยเป่าฮื้อ

จากการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ของเนื้อหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการให้ความร้อน ซึ่งได้แก่ ปริมาณ cooking loss ค่า degree of browning ค่า WHC และค่า toughness เป็นปฏิกิริยาแบบ first order kinetic ดังสมการข้างล่าง

$$\begin{aligned}
 -(dQ/dt) &= kQ \\
 \int_{Q_0}^Q (1/Q) dQ &= - \int_0^t k dt \\
 \ln Q - \ln Q_0 &= -kt \\
 \ln Q/Q_0 &= -kt
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

เมื่อ  $Q$  : ลักษณะคุณภาพที่วิเคราะห์ที่เวลาใดๆ  
 $Q_0$  : ลักษณะคุณภาพที่วิเคราะห์ที่เวลาเริ่มต้น  
 $k$  : rate constant (นาที่<sup>-1</sup>)  
 $t$  : เวลาในการให้ความร้อน (นาที่)

Rizvi และ Tong (1997) กำหนดให้

$$\text{fractional conversion (f)} = (Q_0 - Q_t)/(Q_0 - Q_x)$$

โดย  $Q_0$  : ลักษณะคุณภาพที่วิเคราะห์ที่เวลาเริ่มต้น  
 $Q_t$  : ลักษณะคุณภาพที่วิเคราะห์ที่เวลาใดๆ  
 $Q_x$  : ลักษณะคุณภาพที่วิเคราะห์ที่ระยะเวลาการให้ความร้อนนานมาก

แทนค่า fractional conversion ลงในสมการ (1)

$$\ln Q/Q_0 = \ln (1-f) = -kt \tag{4.2}$$

เมื่อสร้างกราฟระหว่าง  $\ln (1-f)$  กับระยะเวลาการให้ความร้อน ( $t$ ) ความชันของกราฟที่ได้ คือ ค่า rate constant ( $k$ ) ของปฏิกิริยา (ตารางที่ 4.28)

ความสัมพันธ์ระหว่าง rate constant และ activation energy ( $E_a$ ) เป็นไปตามสมการ Arrhenius คือ

$$\ln k = \ln A - (E_a/RT) \tag{4.3}$$

เมื่อ  $A$  : ค่าคงที่สำหรับปฏิกิริยาหนึ่งๆ  
 $E_a$  : activation energy (kcal/mol)  
 $R$  : ค่าคงที่ของก๊าซ = 1.987 kcal/mol.K หรือ 8.314 kJ/mol.K  
 $T$  : อุณหภูมิ (K)

เมื่อสร้างกราฟระหว่าง  $\ln k$  กับ  $1/T$  จะได้ค่า activation energy ( $E_a$ ) ของการเปลี่ยนแปลง

**ตารางที่ 4.28** rate constant (k) และ activation energy (Ea) ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆของเนื้อหอยเป่าชื่อ *H. asinina* ในระหว่างการให้ความร้อน

| ลักษณะทางคุณภาพ    | อุณหภูมิ (°C) | k (min <sup>-1</sup> ) | R <sup>2</sup> | Ea (kcal.mol <sup>-1</sup> ) | R <sup>2</sup> |
|--------------------|---------------|------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
| Cooking loss       | 80            | 0.0197                 | 0.9766         | 6.23                         | 0.9617         |
|                    | 100           | 0.0272                 | 0.9176         |                              |                |
|                    | 120           | 0.0489                 | 0.9733         |                              |                |
| Degree of browning | 80            | 0.0084                 | 0.8990         | 6.33                         | 0.9926         |
|                    | 100           | 0.0143                 | 0.9903         |                              |                |
|                    | 120           | 0.0210                 | 0.9554         |                              |                |
| WHC                | 80            | 0.0786                 | 0.8644         | 7.09                         | 0.9983         |
|                    | 100           | 0.1401                 | 0.9766         |                              |                |
|                    | 120           | 0.2196                 | 0.9694         |                              |                |
| Toughness          | 80            | 0.0044                 | 0.6719         | 13.34                        | 0.9019         |
|                    | 100           | 0.0210                 | 0.9920         |                              |                |
|                    | 120           | 0.0299                 | 0.9647         |                              |                |

จากตารางที่ 4.28 จะเห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณ cooking loss ค่า degree of browning ค่า WHC และ ค่า toughness เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการให้ความร้อน และค่า Ea ของปริมาณ cooking loss ค่า degree of browning ค่า WHC และค่า toughness เท่ากับ 6.23 ( $R^2 = 0.9617$ ), 6.33 ( $R^2 = 0.9962$ ), 7.09 ( $R^2 = 0.9983$ ), และ 13.34 ( $R^2 = 0.9019$ ) kcal/mol ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ma และคณะ (1983) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงความนุ่มของเนื้อกุ้งกระป๋องที่ฆ่าเชื้อที่ 115, 124, 133, และ 140°C เป็นปฏิกิริยาแบบ first order kinetic มีค่า k เท่ากับ 0.025, 0.048, 0.10, และ 0.17 min<sup>-1</sup> ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ส่วนค่า Ea ของการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 24 kcal/mol ซึ่งค่า k และ Ea ที่คำนวณได้ สามารถนำไปทำนายการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสระหว่างกระบวนการให้ความร้อนของเนื้อกุ้งได้ นอกจากนี้ในการทดลองของ Bertola และคณะ (1994) พบว่าอัตราการสูญเสีย น้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงความนุ่มของเนื้อวัวเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการให้ความร้อน ค่า Ea ของการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 13.13 kcal/mol และ 144.50 kcal/mol ตามลำดับ Corzo, Bracho, และ Marjal (2006) รายงานว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L) ของเนื้อปลาซาร์ดีนเค็มแผ่นขณะทำแห้งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสร้างชั้นแข็งที่ผิวหน้าระหว่างเกล็ดกับโปรตีน ในขณะที่ค่าสีแดง-สีเขียว (a) มีค่าลดลงเนื่องจากเลือดของปลาได้ถูกกำจัดออกไประหว่างขั้นตอนการแช่น้ำเกลือ และค่าสีเหลือง-สีน้ำเงิน (b) มีค่าลดลงอาจเนื่องจากไขมันเกิดออกซิเดชัน Ateba และ Mittal (1994) รายงานการเปลี่ยนแปลงสีของลูกชิ้นเนื้อที่ทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นแบบ first order kinetic โดยค่าความสว่างค่าสีแดง และค่าสีเหลืองมีค่าลดลงตามระยะเวลาการให้ความร้อน ด้วยอัตรา  $2.07 \times 10^{-5}$ ,  $1.50 \times 10^{-5}$ ,  $1.52 \times 10^{-5}$  sec<sup>-1</sup> ตามลำดับ และ Ea ของการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 4.04, 4.04, และ 4.03 kcal/mol ตามลำดับ สอดคล้องกับอัตราการ

เปลี่ยนแปลงค่าเอนทัลปีรวม ( $\Delta E$ ) ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการให้ความร้อนนานขึ้นด้วยความเร็ว  $1.52 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$  และ  $E_a$  เท่ากับ 4.03 kcal/mol โดยการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวลูกชิ้นนั้นเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด และจะเห็นว่า  $E_a$  ของการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆมีค่าใกล้เคียงกัน อาจเนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าแต่ละค่าเกี่ยวข้องกับการเสถียรภาพของโปรตีนไมโอโกลบินและอนุพันธ์ที่มีผลต่อค่าสีแดง และเมื่อโปรตีนเหล่านี้เกิดการเสถียรภาพจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆของลูกชิ้นเนื้อได้

#### 4.2.1.4 กระบวนการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตแพช

##### 4.2.1.4.1 การแทรกผ่านความร้อนและหาเวลาในการฆ่าเชื้อ

จากการศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตแพช ขนาด  $130 \times 170$  มิลลิเมตร น้ำหนักสุทธิ 150 กรัม โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร  $50^\circ\text{C}$  ให้ความร้อนที่อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ  $110^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 50 นาที ได้ heat penetration parameter คือ  $f_h = 6.7$  นาที และ  $j = 1.059$

##### 4.2.1.4.2 จุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตแพชที่ผ่านการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอ

จากการทดลองผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตแพช โดยฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ  $114^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 12 นาที ตรวจไม่พบ *C. botulinum* และ *B. stearothermophilus* ในผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุ รีทอร์ตแพชที่ผ่านการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอ (กำหนดค่า  $F_0 = 2$  นาที) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 6 เดือน การที่ไม่พบเชื้อ *B. stearothermophilus* อาจเนื่องจากการเลือกใช้วัตถุดิบหรือส่วนผสมต่างๆ ที่ไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อดังกล่าว ซึ่งแม้ว่าโดยปกติ *B. stearothermophilus* พบกระจายทั่วไปในดิน น้ำ หรือพืชทั่วไป และการปนเปื้อนในอาหารกระป๋องอาจเกิดจากการปนเปื้อนของวัตถุดิบ หรือส่วนผสม เช่น น้ำตาล แป้ง เครื่องเทศ เป็นต้น การเลือกใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพจึงช่วยลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของเชื้อนี้ได้ และในขั้นตอนหลังผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว อาหารถูกลดอุณหภูมิให้เย็นลงอย่างรวดเร็วจะช่วยทำลายเชื้อพวกทนความร้อนสูง (thermophiles) ได้ เนื่องจากเกิด heat shock (ปริยา วิบูลย์เศรษฐ์, 2538)

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อได้ที่อุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิไม่เกิน  $30-35^\circ\text{C}$ ) เป็นอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของ *B. stearothermophilus* ซึ่งปกติเชื้อนี้เจริญได้ดีที่  $55^\circ\text{C}$  และสามารถเจริญได้แม้อุณหภูมิสูงถึง  $65-75^\circ\text{C}$  นอกจากนี้การใช้กรดอินทรีย์หรือการใช้โซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า  $0.5 \text{ mol/L}$  (หรือประมาณร้อยละ 2.9) มีผลไปลดความสามารถต้านทานความร้อนของเชื้อได้ (Kotzekidou, 2000) ซึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตใช้น้ำเกลือความเข้มข้น 2% จึงมีผลลดการเจริญของจุลินทรีย์นี้ด้วย

นอกจากนี้ไม่พบ *C. botulinum* ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ เนื่องจากสามารถสร้างสารพิษที่อันตรายมาก สปอร์ของจุลินทรีย์ *C. botulinum* สามารถพบได้ทั่วไปทั้งในดิน ชายฝั่งทะเล ในน้ำทะเล บ่อปลา หรือในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ ดังนั้นวัตถุดิบที่มาจากทะเล สวนหรือไร่ หรือในสัตว์ที่คลุกคลีอยู่กับดิน มีโอกาสปนเปื้อนจุลินทรีย์นี้ด้วยกันทั้งนั้น (ปริยา วิบูลย์เศรษฐ์, 2538) แต่อาจเป็นไปได้ที่วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือ หอยเป่าฮือมีการเพาะเลี้ยงในระบบฟาร์มที่มีการควบคุมคุณภาพการผลิต ซึ่งช่วยลดโอกาสการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ และในขั้นตอนการผลิตมีการปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ที่ดีของการผลิตอาหารกระป๋อง แม้อาหารจะไม่ได้ผ่านความร้อนจนอยู่ในสภาพปลอดจุลินทรีย์เชิงการค้า และยังเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องซึ่งเป็นภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตด้วยก็ไม่พบ *C. botulinum* ในผลิตภัณฑ์

สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใหม่หรือเปลี่ยนแปลงสูตรต่างออกไปจากเดิม จำเป็นต้องทำการศึกษาระดับอุณหภูมิและปริมาณความร้อนที่ต้องการเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่มีในวัตถุดิบหรือมีเฉพาะในบริเวณนั้น แม้ว่าจุลินทรีย์ดังกล่าวอาจไม่เป็นอันตรายแต่อาจเป็นสาเหตุของการแพ้เสียได้ โดยปกติแล้วจะใช้จุลินทรีย์ที่มีความทนทานมากกว่า *C. botulinum* เพื่อให้แน่ใจในความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ (ทิพาพร อยู่วิทยา, 2535) เนื่องจากไม่พบจุลินทรีย์ *B. stearothermophilus* ซึ่ง

เป็นจุลินทรีย์ที่ทนต่อความร้อนสูงที่สุดที่ทำให้เกิดการเน่าเสียแบบ flat sour ในอาหารกระป๋องชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะไม่พบจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนสูงกว่าและเป็น จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของอาหารด้วย จึงไม่ต้องทดสอบ thermal inactivation kinetics ของจุลินทรีย์นั้น

#### 4.2.1.4.3 ผลของอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารและอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อที่มีผลต่อภาวะการฆ่าเชื้อหอย

##### เป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุเทอร์ตเพาซ์และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

เนื่องจากผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ ( $pH > 4.6$ ) การฆ่าเชื้อจึงมุ่งหวังที่จะทำลายจำนวนสปอร์ของ *C. botulinum* ซึ่งมีค่า  $D_{121.1}^{\circ C}$  เท่ากับ 0.25 นาที ให้ได้ 12 log cycle ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อที่  $121.1^{\circ C}$  ( $F_0$ ) เท่ากับ 3 นาที แต่เพื่อความปลอดภัยของอาหาร ในงานวิจัยนี้จะฆ่าเชื้อให้ได้  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที ซึ่งสามารถนำ heat penetration parameter ที่ได้มาทำนายเวลาในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.29

**ตารางที่ 4.29** ผลการคำนวณเวลาการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุเทอร์ตเพาซ์ที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารและอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อต่างๆ ตามวิธี Formula (Ball, 1923)

| ผลิตภัณฑ์            | น้ำหนักสุทธิ<br>(กรัม) | $F_0$<br>(นาที) | เวลาในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ (นาที)* |                                      |     |
|----------------------|------------------------|-----------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----|
|                      |                        |                 | อุณหภูมิอาหาร<br>( $^{\circ}C$ )   | อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ ( $^{\circ}C$ ) |     |
|                      |                        |                 |                                    | 114                                  | 121 |
| หอยเป่าฮือในน้ำเกลือ | 150                    | 4               | 50                                 | 24.9                                 | 7.8 |
|                      |                        |                 | 70                                 | 23.1                                 | 6.3 |

\* เวลาในการฆ่าเชื้อหลังจาก come up time แล้ว

จากตารางที่ 4.29 เมื่อนำ kinetic parameters ที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.2.1.4.1 มาคำนวณเวลาของกระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุเทอร์ตเพาซ์ เพื่อให้ได้  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที โดยที่อุณหภูมิเริ่มต้นอาหารเท่าเดิม ( $50^{\circ}C$ ) ต้องให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อที่ 114 และ  $121^{\circ}C$  เป็นเวลา 24.9 และ 7.8 นาที ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นอาหารเป็น  $70^{\circ}C$  ต้องให้ความร้อนเป็นเวลา 23.1 และ 6.3 นาที ตามลำดับ

เมื่อทดลองเดินเครื่องภายใต้ภาวะที่คำนวณได้ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นอาหาร  $50^{\circ}C$  ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 114 และ  $121^{\circ}C$  ต้องใช้เวลา 22.3 และ 6.2 นาที ตามลำดับ และเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิเริ่มต้นอาหารเป็น  $70^{\circ}C$  ต้องฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 114 และ  $121^{\circ}C$  เป็นเวลา 21.9 และ 5.6 นาที ตามลำดับ จึงทำให้ได้  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที (ตารางที่ 4.30) และเพื่อให้สามารถนำเวลาในการฆ่าเชื้อที่ได้ไปปรับใช้ในการเดินเครื่องจริง จึงกำหนดเวลาการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่ 114 และ  $121^{\circ}C$  เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ  $50^{\circ}C$  จากเดิม 22.3 และ 6.1 นาที ตามลำดับ ไปเป็น 23 และ 7 นาที ตามลำดับ ทำให้ค่า  $F_0$  เพิ่มขึ้นเป็น 4.4 และ 4.5 นาที ตามลำดับ และเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเป็น  $70^{\circ}C$  จากเดิมต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 114 และ  $121^{\circ}C$  เป็นเวลา 21.9 และ 5.6 นาที ตามลำดับ ปรับเป็น 22 และ 6 นาที ตามลำดับ ทำให้ค่า  $F_0$  เพิ่มขึ้นเป็น 4.2 และ 4.3 นาที ตามลำดับ (ตารางที่ 4.31) ซึ่งสาเหตุที่ต้องปัดทศนิยมขึ้นเป็นจำนวนเต็ม เพราะเครื่องฆ่าเชื้อไม่สามารถกำหนดเวลาการฆ่าเชื้อเป็นจุดทศนิยมได้ และการกำหนดเวลาในการฆ่าเชื้อไม่สามารถปัดจุดทศนิยมลงได้ เนื่องจากจะทำให้ฆ่าเชื้อไม่เพียงพอ และได้  $F_0$  ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ และผลิตภัณฑ์ไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

จากการคำนวณเวลาการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เพื่อให้มี  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที ตามวิธี Formula จะเห็นว่าเวลาการฆ่าเชื้อที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าภาวะการผลิตจริงเล็กน้อย จึงถือว่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองและนำมาคำนวณนี้ สามารถนำมาใช้ในการคำนวณเวลาการฆ่าเชื้อของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ได้อย่างปลอดภัยในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนภาวะการผลิต แต่

ก่อนที่จะนำภาวะการผลิตที่คำนวณได้ไปใช้ในการผลิตจริงควรมีการยืนยัน โดยการหาค่าการฆ่าเชื้อของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อภายใต้ภาวนั้นอีกครั้ง

**ตารางที่ 4.30** ผลการคำนวณเวลาการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์หอยเป่าสือในน้ำเกลือบรรจุเทอร์ตเพาซ์ที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร และอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อต่างๆ ตามวิธี General

| ผลิตภัณฑ์            | น้ำหนักสุทธิ<br>(กรัม) | $F_0$<br>(นาที) | เวลาในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ (นาที) |                           |     |
|----------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------------|---------------------------|-----|
|                      |                        |                 | อุณหภูมิอาหาร<br>(°C)             | อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (°C) |     |
|                      |                        |                 |                                   | 114                       | 121 |
| หอยเป่าสือในน้ำเกลือ | 150                    | 4               | 50                                | 22.3                      | 6.2 |
|                      |                        |                 | 70                                | 21.9                      | 5.6 |

**ตารางที่ 4.31** ค่า  $F_0$  ของผลิตภัณฑ์หอยเป่าสือในน้ำเกลือบรรจุเทอร์ตเพาซ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตจริง

| อุณหภูมิอาหาร<br>(°C) | อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ<br>(°C) | เวลาในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์<br>(นาที) | $F_0$ ของการผลิตจริง<br>(นาที) |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| 50                    | 114                          | 23                                   | 4.4                            |
|                       | 121                          | 7                                    | 4.5                            |
| 70                    | 114                          | 22                                   | 4.2                            |
|                       | 121                          | 6                                    | 4.3                            |

จากตารางที่ 4.29 และ 4.30 เมื่ออุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อคงที่ จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารมีผลเพียงเล็กน้อยต่อเวลาของกระบวนการฆ่าเชื้อ ในขณะที่เมื่อให้อุณหภูมิอาหารคงที่ การเปลี่ยนอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อทำให้เวลาของกระบวนการฆ่าเชื้อต่างกันมากอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร และอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อต่างกันมาก มีผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น จึงใช้เวลาในการให้ความร้อนสั้นลง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535)

วิเคราะห์คุณภาพหอยเป่าสือในน้ำเกลือบรรจุเทอร์ตเพาซ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อได้ดังตารางที่ 4.32 – 4.34

**ตารางที่ 4.32** ลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์หอยเป่าสือในน้ำเกลือบรรจุเทอร์ตเพาซ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อในภาวะที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร (IT) และอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (RT) ต่างๆ

| ภาวะการฆ่าเชื้อ<br>(IT/RT) (°C) | ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน |                                   |                                                 |                                        |
|---------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|
|                                 | Drained weight<br>(%)                | Degree of browning<br>(Abs.420/g) | Soluble collagen<br>(%collagen/ total collagen) | Toughness<br>(g.mm x 10 <sup>3</sup> ) |
| 50/114                          | 31.8 <sup>a</sup> ±0.8               | 0.0471 <sup>d</sup> ±0.00014      | 27.1 <sup>b</sup> ±1.5                          | 26.6 <sup>a</sup> ±4.5                 |
| 50/121                          | 40.3 <sup>c</sup> ±0.1               | 0.0381 <sup>b</sup> ±0.00008      | 20.2 <sup>a</sup> ±0.9                          | 37.7 <sup>b</sup> ±5.3                 |
| 70/114                          | 35.4 <sup>b</sup> ±1.3               | 0.0452 <sup>c</sup> ±0.00015      | 26.7 <sup>b</sup> ±0.1                          | 27.0 <sup>a</sup> ±4.8                 |
| 70/121                          | 40.2 <sup>c</sup> ±0.1               | 0.0304 <sup>a</sup> ±0.00015      | 19.4 <sup>a</sup> ±2.6                          | 34.8 <sup>b</sup> ±3.9                 |

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.32 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากัน การฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงกว่า ( $121^{\circ}\text{C}$ ) ทำให้มีน้ำหนักเนื้อมากกว่า และเกิดสีน้ำตาลได้น้อยกว่า ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากใช้เวลากำเชื้อสั้นกว่า และพบว่าอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อมีอิทธิพลต่อปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้และค่า toughness อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อต่ำกว่า ( $114^{\circ}\text{C}$ ) ทำให้มีปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้สูงกว่าและค่า toughness ลดลงมากกว่าการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากใช้เวลากำเชื้อนานกว่า ทำให้คอลลาเจนเปลี่ยนไปเจลาตินและเนื้อสัมผัสของหอยเป่าอ่อนนุ่มขึ้น

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อทั้ง 4 ภาวะ มาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีการให้คะแนนความชอบคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านกลิ่น ความยืดหยุ่น ความเหนียว ความชุ่มน้ำ และความชอบรวมต่อผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่  $121^{\circ}\text{C}$  มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่  $114^{\circ}\text{C}$  ยกเว้นความชอบด้านสีที่ให้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 4.33) แม้ว่าค่า degree of browning ของผลิตภัณฑ์จะแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.32) แต่ผู้ทดสอบให้ความเห็นว่าสีของผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีสีครีมไม่ต่างกัน (3 คะแนน) ยกเว้นผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่  $121^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร  $70^{\circ}\text{C}$  มีสีครีมอ่อนกว่า (3.6 คะแนน) (ตารางที่ 4.34)

**ตารางที่ 4.33** คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของหอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตแพคเกจที่ผ่านการฆ่าเชื้อในภาวะที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารและอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อต่างๆ

| ความชอบ          | คะแนนความชอบ                                                                                |                        |                        |                       |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
|                  | อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร ( $^{\circ}\text{C}$ )/อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ ( $^{\circ}\text{C}$ ) |                        |                        |                       |
|                  | 50/114                                                                                      | 50/121                 | 70/114                 | 70/121                |
| รวม              | 3.6 <sup>a</sup> ±1.5                                                                       | 5.1 <sup>bc</sup> ±0.8 | 4.4 <sup>b</sup> ±1.4  | 5.6 <sup>c</sup> ±1.0 |
| สี <sup>ns</sup> | 4.8±1.3                                                                                     | 5.2±1.1                | 5.1±1.2                | 5.2±1.2               |
| กลิ่น            | 4.0 <sup>a</sup> ±1.4                                                                       | 5.0 <sup>b</sup> ±1.0  | 4.6 <sup>ab</sup> ±1.6 | 5.2 <sup>b</sup> ±1.4 |
| ความยืดหยุ่น     | 3.6 <sup>a</sup> ±2.1                                                                       | 5.1 <sup>b</sup> ±1.0  | 4.2 <sup>a</sup> ±1.5  | 5.4 <sup>b</sup> ±1.2 |
| ความเหนียว       | 3.5 <sup>a</sup> ±1.5                                                                       | 5.0 <sup>b</sup> ±0.8  | 4.0 <sup>a</sup> ±1.6  | 5.2 <sup>b</sup> ±1.4 |
| ความชุ่มน้ำ      | 4.1 <sup>a</sup> ±1.3                                                                       | 5.2 <sup>b</sup> ±1.1  | 4.1 <sup>a</sup> ±1.6  | 5.4 <sup>b</sup> ±0.8 |

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

ns แสดงถึง ค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวแนวนอน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ )

จากตารางที่ 4.33 จะเห็นว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น ความยืดหยุ่น ความเหนียว ความชุ่มน้ำ และความชอบรวมต่อผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่  $121^{\circ}\text{C}$  อยู่ในระดับค่อนข้างชอบถึงชอบปานกลาง (5-6 คะแนน) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ  $114^{\circ}\text{C}$  ได้คะแนนความชอบทุกด้าน ยกเว้นความชอบด้านสี อยู่ในระดับค่อนข้างไม่ชอบ (3-4 คะแนน) ผู้ทดสอบชอบผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ  $121^{\circ}\text{C}$  ซึ่งใช้เวลาในการฆ่าเชื้อสั้นกว่า เพราะเนื้อสัมผัสมีความยืดหยุ่นปานกลาง (4 คะแนน) ค่อนข้างเหนียว (4 คะแนน) และชุ่มน้ำเล็กน้อยถึงปานกลาง (3-4 คะแนน) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ  $114^{\circ}\text{C}$  ผู้ทดสอบไม่ค่อยชอบเพราะมีเนื้อสัมผัสค่อนข้างเปื่อย (3 คะแนน) และมีความชุ่มน้ำค่อนข้างมาก (>4 คะแนน) (ตารางที่ 4.34) สอดคล้องกับปริมาณคอลลาเจนที่ละลายได้ทีมากกว่า และค่า toughness ที่ต่ำกว่า (ตาราง 4.32)

**ตารางที่ 4.34** คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสของหอยเป่าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ ที่ผ่านการฆ่าเชื้อในภาวะที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารและอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อต่างๆ

| ลักษณะคุณภาพ | คะแนนความรู้สึกล                                        |                        |                        |                       |
|--------------|---------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
|              | อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร (°C)/อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ (°C) |                        |                        |                       |
|              | 50/114                                                  | 50/121                 | 70/114                 | 70/121                |
| สี           | 2.8 <sup>a</sup> ±0.7                                   | 3.1 <sup>a</sup> ±0.7  | 3.0 <sup>a</sup> ±0.7  | 3.6 <sup>b</sup> ±0.7 |
| ความยืดหยุ่น | 3.0 <sup>a</sup> ±1.0                                   | 3.7 <sup>b</sup> ±0.7  | 3.2 <sup>a</sup> ±0.8  | 4.0 <sup>b</sup> ±0.8 |
| ความเหนียว   | 2.8 <sup>a</sup> ±1.1                                   | 4.0 <sup>b</sup> ±0.6  | 3.2 <sup>a</sup> ±0.8  | 4.2 <sup>b</sup> ±0.9 |
| ความชุ่มน้ำ  | 4.3 <sup>c</sup> ±0.7                                   | 3.8 <sup>ab</sup> ±0.6 | 4.2 <sup>bc</sup> ±0.8 | 3.4 <sup>a</sup> ±0.6 |

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

ดังนั้นจึงเลือกภาวะการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C เพราะช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านสี กลิ่น และ โดยเฉพาะเนื้อสัมผัสดีกว่า และแม้ว่าการกำหนดภาวะการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารที่ 70°C จะได้รับคะแนนการยอมรับสูงกว่าที่ 50°C แต่ในการผลิตจริงค่อนข้างยุ่งยาก และการเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นอาหารไม่มีผลต่อเวลาการฆ่าเชื้อ รวมถึงคุณภาพด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเลือกภาวะการผลิตที่กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารที่ 50°C อุณหภูมิฆ่าเชื้อ 121°C เป็นเวลา 7 นาที ในการผลิตผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยาและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ตลอดอายุการเก็บรักษา 6 เดือน ต่อไป

#### 4.2.1.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ตลอดอายุการเก็บรักษา 6 เดือน

##### 4.2.1.5.1 คุณภาพทางจุลชีววิทยา

ผลการตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ทุกเดือน ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน ไม่พบจุลินทรีย์ flat sour, thermophilic anaerobes, putrefactive anaerobes และ sulfide spoilage ในผลิตภัณฑ์ แสดงว่าภาวะการฆ่าเชื้อดังกล่าวเพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสีย จึงปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน

##### 4.2.1.5.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ ซึ่งใช้วิธีการให้คะแนนความชอบคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง พบว่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในทุกคุณลักษณะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P > 0.05$ ) และให้คะแนนระดับสูงกว่าเกณฑ์กำหนด (4 คะแนน) โดยอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (5-6 คะแนน) ดังแสดงในตารางที่ 4.35

**ตารางที่ 4.35** คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ในระหว่างการเก็บรักษา 6 เดือน

| ความชอบ                    | ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน |               |               |               |               |               |
|----------------------------|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                            | 1 เดือน                              | 2 เดือน       | 3 เดือน       | 4 เดือน       | 5 เดือน       | 6 เดือน       |
| สี <sup>ns</sup>           | 5.9 $\pm$ 0.7                        | 5.3 $\pm$ 1.0 | 5.4 $\pm$ 1.4 | 5.8 $\pm$ 0.6 | 5.8 $\pm$ 0.8 | 5.4 $\pm$ 1.3 |
| กลิ่น <sup>ns</sup>        | 5.0 $\pm$ 1.6                        | 5.0 $\pm$ 1.7 | 4.6 $\pm$ 0.8 | 5.0 $\pm$ 1.3 | 4.6 $\pm$ 1.2 | 4.6 $\pm$ 0.8 |
| ความยืดหยุ่น <sup>ns</sup> | 5.0 $\pm$ 1.2                        | 5.0 $\pm$ 1.3 | 5.0 $\pm$ 1.2 | 5.2 $\pm$ 1.1 | 5.0 $\pm$ 0.7 | 5.2 $\pm$ 0.6 |
| ความเหนียว <sup>ns</sup>   | 5.4 $\pm$ 0.9                        | 5.4 $\pm$ 0.8 | 5.4 $\pm$ 0.8 | 5.4 $\pm$ 0.7 | 5.4 $\pm$ 0.8 | 5.4 $\pm$ 0.6 |
| ความชุ่มน้ำ <sup>ns</sup>  | 5.1 $\pm$ 1.0                        | 5.0 $\pm$ 1.0 | 4.9 $\pm$ 0.8 | 5.0 $\pm$ 0.8 | 5.0 $\pm$ 1.0 | 5.0 $\pm$ 0.9 |
| ความชอบรวม <sup>ns</sup>   | 5.4 $\pm$ 0.9                        | 5.2 $\pm$ 0.8 | 5.2 $\pm$ 1.2 | 5.3 $\pm$ 1.0 | 5.4 $\pm$ 0.9 | 5.2 $\pm$ 1.0 |

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยในแต่ละแวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ )

**ตารางที่ 4.36** คะแนนลักษณะทางประสาทสัมผัสของหอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ในระหว่างการเก็บรักษา 6 เดือน

| ลักษณะคุณภาพ               | ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน |                             |                            |                            |                            |                            |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                            | 1 เดือน                              | 2 เดือน                     | 3 เดือน                    | 4 เดือน                    | 5 เดือน                    | 6 เดือน                    |
| สี                         | 3.8 <sup>b</sup> $\pm$ 0.6           | 3.6 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.5 | 3.8 <sup>b</sup> $\pm$ 0.5 | 3.2 <sup>a</sup> $\pm$ 0.6 | 3.2 <sup>a</sup> $\pm$ 0.6 | 3.3 <sup>a</sup> $\pm$ 0.7 |
| ความยืดหยุ่น <sup>ns</sup> | 3.6 $\pm$ 0.6                        | 3.5 $\pm$ 0.7               | 3.4 $\pm$ 0.7              | 3.4 $\pm$ 0.5              | 3.4 $\pm$ 0.7              | 3.5 $\pm$ 0.8              |
| ความเหนียว <sup>ns</sup>   | 4.0 $\pm$ 0.7                        | 4.0 $\pm$ 0.8               | 4.0 $\pm$ 0.6              | 4.0 $\pm$ 0.6              | 4.0 $\pm$ 0.7              | 4.0 $\pm$ 0.8              |
| ความชุ่มน้ำ <sup>ns</sup>  | 4.2 $\pm$ 0.8                        | 4.0 $\pm$ 0.7               | 4.2 $\pm$ 0.7              | 3.9 $\pm$ 0.7              | 4.1 $\pm$ 0.7              | 4.1 $\pm$ 0.6              |

a,b,c, ... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P\leq 0.05$ )

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยในแต่ละแวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ )

จากตารางที่ 4.35 และ 4.36 จะเห็นว่าผู้ทดสอบมีความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (5-6 คะแนน) โดยให้คะแนนความชอบต่อสีของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีสีครีมถึงครีมอ่อนอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (5-6 คะแนน) มีความชอบต่อกลิ่นเล็กน้อย (4-5 คะแนน) อาจเนื่องมาจากผู้ทดสอบไม่คุ้นเคยกับกลิ่นของผลิตภัณฑ์ บางคนให้ความเห็นว่าเป็นกลิ่นน้ำเกลือแต่ไม่ถือว่าเป็นกลิ่นแปลกปลอม แม้จะไม่ค่อยชอบกลิ่นมากนักแต่ก็สามารถยอมรับได้ ส่วนความชอบต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความยืดหยุ่น ความเหนียว ความชุ่มน้ำ อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (5-6 คะแนน) โดยผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นเล็กน้อยถึงปานกลาง (ระดับ 3-4 คะแนน) มีความเหนียวเล็กน้อย (ระดับ 4 คะแนน) มีความชุ่มน้ำปานกลาง (ระดับ 4-5 คะแนน)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตเพาซ์ จะเห็นว่าแม้ระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นผลิตภัณฑ์ยังคง มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตใหม่ จนผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษาได้ แสดงว่าผลิตภัณฑ์อาหารบรรจุในถุงรีทอร์ตนั้นสามารถคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ดีเช่นเดียวกับอาหารกระป๋อง เช่น Heidelbaugh และ Karel (1970) รายงานว่าคะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์เบคอนในซองบรรจุกระป๋องและบรรจุในรีทอร์ตเพาซ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

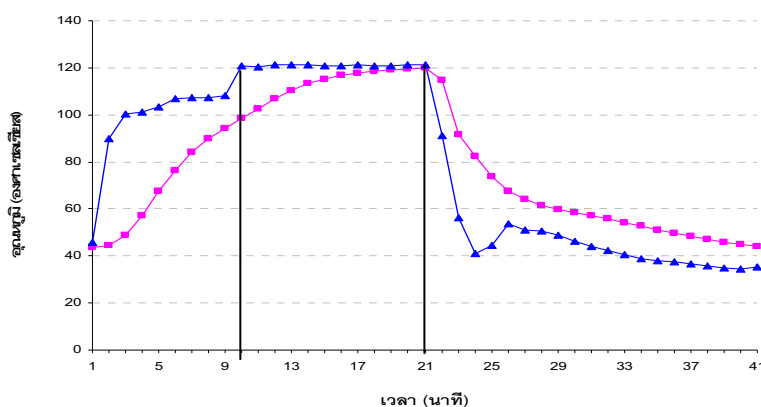
( $P>0.05$ ) ในขณะที่ Chen และ George (1981) พบว่าถั่วลิสงเตาบรรจุในอุ้งรีทอร์ตมีคะแนนความชอบต่อกลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ดีกว่าผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋อง สอดคล้องกับรายงานของ Durance และ Collins (1991) ที่พบว่าผู้ทดสอบยอมรับผลิตภัณฑ์ปลาแซลมอนบรรจุในอุ้งรีทอร์ตมากกว่าบรรจุกระป๋อง และไม่พบกลิ่นผิดปกติเหมือนกับที่พบในผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋อง และจากการศึกษาของ Mohan และคณะ (2006) พบว่าผลิตภัณฑ์แองกะหรีกุ้ง (kuruma shrimp) บรรจุอุ้งรีทอร์ตใช้เวลาฆ่าเชื้อสั้นกว่าผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋องถึง 35% ทำให้ปริมาณ cooking loss น้อยกว่า และทำให้ปัจจัยคุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัส และการยอมรับทางประสาทสัมผัสดีกว่าผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋อง

#### 4.2.2 ผลของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โซเดียมเสกซะเมตาฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป่าฮือ *H. asinina* L. ในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

##### 4.2.2.2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่เนื้อหอยเป่าฮือในโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และโซเดียมเสกซะเมตาฟอสเฟต

###### 4.2.2.2.1 ศึกษาภาวะการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

จากการทดลองฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องที่อุณหภูมิ  $121^{\circ}\text{C}$  บันทึกอุณหภูมิของเครื่องฆ่าเชื้อและจุดร้อนช้าที่สุดในกระป๋องทุก ๆ 1 นาที จนได้  $F_0$  ตามต้องการ โดย FAO กำหนดให้ผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือกระป๋องฆ่าเชื้อให้ได้ค่า  $F_0 \geq 2.8$  นาที (FAO, 2005) ในแง่การเก็บรักษาอาหารกระป๋องให้คงคุณภาพดี ไม่เน่าเสีย จะต้องคำนึงถึงสปอร์ของจุลินทรีย์ที่ทนร้อนสูงโดยปกติค่า  $F_0$  ที่แนะนำมักสูงกว่าที่จำเป็นในการทำลายจุลินทรีย์จำนวนที่กำหนดเพื่อป้องกันความแปรปรวนของกระบวนการฆ่าเชื้อ (ทิพาพร อยู่วิทยา, 2535) การฆ่าเชื้อในเชิงการค้าจึงต้องกำหนดให้มีค่า  $F_0$  สูงกว่า 2.8 นาที (มัทนา แสงจินดาวัณ, 2548) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ใช้ค่า  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที เป็นเกณฑ์ในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง แสดงดังรูปที่ 4.6 ซึ่งแบ่งการฆ่าเชื้อเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดไอน้ำจนถึงเวลาที่อุณหภูมิในเครื่องฆ่าเชื้อสูงถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อ (come up time) นาน 10 นาที ช่วงการให้ความร้อน (sterilizing period) นาน 11 นาที และช่วงการทำให้เย็น (cooling period) นาน 20 นาที



รูปที่ 4.6 อุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อ (▲) และอุณหภูมิภายในกระป๋อง (■) ของหอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุกระป๋องฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ  $121^{\circ}\text{C}$

คำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุกระป๋องด้วยวิธี Formula Method (Ball, 1923 อ้างถึงใน วิไล รังสาตทอง, 2545) จากข้อมูลการบันทึกอุณหภูมิในเครื่องฆ่าเชื้อและจุดร้อนช้าที่สุดในกระป๋อง โดยได้ค่า  $f_h$  เท่ากับ 8.30 นาที และ heating lag factor ( $j_{ch}$ ) เท่ากับ 0.98 ดังนั้นเวลาในการให้ความร้อนตั้งแต่อุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อเท่ากับ  $121^{\circ}\text{C}$  จนปิดไอน้ำมีค่าเท่ากับ 11.50 นาที เมื่อกำหนดให้  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที

ผลิตภัณฑ์หอยเป่าส้อมในน้ำเกลือบรรจุกระป๋องที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °C กำหนดค่า  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที หลังการฆ่าเชื้อ เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ได้ผลดังตารางที่ 4.37

ตารางที่ 4.37 ผลวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของหอยเป่าส้อมในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

| ชนิดเชื้อจุลินทรีย์   | ผลการวิเคราะห์          |
|-----------------------|-------------------------|
| Total plate count     | น้อยกว่า 30 โคโลนี/กรัม |
| Flat sour spoilage    | ไม่พบ                   |
| Thermophilic anaerobe | ไม่พบ                   |
| Putrefactive anaerobe | ไม่พบ                   |

จากการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ ซึ่งมีค่า Total plate count น้อยกว่า 30 โคโลนี/กรัม และตรวจไม่พบ Flat sour organism, Thermophilic anaerobe และ Putrefactive anaerobe แสดงว่าการให้ความร้อนในกระบวนการนี้เพียงพอต่อการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นหอยเป่าส้อมในน้ำเกลือบรรจุกระป๋องที่ได้จึงมีความปลอดภัยต่อการบริโภค และข้อมูลที่ได้สอดคล้องกับมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับหอยลายบรรจุกระป๋อง (มาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับหอยลายบรรจุกระป๋อง 430-2525, 2525) ซึ่งต้องไม่พบจุลินทรีย์ในกลุ่ม Flat sour organism, Thermophilic anaerobe และ Putrefactive anaerobe ในผลิตภัณฑ์

#### 4.2.2.2.2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่เนื้อหอยเป่าส้อมในโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และโซเดียมเฮกซะ-เมตาฟอสเฟต

##### 4.2.2.2.2.1 ค่าสีของเนื้อหอยเป่าส้อม

จากการทดลองเนื้อหอยเป่าส้อมที่ผ่านการแช่ในสารละลายผสมของสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตความเข้มข้น 0.1% และ 5% ตามลำดับ สีของเนื้อหอยเป่าส้อมที่แช่สารละลายผสมเป็นเวลา 0 และ 5 นาที ที่สังเกตได้จากการถ่ายภาพจะมีสีคล้ำและบางบริเวณมีสีน้ำเงินและเมื่อวิเคราะห์ degree of browning พบว่าเนื้อหอยเป่าส้อมมีค่า degree of browning แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.38 พบว่าเมื่อเวลาในการแช่สารละลายนานขึ้น ค่า degree of browning มีค่าลดลงซึ่งสัมพันธ์กับสีของเนื้อหอยที่มีสีคล้ำน้อยลง ทั้งนี้การเกิดสีน้ำตาลในหอยเป่าส้อมอาจเป็นลักษณะเดียวกับการเกิดสีน้ำตาลในหอย scallop ซึ่ง Kawashima และ Yamanaka (1996) ได้รายงานความสัมพันธ์ของกลูโคสและกรดอะมิโนอิสระต่อการเกิดสีน้ำตาลในหอย scallop พบว่าปริมาณ glucose-6-phosphate มีความสัมพันธ์กับระดับการเกิดสีน้ำตาล (degree of browning) ในหอย scallop ที่ผ่านการให้ความร้อน นอกจากนี้สีน้ำเงินของเนื้อหอยเป่าส้อมกระป๋องที่เกิดขึ้นนั้น มักเกิดบริเวณ epipodium เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีปริมาณเหล็กสูง และเมื่อเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก กับ  $H_2S$  ที่ได้จากการสลายตัวของกรดอะมิโนเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงแล้วเกิดสีน้ำเงินขึ้น (Olley and Thrower, 1977) การลดปัญหาการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการให้ความร้อนนั้นสามารถใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ เพื่อให้ซัลไฟต์รวมตัวกับน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งไม่สามารถรวมกับกรดอะมิโนจึงไม่เกิดสีน้ำตาลขึ้น จากงานวิจัย พบว่าการใช้สารประกอบฟอสเฟตที่มีสมบัติเป็น chelating agent โดยโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ซึ่งเป็นโพลิฟอสเฟตสายยาวสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านสีของเนื้อปูบรรจุกระป๋องซึ่งมักเกิดสีน้ำเงินเมื่อผ่านการให้ความร้อนได้ดีที่สุด (สมพงษ์ คุประมณอาร์ักษ์, 2534)

ตารางที่ 4.38 ผลของเวลาในการแช่เนื้อหอยเป่าสื้อในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ต่อค่าสี และ degree of browning ของเนื้อหอยเป่าสื้อบรรจุกระป๋อง

| เวลา(นาทื) | degree of browning (A420/g) |
|------------|-----------------------------|
| 0          | 0.0624 <sup>a</sup> ±0.0023 |
| 5          | 0.0537 <sup>b</sup> ±0.0012 |
| 10         | 0.0432 <sup>c</sup> ±0.0028 |
| 15         | 0.0315 <sup>d</sup> ±0.0023 |

a, b,c..... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อนำผลิตภัณฑ์หอยเป่าสื้อในน้ำเกลือบรรจุกระป๋องมาวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์คงเหลือและสารประกอบฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์ วัดลักษณะเนื้อสัมผัส และวิเคราะห์ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water-holding capacity) ได้ผลดังตารางที่ 4.39 – 4.40

ตารางที่ 4.39 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์และสารประกอบฟอสเฟตในรูป  $P_2O_5$  ในเนื้อหอยเป่าสื้อในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง

| เวลา(นาทื) | ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์คงเหลือ (ppm) | สารประกอบฟอสเฟตในรูป $P_2O_5$ (%) |
|------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 5          | ไม่พบ                                | 0.09 <sup>b</sup> ±0.01           |
| 10         | ไม่พบ                                | 0.11 <sup>ab</sup> ±0.00          |
| 15         | ไม่พบ                                | 0.14 <sup>a</sup> ±0.01           |

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

FAO/WHO ได้สรุปปริมาณสารตกค้างในอาหาร โดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์คงเหลือไม่เกิน 30 ppm และสารประกอบฟอสเฟตในรูป  $P_2O_5$  ไม่เกิน 0.5% เมื่อวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์คงเหลือและสารประกอบฟอสเฟตในรูป  $P_2O_5$  ในเนื้อหอยเป่าสื้อ พบว่าไม่เกินปริมาณที่กำหนดซึ่งถือว่าปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ตารางที่ 4.40 ค่าแรงต้านทานการตัดขาดและการอุ้มน้ำของเนื้อหอยเป่าสื้อบรรจุกระป๋องที่เวลาในการแช่เนื้อหอยเป่าสื้อในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต 0 5 10 และ 15 นาที

| เวลา(นาทื) | แรงต้านทานการตัดขาด (gf)     | ความสามารถในการอุ้มน้ำ(%) |
|------------|------------------------------|---------------------------|
| 0          | 2177.28 <sup>c</sup> ±212.22 | 16.32 <sup>b</sup> ±0.12  |
| 5          | 2577.11 <sup>b</sup> ±54.27  | 17.04 <sup>b</sup> ±3.53  |
| 10         | 3073.55 <sup>a</sup> ±108.71 | 23.08 <sup>a</sup> ±0.77  |
| 15         | 3264.53 <sup>a</sup> ±57.28  | 23.09 <sup>a</sup> ±0.43  |

a, b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแต่ละแถวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ผลการวัดลักษณะทางเนื้อสัมผัสและความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ จากตารางที่ 4.40 พบว่าเนื้อหอยเป่าสื้อที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ที่เวลาต่างก็มีแรงต้านทานการตัดขาดและความสามารถในการอุ้มน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเมื่อเวลาในการแช่สารละลายเพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงต้านทานการตัดขาด

และความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหอยเป่าอื้อเพิ่มขึ้น โดยแรงต้านทานการตัดขาดและความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหอยที่แช่สารละลายผสมเป็นเวลา 10 และ 15 นาที ไม่แตกต่างกันและมีค่าสูงกว่าเนื้อหอยที่ไม่แช่สารละลาย และที่แช่สารละลายเป็นเวลา 5 นาที เนื่องจากถึงแม้จะแช่สารละลายผสมเป็นเวลา 5 นาที แต่เวลาในการแช่สารละลายอาจไม่มากพอที่จะทำให้โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตแพร่ผ่านเข้าไปยังเนื้อหอย ส่วนค่าแรงต้านทานการตัดขาดและความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหอยเป่าอื้อที่แช่สารละลายมีค่าสูงกว่าเนื้อหอยที่ไม่แช่สารละลาย ทั้งนี้เนื่องมาจากฟอสเฟตจะมีผลต่อโปรตีนกล้ามเนื้อ คือ แอคตินและไมโอซิน โดยจะเกิดการจับกันของอออนลบของฟอสเฟตกับโปรตีนและเกิด swelling ของกล้ามเนื้อจึงทำให้กล้ามเนื้อสามารถจับน้ำได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้โมเลกุลเนื้อยึดเกาะกันดี โดยฟอสเฟตเพิ่มความสามารถอุ้มน้ำส่งผลให้เสียน้ำออกไปน้อยในระหว่างการให้ความร้อน เนื้อจึงยังคงโครงสร้างเดิมได้ดี (Lindsay, 1996) ดังนั้นจึงส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำและแรงต้านทานการตัดขาดของเนื้อหอยที่แช่สารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตสูงขึ้น

พิจารณาเกณฑ์ในการคัดเลือกภาวะที่เหมาะสมในการแช่เนื้อหอยในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต พบว่าเนื้อหอยที่แช่สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตเป็นเวลา 10 นาที และ 20 นาที นั้นมีค่า degree of browning ลักษณะปรากฏของเนื้อหอย ค่าแรงต้านทานการตัดขาดและความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกัน ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการแช่เนื้อหอยในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต คือ 10 นาที ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดเวลาการแช่สารละลายและปริมาณวัตถุเจือปนอาหาร

#### 4.2.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซूपหอยเป่าอื้อในรีทอร์ตแพจ

##### 4.2.3.1 คุณภาพของหอยเป่าอื้อ

###### 4.2.3.1.2 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าอื้อ

จากการวัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าอื้อทั้งตัวด้วยเครื่อง Instron Texture Analyzer (5565, Instron, USA) ใช้หัววัดแบบใบมีดตัด (Warner – Bratzler Meat Shear Blade) อัตราเร็วของใบมีดคงที่ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที วิเคราะห์ 10 ซ้ำ ตามวิธีของสิรินทรา บุญสำเร็จ (2544) จากการทดลองพบว่าเนื้อหอยเป่าอื้อทั้งตัวมีค่าแรงต้านทานการตัดขาด (cutting force) เป็น  $15.45 \pm 1.77$  kgf ทั้งนี้ลักษณะเนื้อสัมผัสของหอยเป่าอื้อมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณคอลลาเจนที่มีอยู่ในเนื้อหอยซึ่งขึ้นกับพันธุ์ของหอยเป่าอื้อ โดย Olacchia และคณะ (1993) ศึกษาปริมาณคอลลาเจนและสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าอื้อ 4 พันธุ์ ได้แก่ *H. discus*, *H. gigas*, *H. seibodii* และ *H. discus hannai* พบว่าทั้ง 4 สายพันธุ์มีสมบัติด้านเนื้อสัมผัสแตกต่างกัน โดยคณะผู้วิจัยได้สรุปว่าปริมาณคอลลาเจนมีความสัมพันธ์กับความเหนียวของเนื้อหอยเป่าอื้อเมื่อปริมาณคอลลาเจนเพิ่มขึ้นเนื้อหอยเป่าอื้อจะเหนียวขึ้น นอกจากนี้ปริมาณคอลลาเจนมีความแปรผันตามฤดูกาลด้วย โดยหอยเป่าอื้อที่เก็บในช่วงฤดูร้อนเนื้อสัมผัสจะนุ่มและมีปริมาณคอลลาเจนต่ำที่สุด ส่วนหอยเป่าอื้อที่เก็บในช่วงฤดูหนาวเนื้อสัมผัสจะเหนียวและมีปริมาณคอลลาเจนสูงที่สุด โดยมีโครงสร้างร่างแหของเส้นใยคอลลาเจนเรียงตัวกันแน่นกว่าจึงมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (WHC) ต่ำกว่าในช่วงฤดูร้อน (Hatae *et al.*, 1995)

###### 4.2.3.1.3 ความสดของหอยเป่าอื้อ

###### 4.2.3.1.3.1 ปริมาณ Trimethylamine (TMA)

TMA เป็นสารที่ให้กลิ่นเหม็นคาวจากการเน่าเสียของปลาหลายชนิด เกิดจากการแตกตัวของ TMAO ซึ่งมีอยู่ในอาหารทะเลสด เนื่องจากเอนไซม์ภายในเนื้อเยื่อและการเจริญของจุลินทรีย์ (Olley and Thrower, 1977) จากการวิเคราะห์ปริมาณ TMA ในเนื้อหอยเป่าอื้อที่ใช้ในงานวิจัย โดยวิธี Conway (Hasegawa, 1987) ปรากฏว่าไม่พบ

TMA สอดคล้องกับรายงานของ Olley และ Thrower (1977) ที่พบว่าในหอยเป่าฮือพันธุ์ *H. gigantean* มีค่า TMA ต่ำมากจนเกือบไม่พบ และสรุปว่าปริมาณ TMA และ TMAO ไม่ใช่ดัชนีที่เหมาะสมในการบอกความสดของหอยเป่าฮือ ทั้งนี้ปริมาณ TMA และ TMAO ที่พบนั้นขึ้นกับชนิดของสัตว์น้ำด้วย (Ozogul, Ozogul, and Gokbulut, 2006) เช่น ปริมาณ TMAO ในหอยนางรมสดมีค่าต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัม/100 กรัม (Murata and Sakaguchi, 1986) ปริมาณ TMA ที่พบในปลา albacore สดมีค่าประมาณ 1.1 มิลลิกรัม/100 กรัม (Price, Melvin and Bell, 1991) และปริมาณ TMA ที่พบในปลา tilapia สดก็มีค่าต่ำประมาณ 0.07 มิลลิกรัม/100 กรัม (Reddy *et al.*, 1994)

#### 4.2.3.1.3.2 ปริมาณ Total Volatile Base (TVB)

จากการวิเคราะห์ปริมาณ TVB โดยวิธี Conway (Hasegawa, 1987) ปรากฏว่าพบ TVB ในเนื้อหอยเป่าฮือมีค่าต่ำประมาณ  $1.72 \pm 0.03$  มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งปริมาณ TVB นั้นส่วนใหญ่ประกอบด้วย TMA และแอมโมเนียที่เป็นผลิตภัณฑ์จากการทำงานของเอนไซม์ภายในเนื้อเยื่อและการเจริญของจุลินทรีย์ โดยจะสามารถชะลอให้เกิดช้าลงได้ถ้าเก็บรักษาสัตว์น้ำไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (นงลักษณ์ สุทธิวนิช, 2531) ซึ่งในการทดลองได้แช่แข็งหอยเป่าฮืออย่างรวดเร็วด้วยเครื่อง Liquid nitrogen freezer ที่อุณหภูมิ  $-80^{\circ}\text{C}$  และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ  $-18^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นจึงเกิด TVB ในเนื้อหอยเป่าฮือปริมาณต่ำ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Chiou และคณะ (2002) ที่พบว่าหอยเป่าฮือสดพันธุ์ *H. diversicolor* มีค่า TVB ต่ำเช่นกัน คือประมาณ 2.6 มิลลิกรัม/100 กรัม

จากการวิจัยของ Watanabe, Yamanaka และ Yamakawa (1992) เก็บ disk abalone ที่อุณหภูมิ 0 และ  $5^{\circ}\text{C}$  พบว่าค่า TVB ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอยเป่าฮือพันธุ์นี้ เนื่องจากค่า TVB ไม่เพิ่มขึ้นจนกว่าจะเก็บไว้นาน 3 หรือ 5 วัน และเพิ่มขึ้นช้ามากระหว่างการเก็บรักษา โดยเมื่อเวลาผ่านไป 13 วัน มีค่าเพียง 10 มิลลิกรัม/100 กรัม เท่านั้น

#### 4.2.3.1.3.3 ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารอนุพันธ์

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารอนุพันธ์ ได้แก่ ATP, ADP, AMP, IMP, AdR, HxR และ Hx ด้วยวิธี HPLC จากการเตรียมสารสกัดจากเนื้อหอยเป่าฮือ ตามวิธีของ Hatae และคณะ (1995) ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารอนุพันธ์ของเนื้อหอยเป่าฮือ

| สารประกอบนิวคลีโอไทด์ | ปริมาณ (มิลลิกรัม/100 กรัม) |
|-----------------------|-----------------------------|
| ATP                   | $14.37 \pm 1.77$            |
| ADP                   | —                           |
| AMP                   | $62.50 \pm 6.49$            |
| IMP                   | —                           |
| AdR                   | $13.44 \pm 1.52$            |
| HxR                   | $0.22 \pm 0.01$             |
| Hx                    | —                           |

ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในสัตว์น้ำนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ของสัตว์น้ำด้วย สัตว์น้ำแต่ละชนิดจะมีชนิดและปริมาณของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่แตกต่างกัน โดยพบปริมาณ IMP ในปลาไหลพันธุ์

*Anguilla anguilla* ปริมาณสูง เนื่องจากเป็นสารสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นรสในปลา แต่พบ ATP, ADP และ AMP ปริมาณต่ำ (Ozogul, Ozogul, and Gokbulut, 2006) แตกต่างจากหอยเป่าฮือซึ่งมีการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ได้ 2 แบบ คือเปลี่ยนจาก ATP  $\rightarrow$  ADP  $\rightarrow$  AMP  $\rightarrow$  IMP  $\rightarrow$  HxR  $\rightarrow$  Hx เหมือนในปลาและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม หรือเปลี่ยนจาก ATP  $\rightarrow$  ADP  $\rightarrow$  AMP  $\rightarrow$  AdR  $\rightarrow$  HxR  $\rightarrow$  Hx เหมือนสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (Hatae *et al.*, 1995 cited in Saito and Arai, 1957) ซึ่งจากผลการทดลองพบปริมาณ ATP, AMP, AdR และ HxR เท่ากับ 14.37, 62.50, 13.44 และ 0.22 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่ไม่พบ IMP, ADP และ Hx จะเห็นว่าสารประกอบนิวคลีโอไทด์ในเนื้อหอยเป่าฮือมีปริมาณ AMP เป็นองค์ประกอบหลัก เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Hatae และคณะ (1996) และในหอย ascidian (*Halocynthia roretzi*) จากงานวิจัยของ Nontratip, Wada และ Yamanaka (1991)

Hatae และคณะ (1995) ศึกษาปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารอนุพันธ์ในหอยเป่าฮือพันธุ์ *H. discus* รายงานว่าสามารถเกิดการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ได้ทั้งแบบปลาและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และแบบสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง โดยในหอยเป่าฮือมีเอนไซม์ AMP-deaminase และ Adenosine-deaminase ปริมาณต่ำ ซึ่งเอนไซม์ AMP-deaminase จะเร่งให้ AMP เปลี่ยนไปเป็น IMP ในการแตกตัวแบบที่หนึ่ง และเอนไซม์ Adenosine-deaminase จะเร่งให้ AdR เปลี่ยนไปเป็น HxR ในการแตกตัวแบบที่สอง และพบว่าปริมาณ AMP สะสมในกล้ามเนื้อสูง ซึ่งจากผลการทดลองมีปริมาณ AMP เป็นองค์ประกอบหลัก และมีปริมาณ AdR 13.44 มิลลิกรัม/100 กรัม แสดงว่าหอยเป่าฮือพันธุ์ *H. asinina* Linnaeus ที่ใช้ในงานวิจัย อาจจะมีการแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์และอนุพันธ์ได้ทั้ง 2 แบบ เช่นกัน

การแตกตัวของสารประกอบนิวคลีโอไทด์ซึ่งเริ่มจากสารตั้งต้น ATP นั้น จะเกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา ทำให้มีการสะสมของ Hx เกิดรสขมและเป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอาหารทะเล (Ozogul, Ozogul, and Gokbulut, 2006) นอกจากนี้ Hx ยังเป็นดัชนีบอกความสดที่ดีสำหรับหอย scallop (Chiou *et al.*, 2002) ซึ่งจากผลการทดลองไม่พบ Hx ในเนื้อหอยเป่าฮือ แสดงว่าหอยเป่าฮือที่ใช้ในงานวิจัยมีสภาพที่สดอยู่

หอยเป่าฮือเป็นอาหารที่คนนิยมบริโภคกันทั่วโลก เนื่องจากมีกลิ่นรสเฉพาะตัวและเนื้อสัมผัสต่างจากสัตว์น้ำชนิดอื่น จากการศึกษาของ Konosu (1973) พบว่าองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮือชนิด *H. discus* ได้แก่ AMP, glutamic acid, glycine และ glycine betaine โดย glutamic acid เป็นตัวให้รส umami และกลิ่นรสชาติเฉพาะตัวของหอยเป่าฮือ glycine ทำให้เกิดรสหวาน ส่วน AMP นั้นไม่ทำให้เกิดรสชาติได้เพียงลำพัง แต่เมื่ออยู่ร่วมกับ glutamic acid จะทำให้รส umami ชัดเจนขึ้น ทั้งนี้หากไม่มี glutamic acid และ AMP จะทำให้รส umami และกลิ่นรสเฉพาะตัวของหอยเป่าฮือหายไป (Hatae *et al.*, 1995)

สารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารอนุพันธ์ของสัตว์น้ำนอกจากจะให้กลิ่นรสแล้วยังสามารถคำนวณเป็นเกณฑ์บอกความสดของสัตว์น้ำได้อีกด้วย เช่น ค่า K และค่า K' เป็นต้น ซึ่งปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์ที่ส่งผลต่อค่า K และค่า K' ของเนื้อหอยเป่าฮือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ปริมาณ ATP, AMP, AdR และ HxR เนื่องจากไม่พบปริมาณ ADP, IMP และ Hx จึงทำให้ค่า K และค่า K' ขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์เพียง 4 ชนิดที่พบ จากผลการทดลองคำนวณค่า K และค่า K' ได้เท่ากับ 0.24% เท่ากัน ซึ่งมีค่าใกล้ 0 แสดงว่าหอยเป่าฮือมีสภาพที่สดมาก

นอกจากนี้ได้มีการกำหนดเกณฑ์ในการตรวจสอบความสดของปลาหลังจากปลาตายทันทีควรมีค่า K น้อยกว่า 5% ปลาดิบอยู่ระหว่าง 20 – 30% และปลาที่เน่าแล้วมากกว่า 60% (นงลักษณ์ สุทธิวิช, 2531) แต่อย่างไรก็ตามค่า K ก็ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอยเป่าฮือ (Watanabe, Yamanaka and Yamakawa, 1992) เช่นเดียวกับที่ค่า K ไม่ใช่ดัชนีที่ดีในการบอกความสดของหอย scallop (Kawashima and Yamanaka, 1992) และหอยเป่าฮือพันธุ์ *H. diversicolor* เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่า K ช้ามากในช่วงแรกของการเก็บรักษา แต่จะเพิ่มขึ้นในช่วงหลังซึ่ง

หอยเป้าสื่อเกิดการเน่าเสียแล้ว ส่วนค่า  $K'$  เป็นดัชนีบอกความสดที่ดีสำหรับสัตว์น้ำจำพวกมีเปลือก เช่น หอย กุ้งและปู เนื่องจากค่า  $K'$  จะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าค่า  $K$  (Chiou *et al.*, 2002) แต่จากผลการทดลองคำนวณค่า  $K$  และค่า  $K'$  ได้เท่ากัน อาจเนื่องจากหอยเป้าสื่อที่ใช้ในการทดลองสดมาก จึงเห็นความแตกต่างของค่าทั้งสองไม่ชัดเจน ทำให้ไม่สามารถระบุได้ว่าค่า  $K$  หรือค่า  $K'$  เป็นดัชนีบอกความสดที่เหมาะสมสำหรับหอยเป้าสื่อพันธุ์ *H. asinina* Linnaeus ที่ใช้ในงานวิจัย

#### 4.2.3.2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์หอยเป้าสื่อ

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบความชอบให้คะแนนแบบ hedonic สเกล 9 ระดับ ในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความหนืด และความชอบโดยรวม เพื่อเลือกสูตรที่ผู้บริโภคพอใจมากที่สุดจากสูตรเริ่มต้น 4 สูตรในข้อ 3.2.3.2 และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) พบว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในทุกคุณลักษณะที่ประเมิน แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.42 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสของทุกคุณลักษณะในรูปสูตรที่ 4 สูงกว่ารูปสูตรอื่นทั้ง 3 สูตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสูตรที่ 4 จากสูตรหอยเป้าสื่อของคารามาส แก้วแดง (2547) เพื่อเป็นสูตรควบคุมในงานวิจัยขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.42 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสแสดงความพึงพอใจในการเลือกสูตรหอยเป้าสื่อที่เหมาะสม

| คุณลักษณะ     | สูตรที่ 1                | สูตรที่ 2                 | สูตรที่ 3                | สูตรที่ 4                |
|---------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| สี            | 4.32 <sup>c</sup> ± 1.8  | 6.38 <sup>b</sup> ± 1.29  | 6.96 <sup>a</sup> ± 1.25 | 6.98 <sup>a</sup> ± 1.25 |
| กลิ่น         | 5.80 <sup>b</sup> ± 1.68 | 6.36 <sup>ab</sup> ± 1.35 | 6.76 <sup>a</sup> ± 1.79 | 6.82 <sup>a</sup> ± 1.60 |
| รสชาติ        | 3.34 <sup>c</sup> ± 1.80 | 5.04 <sup>b</sup> ± 2.08  | 6.68 <sup>a</sup> ± 1.46 | 7.32 <sup>a</sup> ± 1.20 |
| ความหนืด      | 4.84 <sup>c</sup> ± 1.58 | 6.24 <sup>b</sup> ± 1.35  | 6.26 <sup>b</sup> ± 2.04 | 6.82 <sup>a</sup> ± 1.26 |
| ความชอบโดยรวม | 3.60 <sup>d</sup> ± 1.69 | 5.78 <sup>c</sup> ± 1.58  | 6.58 <sup>b</sup> ± 1.18 | 7.22 <sup>a</sup> ± 1.23 |

a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

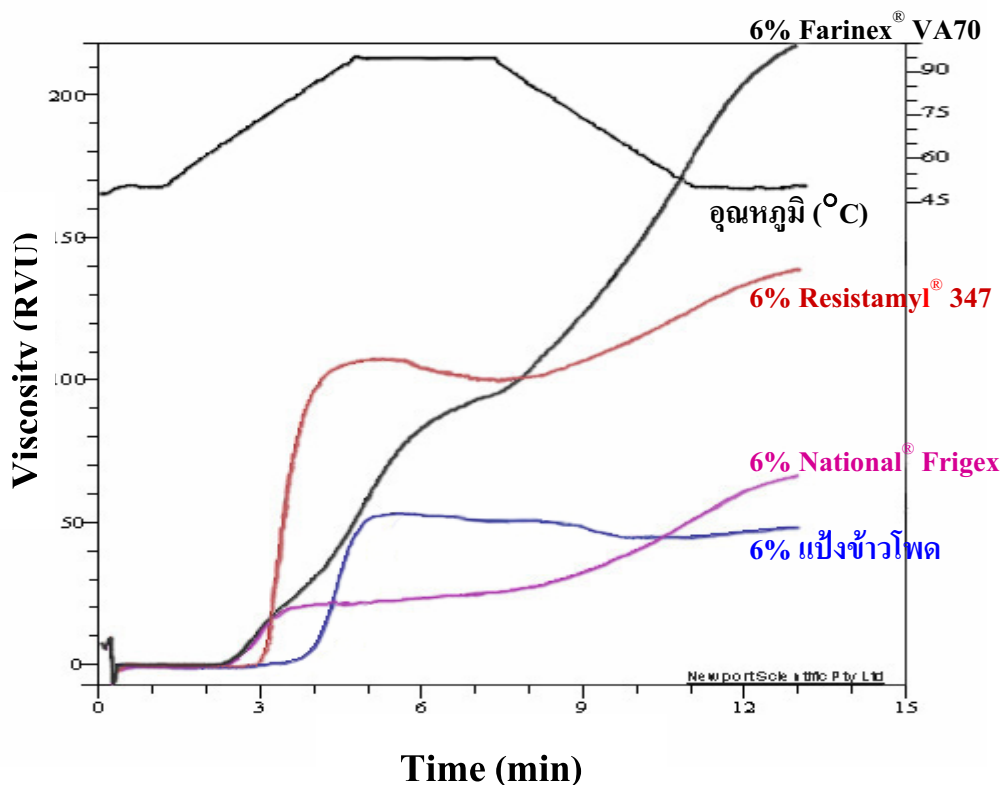
#### 4.2.3.3 สมบัติด้านความหนืดของแป้ง

##### 4.2.3.3.1 สมบัติด้านความหนืดของเจลแป้งข้าวโพดและแป้งดัดแปรที่ใช้แทนที่แป้งข้าวโพด

จากการวิเคราะห์ความหนืดของเจลแป้งข้าวโพดและแป้งดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่นำมา ใช้แทนที่แป้งข้าวโพดทั้ง 3 ชนิด ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (4D, Newport Scientific Pty Ltd., Australia) เปรียบเทียบที่ความเข้มข้น 6% โดยน้ำหนักแห้ง ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.43

จากรูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของเจลแป้งจากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง RVA พบว่าเจลแป้งดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่นำมาใช้แทนที่แป้งข้าวโพดทั้ง 3 ชนิด มีความหนืดของเจลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างช่วงการลดอุณหภูมิ แต่เจลแป้งข้าวโพดมีความหนืดลดลง โดยที่กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง Farinex<sup>®</sup> VA70 และ Resistamyl<sup>®</sup> 347 มีระดับของความหนืดค่อนข้างสูงในระหว่างควบคุมอุณหภูมิที่ 95°C ส่วนแป้ง National<sup>®</sup> Frigex และแป้งข้าวโพดมีระดับของความหนืดค่อนข้างต่ำ แต่แป้ง Farinex<sup>®</sup> VA70 และ National<sup>®</sup> Frigex ไม่เกิด breakdown ในขณะที่แป้ง Resistamyl<sup>®</sup> 347 และแป้งข้าวโพดเกิด breakdown เล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Raina และคณะ (2006) ที่พบว่าความหนืดของแป้งดัดแปรในช่วงควบคุมอุณหภูมิที่ 95°C มีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับการเชื่อมขวาง ทั้งนี้เนื่องจากแป้งดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางเกิดพันธะโควาเลนต์ซึ่งช่วยเสริมให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างของ

เม็ดแป้งไว้ให้มีความแข็งแรงมากขึ้น (กล้านรงค์ ศรีวรรต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546; Tuschhoff, 1986) มีกำลังการพองตัวและการละลายต่ำกว่าแป้งดิบ ทำให้เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพมากขึ้นจึงแตกออกได้ยาก ลักษณะกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดอาจไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด มีความหนืดสูงแต่อาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (กล้านรงค์ ศรีวรรต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของเจลแป้งข้าวโพดและแป้งตัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง RVA

ตารางที่ 4.43 ค่าต่างๆที่ได้จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของเจลแป้งข้าวโพดและแป้งตัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวาง

| pasting properties  | ชนิดแป้ง     |                  |                 |               |
|---------------------|--------------|------------------|-----------------|---------------|
|                     | แป้งข้าวโพด  | National® frigex | Resistamyl® 347 | Farinex® VA70 |
| peak viscosity      | 53.63 ± 0.64 | 25.53 ± 2.40     | 109.46 ± 3.13   | 93.95 ± 1.93  |
| trough              | 44.04 ± 1.12 | —                | 101.00 ± 1.65   | —             |
| breakdown           | 9.59 ± 1.76  | —                | 8.46 ± 1.47     | —             |
| final viscosity     | 47.33 ± 1.41 | 67.52 ± 1.09     | 140.50 ± 2.01   | 219.32 ± 1.86 |
| setback             | 3.29 ± 0.30  | —                | 39.50 ± 0.35    | —             |
| peak time           | 5.97 ± 0.24  | 7.09 ± 0.19      | 5.06 ± 0.21     | 7.03 ± 0.16   |
| pasting temperature | 79.50 ± 0.49 | 71.50 ± 0.71     | 73.70 ± 0.92    | 70.30 ± 0.21  |

จากตารางที่ 4.43 จะเห็นว่าเจลของแป้งข้าวโพดมีความหนืดต่ำ เนื่องจากแป้งข้าวโพดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง ทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงและมีกำลังการพองตัวต่ำ (กล้านรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) เป็นผลให้เจลแป้งข้าวโพดจากการทดลองมีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด หรือ pasting temperature สูง ( $79.50^{\circ}\text{C}$ ) แต่เมื่อพิจารณาเสถียรภาพของเจลแป้งข้าวโพดที่ค่า breakdown และ setback จะเห็นว่ามีความสูงก่อนขึ้นต่ำ อาจเนื่องมาจากความเข้มข้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ความหนืดต่ำเกินไป (6% โดยน้ำหนักแห้ง) จึงทำให้เห็นพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความหนืดไม่ชัดเจน โดยเหตุที่ต้องทำที่ระดับความเข้มข้นนี้ เพราะถ้าใช้ความเข้มข้นสูงกว่านี้ จะทำให้แป้งดัดแปรมีความหนืดเกินความสามารถในการวัดของเครื่อง RVA และอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องมือได้ หากพิจารณาแป้งดัดแปรทั้ง 3 ชนิด จะเห็นว่าเจลแป้งแต่ละชนิดมีความหนืดที่ต่างกัน เพราะผลผลิตจากแป้งดิบต่างชนิดกันและระดับการเชื่อมขวางที่ต่างกัน โดยที่แป้ง National<sup>®</sup> Frigex ดัดแปรจากแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว ซึ่งปกติแล้วแป้งดิบจะมีความหนืดสูงปานกลาง แต่จากผลการทดลองเจลแป้ง National<sup>®</sup> Frigex กลับมีความหนืดต่ำ อาจเนื่องมาจากมีระดับการดัดแปรสูง ทำให้มีการพองตัวต่ำลงและมีความหนืดต่ำกว่าแป้งดิบ ในขณะที่แป้ง Resistamyl<sup>®</sup> 347 ดัดแปรจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งโดยธรรมชาติแล้วแป้งมันสำปะหลังจะมีความหนืดใกล้เคียงกับแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว แต่จากผลการทดลองแป้ง Resistamyl<sup>®</sup> 347 กลับมีความหนืดสูงกว่าแป้ง National<sup>®</sup> Frigex มาก อาจเป็นผลจากระดับการดัดแปรที่ต่ำกว่า จึงมีการพองตัวและความหนืดสูงกว่า ส่วนแป้ง Farinex<sup>®</sup> VA70 ดัดแปรจากแป้งมันฝรั่งซึ่งเป็นแป้งที่พองตัวได้สูงมากอยู่แล้ว และจากผลการทดลองได้ความหนืดของเจลแป้ง Farinex<sup>®</sup> VA70 ใกล้เคียงกับแป้ง Resistamyl<sup>®</sup> 347 แต่แป้ง Farinex<sup>®</sup> VA70 มีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นมากในช่วงการลดอุณหภูมิ อาจเนื่องจากระดับการดัดแปรที่ต่างกันและธรรมชาติของแป้งมันฝรั่ง เม็ดแป้งจึงสามารถดูดน้ำในระบบและเกิดการพองตัวขึ้นเรื่อยๆ โดยเม็ดแป้งไม่แตกออกจึงมีความหนืดสูงขึ้นเรื่อยๆตลอดการทดลอง นอกจากนี้หากเปรียบเทียบเสถียรภาพของเจลแป้งข้าวโพดกับแป้งดัดแปร จะเห็นว่าแป้งดัดแปรทั้ง 3 ชนิดมีความหนืดของแป้งเปียกที่เสถียรมากกว่า ทั้งนี้เป็นผลจากการสร้างพันธะเชื่อมขวางนั่นเอง ซึ่งทำให้โครงสร้างภายในเม็ดแป้งแข็งแรง เม็ดแป้งที่พองตัวมีความเหนียวเพิ่มขึ้น จึงไม่เกิดการแตกของเม็ดแป้งที่จะทำให้ค่าความหนืดลดลง (กล้านรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

#### 4.2.3.3.2 ปริมาณแป้งดัดแปรที่เหมาะสมในการแทนที่แป้งข้าวโพด

การศึกษาสมบัติด้านความหนืดของซุปรี่ที่เตรียมจากแป้งดัดแปรทั้ง 3 ชนิด เปรียบเทียบกับซุปรี่ที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดในซุปรี่สูตรควบคุมที่เลือกได้จากข้อ 4.2.3.2 ซึ่งมีแป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสมอยู่ 3.5% โดยน้ำหนัก ใช้การเตรียมซุปรี่สุกที่อุณหภูมิ  $80^{\circ}\text{C}$  เพื่อให้แป้งทั้ง 4 ชนิดมีพฤติกรรมพองตัวและเกิด gelatinization ได้สมบูรณ์ เนื่องจากอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด หรือ pasting temperature ของแป้งทั้ง 4 ชนิด อยู่ในช่วง  $70.30 - 79.50^{\circ}\text{C}$  (ตารางที่ 4.43) แล้วทำให้เย็นตัวลงและวัดความหนืดของซุปรี่ทั้ง 4 สูตร ด้วยเครื่อง Bohlin Rheometer (C – VOR, Malvern Instrument Ltd., UK) ที่อุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$  ได้ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดของซุปรี่และระดับการแทนที่ของแป้งดัดแปรแต่ละชนิดดังตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.44 ความหนืดปรากฏที่อัตราเลื่อน  $100 \text{ s}^{-1}$  ของซูปจากแป้งคัดแปรที่ความเข้มข้นต่างกันเปรียบเทียบกับซูปจากแป้งข้าวโพด

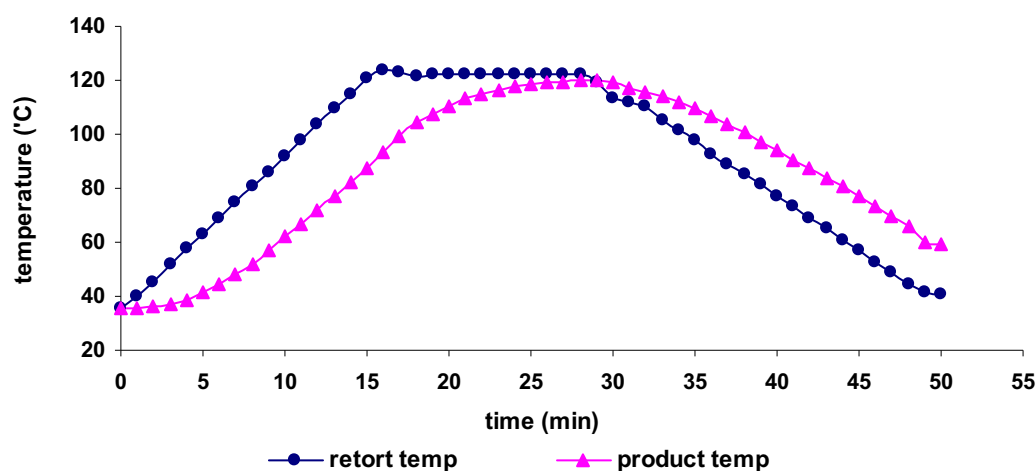
| ชนิดแป้ง                     | ความเข้มข้น<br>(%โดยน้ำหนัก) | flow behavior index | ค่าความหนืดซูป <sup>ns</sup><br>(cP) |
|------------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| แป้งข้าวโพด                  | 3.5                          | $0.67 \pm 0.01$     | $133.50 \pm 5.75$                    |
| Resistamyl <sup>®</sup> 347  | 3.9                          | $0.61 \pm 0.02$     | $131.33 \pm 4.80$                    |
| National <sup>®</sup> Frigex | 4.5                          | $0.71 \pm 0.02$     | $132.87 \pm 5.42$                    |
| Farinex <sup>®</sup> VA70    | 5.4                          | $0.53 \pm 0.03$     | $132.42 \pm 3.71$                    |

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

#### 4.2.3.4 กระบวนการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าอื้อในรีทอร์ตเพาช์

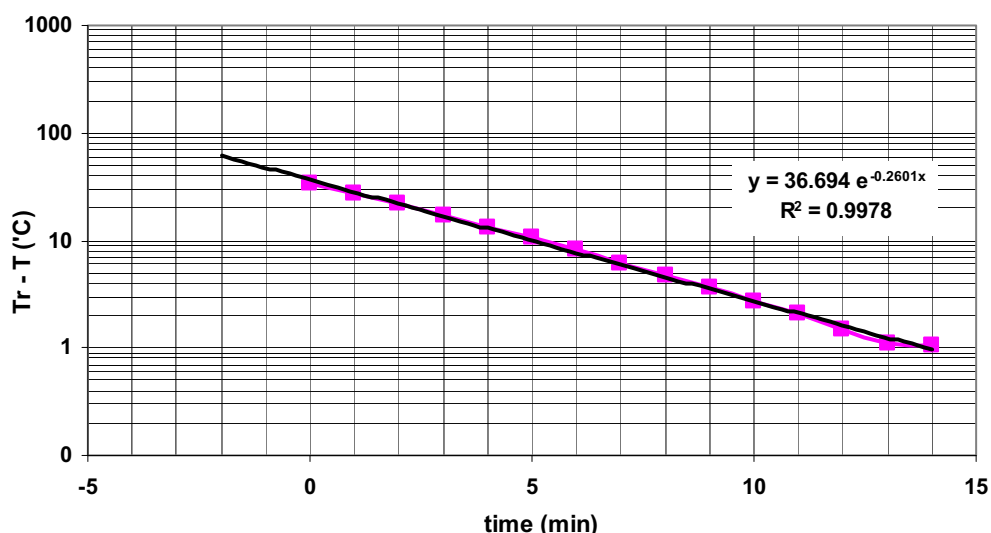
##### 4.2.3.4.1 เวลาในการฆ่าเชื้อซูปหอยเป่าอื้อในรีทอร์ตเพาช์

จากข้อ 4.2.3.3.2 โดยเตรียมซูปหอยเป่าอื้อจากแป้งคัดแปรแต่ละชนิดตามปริมาณการแทนที่แป้งข้าวโพด (ตารางที่ 4.44) และทดลองฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ  $121^{\circ}\text{C}$  โดยแบ่งการฆ่าเชื้อเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มเปิดไอน้ำจนถึงเวลาที่อุณหภูมิในเครื่องฆ่าเชื้อสูงถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อ (come up time) นาน 15 นาที ช่วงการให้ความร้อน (sterilizing period) นาน 14 นาที และช่วงการทำให้เย็น (cooling period) นาน 20 นาที ได้ข้อมูลของอุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อและอุณหภูมิจุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์กับเวลา แสดงดังรูปที่ 4.9 ซึ่งได้จากการใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าอื้อสูตรที่ใช้แป้ง Farinex<sup>®</sup> VA70 เข้มข้น 5.4% เพราะเป็นสูตรที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิช้าที่สุด (slowest heating) โดยปกติอัตราการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับลักษณะการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิดของอาหาร อาหารที่มีความหนืดสูง และ/หรือมีชิ้นอาหารขนาดใหญ่ จะมีการถ่ายโอนความร้อนแบบการนำความร้อน (conduction) ความร้อนจะถ่ายโอนผ่านผนังบรรจุภัณฑ์แล้วผ่าน โมเลกุลของอาหารที่ไม่เคลื่อนที่ การถ่ายโอนความร้อนแบบนี้ช้ากว่าแบบการพาความร้อน (convection) (Downing, 1996 อ้างถึงใน วิไล รังสาทอง, 2545) ซึ่งผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าอื้อในงานวิจัยนี้มีความหนืดสูงและมีชิ้นเนื้อหอยเป่าอื้อ จึงได้กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์ที่มีความชันไม่สูงนัก (ดังรูปที่ 4.9) แสดงลักษณะการถ่ายโอนความร้อนแบบการนำความร้อน



รูปที่ 4.9 อุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อ ( $T_r$ ) และอุณหภูมิจุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์กับเวลาของผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าอื้อในรีทอร์ตเพาช์ที่อุณหภูมิ  $121^{\circ}\text{C}$

คำนวณหาเวลาที่ต้องใช้ในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ซูบโฮยเป้าสื้อในรีทอร์ตเพาช์ด้วยวิธีใช้สูตร (formula method) (Ball, 1923) โดยกำหนดสถานะการฆ่าเชื้อที่ค่า  $F_0 = 4$  นาที ซึ่งไม่รวมค่า  $F_0$  ในช่วงการทำให้เย็น จากการสร้างกราฟการแทรกผ่านความร้อนระหว่างผลต่างอุณหภูมิภายในเครื่องฆ่าเชื้อและอุณหภูมิจุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์ ( $T_r - T$ ) กับเวลาบนกระดาษกราฟแบบ semilog แสดงกราฟการแทรกผ่านความร้อนในช่วงการให้ความร้อนดังรูปที่ 4.10 ได้ค่า heating rate index ( $f_h$ ) = 8.854 นาที heating rate lag factor ( $j_{ch}$ ) = 1.085 และเวลาในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ในช่วงการให้ความร้อนนาน 13.5 นาที



รูปที่ 4.10 กราฟการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ซูบโฮยเป้าสื้อในรีทอร์ตเพาช์ในช่วงการให้ความร้อน

#### 4.2.3.4.2 แป้งคัดแปรที่เหมาะสมกับกระบวนการฆ่าเชื้อ

จากการประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบความชอบให้คะแนนแบบ hedonic สเกล 9 ระดับ และแบบ QDA สเกล 8 ระดับ ของผลิตภัณฑ์ซูบโฮยเป้าสื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วทั้ง 3 สูตรจากข้อ 4.2.3.4.1 ในด้านลักษณะปรากฏ ความหนืด ความรู้สึกขณะอยู่ในปาก และความชอบโดยรวม เพื่อเลือกสูตรที่ผู้บริโภคพอใจมากที่สุด และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) พบว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในทุกคุณลักษณะที่ประเมิน แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.45 – 4.46

ตารางที่ 4.45 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสแสดงความพึงพอใจต่อซูบโฮยเป้าสื้อ

| คุณลักษณะ              | 3.9%                     | 4.5%                     | 5.4%                     |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                        | Resistamyl® 347          | National® Frigex         | Farinex® VA70            |
| ลักษณะปรากฏ            | 5.06 <sup>c</sup> ± 1.80 | 5.72 <sup>b</sup> ± 1.74 | 6.42 <sup>a</sup> ± 1.54 |
| ความหนืด               | 5.40 <sup>c</sup> ± 1.51 | 6.26 <sup>b</sup> ± 1.52 | 6.80 <sup>a</sup> ± 1.58 |
| ความรู้สึกขณะอยู่ในปาก | 5.78 <sup>b</sup> ± 1.66 | 6.54 <sup>a</sup> ± 1.28 | 6.70 <sup>a</sup> ± 1.69 |
| ความชอบโดยรวม          | 5.38 <sup>b</sup> ± 1.32 | 6.34 <sup>a</sup> ± 1.26 | 6.82 <sup>a</sup> ± 1.45 |

a, b และ c ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.45 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงความพึงพอใจต่อซูปสูตรที่ใช้แป้ง Farinex® VA70 เพิ่มขึ้น 5.4% สูงกว่าซูปสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในทุกคุณลักษณะที่ประเมิน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้แป้ง Farinex® VA70 เพิ่มขึ้น 5.4% แทนที่แป้งข้าวโพดเพิ่มขึ้น 3.5% ในสูตรซูปกระเพาะปลาของคารามาส แก้วแดง (2547) เพื่อใช้ในงานวิจัยต่อไป

ตารางที่ 4.46 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสแสดงความรู้สึกต่อซูปหอยเป่าฮื้อ

| คุณลักษณะ              | 3.9%                  | 4.5%              | 5.4%              |
|------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
|                        | Resistamyl® 347       | National® Frigex  | Farinex® VA70     |
| ลักษณะปรากฏ            | $4.18^\circ \pm 1.60$ | $4.92^b \pm 1.65$ | $5.92^a \pm 1.32$ |
| ความหนืด               | $3.90^\circ \pm 1.40$ | $4.82^b \pm 1.44$ | $6.10^a \pm 1.33$ |
| ความรู้สึกขณะอยู่ในปาก | $4.86^\circ \pm 1.67$ | $5.80^b \pm 1.40$ | $6.36^a \pm 1.10$ |

a, b และ c ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.46 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงความรู้สึก (QDA) ต่อซูปสูตรที่ใช้แป้ง Farinex® VA70 เพิ่มขึ้น 5.4% สูงกว่าซูปสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในทุกคุณลักษณะที่ประเมิน ซูปสูตรนี้มีลักษณะปรากฏที่ดี (ซูปเป็นเนื้อเดียวกัน) มีความหนืดเหมาะสม และให้ความรู้สึกเรียบเนียนขณะอยู่ในปากมากที่สุด แสดงว่าแป้ง Farinex® VA70 สามารถรักษาเสถียรภาพของความหนืดหลังผ่านการฆ่าเชื้อได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความหนืดของเจลแป้งด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer ในข้อ 4.2.3.3.1 และเมื่อวัดสมบัติด้านความหนืดของซูปหอยเป่าฮื้อที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดและแป้งคัดแปรทั้ง 3 ชนิด หลังผ่านการฆ่าเชื้อ ด้วยเครื่อง Bohlin Rheometer (C – VOR, Malvern Instrument Ltd., UK) ได้ค่าความหนืดปรากฏที่อัตราเลื่อน  $100 \text{ s}^{-1}$  ของซูปทั้ง 4 สูตร แสดงดังตารางที่ 4.47

ตารางที่ 4.47 ความหนืดปรากฏที่อัตราเลื่อน  $100 \text{ s}^{-1}$  ของซูปหอยเป่าฮื้อจากแป้งข้าวโพดและแป้งคัดแปรก่อนและหลังผ่านการฆ่าเชื้อ

| ชนิดแป้ง         | ความเข้มข้น   | ความหนืดซูป                        | ความหนืดซูป          |
|------------------|---------------|------------------------------------|----------------------|
|                  | (%โดยน้ำหนัก) | ก่อนการฆ่าเชื้อ <sup>ns</sup> (cP) | หลังการฆ่าเชื้อ (cP) |
| แป้งข้าวโพด      | 3.5           | $133.50 \pm 5.75$                  | $53.98^d \pm 3.19$   |
| Resistamyl® 347  | 3.9           | $131.33 \pm 4.80$                  | $91.31^c \pm 6.76$   |
| National® Frigex | 4.5           | $132.87 \pm 5.42$                  | $187.34^b \pm 12.30$ |
| Farinex® VA70    | 5.4           | $132.42 \pm 3.71$                  | $226.92^a \pm 13.81$ |

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

a, b, c, ... ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.47 จะเห็นว่าซูปหอยเป่าฮื้อที่เตรียมจากแป้งข้าวโพดและแป้งคัดแปรชนิด Resistamyl® 347 เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมีความหนืดลดลงจากค่าเริ่มต้นก่อนการฆ่าเชื้อคือ 133.50 และ 131.33 cP ตามลำดับ แสดงว่าแป้งทั้ง 2 ชนิดนี้ไม่ทนความร้อนในระดับการฆ่าเชื้อจึงไม่สามารถรักษาเสถียรภาพความหนืดของซูปได้ อีกทั้งยังเป็นผลจากน้ำที่

สูญเสียจากเนื้อหอยเป่าอ้อมมาสู่ตัวซูปด้วย ส่วนซูปที่เตรียมจากแป้งชนิด National® Frigex และ Farinex® VA70 มีความหนืดสูงกว่าซูปก่อนการฆ่าเชื้อ แสดงว่าแป้งคัดแปร 2 ชนิดนี้สามารถทนความร้อนในระดับการฆ่าเชื้อได้ดี นอกจากนี้ความหนืดปรากฏของซูปหลังการฆ่าเชื้อสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสแสดงความรู้สึกละเอียดต่อซูปหลังการฆ่าเชื้อในตารางที่ 4.47 แสดงว่าผู้ทดสอบสามารถแยกความแตกต่างด้านความหนืดของซูปได้ถูกต้อง และผู้ทดสอบชอบซูปที่ค่อนข้างหนืด และแม้ว่าซูปสูตรที่ใช้แป้ง Farinex® VA70 เพิ่มขึ้น 5.4% หลังผ่านการฆ่าเชื้อมีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่ซูปสูตรนี้มีลักษณะปรากฏเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด มีความหนืดค่อนข้างมาก และให้ความรู้สึกรียบเนียนขณะอยู่ในปากมากที่สุด ดังนั้นจึงได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงที่สุด และเลือกเป็นสูตรที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัย

#### 4.2.3.4.3 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางจุลชีววิทยาของซูปหอยเป่าอ้อมก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ

##### 4.2.3.4.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

###### 4.2.3.4.3.1.1 ความหนืดของซูปหอยเป่าอ้อม

จากการวัดสมบัติด้านความหนืดของซูปหอยเป่าอ้อมสูตรที่ใช้แป้ง Farinex® VA70 เพิ่มขึ้น 5.4% ด้วยเครื่อง Bohlin Rheometer (C – VOR, Malvern Instrument Ltd., UK) ได้ค่าความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน  $100 \text{ s}^{-1}$  อุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$  ของซูปก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อเป็น  $132.42 \pm 3.71 \text{ cP}$  และ  $226.92 \pm 13.81 \text{ cP}$  ตามลำดับ (ตารางที่ 4.47) และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) พบว่าสมบัติด้านความหนืดของซูปก่อนและหลังผ่านการฆ่าเชื้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยซูปหลังการฆ่าเชื้อมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของแป้งคัดแปรด้วยปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่มีอัตราการพองตัวและการเกิดเจลในซัลดลง จะเกิดความหนืดต่ำในช่วงแรกของการฆ่าเชื้อ ช่วยให้การนำความร้อนของผลิตภัณฑ์เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาในการฆ่าเชื้อสั้นลง และจะได้ความหนืดของผลิตภัณฑ์ตามต้องการเมื่อผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง (กล้านรงค์ ศรีวรรค และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

###### 4.2.3.4.3.1.2 สีของเนื้อหอยเป่าอ้อมและซูปหอยเป่าอ้อม

จากการวัดสีของเนื้อหอยเป่าอ้อมและซูปหอยเป่าอ้อมก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ โดยใช้ระบบ Hunter (L, a, b) ด้วยเครื่อง Minolta Chroma meter (CR 300 Series, Minolta, Tokyo, Japan) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.48

ตารางที่ 4.48 สีของซูปและเนื้อหอยเป่าอ้อมก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ

| ค่าด้านสี | เนื้อหอยเป่าอ้อม   |                    | ซูปหอยเป่าอ้อม        |                       |
|-----------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
|           | ก่อนการฆ่าเชื้อ    | หลังการฆ่าเชื้อ    | ก่อนการฆ่าเชื้อ       | หลังการฆ่าเชื้อ       |
| ค่า L     | $65.26^A \pm 1.42$ | $59.52^B \pm 0.60$ | $28.29^a \pm 0.39$    | $34.36^b \pm 0.51$    |
| ค่า a     | $-0.88^A \pm 0.27$ | $1.07^B \pm 0.19$  | $-0.96^{ns} \pm 0.09$ | $-0.90^{ns} \pm 0.14$ |
| ค่า b     | $9.37^A \pm 1.29$  | $15.25^B \pm 0.98$ | $-0.26^a \pm 0.10$    | $0.57^b \pm 0.17$     |

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

A, B กับ a, b ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and

Cox, 1957) พบว่าเนื้อหอยเป่าฮื้อหลังผ่านการฆ่าเชื้อมีค่าความสว่างลดลง ค่าสีแดงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากส่วนประกอบในการเตรียมหอยมีสีน้ำตาลและสีน้ำตาลเข้ม เกิดการแพร่ของสีระหว่างเนื้อหอยเป่าฮื้อและหอย ทำให้สีของเนื้อหอยเป่าฮื้อเข้มขึ้น นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic browning หรือ Maillard reaction) ซึ่งเกิดระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนที่มีอยู่ในเนื้อหอยเป่าฮื้อ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiou, Tsai และ Lan (2004) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของเนื้อหอยเป่าฮื้อสายพันธุ์ไต้หวัน (*H. diversicolor*) ในการต้มที่ 80 และ 98°C เป็นเวลา 0 – 120 นาที พบว่าเนื้อหอยเป่าฮื้อหลังต้มมีสีเข้มขึ้นและมีสีเหลืองมากขึ้นตามอุณหภูมิการต้มที่เพิ่มขึ้น และรายงานว่าการเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์ระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน โดยเฉพาะ taurine และ alanine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนอิสระที่มีมากในเนื้อหอยเป่าฮื้อและเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าว เช่นเดียวกับรายงานของ Kawashima และ Yamanaka (1996) ที่พบว่าเนื้อหอย scallop (*Patinopecten yessoensis*) เกิดสีน้ำตาลขึ้นหลังผ่านการให้ความร้อน เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์ระหว่าง sugar phosphate โดยเฉพาะ glucose-6-phosphate กับกรดอะมิโน เช่น taurine และ alanine ซึ่งปริมาณ glucose-6-phosphate มีความสัมพันธ์กับการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อหอยเป็นอย่างมาก

#### 4.2.3.4.3.1.3 เนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อ

จากการวัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อด้วยเครื่อง Instron Texture Analyzer (5565, Instron, USA) ใช้หัววัดแบบใบมีดตัด (Warner – Bratzler Meat Shear Blade) อัตราเร็วของใบมีดคงที่ 2.0 มิลลิเมตร/วินาที ตามวิธีของศรีนทรา บุญสำเร็จ (2544) ได้ค่าแรงต้านทานการตัดขาด (cutting force) ของเนื้อหอยเป่าฮื้อก่อนและหลังผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อเป็น  $1,583.97 \pm 137.25$  gf และ  $485.08 \pm 65.88$  gf ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) พบว่าเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อก่อนและหลังการฆ่าเชื้อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เนื้อหอยเป่าฮื้อดิบมีลักษณะพิเศษคือมีเนื้อสัมผัสที่เหนียวพอเหมาะ แต่เมื่อผ่านการให้ความร้อนสมบัติด้านเนื้อสัมผัสจะเปลี่ยนไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในกล้ามเนื้อ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหลังผ่านการฆ่าเชื้อเนื้อหอยเป่าฮื้อมีค่า cutting force ลดลง และมีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีบทบาทต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของกล้ามเนื้อหอยเป่าฮื้อ ได้แก่ คอลลาเจนเปลี่ยนไปเป็นเจลาติน และไม่โอไฟบริลลาโปรตีน (myofibrillar protein) ซึ่งประกอบด้วยแอกติน (actin) และไมโอซิน (myosin) เสียสภาพไป ทำให้มีความเหนียวลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hatae และคณะ (1996) ที่พบว่าเนื้อหอยเป่าฮื้อสายพันธุ์ญี่ปุ่น (*H. discus*) มีค่า breaking stress ลดลงอย่างรวดเร็วหลังต้มที่ 98°C นาน 15 นาที แต่เมื่อต้มนานขึ้น เนื้อหอยจะนุ่มขึ้นและมีค่า breaking stress ลดลง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ James และ Olley (1971) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้อ black abalone (*H. ruber* Leach) พบว่าหลังผ่านการฆ่าเชื้อ เนื้อหอยเป่าฮื้อบริเวณเท้าซึ่งมีปริมาณคอลลาเจนสูง เนื้อจะนุ่มขึ้น ในขณะที่กล้ามเนื้อส่วน adductor ซึ่งมีปริมาณคอลลาเจนต่ำ เนื้อจะเหนียวขึ้น นอกจากนี้ Otwell และ Hamann (1979) ศึกษาผลของความร้อนต่อเนื้อสัมผัสของปลาหมึก (*Loligo pealei* L.) พบว่าเมื่อให้ความร้อนถึง 100°C ไมโอไฟบริลลาโปรตีนเกิดการรวมตัวและจับตัวกันแน่น มีการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นมาก และปริมาตรของเนื้อปลาหมึกลดลง และงานวิจัยของ Chiou, Tsai และ Lan (2004) ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อสายพันธุ์ไต้หวัน (*H. diversicolor*) ในการต้มที่ 80 และ 98°C เป็นเวลา 0 – 120 นาที พบว่าเนื้อหอยเป่าฮื้อหลังต้มที่อุณหภูมิ 98°C เกิดการสูญเสียน้ำและน้ำหนักมากกว่าที่ 80°C

Gao และคณะ (2001) ศึกษาการเสีสภาพของโปรตีนกล้ามเนื้อของหอยเป่าฮื้อเนื่องจากความร้อนพบว่าไมโอซิน คอลลาเจน และแอกติน เกิดการเสีสภาพที่อุณหภูมิ 51.3, 57.5, และ 68.3°C ตามลำดับ และเนื้อหอย

เป่าฮือเกิดการเสียสภาพที่อุณหภูมิ  $57.5^{\circ}\text{C}$  ซึ่งในขณะที่คอลลาเจนเกิดการหดตัว จะมีส่วนที่ละลายน้ำได้ของเส้นใยบางส่วนละลายออกมา ทำให้ความเหนียวลดลง โดยปกติเนื้อหอยเป่าฮือประกอบด้วยคอลลาเจนสูงถึง 30 – 50% ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Olaechea *et al.*, 1993) การเปลี่ยนแปลงของคอลลาเจนเนื่องจากความร้อนจึงมีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮือมาก ในขณะที่ไมโอไฟบริลาโปรตีนแทบจะไม่มีบทบาทต่อเนื้อสัมผัสเลย ตามรายงานของ Ochiai และคณะ (1985) ที่พบว่าเนื้อหอย turban shell (*Batillus cornutus*) ส่วน visceral ซึ่งมีปริมาณไมโอไฟบริลาโปรตีนสูงและมีคอลลาเจนต่ำ หลังต้มที่  $30 - 100^{\circ}\text{C}$  นาน 30 นาที เนื้อหอยมีค่า toughness ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ในขณะที่เนื้อบริเวณเท้ามีค่า toughness ลดลง

#### 4.2.3.4.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา

จากการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count), flat sour, *Thermophilic anaerobe* และ *Putrefactive* ตามวิธีของ มอก.335 เล่ม 1 (2523) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.49

ตารางที่ 4.49 ปริมาณจุลินทรีย์ของซูปหอยเป่าฮือก่อนและหลังผ่านการฆ่าเชื้อ

| ชนิดจุลินทรีย์                    | ก่อนการฆ่าเชื้อ | หลังการฆ่าเชื้อ |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|
| total plate count (โคโลนีต่อกรัม) | ไม่พบ           | ไม่พบ           |
| flat sour                         | พบ              | ไม่พบ           |
| <i>Thermophilic anaerobes</i>     | ไม่พบ           | ไม่พบ           |
| <i>Putrefactive anaerobes</i>     | ไม่พบ           | ไม่พบ           |

จากตารางที่ 4.49 จะเห็นว่าตรวจพบ flat sour ในผลิตภัณฑ์ก่อนการฆ่าเชื้อ แต่ไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมด, flat sour, *Thermophilic anaerobes* และ *Putrefactive anaerobes* ในผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าฮือที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว แสดงว่ากระบวนการฆ่าเชื้อเพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2523) และผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

แบคทีเรียที่สำคัญในกลุ่ม flat sour คือ *B. stearothermophilus* เป็นแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเน่าเสียแบบมีกรดเกิดขึ้นแต่ไม่มีก๊าซ และไม่ทำให้ลักษณะภายนอกของกระป๋องเปลี่ยนไปซึ่งโดยปกติพบทั่วไปในดิน น้ำ หรือพืช จากการทดลองพบ flat sour ในผลิตภัณฑ์ปรุงสุกก่อนการฆ่าเชื้อ อาจมีการปนเปื้อนมาจากส่วนผสม เช่น น้ำตาล แป้ง และเครื่องเทศ เป็นต้น (ปริยา วิบูลย์เศรษฐ์, 2538)

แบคทีเรียกลุ่ม *Putrefactive anaerobes* ได้แก่ *C. botulinum*, *C. sporogenes* และ *C. perfringens* ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้ทำให้เกิดการเน่าเสียแบบมีกลิ่นเหม็นและมีก๊าซเกิดขึ้นทำให้กระป๋องบวม (มัทนา แสงจินดาพงษ์, 2545) โดยมี *C. botulinum* เป็นแบคทีเรียที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ เนื่องจากสามารถสร้างสารพิษที่อันตรายมาก สปอร์ของเชื้อ *C. botulinum* สามารถพบได้ทั่วไปทั้งในดิน ชายฝั่งทะเล น้ำทะเล บ่อปลา และระบบทางเดินอาหารของสัตว์ ดังนั้นวัตถุดิบที่มาจากทะเล สวน/ไร่ หรือสัตว์ที่อยู่กับดิน มีโอกาสปนเปื้อนได้ทั้งสิ้น (ปริยา วิบูลย์เศรษฐ์, 2538) ในงานวิจัยนี้อาจมีเชื้อปนเปื้อนมากับวัตถุดิบ เช่น จิงแค้น หอมใหญ่ กระดุกหมู/ไก่ และหอยเป่าฮือ เป็นต้น แต่ในกระบวนการผลิตได้คัดเลือกใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพ ล้างทำความสะอาดเพียงพอ และขั้นตอนการผลิตมีการปฏิบัติงานอย่างถูกต้องสุขลักษณะ อีกทั้งในขั้นตอนการเตรียมน้ำสต็อกมีการต้มนาน 2 ชั่วโมง จึงช่วยการลดการปนเปื้อนของเชื้อได้ด้วย นอกจากนี้ *C. botulinum* ไม่เจริญที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $5^{\circ}\text{C}$  ยกเว้น *C. botulinum* ชนิด E ไม่เจริญที่อุณหภูมิต่ำกว่า

3.3°C (นภาพร เชื้อชาญ, 2548) ซึ่งในงานวิจัยนี้เก็บรักษาหอยเป่าฮื้อที่อุณหภูมิ -18°C สามารถยับยั้งการเจริญของ *C. botulinum* ได้ จึงอาจส่งผลให้ไม่พบเชื้อกลุ่ม *Putrefactive anaerobes* ในผลิตภัณฑ์ปรุงสุกก่อนการฆ่าเชื้อ

#### 4.2.3.5 ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮื้อในรีโทรเคพ

##### 4.2.3.5.1 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮื้อ โดยประเมินการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ (acceptance tests) ในด้านความหนืดและสีของหอยเป่าฮื้อ เนื้อสัมผัสและสีของเนื้อหอยเป่าฮื้อ และกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C โดยใช้เกณฑ์ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์เมื่อคะแนนการยอมรับเฉลี่ยต่ำกว่า 5 คะแนน (Poole *et al.*, 1990) เพื่อทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) ได้ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.50 – 4.51 ซึ่งจากตารางที่ 4.50 จะเห็นว่าผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C ในด้านสีของเนื้อหอยเป่าฮื้อเป็นอันดับแรกเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ตามด้วยด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อ ความหนืดและสีของหอย และกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ที่เวลา 5, 7 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ และจากตารางที่ 4.51 จะเห็นว่าผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 65°C ในด้านสีของเนื้อหอยเป่าฮื้อเป็นอันดับแรกเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ตามด้วยด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อ ความหนืดและสีของหอย และกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ที่เวลา 3, 4 และ 5 สัปดาห์ ตามลำดับ

เมื่อทราบเวลาที่ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพที่อุณหภูมิเร่งทั้ง 2 อุณหภูมิ แล้วใช้สมการ  $Q_{10}$  ดังสมการที่ 4.4 และ 4.5 (Labuza and Schmidl, 1985) ทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) โดยการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะต้องเป็นการเปลี่ยนแปลงที่อธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์ (zero – order) หรืออันดับที่หนึ่ง (first – order) จึงจะทำนายอายุการเก็บด้วยสมการ  $Q_{10}$  ได้ (Labuza, 1984)

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T}{\text{อายุการเก็บที่อุณหภูมิ } T + 10} = \frac{\theta_s(T)}{\theta_s(T+10)} \quad (4.4)$$

$$Q_{10}^{\Delta T/10} = \frac{\theta_s(T_1)}{\theta_s(T_2)} \quad ; T_2 > T_1, \Delta T = T_2 - T_1 \quad (4.5)$$

ด้านสีของเนื้อหอยเป่าฮื้อ อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55°C เป็น 3 สัปดาห์ และที่อุณหภูมิ 65°C เป็น 2 สัปดาห์ คำนวณ  $Q_{10}$  ตามสมการที่ 4.4 ได้ 1.5 และทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C ตามสมการที่ 4.5 ได้ 10.13 สัปดาห์

ด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อ อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55°C เป็น 5 สัปดาห์ และที่อุณหภูมิ 65°C เป็น 3 สัปดาห์ คำนวณ  $Q_{10}$  ตามสมการที่ 4.4 ได้ 1.67 และทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C ตามสมการที่ 4.5 ได้ 23.15 สัปดาห์

ด้านความหนืดและสีของหอย อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55°C เป็น 7 สัปดาห์ และที่อุณหภูมิ 65°C เป็น 4 สัปดาห์ คำนวณ  $Q_{10}$  ตามสมการที่ 4.4 ได้ 1.75 และทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C ตามสมการที่ 4.5 ได้ 37.52 สัปดาห์

ด้านกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ อายุการเก็บที่อุณหภูมิ 55°C เป็น 8 สัปดาห์ และที่อุณหภูมิ 65°C เป็น 5 สัปดาห์ คำนวณ  $Q_{10}$  ตามสมการที่ 4.4 ได้ 1.6 และทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C ตามสมการที่ 4.5 ได้ 32.77 สัปดาห์

ตารางที่ 4.50 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินผลทางประสาธน์สัมพัทธ์แสดงการยอมรับของผลิตภัณฑ์ซูบหอยเป่าอ้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C

| คุณลักษณะ   | เวลา (สัปดาห์)          |                         |                          |                          |                          |                          |                          |                         |                         |
|-------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
|             | 0                       | 1                       | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                       | 8                       |
| กลิ่น       | 8.07 <sup>a</sup> ±0.70 | 7.47 <sup>b</sup> ±0.83 | 6.87 <sup>c</sup> ±0.64  | 6.53 <sup>cd</sup> ±0.92 | 6.13 <sup>de</sup> ±0.74 | 5.93 <sup>e</sup> ±0.70  | 5.33 <sup>f</sup> ±0.72  | 5.07 <sup>f</sup> ±0.70 | 4.27 <sup>g</sup> ±0.70 |
| ความหนืด    | 7.80 <sup>a</sup> ±0.41 | 6.53 <sup>b</sup> ±0.52 | 6.47 <sup>b</sup> ±0.92  | 6.07 <sup>bc</sup> ±0.96 | 5.67 <sup>cd</sup> ±0.49 | 5.33 <sup>de</sup> ±0.72 | 5.13 <sup>e</sup> ±0.74  | 4.47 <sup>f</sup> ±0.64 | 4.53 <sup>f</sup> ±0.74 |
| เนื้อสัมผัส | 8.00 <sup>a</sup> ±0.76 | 7.13 <sup>b</sup> ±1.06 | 6.73 <sup>b</sup> ±0.80  | 5.80 <sup>c</sup> ±0.77  | 5.13 <sup>d</sup> ±0.74  | 4.60 <sup>de</sup> ±0.74 | 4.40 <sup>ef</sup> ±0.83 | 3.93 <sup>f</sup> ±0.80 | 3.07 <sup>g</sup> ±0.96 |
| สีชมพู      | 8.33 <sup>a</sup> ±0.62 | 7.33 <sup>b</sup> ±0.90 | 7.20 <sup>bc</sup> ±0.68 | 6.67 <sup>c</sup> ±0.72  | 6.07 <sup>d</sup> ±0.80  | 5.73 <sup>d</sup> ±0.70  | 5.53 <sup>d</sup> ±0.74  | 4.93 <sup>e</sup> ±0.80 | 3.20 <sup>f</sup> ±1.26 |
| สีน้ำตาล    | 7.73 <sup>a</sup> ±0.80 | 6.60 <sup>b</sup> ±0.63 | 5.33 <sup>c</sup> ±0.82  | 4.73 <sup>d</sup> ±0.88  | 4.07 <sup>e</sup> ±0.70  | 3.73 <sup>e</sup> ±0.96  | 3.13 <sup>f</sup> ±0.92  | 3.00 <sup>f</sup> ±0.85 | 2.40 <sup>g</sup> ±0.83 |

a, b, c,... ตัวอักษรต่างกัน ในแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ 4.51 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินผลทางประสาธน์สัมพัทธ์แสดงการยอมรับของผลิตภัณฑ์ซูบหอยเป่าอ้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 65°C

| คุณลักษณะ   | เวลา (สัปดาห์)          |                         |                          |                          |                          |                         |
|-------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
|             | 0                       | 1                       | 2                        | 3                        | 4                        | 5                       |
| กลิ่น       | 8.07 <sup>a</sup> ±0.70 | 6.67 <sup>b</sup> ±0.98 | 6.33 <sup>bc</sup> ±0.72 | 5.87 <sup>cd</sup> ±0.64 | 5.40 <sup>de</sup> ±0.74 | 4.93 <sup>e</sup> ±0.70 |
| ความหนืด    | 7.80 <sup>a</sup> ±0.41 | 7.07 <sup>b</sup> ±0.88 | 6.07 <sup>c</sup> ±0.96  | 5.33 <sup>d</sup> ±0.82  | 4.67 <sup>e</sup> ±0.98  | 3.87 <sup>f</sup> ±0.83 |
| เนื้อสัมผัส | 8.00 <sup>a</sup> ±0.76 | 6.73 <sup>b</sup> ±0.70 | 5.80 <sup>c</sup> ±0.86  | 4.07 <sup>d</sup> ±0.96  | 3.67 <sup>de</sup> ±0.90 | 3.13 <sup>e</sup> ±0.74 |
| สีชมพู      | 8.33 <sup>a</sup> ±0.62 | 7.27 <sup>b</sup> ±0.88 | 7.07 <sup>b</sup> ±1.03  | 5.80 <sup>c</sup> ±0.56  | 4.93 <sup>d</sup> ±0.80  | 4.27 <sup>e</sup> ±0.80 |
| สีหอย       | 7.73 <sup>a</sup> ±0.80 | 5.40 <sup>b</sup> ±0.83 | 4.27 <sup>c</sup> ±1.22  | 3.80 <sup>cd</sup> ±0.68 | 3.47 <sup>de</sup> ±0.64 | 2.93 <sup>e</sup> ±0.80 |

a, b, c,... ตัวอักษรต่างกัน ในแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

จากการทำนายอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C จะเห็นว่าสมบัติของผลิตภัณฑ์ด้านสีของเนื้อหอยเป่าอื้อเสื่อมเสียเป็นอันดับแรกใช้เวลา 10.13 สัปดาห์ และเมื่อประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 – 28°C) ทุก 2 สัปดาห์ ได้ผลสอดคล้องกันคือ เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ผู้ทดสอบยังยอมรับผลิตภัณฑ์ในทุกด้านแต่คุณภาพด้านสีของหอยเป่าอื้อได้รับการยอมรับต่ำที่สุด และมีแนวโน้มจะเสื่อมเสียเป็นอันดับแรกเช่นกัน แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่อุณหภูมิห้อง ดังตารางที่ 4.52 ดังนั้นหากจะมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์หอยเป่าอื้อมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น จึงควรให้ความสำคัญในด้านสีของเนื้อหอยเป่าอื้อเป็นอันดับแรก โดยจะกล่าวถึงแนวทางในการปรับปรุงในภายหลัง

**ตารางที่ 4.52** ค่าเฉลี่ยของคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสแสดงการยอมรับของผลิตภัณฑ์หอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

| คุณลักษณะ                 | เวลา (สัปดาห์)            |                           |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                           | 0                         | 2                         | 4                         | 6                         |
| กลิ่น                     | 8.07 <sup>ns</sup> ± 0.70 | 7.87 <sup>ns</sup> ± 0.74 | 8.00 <sup>ns</sup> ± 0.53 | 7.73 <sup>ns</sup> ± 0.59 |
| ความหนืด                  | 7.80 <sup>ab</sup> ± 0.41 | 7.73 <sup>ab</sup> ± 0.46 | 7.47 <sup>a</sup> ± 0.52  | 7.53 <sup>b</sup> ± 0.52  |
| เนื้อสัมผัส <sup>ns</sup> | 8.00 ± 0.76               | 7.87 ± 0.64               | 8.07 ± 0.70               | 7.93 ± 0.80               |
| สีชมพู                    | 8.33 <sup>ns</sup> ± 0.62 | 8.20 <sup>ns</sup> ± 0.56 | 8.27 <sup>ns</sup> ± 0.59 | 8.13 <sup>ns</sup> ± 0.64 |
| สีหอย                     | 7.73 <sup>ns</sup> ± 0.80 | 7.40 <sup>ns</sup> ± 0.83 | 7.53 <sup>ns</sup> ± 0.52 | 7.33 <sup>ns</sup> ± 0.62 |

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

a และ b ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.3.5.2 คุณภาพทางกายภาพ

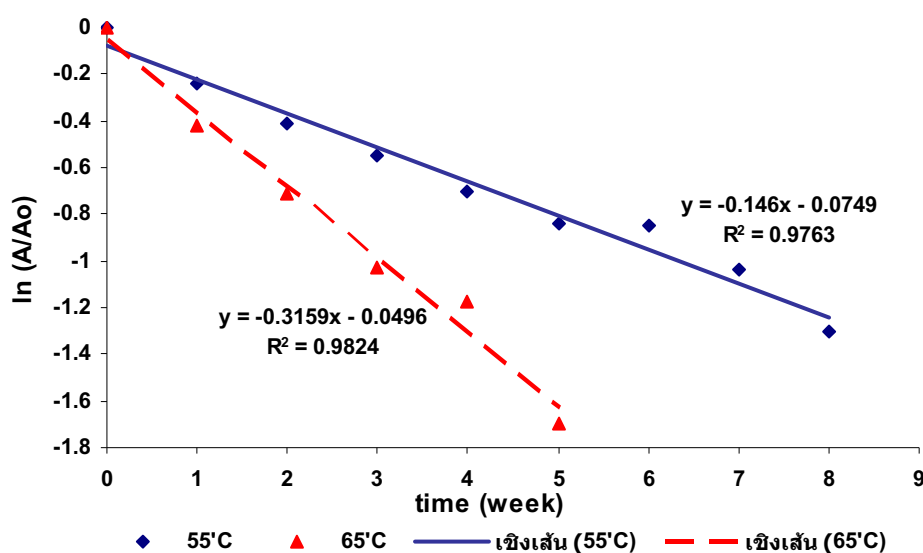
##### 4.2.3.5.2.1 สมบัติด้านความหนืดของหอยเป่าอื้อ

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านความหนืดของหอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 และ 65°C โดยวัดความหนืดของหอยเป่าอื้อด้วยเครื่อง Bohlin Rheometer (C – VOR, Malvern Instrument Ltd., UK) ได้ค่าความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 100 s<sup>-1</sup> อุณหภูมิ 25°C วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) แสดงผลดังตารางที่ 4.53 ซึ่งจะเห็นว่าความหนืดของหอยเป่าอื้อมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้ง 2 อุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิ 65°C หอยเป่าอื้อมีความหนืดลดลงเร็วกว่าที่ 55°C ซึ่งความหนืดของหอยเป่าอื้อที่ลดลงนี้อาจเป็นผลของการเกิดแรงขับ (driving force) จากความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างเนื้อหอยเป่าอื้อกับตัวหอย ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารขึ้น ซึ่งตัวหอยมีความเข้มข้นสูงกว่าน้ำจากเนื้อหอยเป่าอื้อจึงแพร่ออกมาสู่ตัวหอย ดังนั้นที่อุณหภูมิสูงกว่าจะเร่งให้เกิดแรงขับนี้สูงกว่า ทำให้ความหนืดของหอยเป่าอื้อที่อุณหภูมิ 65°C ลดลงเร็วกว่าที่ 55°C และเมื่อพิจารณาที่เวลา 7 และ 4 สัปดาห์ ของอุณหภูมิ 55 และ 65°C ตามลำดับ ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านความหนืดของหอยเป่าอื้อ จะเห็นว่าความหนืดของหอยเป่าอื้อทั้ง 2 อุณหภูมิใกล้เคียงกัน แสดงว่าผู้ทดสอบเริ่มไม่ยอมรับหอยเป่าอื้อที่ความหนืดระดับนี้ และแสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของหอยเป่าอื้อ 2 อุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.11 โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่อธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (first order) (Labuza, 1984) ซึ่ง A<sub>0</sub> คือ ความหนืดของหอยเป่าอื้อเริ่มต้นที่ 0 สัปดาห์ ส่วน A คือ ความหนืดของหอยเป่าอื้อที่เวลาใดๆ

ตารางที่ 4.53 ความหนืดปรากฏที่อัตราเลื่อน  $100 \text{ s}^{-1}$  ของซูปหอยเป่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ  $65^{\circ}\text{C}$

| เวลา (สัปดาห์) | $55^{\circ}\text{C}$          | $65^{\circ}\text{C}$          |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 0              | $226.92^{\text{A}} \pm 13.81$ | $226.92^{\text{a}} \pm 13.81$ |
| 1              | $177.76^{\text{B}} \pm 11.96$ | $148.65^{\text{b}} \pm 5.22$  |
| 2              | $150.86^{\text{C}} \pm 10.63$ | $111.35^{\text{c}} \pm 10.5$  |
| 3              | $131.44^{\text{D}} \pm 7.23$  | $81.07^{\text{d}} \pm 8.63$   |
| 4              | $112.11^{\text{E}} \pm 7.69$  | $70.06^{\text{e}} \pm 7.49$   |
| 5              | $97.89^{\text{F}} \pm 6.80$   | $41.61^{\text{f}} \pm 3.82$   |
| 6              | $97.40^{\text{F}} \pm 11.21$  | —                             |
| 7              | $80.65^{\text{G}} \pm 9.18$   | —                             |
| 8              | $61.59^{\text{H}} \pm 3.50$   | —                             |

A, B, C,... กับ a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงความหนืดปรากฏของซูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง  $55^{\circ}\text{C}$  และ  $65^{\circ}\text{C}$

เมื่อวัดสมบัติด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ( $25 - 28^{\circ}\text{C}$ ) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ แสดงผลดังตารางที่ 4.54 จะเห็นว่าความหนืดของซูปหอยเป่ามีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) อาจเป็นผลของแรงขับจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างเนื้อหอยเป่าอืดกับตัวซูป ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวลสารขึ้น ซึ่งตัวซูปมีความเข้มข้นสูงกว่า น้ำจากเนื้อหอยเป่าอืดจึงแพร่ออกมาสู่ตัวซูป และเมื่อพิจารณาซูปที่ไม่ใส่เนื้อหอยเป่าอืด จะเห็นว่าความหนืดของซูปค่อนข้างมีเสถียรภาพที่ดี ความหนืดของซูปไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ตลอด 6 สัปดาห์ แสดงว่าแป้งคัดแปรที่เลือกใช้สามารถรักษาเสถียรภาพของความหนืดได้ดี ดังนั้นหากจะปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อรักษาเสถียรภาพของความหนืดซูปหอยเป่าอืด ควรจะสนใจที่จะเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อหอย เช่น เพิ่มการแช่เนื้อหอยเป่าอืดในสารละลายฟอสเฟต ดังรายงานของ Kolodziejka,

Sikorski และ Sadowska (1987) ที่แช่ปลาหมึก (*Illex argentinus*) ในสารละลาย polyphosphate ความเข้มข้น 1, 2 และ 3% ที่อุณหภูมิ 2°C นาน 18 ชั่วโมง ก่อนต้มที่อุณหภูมิ 100°C นาน 45 นาที พบว่าเมื่อความเข้มข้นสารละลายเพิ่มขึ้น ปลาหมึกมีเนื้อสัมผัสนุ่มลง (ค่า shear force ลดลง) มีความชุ่มน้ำเพิ่มขึ้นและมี cooking loss ลดลง โดยความเข้มข้นสารละลายที่เหมาะสมที่สุดคือ 2% ซึ่งให้เนื้อสัมผัสปลาหมึกที่นุ่มและมีความชุ่มน้ำมากที่สุด ในขณะที่มี cooking loss ต่ำสุด

ตารางที่ 4.54 ความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 100 s<sup>-1</sup> ของซุปลอยเป้าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

|                               | เวลา (สัปดาห์)             |                            |                            |                            |
|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                               | 0                          | 2                          | 4                          | 6                          |
| ซุปลอยเป้าฮื้อ                | 226.92 <sup>a</sup> ±13.81 | 214.50 <sup>a</sup> ±17.97 | 183.09 <sup>b</sup> ±11.05 | 171.74 <sup>b</sup> ±14.80 |
| ซูป (ไม่ใช่หอย) <sup>ns</sup> | 517.85 ±17.01              | —                          | —                          | 532.41 ±12.53              |

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

a และ b ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

#### 4.2.3.5.2.2 สมบัติด้านสีของเนื้อหอยเป้าฮื้อและซุปลอยเป้าฮื้อ

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของเนื้อหอยเป้าฮื้อและซุปลอยเป้าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 และ 65°C โดยใช้ระบบ Hunter (L, a, b) ด้วยเครื่อง Minolta Chroma meter (CR 300 Series, Minolta, Tokyo, Japan) และคำนวณความแตกต่างของสีเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ 0 สัปดาห์ ( $\Delta E$ ) ตามสมการที่ 4.6 (Hunter, 1975 cited in Ochoa, 1999) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) แสดงผลดังตารางที่ 4.55 – 4.58

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (4.6)$$

จากตารางที่ 4.55 และ 4.56 จะเห็นว่าสีของเนื้อหอยเป้าฮื้อมีค่า L และค่า b ลดลง ส่วนค่า a เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ทั้ง 2 อุณหภูมิ คือเนื้อหอยเป้าฮื้อมีความสว่างลดลง ความเป็นสีแดงและสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 65°C สีของเนื้อหอยเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าที่ 55°C อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่าปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์จะเกิดได้มากกว่า (Chiou, Tsai and Lan, 2004) นอกจากนี้เนื้อหอยเป้าฮื้อที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนยังสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำเงิน (bluing reaction) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน biuret complex ซึ่งเกิดจากทองแดง หรือปฏิกิริยาระหว่าง hemocyanin ที่มีอยู่ในเลือดสัตว์ทะเลพวก crustacean และ mollusca ซึ่งมีทองแดงเป็นองค์ประกอบ กับ tyrosine เกิดเป็นสารประกอบของทองแดงที่ให้สีน้ำเงิน (Boon, 1975) เมื่อพิจารณาสีของเนื้อหอยเป้าฮื้อที่เวลา 3 และ 2 สัปดาห์ ของอุณหภูมิ 55 และ 65°C ตามลำดับ ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านสีของเนื้อหอยเป้าฮื้อ จะเห็นว่าค่าความแตกต่างของสีเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ 0 สัปดาห์ ( $\Delta E$ ) ของเนื้อหอยทั้ง 2 อุณหภูมิใกล้เคียงกัน แสดงว่าผู้ทดสอบเริ่มไม่ยอมรับสีของเนื้อหอยเป้าฮื้อที่ระดับนี้ และได้แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า  $\Delta E$  ของเนื้อหอยเป้าฮื้อ 2 อุณหภูมิดังรูปที่ 4.12 โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่อธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์ (zero order) (Labuza, 1984)

ตารางที่ 4.55 สีของเนื้อหอยเป่าสื่อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C

| ค่าด้านสี | เวลา (สัปดาห์)            |                          |                          |                           |                            |                          |                          |                          |                          |
|-----------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|           | 0                         | 1                        | 2                        | 3                         | 4                          | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        |
| ค่า L     | 59.52 <sup>a</sup> ±0.60  | 54.93 <sup>b</sup> ±0.86 | 53.57 <sup>c</sup> ±1.45 | 52.39 <sup>cd</sup> ±1.76 | 51.91 <sup>d</sup> ±1.62   | 47.57 <sup>e</sup> ±2.55 | 45.83 <sup>f</sup> ±1.30 | 45.46 <sup>f</sup> ±1.06 | 45.67 <sup>f</sup> ±1.11 |
| ค่า a     | 1.07 <sup>a</sup> ±0.19   | 2.52 <sup>b</sup> ±0.47  | 2.39 <sup>b</sup> ±0.56  | 2.61 <sup>b</sup> ±0.59   | 3.45 <sup>c</sup> ±0.58    | 3.64 <sup>c</sup> ±0.78  | 3.50 <sup>c</sup> ±0.59  | 3.96 <sup>c</sup> ±0.48  | 4.71 <sup>d</sup> ±0.66  |
| ค่า b     | 15.25 <sup>ab</sup> ±0.98 | 16.02 <sup>a</sup> ±1.86 | 15.71 <sup>a</sup> ±2.03 | 14.18 <sup>bc</sup> ±1.37 | 14.78 <sup>abc</sup> ±1.22 | 13.80 <sup>c</sup> ±1.69 | 11.37 <sup>d</sup> ±1.22 | 9.75 <sup>e</sup> ±1.29  | 9.85 <sup>e</sup> ±0.95  |
| ΔE        | 0                         | 11.86                    | 18.67                    | 27.20                     | 31.88                      | 75.81                    | 104.17                   | 118.12                   | 117.11                   |

a, b, c,... ตัวอักษรต่างกัน ในแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ 4.56 สีของเนื้อหอยเป่าสื่อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 65°C

| ค่าด้านสี | เวลา (สัปดาห์)           |                           |                           |                          |                           |                          |
|-----------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
|           | 0                        | 1                         | 2                         | 3                        | 4                         | 5                        |
| ค่า L     | 59.52 <sup>a</sup> ±0.60 | 53.39 <sup>b</sup> ±1.84  | 51.82 <sup>b</sup> ±1.47  | 52.14 <sup>b</sup> ±2.72 | 46.49 <sup>c</sup> ±1.33  | 45.93 <sup>c</sup> ±1.52 |
| ค่า a     | 1.07 <sup>a</sup> ±0.19  | 2.90 <sup>b</sup> ±0.43   | 4.03 <sup>cd</sup> ±0.74  | 3.75 <sup>c</sup> ±0.63  | 4.34 <sup>de</sup> ±0.49  | 4.62 <sup>c</sup> ±0.56  |
| ค่า b     | 15.25 <sup>a</sup> ±0.98 | 14.27 <sup>ab</sup> ±1.77 | 14.41 <sup>ab</sup> ±1.16 | 13.38 <sup>b</sup> ±2.17 | 13.72 <sup>ab</sup> ±1.60 | 12.75 <sup>b</sup> ±2.05 |
| ΔE        | 0                        | 20.98                     | 34.40                     | 32.61                    | 91.46                     | 101.79                   |

a, b, c,... ตัวอักษรต่างกัน ในแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ 4.57 สีของซูปหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C

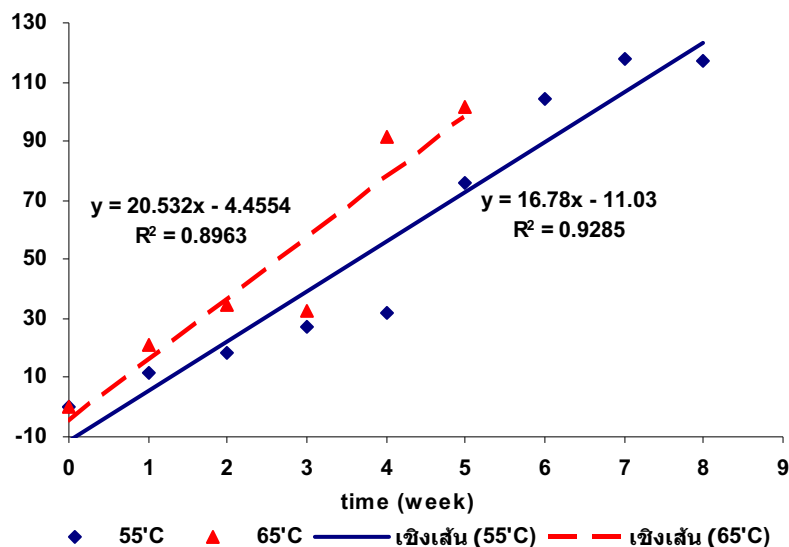
| ค่าด้านสี | เวลา (สัปดาห์)           |                          |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                          |
|-----------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
|           | 0                        | 1                        | 2                         | 3                         | 4                         | 5                         | 6                         | 7                         | 8                        |
| ค่า L     | 34.36 <sup>a</sup> ±0.51 | 34.50 <sup>a</sup> ±0.56 | 33.46 <sup>b</sup> ±0.86  | 32.82 <sup>bc</sup> ±0.94 | 32.55 <sup>cd</sup> ±0.86 | 32.40 <sup>cd</sup> ±1.43 | 32.17 <sup>cd</sup> ±0.78 | 32.59 <sup>cd</sup> ±0.43 | 31.96 <sup>d</sup> ±0.62 |
| ค่า a     | -0.90 <sup>b</sup> ±0.14 | -1.19 <sup>a</sup> ±0.17 | -1.12 <sup>a</sup> ±0.21  | -0.93 <sup>b</sup> ±0.23  | -0.86 <sup>b</sup> ±0.09  | -0.80 <sup>b</sup> ±0.18  | -0.92 <sup>b</sup> ±0.16  | -0.89 <sup>b</sup> ±0.15  | -0.56 <sup>c</sup> ±0.15 |
| ค่า b     | 0.57 <sup>a</sup> ±0.17  | 1.18 <sup>b</sup> ±0.34  | 1.77 <sup>cde</sup> ±0.26 | 1.87 <sup>def</sup> ±0.25 | 1.60 <sup>cd</sup> ±0.41  | 1.93 <sup>ef</sup> ±0.51  | 1.49 <sup>c</sup> ±0.34   | 2.16 <sup>f</sup> ±0.32   | 2.10 <sup>f</sup> ±0.24  |
| ΔE        | 0                        | 0.24                     | 1.15                      | 2.02                      | 2.16                      | 2.84                      | 2.82                      | 2.83                      | 4.12                     |

a, b, c,... ตัวอักษรต่างกัน ในแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

ตารางที่ 4.58 สีของซูปหอยเป๋าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 65°C

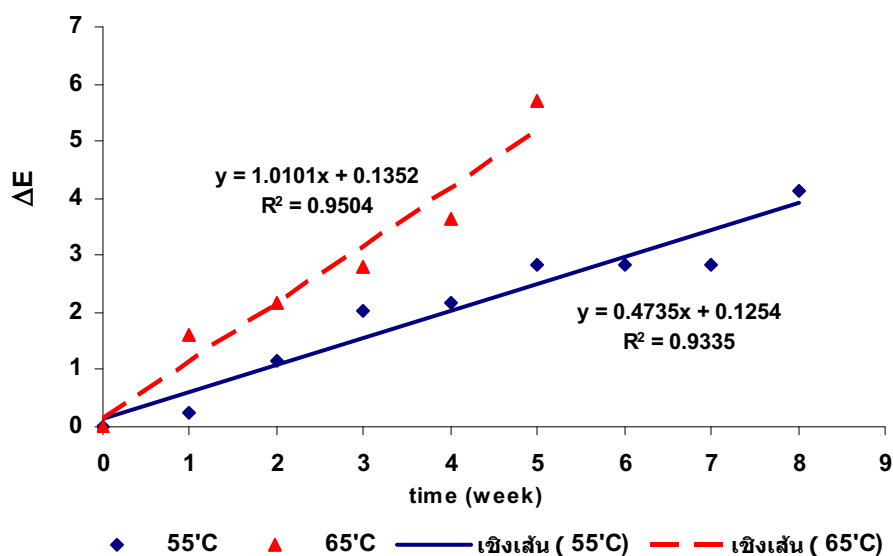
| ค่าด้านสี | เวลา (สัปดาห์)           |                           |                          |                          |                           |                          |
|-----------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
|           | 0                        | 1                         | 2                        | 3                        | 4                         | 5                        |
| ค่า L     | 34.36 <sup>a</sup> ±0.51 | 32.70 <sup>b</sup> ±1.28  | 32.46 <sup>b</sup> ±0.43 | 32.40 <sup>b</sup> ±0.73 | 31.94 <sup>bc</sup> ±0.70 | 31.47 <sup>c</sup> ±1.39 |
| ค่า a     | -0.90 <sup>b</sup> ±0.14 | -0.99 <sup>ab</sup> ±0.16 | -1.10 <sup>a</sup> ±0.13 | -0.95 <sup>b</sup> ±0.16 | -0.71 <sup>c</sup> ±0.13  | -0.65 <sup>c</sup> ±0.15 |
| ค่า b     | 0.57 <sup>a</sup> ±0.17  | 1.25 <sup>b</sup> ±0.34   | 1.42 <sup>b</sup> ±0.31  | 1.89 <sup>c</sup> ±0.37  | 1.76 <sup>c</sup> ±0.44   | 2.31 <sup>d</sup> ±0.17  |
| ΔE        | 0                        | 1.61                      | 2.19                     | 2.79                     | 3.65                      | 5.72                     |

a, b, c,... ตัวอักษรต่างกัน ในแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)



รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อหอยเป่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C และ 65°C

จากตารางที่ 4.57 และ 4.58 จะเห็นว่าสีของซูปหอยเป่ามีค่า  $L$  และค่า  $b$  ลดลง ส่วนค่า  $a$  เพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ทั้ง 2 อุณหภูมิ คือซูปหอยเป่าสีมีความสว่างลดลง ความเป็นสีแดงและสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 65°C สีของซูปเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าที่ 55°C อาจเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์เกิดได้มากกว่า (Chiou, Tsai and Lan, 2004) และเมื่อพิจารณาที่เวลา 7 และ 4 สัปดาห์ ของอุณหภูมิ 55 และ 65°C ตามลำดับ ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านสีของซูปหอยเป่าสี จะเห็นว่าค่าความแตกต่างของสี เทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ 0 สัปดาห์ ( $\Delta E$ ) ของซูปทั้ง 2 อุณหภูมิใกล้เคียงกัน แสดงว่าผู้บริโภคเริ่มไม่ยอมรับสีของซูปที่ระดับนี้ และได้แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า  $\Delta E$  ของซูปหอยเป่าสี 2 อุณหภูมิดังรูปที่ 4.13 โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่อธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์ (zero order) (Labuza, 1984)



รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงสีของซูปหอยเป่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55°C และ 65°C

เมื่อวัดสีของเนื้อหอยเป่าฮื้อและซูปที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ( $25 - 28^{\circ}\text{C}$ ) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ แสดงผลดังตารางที่ 4.59 และ 4.60 จะเห็นว่าสีของเนื้อหอยเป่าฮื้อมีแนวโน้มค่า L ลดลงและค่า a เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ส่วนค่า b ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และค่า  $\Delta E$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ตัวซูปมีค่า L ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และค่า  $\Delta E$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อหอยเกิดขึ้นชัดเจนกว่าตัวซูป เนื่องจากน้ำตาลส่วนใหญ่ในตัวซูปไม่ใช่น้ำตาลรีดิวซ์ (ในสูตรใช้น้ำตาลทราย) ในขณะที่เนื้อหอยเป่าฮื้อมีน้ำตาล glucose-6-phosphate และกรดอะมิโน เช่น taurine และ alanine ซึ่งพร้อมสำหรับปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไมซ์เอนไซม์ (Kawashima and Yamanaka, 1996) รวมทั้งเนื้อหอยเป่าฮื้อยังสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ซึ่งจากผลการทดลองแม้ว่าค่า b จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่ค่าเฉลี่ยของค่า b มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แสดงว่าเกิดสารประกอบสีน้ำตาลขึ้น ดังนั้นแนวทางในการป้องกันอาจทำได้โดยการจุ่มหรือแช่เนื้อหอยเป่าฮื้อในสารละลายกรด citric หรือ EDTA ที่ทำหน้าที่เป็น metal chelator จับทองแดงไม่ให้เร่งปฏิกิริยาหรือเกิดสารประกอบทองแดงที่ให้สีน้ำตาล ซึ่ง FDA อนุญาตให้ใช้ EDTA ได้ไม่เกิน 275 ppm (Boon, 1975)

ตารางที่ 4.59 สีของเนื้อหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

| ค่าด้านสี           | เวลา (สัปดาห์)     |                      |                      |                    |
|---------------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
|                     | 0                  | 2                    | 4                    | 6                  |
| ค่า L               | $59.52^a \pm 0.60$ | $57.73^b \pm 2.50$   | $55.32^c \pm 1.47$   | $54.43^c \pm 1.98$ |
| ค่า a               | $1.07^a \pm 0.19$  | $1.20^{ab} \pm 0.30$ | $1.27^{ab} \pm 0.24$ | $1.40^b \pm 0.46$  |
| ค่า b <sup>ns</sup> | $15.25 \pm 0.98$   | $14.19 \pm 2.05$     | $14.05 \pm 1.36$     | $14.51 \pm 1.41$   |
| $\Delta E$          | 0                  | 2.17                 | 9.56                 | 13.27              |

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

a, b และ c ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.60 สีของซูปหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

| ค่าด้านสี           | เวลา (สัปดาห์)     |                    |                    |                    |
|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                     | 0                  | 2                  | 4                  | 6                  |
| ค่า L <sup>ns</sup> | $34.36 \pm 0.51$   | $34.04 \pm 0.71$   | $33.83 \pm 0.44$   | $34.16 \pm 0.87$   |
| ค่า a               | $-0.90^a \pm 0.14$ | $-0.95^a \pm 0.12$ | $-1.14^b \pm 0.17$ | $-1.18^b \pm 0.22$ |
| ค่า b               | $0.57^a \pm 0.17$  | $0.81^b \pm 0.12$  | $1.09^c \pm 0.16$  | $0.71^b \pm 0.13$  |
| $\Delta E$          | 0                  | 0.08               | 0.31               | 0.07               |

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

a, b และ c ตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.3.5.2.3 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อ

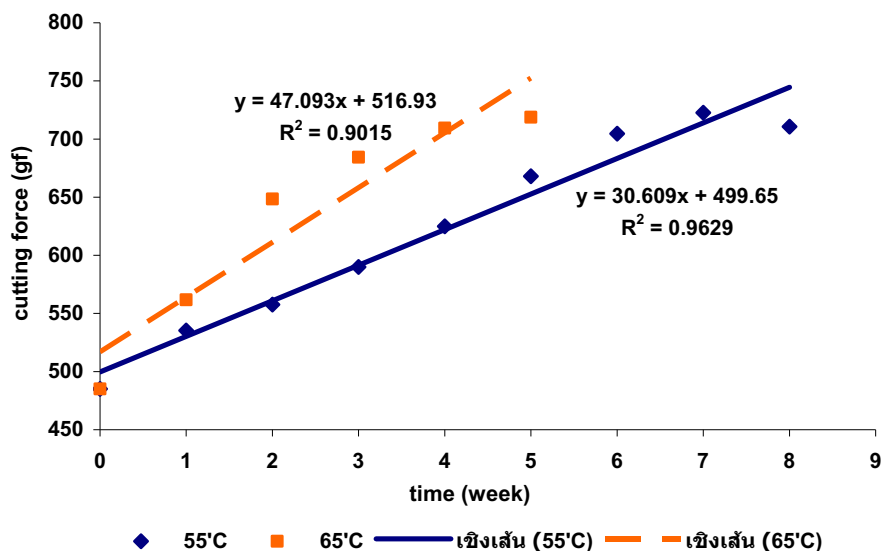
จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง  $55$  และ  $65^{\circ}\text{C}$  วัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮื้อด้วยเครื่อง Instron Texture Analyzer (5565, Instron, USA) ใช้หัววัดแบบใบมีดตัด (Warner – Bratzler Meat Shear Blade) อัตราเร็วของใบมีดคงที่  $2.0$  มิลลิเมตร/วินาที ตามวิธีของ

ศิรินทรา บุญสำเร็จ (2544) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957) แสดงผลดังตารางที่ 4.61 จะเห็นว่าค่าแรงต้านทานการตัดขาด (cutting force) ของเนื้อหอยเป่าอ้อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้ง 2 อุณหภูมิ อาจเนื่องจากโปรตีนกล้ามเนื้อของหอยเป่าอ้อม เช่น ไมโอไฟบริลลาโปรตีนซึ่งให้ความยืดหยุ่นแก่กล้ามเนื้อเสียสภาพแล้วหลังการฆ่าเชื้อ ทำให้เนื้อหอยเป่าอ้อมมีความยืดหยุ่นลดลง นอกจากนี้ที่ผิวของเนื้อหอยเป่าอ้อมมีการสูญเสียไอน้ำมาก มีผลให้เส้นใยไมโอไฟบริลจับตัวกันแน่น เกิดการหดตัวทำให้เนื้อสัมผัสที่ผิวมีลักษณะยึดจับกันมากขึ้นและเหนียวขึ้น (Gao *et al.*, 2001) โดยที่อุณหภูมิ  $65^{\circ}\text{C}$  ค่า cutting force เพิ่มขึ้นเร็วกว่าที่  $55^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่าทำให้เนื้อหอยเป่าอ้อมเกิดการหดตัวมากกว่า และน้ำจากเนื้อหอยเป่าอ้อมมีการสูญเสียออกมายังตัวชุปมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองด้านความหนืดของชุปในข้อ 4.2.3.5.2.1 และเมื่อพิจารณาสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่เวลา 5 และ 3 สัปดาห์ ของอุณหภูมิ 55 และ  $65^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าอ้อม จะเห็นว่าค่า cutting force ของเนื้อหอยเป่าอ้อมทั้ง 2 อุณหภูมิใกล้เคียงกัน แสดงว่าผู้บริโภคเริ่มไม่ยอมรับเนื้อหอยเป่าอ้อมที่ระดับนี้ แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าอ้อมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 2 อุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.14 โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่อธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์ (zero order) (Labuza, 1984)

ตารางที่ 4.61 เนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าอ้อมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ  $65^{\circ}\text{C}$

| เวลา (สัปดาห์) | $55^{\circ}\text{C}$             | $65^{\circ}\text{C}$            |
|----------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 0              | $485.08^{\text{A}} \pm 65.88$    | $485.08^{\text{a}} \pm 65.88$   |
| 1              | $535.30^{\text{AB}} \pm 98.55$   | $561.70^{\text{ab}} \pm 81.39$  |
| 2              | $557.59^{\text{ABC}} \pm 105.28$ | $648.45^{\text{bc}} \pm 124.62$ |
| 3              | $589.93^{\text{ABC}} \pm 140.23$ | $684.39^{\text{c}} \pm 134.33$  |
| 4              | $625.00^{\text{BCD}} \pm 117.37$ | $709.50^{\text{c}} \pm 99.74$   |
| 5              | $667.95^{\text{CD}} \pm 167.65$  | $718.86^{\text{c}} \pm 76.40$   |
| 6              | $704.58^{\text{D}} \pm 147.50$   | —                               |
| 7              | $722.65^{\text{D}} \pm 114.65$   | —                               |
| 8              | $710.70^{\text{D}} \pm 55.32$    | —                               |

A, B, C,... กับ a, b, c,... ตัวอักษรต่างกันในสัณคม์เดียวกัน แสดงถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮือที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแรง 55°C และ 65°C

เมื่อวัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮือที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25–28°C) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ แสดงผลดังตารางที่ 4.62 จะเห็นว่าค่า cutting force ของเนื้อหอยเป่าฮือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) สอดคล้องกับผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ที่ผู้ทดสอบยังยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮือมากกว่าเวลา 6 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.52) และการทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C ได้นานถึง 23.15 สัปดาห์

ตารางที่ 4.62 เนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าฮือที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

|                                  | เวลา (สัปดาห์) |                |                 |                |
|----------------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
|                                  | 0              | 2              | 4               | 6              |
| cutting force <sup>ns</sup> (gf) | 485.08 ± 65.88 | 457.15 ± 75.69 | 449.68 ± 105.54 | 471.52 ± 59.74 |

ns แสดงถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

#### 4.2.3.5.3 คุณภาพทางเคมี

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแรง 55 และ 65°C และอุณหภูมิห้อง (25 – 28°C) โดยวิธี SPME–GC–MS โดยใช้ polydimethylsiloxane fiber (Supelco, USA) เครื่อง GC (6890N, Agilent Technologies, USA) ใช้คอลัมน์ชนิด silica capillary column HP – INNOWAX (ขนาด 30 m x 0.32 mm x 0.25 μm) โดยมี polyethylene glycol เป็น nonpolar stationary phase (19091N – 113, Agilent Technologies, USA) และเครื่อง MS (MSD 5973, Agilent Technologies, USA) แสดงผลของผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮือที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแรง 55 และ 65°C ดังตารางที่ 4.63 – 4.64





จากผลการทดลองที่ได้สามารถจำแนกองค์ประกอบที่ให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์ซุปรอยเป่าสือได้เป็น 4 กลุ่ม คือ สารกลุ่มแรกเป็นสารที่ให้กลิ่นของซีอิ๊วขาว ตรวจพบสารกลุ่ม benzopyran ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม alcoholic สอดคล้องกับงานวิจัยของ Aishima (2004) ที่รายงานว่าสารให้กลิ่นในซอสถั่วเหลืองเป็นสารกลุ่ม alcoholic เช่น isobutyl alcohol, 2-pentanol, furanone และ furan เป็นต้น กลุ่มที่สองสารที่ให้กลิ่นของรอยเป่าสือเป็นสารประกอบที่มีซัลเฟอร์และ/หรือไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ (sulfur / nitrogen containing compound) เช่น กลุ่ม pyrazine, thiazole และ alkyl sulfide โดยสารที่พบในผลิตภัณฑ์คือ สารกลุ่ม thiazole และ imidazole สอดคล้องกับรายงานของ Shen, Xie และ Xu (2007) ที่ศึกษาสารให้กลิ่นในน้ำมันปลา cuttlefish (*Sepiella maindroni de Rochebruns*) พบว่ามีสารให้กลิ่นเฉพาะตัวของอาหารทะเลคือ benzothiazole และ 2-methyl-4-propylthiazole และพบสารให้กลิ่นหื่นได้แก่ hexanal, 1-penten-3-ol และ 2,3-butanediol นอกจากนี้ Matiella และ Hsieh (1990) พบสารให้กลิ่นในเนื้อปู (*Callinectes sapidus*) คือ dimethyl disulfide และ 2-methyl thiophene กลุ่มที่สามสารให้กลิ่นในจิง เช่น zingiberene, farnesene และ phenol 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-4-methyl (สังวาล สมบูรณ์ และคณะ, 2550) ซึ่งในผลิตภัณฑ์ซุปรอยเป่าสือตรวจพบสารทั้ง 3 กลุ่มนี้ ส่วนกลุ่มสุดท้ายสารให้กลิ่นหื่นที่พบในผลิตภัณฑ์ ได้แก่ hexadecanal, octadecanal และ pentadecanal ซึ่งเป็นสารกลุ่ม aldehyde เกิดจากการสลายตัวของ polyunsaturated fatty acid (PUFA) ที่มีอยู่ในเนื้อรอยเป่าสือ (Prost *et al.*, 2004; Chen and Zhang, 2006) และจากผลการทดลองที่ช่วง retention time 15.691 – 15.697 นาที ระบุว่าเป็น hexadecanal หรือ octadecanal และที่ช่วง retention time 17.619 – 17.627 นาที ระบุว่าเป็น pentadecanal หรือ octadecanal เนื่องจากสารที่พบในผลิตภัณฑ์ที่ retention time ทั้ง 2 ช่วงนี้มี % ความเหมือน (%match quality) กับสารใน library เท่ากัน จึงไม่สามารถเลือกว่าเป็นสารใดสารหนึ่งได้ อีกทั้ง octadecanal อยู่ในทั้ง 2 ช่วง ซึ่งไม่สามารถเกิดได้จริง ที่เป็นเช่นนี้เพราะการระบุว่าเป็นสารใดนั้นจะดูจาก mass spectrum ของสารที่มีในตัวอย่างเทียบกับ mass spectrum ของสารใน library ที่ retention time เดียวกัน ซึ่งอาจเหมือนสารหลายตัวเท่ากันได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะไม่สามารถระบุว่าเป็นสารใดสารหนึ่งได้ แต่สารทั้ง 3 ตัว เป็นสารกลุ่ม aldehyde เหมือนกัน มีโครงสร้างของสารค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเป็นสารที่ให้กลิ่นหื่นในผลิตภัณฑ์เหมือนกัน จึงไม่ทำให้แนวโน้มของผลการทดลองคลาดเคลื่อนนัก

จากตารางที่ 4.63 และ 4.64 จะเห็นว่าสารกลุ่ม benzopyran ที่ให้กลิ่นของซีอิ๊ว และสารกลุ่ม thiazole และ imidazole ที่ให้กลิ่นเฉพาะตัวของรอยเป่าสือ มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C ในขณะที่สารที่ให้กลิ่นของจิงมีปริมาณ zingiberene ลดลง ส่วน alpha farnesene และสารกลุ่ม phenol เห็นการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่าสารที่ให้กลิ่นหื่นมีปริมาณเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prost และคณะ (2004) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารให้กลิ่นในปลาซาร์ดีน (*Sardina pilchardus*) ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C พบว่าสารให้กลิ่นเฉพาะตัวของอาหารทะเล (dimethyl sulfide) มีปริมาณลดลง ในขณะที่สารที่ให้กลิ่นหื่น ได้แก่ (Z)-3-hexen-1-ol, heptanal, hexanal และ (Z)-4-heptenal มีปริมาณเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาสารให้กลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่เวลา 8 และ 5 สัปดาห์ ของอุณหภูมิ 55 และ 65°C ตามลำดับ ซึ่งเป็นเวลาที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านกลิ่นโดยรวม จะเห็นว่าสารที่ให้กลิ่นหื่นของผลิตภัณฑ์มีปริมาณสูงมากเป็นสาเหตุให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์

เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสารให้กลิ่นของผลิตภัณฑ์ซุปรอยเป่าสือที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 – 28 °C) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ แสดงผลดังตารางที่ 4.65

ตารางที่ 4.65 พื้นที่ใต้กราฟของสารให้กลิ่นที่พบในผลิตภัณฑ์ซูปเปอร์ไฮยีนเป่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

| สาร              | retention time<br>(นาทีก) | เวลา (สัปดาห์) |        |        |        |
|------------------|---------------------------|----------------|--------|--------|--------|
|                  |                           | 0              | 2      | 4      | 6      |
| กลุ่ม benzopyran | 9.232 – 9.237             | 548862         | 443895 | 447026 | 403867 |
| zingiberene      | 11.381 – 11.391           | 1173281        | 868271 | 107226 | 790322 |
| alpha farnesene  | 11.722 – 11.730           | 546365         | 242620 | 437092 | 360158 |
| hexadecanal      | 15.691 – 15.697           | 402268         | 607549 | 691129 | 715821 |
| และ octadecanal  |                           |                |        |        |        |
| กลุ่ม triazole   | 16.016 – 16.027           | 442112         | 417507 | 433267 | 461578 |
| และ imidazole    |                           |                |        |        |        |
| กลุ่ม phenol     | 17.310 – 17.329           | 519558         | 483604 | 587947 | 611253 |
| pentadecanal     | 17.619 – 17.627           | —              | 430765 | 463273 | 471566 |
| และ octadecanal  |                           |                |        |        |        |

จากตารางที่ 4.65 จะเห็นว่าสารให้กลิ่นของผลิตภัณฑ์ซูปเปอร์ไฮยีนเป่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเห็นการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน ทั้งกลิ่นจากหอยเป่าที่สด กลิ่นจากขิง กลิ่นจากซีอิ๊ว และกลิ่นหืน สอดคล้องกับการประเมินผลทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคยังคงยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์มากตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 6 สัปดาห์ (ตารางที่ 4.52) และการทำนายอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C ได้นานถึง 32.77 สัปดาห์

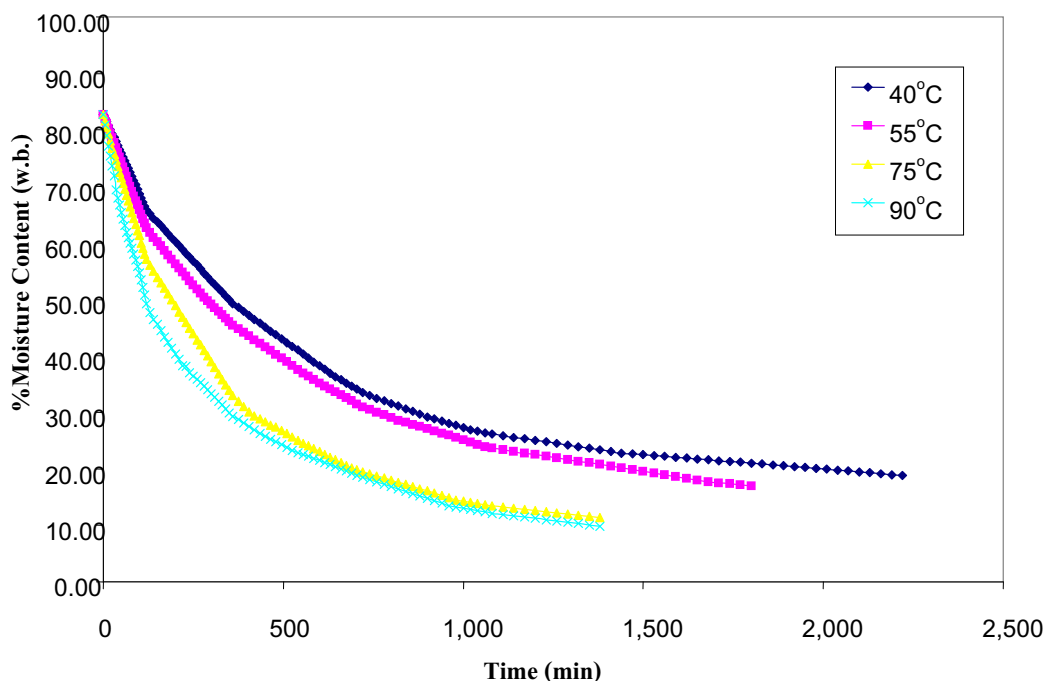
### 4.3 การอบแห้งหอยเป่า

#### 4.3.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหอยเป่าอบแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อน

##### 4.3.2.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหอยเป่าอบแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิขาเข้าคงที่ (Constant inlet air temperature)

##### 4.3.2.1.1 ผลของภาวะการอบแห้งหอยเป่าด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิขาเข้าคงที่ในการอบแห้งหอยเป่าต่อคุณภาพทางกายภาพ

จากการทดลองอบแห้งหอยเป่าด้วยอุณหภูมิคงที่ที่ 40, 55, 75 และ 90°C จนกระทั่งหอยเป่ามีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีประมาณ 0.7 โดยสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาหาค่าวอเตอร์แอกทิวิตีทุก 3 ชั่วโมง เมื่อค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเริ่มเข้าใกล้ 0.7 จึงสุ่มตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของหอยเป่าในระหว่างการอบแห้ง สุ่มตัวอย่างทุกๆ 5 นาที ใน 2 ชั่วโมงแรก นำมาชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ต่อมาสุ่มตัวอย่างทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ต่อจากนั้นทุกๆ 20 นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งน้ำหนักของหอยเป่าที่อบแห้งคงที่ (ในการทดลองได้เก็บข้อมูลอยู่ในรูปหน่วยเป็นนาทีก่อน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียด เนื่องจากหอยเป่ามีปริมาณน้ำมาก ทำให้ในช่วงแรกของการอบแห้ง น้ำหนักของหอยเป่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อนำมาสร้างกราฟจะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน) แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งหอยเป่าสัด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิคงที่ต่างกัน

จากรูปที่ 4.15 เห็นได้ว่าทั้ง 4 อุณหภูมิในการอบแห้ง สามารถแบ่งช่วงการอบแห้งได้เป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกคือตั้งแต่เริ่มอบแห้งจนถึงนาที่ที่ 840 ของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 55°C และตั้งแต่เริ่มอบแห้งจนถึงนาที่ที่ 480 ของการอบแห้งที่อุณหภูมิที่ 75 และ 90°C ลักษณะเส้นกราฟมีความชันมาก นั่นหมายความว่าความชื้นในหอยเป่าสัลดลงอย่างรวดเร็ว ช่วงนี้เป็นการระเหยน้ำที่อยู่ผิวหน้าของหอยเป่าสั ซึ่งความร้อนจากอากาศร้อนจะถูกถ่ายเทให้กับน้ำโดยตรง และน้ำที่ระเหยออกมาจะถูกอากาศพัดพาออกจากผิวหน้าไปเรื่อยๆ ความชื้นในหอยเป่าสัจึงเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และถ้าสังเกตที่ระยะเวลาในการอบแห้งที่เท่ากัน การใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 75 และ 90°C ทำให้ความชื้นในหอยเป่าสัลดลงได้มากกว่าการใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 40 และ 55 °C

ช่วงสุดท้ายคือตั้งแต่นาที่ที่ 840 ของการอบแห้งที่อุณหภูมิที่ 40 และ 55°C และตั้งแต่นาที่ที่ 480 ของการอบแห้งที่อุณหภูมิที่ 75 และ 90°C ไปจนถึงสิ้นสุดการอบแห้ง เส้นกราฟช่วงนี้มีความชันน้อย หมายความว่าความชื้นในหอยเป่าสัลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงนี้น้ำที่อยู่บริเวณผิวหน้าของหอยเป่าสัระเหยไปหมดแล้ว เหลือแต่น้ำภายในที่อยู่ลึกเข้าไปในหอยเป่าสั ทำให้ความร้อนต้องผ่านผิวหน้าของหอยเป่าสัเพื่อให้ น้ำภายในได้รับความร้อน ทำให้ใช้เวลานานขึ้น รวมทั้งความชื้นเมื่อกลายเป็นไอน้ำต้องผ่านชั้นของหอยเป่าสัมายังผิวหน้า ดังนั้นในช่วงหลังของการอบแห้งความชื้นจึงลดลงอย่างช้าๆ จนความชื้นในหอยเป่าสัไม่ลดลงอีกเลย การที่ความชื้นในหอยเป่าสัไม่ลดลงมาได้ก็เนื่องจากความชื้นภายในหอยเป่าสัแห้งกับความชื้นภายในหอยเป่าสันั้นอยู่ในภาวะสมดุลกัน ทำให้ไม่เกิดการถ่ายเทความร้อน เส้นกราฟจึงมีลักษณะเป็นเส้นตรง

จากการทดลอง พบว่าเวลาในการอบแห้งหอยเป่าสัที่อุณหภูมิ 40 55 75 และ 90°C จนกระทั่งได้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับ 0.7 นั้น ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.66

**ตารางที่ 4.66** ระยะเวลาอบแห้ง ค่าวอเตอร์แอกทีวิตี และปริมาณความชื้นของหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน

| อุณหภูมิตอบแห้ง (°C) | ระยะเวลาอบแห้ง (ชั่วโมง) | ค่าวอเตอร์แอกทีวิตี ( $a_w$ ) | ปริมาณความชื้น (%) |
|----------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------|
| 40                   | 33                       | $0.701 \pm 0.000$             | $19.84 \pm 0.14$   |
| 55                   | 21                       | $0.697 \pm 0.002$             | $19.62 \pm 0.26$   |
| 75                   | 12                       | $0.697 \pm 0.001$             | $19.55 \pm 0.39$   |
| 90                   | 11                       | $0.700 \pm 0.003$             | $19.77 \pm 0.34$   |

จากตารางที่ 4.66 พบว่าการอบแห้งหอยเป่าฮื้อที่อุณหภูมิ 40, 55, 75 และ 90°C ใช้เวลาในการอบแห้ง 33, 21, 12 และ 11 ชั่วโมง ตามลำดับ (1980, 1260, 720 และ 660 นาที ตามลำดับ) เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น ความชื้นภายในหอยเป่าฮื้อลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ระยะเวลาอบแห้งสั้นลง เช่นเดียวกับการศึกษาของอัสวิน ชินธรรมมิตร (2546) ในการอบแห้งแครอทด้วยลมร้อน พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 50, 60 และ 70°C ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง

เมื่อนำหอยเป่าฮื้ออบแห้งมาวิเคราะห์ค่าสี L a และ b ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.67

**ตารางที่ 4.67** ค่าสี L a และ b ของหอยเป่าฮื้ออบแห้งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน

| อุณหภูมิตอบแห้ง (°C) | L                  | a                 | b                  |
|----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 40                   | $41.08^b \pm 0.20$ | $2.20^c \pm 0.50$ | $13.03^a \pm 1.28$ |
| 55                   | $44.48^a \pm 0.85$ | $2.33^c \pm 0.33$ | $13.13^a \pm 0.24$ |
| 75                   | $35.71^c \pm 0.26$ | $6.17^a \pm 0.50$ | $10.87^b \pm 0.53$ |
| 90                   | $30.55^d \pm 0.17$ | $5.15^b \pm 0.72$ | $6.99^c \pm 0.89$  |

a, b, c,... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ค่าสีของหอยเป่าฮื้ออบแห้ง (ตารางที่ 4.67) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง (L) และค่าความเป็นสีเหลือง (b) ลดลง ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งต่ำ (40 และ 55°C) ผลลัพธ์เปลี่ยนจากสีขาวครีมเป็นสีเหลืองทอง แต่เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูง (75 และ 90°C) ผลลัพธ์เปลี่ยนจากสีขาวครีมเป็นสีน้ำตาลเข้ม โดยที่อุณหภูมิ 90°C ให้ค่าความสว่างต่ำที่สุด รองลงมาคือ 75 40 และ 55°C ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด หรือปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งมีอยู่ในหอยเป่าฮื้อ ทำให้หอยเป่าฮื้ออบแห้งมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของอัสวิน ชินธรรมมิตร (2546) พบว่าเนื้ออกไก่อบแห้งแบบลมร้อนที่ 80°C มีสีน้ำตาลเข้มมากกว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่ 60 และ 70°C ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิในการอบแห้งสูง มีปริมาณความร้อนสูงกว่า ทำให้เกิดสีน้ำตาลจากความร้อนมากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้ง ซึ่งมีปริมาณความร้อนต่ำกว่า ส่วนหอยเป่าฮื้ออบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C มีค่าความสว่างสูงกว่าที่อุณหภูมิ 40°C นั้น อาจเกิดจากหอยเป่าฮื้อที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 40°C หอยเป่าฮื้ออบแห้งจึงมีสีเหลืองทองมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวันชลี เพ็งพงศา อติศักดิ์ นาถกรณกุล และสมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์ (2549) ที่ศึกษาการอบแห้งเนื้อหมูปรุงรสด้วยไอน้ำร้อนยังคง

ร่วมกับไ้มความร้อน (superheated steam combined with heat pump) พบว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 120°C ผลผลิตที่มีสีเข้มกว่าที่อุณหภูมิ 130 และ 140°C เนื่องจากระยะเวลาในการอบแห้งที่นานกว่า จึงเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้มากกว่า

เมื่อนำหอยเป่าสั้อบแห้งมาคืนรูปในน้ำที่อุณหภูมิ 50°C นาน 2 ชั่วโมง โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เพื่อหาความสามารถในการดูดน้ำคืน และค่าความแข็งของหอยเป่าสั้คืนรูป ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.68

**ตารางที่ 4.68** ความสามารถในการดูดน้ำคืน และค่าความแข็งของหอยเป่าสั้คืนรูปที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน

| อุณหภูมิอบแห้ง (°C) | ความสามารถในการดูดน้ำคืน* | ค่าความแข็ง (gf)                 |
|---------------------|---------------------------|----------------------------------|
| 40                  | 1.66 <sup>c</sup> ± 0.03  | 21596.80 <sup>ab</sup> ± 6006.14 |
| 55                  | 1.92 <sup>b</sup> ± 0.01  | 14679.23 <sup>bc</sup> ± 2990.09 |
| 75                  | 1.99 <sup>a</sup> ± 0.02  | 14131.14 <sup>c</sup> ± 1829.37  |
| 90                  | 1.64 <sup>c</sup> ± 0.03  | 27714.34 <sup>a</sup> ± 2360.09  |

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

$$\text{*ความสามารถในการดูดน้ำคืน} = \frac{W_2 - W_1}{W_1}$$

เมื่อ  $W_1$  = น้ำหนักของหอยเป่าสั้ก่อนคืนรูป (กรัม) และ  $W_2$  = น้ำหนักของหอยเป่าสั้หลังคืนรูป (กรัม)

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดน้ำคืน และค่าความแข็งของหอยเป่าสั้คืนรูป (ตารางที่ 4.68) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น ความสามารถในการดูดน้ำคืน และค่าความแข็งของหอยเป่าสั้คืนรูปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) โดยความสามารถในการดูดน้ำคืนของหอยเป่าสั้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้น้ำในหอยเป่าสั้ที่มีปริมาณมากระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว จึงเกิดรูพรุนภายในหอยเป่าสั้ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าที่อุณหภูมิต่ำ และใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าที่อุณหภูมิต่ำ จึงทำให้โครงสร้างภายในหอยเป่าสั้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า เมื่อนำหอยเป่าสั้มาคืนรูป น้ำจึงสามารถซึมผ่านเข้าไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนได้มากกว่า และส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) (อัศวิน ชินธรรมมิตร, 2546; Nathakarakankule, Kraiwanichkul, และ Soponronnarit, 2007) แต่ที่อุณหภูมิ 90°C หอยเป่าสั้มีความสามารถในการดูดน้ำคืนต่ำสุด เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ภายในหอยเป่าสั้ระเหยไปอย่างรวดเร็วจนทำให้โครงสร้างภายในหอยเป่าสั้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากระหว่างการอบแห้ง ทำให้หอยเป่าสั้คืนรูปยาก ส่งผลให้หอยเป่าสั้คืนรูปมีค่าความแข็งสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของรุ่งทิพย์ ตปนีย-ศิลป์ (2546) ศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศร้อนเข้าคั่งที่และแบบเป็นชั้นที่มีผลต่อคุณภาพของกุ้งแห้ง พบว่าการอบแห้งกุ้งที่อุณหภูมิ 120°C ทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งรูพรุนนี้อาจไปทำลายโครงสร้างภายในตัวกุ้งทำให้น้ำภายในตัวกุ้งเกิดการระเหยออกมาได้เร็วเกินไปในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ โครงสร้างภายในตัวกุ้งเกิดการยุบตัวลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่าความแข็งมีค่าสูงสุด

#### 4.3.2.1.2 ผลของภาวะการอบแห้งหอยเป่าสั้ด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิคงที่ในการอบแห้งหอยเป่าสั้ต่อคุณภาพทางจุลินทรีย์

จากการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณเชื้อราและยีสต์ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย *Cl. Perfringens*, *Vibrio* spp. และ *S. aureus* ในหอยเป่าสั้อบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 55, 75 และ 90°C ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.69

ตารางที่ 4.69 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณเชื้อราและยีสต์ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย *Cl. Perfringens*, *Vibrio spp.* และ *S. aureus* ในหอยเป่าอื้ออบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน

| อุณหภูมิ<br>อบแห้ง<br>(°C) | ปริมาณจุลินทรีย์<br>ทั้งหมด <sup>ns</sup><br>(CFU/g) | ปริมาณเชื้อรา<br>และยีสต์ <sup>ns</sup><br>(CFU/g) | โคลิฟอร์ม<br>แบคทีเรีย <sup>ns</sup><br>(MPN/g) | <i>Cl.</i><br><i>perfringens</i><br>(CFU/g) | <i>Vibrio spp.</i><br>(CFU/g)   | <i>S. aureus</i> <sup>ns</sup><br>(CFU/g) |
|----------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|
| 40°C                       | $4.53 \times 10^3$                                   | $1.80 \times 10^2$                                 | 210                                             | ND                                          | $2.67 \times 10^2$ <sup>a</sup> | <10                                       |
| 55°C                       | $1.29 \times 10^3$                                   | $1.07 \times 10^2$                                 | 93                                              | ND                                          | ND <sup>b</sup>                 | <10                                       |
| 75°C                       | $6.67 \times 10^2$                                   | $6.00 \times 10^1$                                 | <3                                              | ND                                          | ND <sup>b</sup>                 | <10                                       |
| 90°C                       | $5.93 \times 10^2$                                   | $5.67 \times 10^1$                                 | <3                                              | ND                                          | ND <sup>b</sup>                 | <10                                       |

ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ (ตารางที่ 4.69) พบว่าหอยเป่าอื้ออบแห้งที่ผ่านการอบแห้งทุกอุณหภูมิมีปริมาณจุลินทรีย์ไม่เกินกำหนดมาตรฐานหอยแห้งที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด (มผช.310/2547) โดยปริมาณจุลินทรีย์ในหอยเป่าอื้ออบแห้งที่ทุกอุณหภูมิ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $4.53 \times 10^3 - 5.93 \times 10^2$  CFU/g เชื้อราและยีสต์  $1.80 \times 10^2 - 5.67 \times 10^1$  CFU/g โคลิฟอร์มแบคทีเรีย <3-1100 MPN/g *S. aureus* < 10 CFU/g ตรวจไม่พบ *Vibrio spp.* ในหอยเป่าอื้ออบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 75 และ 90°C แต่พบที่อุณหภูมิ 40°C จำนวน  $2.67 \times 10^2$  CFU/g และตรวจไม่พบ *Cl. perfringens* ในหอยเป่าอื้ออบแห้งทุกอุณหภูมิ ดังนั้นหอยเป่าอื้ออบแห้งจึงมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

นอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น เชื้อจุลินทรีย์มีจำนวนลดลงหรือไม่พบเลย เนื่องจากการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิสูง ทำให้เชื้อจุลินทรีย์บางส่วนตายไปหรือไม่สามารถเจริญเติบโตได้

โคลิฟอร์มแบคทีเรีย *Cl. perfringens* และ *S. aureus* เป็นจุลินทรีย์ที่พบในระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์ มักปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำที่สกปรก แหล่งที่อยู่อาศัยของคนและสัตว์ นอกจากนี้ *S. aureus* ยังเป็นจุลินทรีย์ที่พบได้ตามผิวหนัง หูตา คอ จมูก และปากของคน (มัทนา แสงจินดาวงษ์, 2548) ซึ่งมีโอกาสปนเปื้อนในหอยเป่าอื้ออบแห้งได้มาก ดังนั้นในการทดลองนี้จึงล้างอุปกรณ์ต่างๆ เช่น มีด เขียง ก่อนใช้และหลังใช้เพื่อให้ถูกสุขลักษณะและลดโอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์เหล่านี้ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในหอยเป่าอื้ออบแห้ง พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่พบไม่เกินกำหนดมาตรฐานหอยแห้ง

#### 4.3.2.1.3 ผลของภาวะการอบแห้งหอยเป่าอื้อด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิตั้งแต่ในการอบแห้งหอยเป่าอื้อต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

เมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหอยเป่าอื้ออบแห้งและคั้นรูป ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ซึ่งการทดสอบทางลักษณะปรากฏ และกลิ่นให้ผู้ทดสอบดูและดมกลิ่นของหอยเป่าอื้ออบแห้ง ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัสให้ผู้ทดสอบชิมหอยเป่าอื้อคั้นรูปแล้ว โดยใช้แบบทดสอบความชอบชนิด Hedonic scale (9 คะแนน) ให้ผู้ทดสอบแบบไม่ฝึกฝนจำนวน 15 คน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.70

ลักษณะปรากฏ คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของหอยเป่าอื้ออบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบหอยเป่าอื้อที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C สูงที่สุด

รองลงมาคือ คือ 40, 75 และ 90°C ตามลำดับ เนื่องจากหอยเป่าฮื้อที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C มีสีเหลืองทองมากที่สุด ในขณะที่ หอยเป่าฮื้อที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 90°C มีสีน้ำตาลเข้มมากที่สุด

กลิ่น อุณหภูมิมีผลทำให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นของหอยเป่าฮื้ออบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบหอยเป่าฮื้อที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C สูงที่สุด รองลงมาคือ 55 40 และ 90°C ตามลำดับ เนื่องจากหอยเป่าฮื้อที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C มีกลิ่น cooked flavor ที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ซึ่งอุณหภูมิสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างกรดอะมิโนและหมู่รีดิวซ์ซิงของน้ำตาล แต่หอยเป่าฮื้อที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 90°C ได้รับคะแนนความชอบต่ำที่สุด เนื่องจากหอยเป่าฮื้อนั้นมีกลิ่นไหม้เกิดขึ้น

ลักษณะเนื้อสัมผัส คะแนนความชอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของหอยเป่าฮื้ออบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบหอยเป่าฮื้อที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C สูงที่สุด รองลงมาคือ คือ 55 40 และ 90°C ตามลำดับ เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้หอยเป่าฮื้อมีความแข็งลดลง

ความชอบโดยรวม หอยเป่าฮื้ออบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าหอยเป่าฮื้อที่อบแห้งที่อุณหภูมิอื่นๆ ( $p \leq 0.05$ ) โดยได้คะแนนเฉลี่ย 6.83 เนื่องจากผลของลักษณะปรากฏ กลิ่น และลักษณะเนื้อสัมผัสดังกล่าวทำให้ตัวอย่างได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด

**ตารางที่ 4.70** ผลของอุณหภูมิต่อคะแนนการยอมรับเฉลี่ยของหอยเป่าฮื้ออบแห้ง

| อุณหภูมิอบแห้ง<br>(°C) | คะแนนการยอมรับเฉลี่ย     |                          |                          |                          |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                        | ลักษณะปรากฏ              | กลิ่น                    | ลักษณะเนื้อสัมผัส        | ความชอบโดยรวม            |
| 40                     | 6.53 <sup>b</sup> ± 0.73 | 6.80 <sup>a</sup> ± 0.48 | 5.07 <sup>b</sup> ± 0.69 | 5.57 <sup>b</sup> ± 0.82 |
| 55                     | 7.43 <sup>a</sup> ± 0.82 | 6.77 <sup>a</sup> ± 0.73 | 7.03 <sup>a</sup> ± 0.93 | 6.83 <sup>a</sup> ± 1.09 |
| 75                     | 4.53 <sup>c</sup> ± 0.73 | 7.20 <sup>a</sup> ± 0.61 | 7.17 <sup>a</sup> ± 1.12 | 6.60 <sup>a</sup> ± 0.62 |
| 90                     | 2.37 ± 1.19 <sup>d</sup> | 4.30 <sup>b</sup> ± 1.51 | 4.03 <sup>c</sup> ± 1.19 | 4.63 <sup>c</sup> ± 1.03 |

a, b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากการพิจารณาเกณฑ์ในการคัดเลือกภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตหอยเป่าฮื้ออบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้ อุณหภูมิขาเข้าคงที่ พบว่าหอยเป่าฮื้ออบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นั้นมีค่าความแข็งต่ำกว่า และมีความสามารถในการดูดน้ำก้น มากกว่าหอยเป่าฮื้ออบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C ขณะที่คะแนนความชอบโดยรวมมีค่าต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากหอยเป่าฮื้ออบแห้งที่ อุณหภูมิ 75°C มีลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงทำให้คะแนนความชอบโดยรวมต่ำ ดังนั้น ในการทดลอง นี้จึงเลือกภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C เป็นภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหอยเป่าฮื้ออบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิ ขาเข้าคงที่ อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C นั้น ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานกว่าที่ อุณหภูมิ 75°C ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นจึงได้มีความคิดที่จะอบแห้งหอยเป่าฮื้อโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าแบบ เป็นขั้น (Stepwise change of inlet air temperature) ซึ่งคาดว่าจะช่วยลดเวลาในการอบแห้งหอยเป่าฮื้อลงได้ อีกทั้งคุณภาพ ของหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคดังกล่าวน่าจะมีคุณภาพที่ดีด้วย

ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น ทำให้สามารถกำหนดเวลาในการเปลี่ยนอุณหภูมิการอบแห้งหอย เป่าฮื้อแบบเป็นขั้นได้ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของหอยเป่าฮื้อในระหว่างการอบแห้ง ซึ่งจะทำให้การลด อุณหภูมิการอบแห้งแบบเป็นขั้น โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งช่วงแรกสูง (ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่) แล้วจึงเปลี่ยนมาใช้ อุณหภูมิต่ำเมื่อการลดปริมาณความชื้นของหอยเป่าฮื้อเข้าสู่ช่วงสุดท้าย (ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง) เพื่อลดระยะเวลาใน

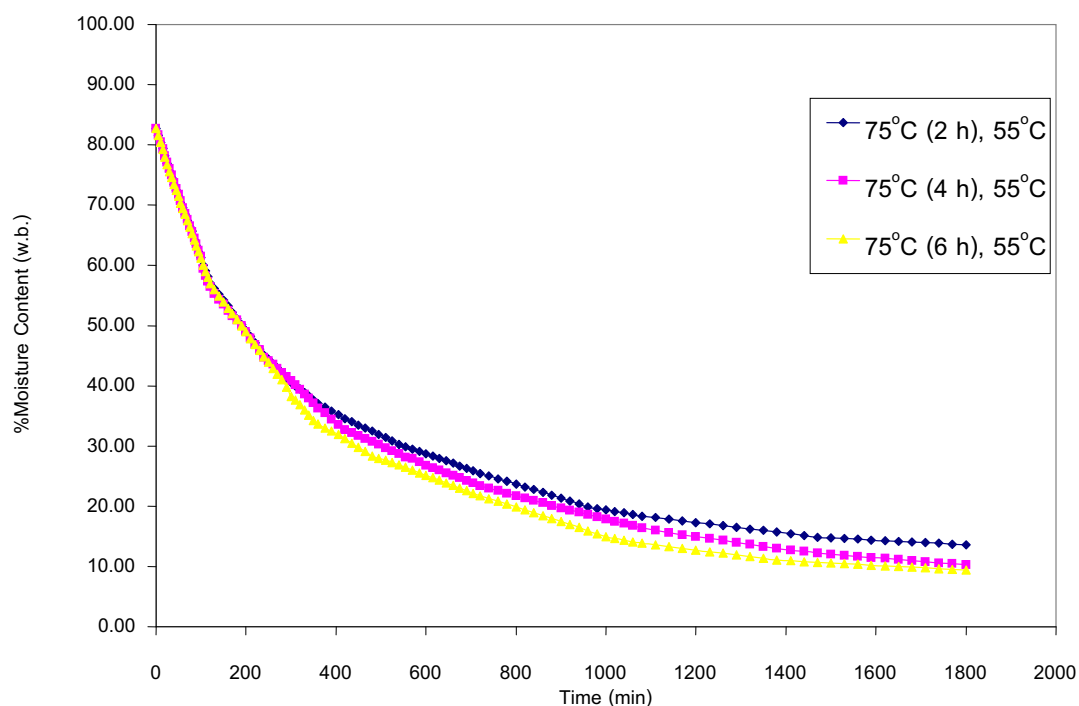
การอบแห้งในช่วงแรก เนื่องจากช่วงนี้น้ำที่ผิวของหอยเป่าอ้อมีปริมาณมากสามารถสัมผัสกับอุณหภูมิของลมร้อนที่สูง โดยจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่มากเท่าช่วงสุดท้ายของการอบแห้ง จากการทดลองพบว่า การอบแห้งหอยเป่าอ้อมโดยใช้อุณหภูมิคงที่ที่  $75^{\circ}\text{C}$  หอยเป่าอ้อมจะเข้าสู่ช่วงสุดท้ายของการอบแห้งเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 480 นาที หรือ 8 ชั่วโมง จากข้อมูลข้างต้นจึงได้กำหนดภาวะในการอบแห้งหอยเป่าอ้อมด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิขาเข้าแบบเป็นขั้น ดังนี้ (1) อบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  (2) อบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  และ (3) อบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$

#### 4.3.2.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหอยเป่าอ้อมอบแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิขาเข้าแบบเป็นขั้น (Stepwise change of inlet air temperature)

##### 4.3.2.2.1 ผลของภาวะในการอบแห้งหอยเป่าอ้อมด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิขาเข้าแบบเป็นขั้นต่อคุณภาพทางกายของหอยเป่าอ้อมอบแห้ง

จากการทดลองอบแห้งหอยเป่าอ้อมโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าแบบเป็นขั้น โดยแปรภาวะการอบแห้งเป็น 3 ระดับ ดังนี้ (1) อบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  (2) อบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  และ (3) อบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  จนกระทั่งหอยเป่าอ้อมมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีประมาณ 0.7 โดยสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาหาค่าวอเตอร์แอกทิวิตีทุก 3 ชั่วโมง เมื่อค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเริ่มเข้าใกล้ 0.7 จึงสุ่มตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมง ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของหอยเป่าอ้อมในระหว่างการอบแห้ง สุ่มตัวอย่างทุก 5 นาทีใน 2 ชั่วโมงแรก นำมาชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างทุก 10 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ต่อมาสุ่มตัวอย่างทุก 15 นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ต่อจากนั้นทุก 20 นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งน้ำหนักของหอยเป่าอ้อมคงที่ (ในการทดลองได้เก็บข้อมูลอยู่ในรูปหน่วยเป็นน้ำหนักนั้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียด เนื่องจากหอยเป่าอ้อมมีปริมาณน้ำมาก ทำให้ในช่วงแรกของการอบแห้ง น้ำหนักของหอยเป่าอ้อมลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อนำมาสร้างกราฟจะให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน) แสดงดังรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 ภาวะในการอบแห้ง สามารถแบ่งช่วงการอบแห้งได้เป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกคือตั้งแต่เริ่มอบแห้งจนถึงนาฬิกาที่ 540, 540 และ 480 ของการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  และเริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ลักษณะเส้นกราฟมีความชันมาก นั้นหมายความว่าความชื้นในหอยเป่าอ้อมลดลงอย่างรวดเร็ว ช่วงนี้เป็นการระเหยน้ำที่อยู่ผิวหน้าของหอยเป่าอ้อม ซึ่งความร้อนจากอากาศร้อนจะถูกถ่ายเทให้กับน้ำโดยตรง และน้ำที่ระเหยออกมาจะถูกอากาศพัดพาออกจากผิวหน้าไปเรื่อยๆ ความชื้นในหอยเป่าอ้อมจึงเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และถ้าสังเกตที่ระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากัน การใช้ภาวะในการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  ทำให้ความชื้นในหอยเป่าอ้อมลดลงได้มากกว่าการใช้ภาวะในการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  และเริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  ช่วงสุดท้ายคือตั้งแต่นาฬิกาที่ 540, 540 และ 480 ของการอบแห้งที่ภาวะเริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  และเริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ไปจนถึงสิ้นสุดการอบแห้ง เส้นกราฟช่วงนี้มีความชันน้อย หมายความว่าความชื้นในหอยเป่าอ้อมลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงนี้น้ำที่อยู่บริเวณผิวหน้าของหอยเป่าอ้อมระเหยไปหมดแล้ว เหลือแต่น้ำภายในที่อยู่ลึกเข้าไปในหอยเป่าอ้อม ทำให้ความร้อนต้องผ่านผิวหน้าของหอยเป่าอ้อมเพื่อให้ น้ำภายในได้รับความร้อน ทำให้ใช้เวลามากขึ้น รวมทั้งความชื้นเมื่อกลายเป็นไอน้ำต้องผ่านชั้นของหอยเป่าอ้อมมายังผิวหน้า ดังนั้นในช่วงหลังของการ

อบแห้งความชื้นจึงลดลงอย่างช้าๆ จนความชื้นในหอยเป่าสัอไม่ลดลงอีกเลย การที่ความชื้นในหอยเป่าสัอไม่ลดลงมาได้ก็เนื่องจากความชื้นภายในคู่อบแห้งกับความชื้นภายในหอยเป่าสัอนั้นอยู่ในภาวะสมดุลกัน ทำให้ไม่เกิดการถ่ายเทความร้อน เส้นกราฟจึงมีลักษณะเป็นเส้นตรง



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งหอยเป่าสัอด้วยลมร้อนโดยใช้ อุณหภูมิเข้าแบบเป็นขั้นที่ ภาวะต่างๆ

ระยะเวลาในการอบแห้ง ค่าวอเตอร์แอกทีวิตี และปริมาณความชื้นของหอยเป่าสัออบแห้งทั้ง 3 ภาวะ ได้ผลดังตารางที่ 4.71

ตารางที่ 4.71 ระยะเวลาในการอบแห้ง ค่าวอเตอร์แอกทีวิตี และปริมาณความชื้นของหอยเป่าสัอที่ผ่านการอบแห้งที่ภาวะ ต่างๆ

| ภาวะการอบแห้ง    | ระยะเวลาอบแห้ง<br>ทั้งหมด (ชั่วโมง) | ค่าวอเตอร์แอกทีวิตี ( $a_w$ ) | ปริมาณความชื้น (%) |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| 75°C (2 h), 55°C | 16                                  | $0.700 \pm 0.003$             | $19.75 \pm 0.30$   |
| 75°C (4 h), 55°C | 14                                  | $0.700 \pm 0.005$             | $19.76 \pm 0.40$   |
| 75°C (6 h), 55°C | 13                                  | $0.700 \pm 0.004$             | $19.62 \pm 0.26$   |

จากการทดลองพบว่าหอยเป่าสัอที่ผ่านการอบแห้งที่ภาวะเริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C และ เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C จนกระทั่งได้ค่าวอเตอร์แอกทีวิตีเท่ากับ 0.7 นั้น ต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 16, 14 และ 13 ชั่วโมง ตามลำดับ (960, 840 และ 780 นาที ตามลำดับ) (ตารางที่ 4.71) เนื่องจากที่ภาวะเริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C เป็นภาวะที่ใช้อุณหภูมิสูงใน

การอบแห้งเป็นเวลานานในช่วงแรกของการอบแห้ง ความชื้นภายในหอยเป่าฮือจึงลดลงอย่างมากและรวดเร็ว ทำให้ใช้เวลาทั้งหมดในการอบแห้งสั้นลง

จากการทดลองหาระยะเวลาในการอบแห้งหอยเป่าฮือด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิเข้าแบบเป็นขั้นที่ภาวะต่างๆ พบว่าภาวะที่ใช้ในการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮืออบแห้ง มีดังนี้คือ (1) ภาวะเริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 14 ชั่วโมง (2) ภาวะเริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง และ (3) ภาวะเริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 7 ชั่วโมง

เมื่อนำหอยเป่าฮืออบแห้งที่ภาวะการอบแห้งต่างๆ มาวัดค่าสี L a และ b ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.72

ตารางที่ 4.72 ค่าสี L a และ b ของหอยเป่าฮืออบแห้งที่ผ่านการอบแห้งที่ภาวะต่างๆ

| ภาวะการอบแห้ง           | L                         | a <sup>ns</sup> | b                         |
|-------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| 75°C (2 h), 55°C (14 h) | 41.75 <sup>c</sup> ± 0.10 | 1.13 ± 0.90     | 11.78 <sup>b</sup> ± 0.78 |
| 75°C (4 h), 55°C (10 h) | 44.53 <sup>a</sup> ± 0.34 | 2.04 ± 0.34     | 14.83 <sup>a</sup> ± 0.78 |
| 75°C (6 h), 55°C (7 h)  | 43.60 <sup>b</sup> ± 0.48 | 1.44 ± 0.23     | 13.02 <sup>b</sup> ± 0.98 |

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากตารางที่ 4.72 พบว่าที่ภาวะการอบแห้งต่างกัน ค่าความสว่าง (L) และค่าความเป็นสีเหลือง (b) ของหอยเป่าฮืออบแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ค่าสีแดง (a) ไม่มีความแตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) หอยเป่าฮือที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง ที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 75°C นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 7 ชั่วโมง และที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 75°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 14 ชั่วโมง เปลี่ยนจากสีขาวครีมเป็นสีเหลืองทอง สีน้ำตาลปนเหลืองทอง และสีน้ำตาลปนเหลืองทอง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 14 ชั่วโมงนั้น ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมดนานกว่าภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 7 ชั่วโมง และเริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง แต่พบว่าหอยเป่าฮือที่ผ่านภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 7 ชั่วโมง มีสีน้ำตาลปนเหลืองทอง และมีค่าความสว่างต่ำกว่าที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง อาจเกิดจากในช่วงแรกของการอบแห้ง หอยเป่าฮือผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ขึ้น หอยเป่าฮืออบแห้งที่ได้จึงมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น

เมื่อนำหอยเป่าฮืออบแห้งมาคั้นรูปในน้ำที่อุณหภูมิ 50°C นาน 2 ชั่วโมง โดยใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเพื่อหาความสามารถในการคั้นน้ำคั้น และค่าความแข็งของหอยเป่าฮือคั้นรูป ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.73 พบว่าความสามารถในการคั้นน้ำคั้นของหอยเป่าฮือที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง มีค่าสูงสุด รองลงมาคือที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 14 ชั่วโมง และที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 6

ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 7 ชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้น้ำในหอยเป่าอื้อที่มีปริมาณมากระเหยออกไปอย่างมากและรวดเร็ว จึงเกิดรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้นภายในหอยเป่าอื้อ และใช้ระยะเวลาในการอบแห้งทั้งหมดสั้น จึงทำให้โครงสร้างภายในหอยเป่าอื้อเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย เมื่อนำหอยเป่าอื้อมาคั้นรูป น้ำจึงสามารถซึมผ่านเข้าไปในโครงสร้างที่เป็นรูพรุนได้มาก ขณะที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 7 ชั่วโมง หอยเป่าอื้อมีความสามารถในการดูดน้ำคั้นต่ำสุดนั้น เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงและเวลานานในช่วงแรกของการอบแห้ง อาจทำให้น้ำภายในหอยเป่าอื้อระเหยไปอย่างรวดเร็ว จนทำให้โครงสร้างภายในหอยเป่าอื้อเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก หอยเป่าอื้อจึงคั้นรูปยาก อย่างไรก็ตาม เมื่อนำหอยเป่าอื้อที่ผ่านการคั้นรูปมาหาค่าความแข็ง พบว่าที่ภาวะการอบแห้งต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ( $p>0.05$ )

ตารางที่ 4.73 ความสามารถในการดูดน้ำคั้น และค่าความแข็งของหอยเป่าอื้อคั้นรูปที่ผ่านการอบแห้งที่ภาวะต่างๆ

| ภาวะการอบแห้ง           | ความสามารถในการดูดน้ำคั้น* | ค่าความแข็ง (gf) <sup>ns</sup> |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 75°C (2 h), 55°C (14 h) | 2.13 <sup>ab</sup> ± 0.08  | 14610.29 ± 1565.30             |
| 75°C (4 h), 55°C (10 h) | 2.17 <sup>a</sup> ± 0.04   | 14597.25 ± 733.97              |
| 75°C (6 h), 55°C (7 h)  | 1.96 <sup>b</sup> ± 0.14   | 14767.82 ± 2115.50             |

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

$$\text{*ความสามารถในการดูดน้ำคั้น} = \frac{W_2 - W_1}{W_1}$$

เมื่อ  $W_1$  = น้ำหนักของหอยเป่าอื้อก่อนคั้นรูป (กรัม) และ  $W_2$  = น้ำหนักของหอยเป่าอื้อหลังคั้นรูป (กรัม)

#### 4.3.2.2.2 ผลของภาวะในการอบแห้งหอยเป่าอื้อด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิเข้าแบบเป็นขั้นต่อคุณภาพทางจุลินทรีย์

การศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณเชื้อราและยีสต์ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย *Cl. Perfringens*, *Vibrio spp.* และ *S. aureus* ในหอยเป่าอื้ออบแห้งที่ทุกภาวะการอบแห้ง ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.74

ตารางที่ 4.74 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณเชื้อราและยีสต์ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย *Cl. perfringens* *Vibrio spp.* และ *S. aureus* ในหอยเป่าอื้ออบแห้งที่ภาวะการอบแห้งต่างๆ

| ภาวะการอบแห้ง           | ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด <sup>ns</sup><br>(CFU/g) | ปริมาณเชื้อราและยีสต์ <sup>ns</sup><br>(CFU/g) | โคลิฟอร์มแบคทีเรีย <sup>ns</sup><br>(MPN/g) | <i>Cl. perfringens</i><br>(CFU/g) | <i>Vibrio spp.</i><br>(CFU/g) | <i>S. aureus</i> <sup>ns</sup><br>(CFU/g) |
|-------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| 75°C (2 h), 55°C (14 h) | 6.78 x 10 <sup>2</sup>                           | 4.67 x 10 <sup>1</sup>                         | <3                                          | ND                                | ND                            | < 10                                      |
| 75°C (4 h), 55°C (10 h) | 6.49 x 10 <sup>2</sup>                           | 4.33 x 10 <sup>1</sup>                         | <3                                          | ND                                | ND                            | < 10                                      |
| 75°C (6 h), 55°C (7 h)  | 6.16 x 10 <sup>2</sup>                           | 3.67 x 10 <sup>1</sup>                         | <3                                          | ND                                | ND                            | < 10                                      |

ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

a, b ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ พบว่าหอยเป่าที่อบแห้งที่ผ่านการอบแห้งทุกภาวะมีปริมาณจุลินทรีย์ไม่เกินกำหนดมาตรฐานหอยแห้งที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด (มผช.310/2547) โดยปริมาณจุลินทรีย์ในหอยเป่าที่อบแห้งที่ทุกภาวะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $6.78 \times 10^2 - 6.16 \times 10^2$  CFU/g เชื้อราและยีสต์  $4.67 \times 10^1 - 3.67 \times 10^1$  CFU/g โคลิฟอร์มแบคทีเรีย  $<3$  MPN/g *S. aureus*  $< 10$  CFU/g ตรวจไม่พบ *Vibrio spp.* และ *Cl. perfringens* ในหอยเป่าที่อบแห้งที่ทุกภาวะการอบแห้ง ดังนั้นหอยเป่าที่อบแห้งจึงมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

#### 4.3.2.2.3 ผลของภาวะในการอบแห้งหอยเป่าด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิเข้าแบบเป็นขั้นต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

เมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหอยเป่าที่อบแห้งและกึ่งรูป ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ซึ่งการทดสอบทางลักษณะปรากฏ และกลิ่นให้ผู้ทดสอบดูและดมกลิ่นของหอยเป่าที่อบแห้ง ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัสให้ผู้ทดสอบชิมหอยเป่าที่อบแห้งแล้ว โดยใช้แบบทดสอบความชอบชนิด Hedonic scale (9 คะแนน) ใช้ผู้ทดสอบแบบไม่ฝึกฝนจำนวน 15 คน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.75

ตารางที่ 4.75 ผลของภาวะการอบแห้งต่อคะแนนการยอมรับเฉลี่ยของหอยเป่าที่อบแห้ง

| ภาวะการอบแห้ง           | คะแนนการยอมรับเฉลี่ย     |                     |                                 |                          |
|-------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------|
|                         | ลักษณะปรากฏ              | กลิ่น <sup>ns</sup> | ลักษณะเนื้อสัมผัส <sup>ns</sup> | ความชอบโดยรวม            |
| 75°C (2 h), 55°C (14 h) | 7.50 <sup>b</sup> ± 0.51 | 7.33 ± 0.80         | 7.33 ± 0.96                     | 7.03 <sup>b</sup> ± 0.89 |
| 75°C (4 h), 55°C (10 h) | 7.83 <sup>a</sup> ± 0.38 | 7.33 ± 0.88         | 7.47 ± 0.97                     | 7.50 <sup>a</sup> ± 0.68 |
| 75°C (6 h), 55°C (7 h)  | 7.77 <sup>a</sup> ± 0.43 | 7.30 ± 0.88         | 7.27 ± 0.83                     | 7.20 <sup>b</sup> ± 0.81 |

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

a, b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

**ลักษณะปรากฏ** คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของหอยเป่าที่อบแห้งที่ภาวะต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\leq 0.05$ ) พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบหอยเป่าที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมงสูงสุด รองลงมาคือ หอยเป่าที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 7 ชั่วโมง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 14 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากหอยเป่าที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง มีสีเหลืองทอง

**กลิ่น** ภาวะการอบแห้งไม่มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นของหอยเป่าที่อบแห้งแตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) พบว่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นของหอยเป่าที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 14 ชั่วโมง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมงมีค่าเท่ากัน

**ลักษณะเนื้อสัมผัส** ภาวะการอบแห้งไม่มีผลทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของหอยเป่าที่อบแห้งแตกต่างกัน ( $p>0.05$ ) พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบหอยเป่าที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมงสูงสุด รองลงมาคืออบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น

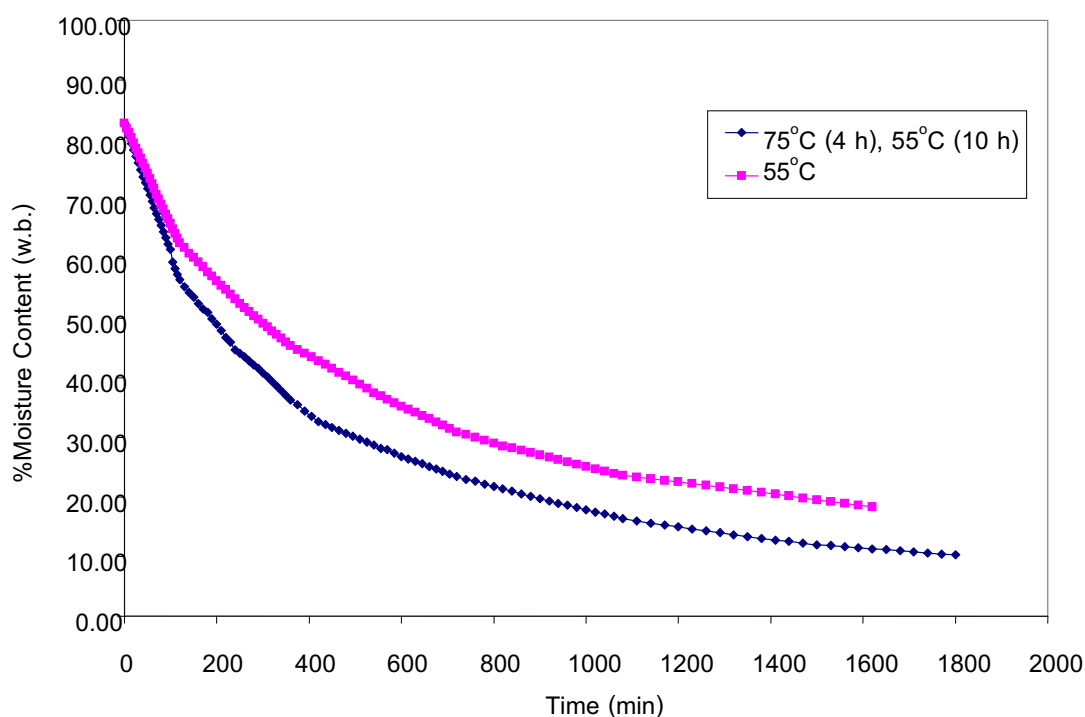
55°C นาน 14 ชั่วโมง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 6 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 7 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงในช่วงแรกของการอบแห้งเป็นเวลานาน ทำให้หอยเป่าอ้ออบแห้งมีค่าความแข็งลดลง

ความชอบโดยรวม หอยเป่าอ้ออบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าหอยเป่าอ้อที่อบแห้งที่ภาวะการอบแห้งอื่นๆ ( $p \leq 0.05$ ) โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเฉลี่ย 7.50 เนื่องจากผลของลักษณะปรากฏ กลิ่น และลักษณะเนื้อสัมผัสดังกล่าวทำให้ตัวอย่างได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด

จากคะแนนความชอบโดยรวม และความสามารถในการดูดน้ำคืนสูง และค่าความแข็งต่ำ จึงคัดเลือกภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง เป็นภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตหอยเป่าอ้ออบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนจาเข้าแบบเป็นขั้น

สำหรับการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการอบแห้งหอยเป่าอ้อที่อุณหภูมิตั้งที่ 55°C และแบบเป็นขั้นที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง ซึ่งเป็นภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตหอยเป่าอ้ออบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิจาเข้าคงที่และอุณหภูมิจาเข้าแบบเป็นขั้น มีดังนี้

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของหอยเป่าอ้อระหว่างอุณหภูมิคงที่ที่ 55°C กับภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง (รูปที่ 4.17)



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นระหว่างการอบแห้งหอยเป่าอ้อด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิตั้งที่ 55°C และที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.17 พบว่าเส้นกราฟในช่วงแรกของการอบแห้งหอยเป่าที่อุณหภูมิคงที่ที่  $55^{\circ}\text{C}$  มีความชันน้อยกว่าภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  นาน 10 ชั่วโมง นั่นหมายความว่า ความชันภายในหอยเป่าที่ลดลงช้ากว่า ทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานกว่า

เมื่อพิจารณาคูณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของหอยเป่าที่อบแห้งทั้งสองภาวะ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.76

**ตารางที่ 4.76** คูณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของหอยเป่าที่อบแห้งที่อุณหภูมิคงที่ที่  $55^{\circ}\text{C}$  และที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  นาน 10 ชั่วโมง

| คูณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัส   | ภาวะการอบแห้ง          |                                                         |
|----------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------|
|                                  | $55^{\circ}\text{C}$   | $75^{\circ}\text{C}$ (4 h), $55^{\circ}\text{C}$ (10 h) |
| 1. คูณภาพทางกายภาพ               |                        |                                                         |
| - ระยะเวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)  | 21                     | 14                                                      |
| - ค่า $a_w$                      | $0.697 \pm 0.002$      | $0.700 \pm 0.005$                                       |
| - ปริมาณความชื้น (%)             | $19.62 \pm 0.26$       | $19.76 \pm 0.40$                                        |
| - ค่า L                          | $44.48 \pm 0.85$       | $44.53 \pm 0.34$                                        |
| - ค่า a                          | $2.33 \pm 0.33$        | $2.04 \pm 0.34$                                         |
| - ค่า b                          | $13.13 \pm 0.24$       | $14.83 \pm 0.78$                                        |
| - ความสามารถในการดูดน้ำคืน       | $1.92 \pm 0.01$        | $2.17 \pm 0.04$                                         |
| - ค่าความแข็ง (gf)               | $14679.23 \pm 2990.09$ | $14597.25 \pm 733.97$                                   |
| 2. คูณภาพทางประสาทสัมผัส (คะแนน) |                        |                                                         |
| - ลักษณะปรากฏ                    | $7.43 \pm 0.82$        | $7.83 \pm 0.38$                                         |
| - กลิ่น                          | $6.77 \pm 0.73$        | $7.33 \pm 0.88$                                         |
| - ลักษณะเนื้อสัมผัส              | $7.03 \pm 0.93$        | $7.47 \pm 0.97$                                         |
| - ความชอบโดยรวม                  | $6.83 \pm 1.09$        | $7.50 \pm 0.68$                                         |

จากตารางที่ 4.76 พบว่าที่ค่าวอเตอร์แอคทีวี่และปริมาณความชื้นเท่ากัน หอยเป่าที่อบแห้งที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  นาน 10 ชั่วโมง ใช้ระยะเวลาน้อยกว่าที่อุณหภูมิคงที่ที่  $55^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 7 ชั่วโมง คิดเป็น 33.3% ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งด้วยลมร้อนโดยการใช้อุณหภูมิขาเข้าแบบเป็นขั้น ซึ่งใช้อุณหภูมิสูงในช่วงแรกของการอบแห้ง ทำให้ความชื้นในหอยเป่าที่ระเหยออกไปได้อย่างรวดเร็ว จึงเข้าสู่ช่วงสุดท้ายของการอบแห้งได้เร็วขึ้น ส่งผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง

เมื่อพิจารณาค่าสีของหอยเป่าที่อบแห้งทั้งสองภาวะ (ตารางที่ 4.76) พบว่าหอยเป่าที่ผ่านการอบแห้งที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  นาน 10 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิคงที่ที่  $55^{\circ}\text{C}$  มีค่าความสว่างใกล้เคียงกัน แต่มีค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองแตกต่างกัน โดยหอยเป่าที่ผ่านการอบแห้งที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ  $75^{\circ}\text{C}$  นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น  $55^{\circ}\text{C}$  นาน 10 ชั่วโมงมีสีเหลืองทองมากกว่าที่อุณหภูมิคงที่ที่  $55^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากหอยเป่าที่ผ่านการอบแห้งที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่

อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมงมีค่าความเป็นสีแดงต่ำกว่า แต่มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงกว่าที่อุณหภูมิคงที่ที่ 55°C

เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดน้ำคั้นของหอยเป่าฮื้ออบแห้งและค่าความแข็งของหอยเป่าฮื้อคั้นรูปทั้งสองภาวะ (ตารางที่ 4.76) พบว่าหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการอบแห้งที่ภาวะเริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมงมีความสามารถในการดูดน้ำคั้นสูงกว่า และค่าความแข็งต่ำกว่าที่อุณหภูมิคงที่ที่ 55°C เนื่องจากที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมงนั้น น้ำในหอยเป่าฮื้อจะระเหยออกไปอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบแห้ง ทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้นภายในหอยเป่าฮื้อ แต่เมื่อผ่านช่วงแรกของการอบแห้งไปแล้ว การเปลี่ยนมาใช้อุณหภูมิที่ต่ำลงจะทำให้สามารถรักษาโครงสร้างของหอยเป่าฮื้อซึ่งมีรูพรุนขนาดใหญ่ได้ ส่งผลให้ความสามารถในการดูดน้ำคั้นมีค่าสูงกว่า (รุ่งทิพย์ ตปนิยศิลป์, 2546)

จากการพิจารณาค่าความแข็งของหอยเป่าฮื้อคั้นรูปทั้งสองภาวะ (ตารางที่ 4.76) พบว่าหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิคงที่ที่ 55°C มีค่าความแข็งสูงกว่าที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิคงที่ที่ 55°C ต้องใช้เวลาในการทำแห้งนาน ทำให้โครงสร้างภายในหอยเป่าฮื้อเกิดการหดตัวอย่างมาก

เมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหอยเป่าฮื้ออบแห้งและคั้นรูปทั้งสองภาวะ ด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้แบบทดสอบความชอบชนิด Hedonic scale (9 คะแนน) ใช้ผู้ทดสอบแบบไม่ฝึกฝนจำนวน 15 คน (ตารางที่ 4.76) พบว่าหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการอบแห้งที่ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมงได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น และลักษณะเนื้อสัมผัสสูงกว่าหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิคงที่ที่ 55°C ทำให้ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าด้วยเช่นกัน

ดังนั้นเมื่อพิจารณาเกณฑ์ในการคัดเลือกภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตหอยเป่าฮื้ออบแห้งด้วยลมร้อน โดยใช้คะแนนความชอบโดยรวม ความสามารถในการดูดน้ำคั้น และค่าความแข็งเป็นเกณฑ์ คือ คะแนนความชอบโดยรวมและความสามารถในการดูดน้ำคั้นสูง และค่าความแข็งต่ำ พบว่าภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมงเป็นภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตหอยเป่าฮื้ออบแห้ง เนื่องจากหอยเป่าฮื้อที่ผ่านการอบแห้งที่ภาวะนี้มีคะแนนความชอบโดยรวมและความสามารถในการดูดน้ำคั้นสูง และค่าความแข็งต่ำ นอกจากนี้การอบแห้งหอยเป่าฮื้อที่ภาวะนี้ยังใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าที่อุณหภูมิคงที่ที่ 55°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง คิดเป็น 33.3% ทำให้ประหยัดพลังงานในการอบแห้งได้

#### 4.4 การผลิตสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารโปรตีนไฮโดรไลเสตจากหอยเป่าฮื้อขนาดเล็ก

##### 4.4.1 คุณภาพของหอยเป่าฮื้อส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina*

##### 4.4.1.2 ปริมาณ AMP ในส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อ

จากการวิเคราะห์ปริมาณ AMP ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารสกัดช่วยให้เกิดกลิ่นรสในส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.77 พบว่าปริมาณ AMP ของเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮื้อแตกต่างกัน โดยเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีปริมาณ AMP (55.33 mg/100g sample) สูงกว่าเนื้อหอยเป่าฮื้อ (33.33 mg/100g sample) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าเครื่องในหอยเป่าฮื้อจะมีกลิ่นรสดีกว่าเนื้อหอยเป่าฮื้อเนื่องจากมีปริมาณ AMP สูงกว่า โดย

AMP จะทำให้เกิดรส umami เมื่ออยู่ร่วมกับ glutamic acid (Konosu *et al.*, 1987; Kimura *et al.*, 1969) คอลัมน์ที่ใช้สามารถวิเคราะห์ปริมาณ ATP และสารอนุพันธ์ได้ทุกตัว แต่ในงานวิจัยมุ่งเน้นถึงการใช้อยู่ของโปรตีนไฮโดรไลสเพื่อใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหาร ดังนั้นจึงรายงานผลการวิเคราะห์เป็นปริมาณ AMP เพียงอย่างเดียว เนื่องจาก AMP เป็นองค์ประกอบของสารสกัดตัวหนึ่งซึ่งช่วยทำให้เกิดกลิ่นรส

ตารางที่ 4.77 ปริมาณ AMP ในส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อ

| องค์ประกอบหอยเป่าฮื้อ | ปริมาณ AMP (mg/100g sample)* |
|-----------------------|------------------------------|
| เนื้อหอยเป่าฮื้อ      | 33.33 ± 1.53                 |
| เครื่องในหอยเป่าฮื้อ  | 55.33 ± 3.06                 |

\* wet basis

#### 4.4.1.3 ปริมาณกรดอะมิโนในส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อ

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อชนิด *H.asinina* ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.78

ตารางที่ 4.78 ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample)\* ในส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อ

| กรดอะมิโน     | เนื้อหอยเป่าฮื้อ | เครื่องในหอยเป่าฮื้อ |
|---------------|------------------|----------------------|
| Aspartic acid | 16.50 ± 2.12     | 16.50 ± 0.71         |
| Serine        | 5.00 ± 0.00      | 14.00 ± 0.00         |
| Glutamic acid | 22.50 ± 0.71     | 32.50 ± 2.12         |
| Glycine       | 6.50 ± 0.71      | 13.50 ± 0.71         |
| Histidine     | 7.50 ± 0.71      | 1.00 ± 1.41          |
| Arginine      | 188.50 ± 4.95    | 307.50 ± 2.12        |
| Threonine     | 34.50 ± 0.71     | 40.00 ± 2.83         |
| Alanine       | 7.50 ± 0.71      | 8.50 ± 2.12          |
| Proline       | 5.00 ± 0.00      | 4.50 ± 4.95          |
| Cysteine      | 0.00 ± 0.00      | 0.00 ± 0.00          |
| Tyrosine      | 3.50 ± 0.71      | 0.75 ± 0.35          |
| Valine        | 3.00 ± 0.00      | 1.00 ± 1.41          |
| Methionine    | 0.75 ± 0.07      | 0.50 ± 0.71          |
| Lysine        | 6.50 ± 0.71      | 5.00 ± 0.00          |
| Isoleucine    | 2.00 ± 0.00      | 0.75 ± 0.35          |
| Leucine       | 3.00 ± 0.00      | 2.00 ± 0.00          |
| Phenylalanine | 2.50 ± 0.71      | 1.50 ± 0.71          |
| Total         | 314.75 ± 5.59    | 449.50 ± 13.44       |

\* wet basis

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อ ในตารางที่ 4.78 พบว่าเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลักแตกต่างกัน โดยเนื้อหอยเป่าฮื้อมีกรดอะมิโนชนิดหลักคือ arginine, threonine, glutamic acid และ aspartic acid ส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีกรดอะมิโนชนิดหลักคือ arginine, threonine, glutamic acid, aspartic acid, serine และ glycine

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่เป็นตัวให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อ ได้แก่ glycine, alanine และ proline ทำให้เกิดรสหวาน (Nishimura and Kato, 1988) glutamic acid, glycine, alanine, arginine และ serine ทำให้การรับรู้รส umami ชัดเจนขึ้น (Konosu *et al.*, 1987 ; Kimura *et al.*, 1969) พบว่าเนื้อหอยเป่าฮื้อมีปริมาณ glycine, alanine, glutamic acid, arginine และ serine (6.50, 7.50, 22.50, 188.50 และ 5.00 mg/100g sample ตามลำดับ) ต่ำกว่าเครื่องในหอยเป่าฮื้อ (13.50, 8.50, 32.50, 307.50 และ 14.00 mg/100g sample ตามลำดับ) แต่มีปริมาณ proline (5.00 mg/100g sample) สูงกว่าเครื่องในหอยเป่าฮื้อ (4.50 mg/100g sample) โดยปริมาณของกรดอะมิโนจะขึ้นกับสายพันธุ์ของหอยเป่าฮื้อด้วย จากผลการทดลองที่ได้จะพบว่ากรดอะมิโนที่มีปริมาณสูงสุดของเนื้อหอยเป่าฮื้อและเครื่องในหอยเป่าฮื้อคือ arginine (188.50 และ 307.50 mg/100g sample ตามลำดับ) โดย arginine ช่วยให้เกิดความรู้สึก continuity, thickness, complexity และ mildness ด้วย (Fuke, 1994) เมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะมิโน leucine, isoleucine และ valine ที่ทำให้เกิดรสขมและฝาด (Konosu *et al.*, 1987 ; Nishimura and Kato, 1988) พบว่าเนื้อหอยเป่าฮื้อและเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีปริมาณ leucine 3.00 และ 2.00 mg/100g sample ตามลำดับ ปริมาณ isoleucine 2.00 และ 0.75 mg/100g sample ตามลำดับ และ valine 3.00 และ 1.00 mg/100g sample ตามลำดับ นอกจากนี้กรดอะมิโน threonine ซึ่งพบว่าทั้งในเนื้อหอยเป่าฮื้อและเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีปริมาณสูง แม้จะไม่มีรายงานไว้ว่าเป็นตัวให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อ แต่ threonine ให้รสหวาน (Fuke, 1994) ซึ่งเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีปริมาณสูงกว่าเนื้อหอยเป่าฮื้อ (40.00 และ 34.50 mg/100g sample ตามลำดับ) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าเครื่องในหอยเป่าฮื้อจะมีกลิ่นรสดีกว่าเนื้อหอยเป่าฮื้อเนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสหอยเป่าฮื้อสูงกว่าและมีปริมาณกรดอะมิโนที่ทำให้เกิดรสขมและฝาดต่ำกว่า

นอกจากนี้ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนชนิดหลักยังขึ้นกับชนิดและพันธุ์ของสัตว์ด้วย โดยสัตว์จำพวกหอยและปลาหมึกจะมีกรดอะมิโนอิสระ taurine, proline, glycine, alanine และ arginine สูง (Nishimura and Kato, 1988) จึงทำให้สัตว์ทะเลแต่ละชนิดมีกลิ่นรสเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน

#### 4.4.2 ปัจจัยที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเนื้อหอยเป่าฮื้อ

##### 4.4.2.1 อุณหภูมิและค่าความเป็นกรดค่า (pH) ที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเนื้อหอยเป่าฮื้อ

ผลของอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดค่าที่ใช้ในการย่อยสลายเนื้อหอยเป่าฮื้อของเอนไซม์ Flavourzyme® แปรอุณหภูมิการย่อยที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C และที่ pH 5.0, 6.0 และ 7.0 วิเคราะห์ค่าต่างๆ ได้ผลดังนี้

##### 4.4.2.1.1 ระดับการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเป่าฮื้อ

ระดับการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเป่าฮื้อได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.79 จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric Factorial Design ขนาด 3×3 พบว่าอุณหภูมิ และ pH มีผลต่อระดับการย่อยของเนื้อหอยเป่าฮื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และ pH ไม่มีผลต่อระดับการย่อยของเนื้อหอยเป่าฮื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) จึงทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแยกปัจจัย โดยเมื่อพิจารณาที่ระดับ pH เดียวกัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ระดับการย่อยก็จะเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 60°C จะให้ระดับการย่อยสูงสุด เมื่อพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน พบว่าที่ pH 6.0 จะ

ให้ระดับการย่อยสลายสูงสุด ดังนั้นภาวะการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เป็นภาวะที่ให้ระดับการย่อยสลายสูงสุดคือประมาณ 41%

**ตารางที่ 4.79** ระดับการย่อยสลาย (Degree of Hydrolysis ; DH) ของเนื้อหอยเป่าอื้อที่ย่อยโดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหั่นหอย ที่อุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

| อุณหภูมิ (°C) | ระดับการย่อยสลาย ; DH (%)   |                            |                            |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|               | pH 5.0                      | pH 6.0                     | pH 7.0                     |
| 40            | 26.92 <sup>Ba</sup> ± 0.00  | 28.17 <sup>Ba</sup> ± 0.23 | 24.34 <sup>Aa</sup> ± 0.93 |
| 50            | 32.29 <sup>Bb</sup> ± 0.04  | 33.60 <sup>Cb</sup> ± 0.38 | 30.43 <sup>Ab</sup> ± 0.18 |
| 60            | 38.19 <sup>ABc</sup> ± 1.05 | 41.41 <sup>Cc</sup> ± 1.33 | 35.80 <sup>Ac</sup> ± 0.49 |

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

จากผลการทดลองจะเห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการย่อยสลายจาก 40 เป็น 60°C และการปรับ pH เป็น 6.0 ทำให้โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอื้อมีระดับการย่อยสลายเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่จะให้ความเร็วปฏิกิริยาสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิจะช่วยเพิ่มพลังงานจลน์ของโมเลกุลสาร ส่งผลให้เกิดการชนกันของ reactants ต่อหน่วยเวลาได้มากขึ้น เช่นเดียวกับปฏิกิริยาของเอนไซม์ การเพิ่มอุณหภูมิมิผลให้ความเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเพิ่มอัตราเร็วของการชนกันระหว่างเอนไซม์และสารตั้งต้น แต่เนื่องจากเอนไซม์เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีน ซึ่งถ้าโมเลกุลสารมีพลังงานมากเกินไป คือย่อยที่อุณหภูมิสูงกว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum temperature) ต่อการทำงานของเอนไซม์ จะมีผลทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (denature) และสูญเสีย activity ไป (Whitaker, 1972) โดยเอนไซม์ Flavourzyme® ที่ใช้ในการทดลองมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 40-60°C ดังนั้นในการทดลองจึงย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ Flavourzyme® ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเป่าอื้อ และผลวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Birch และคณะ (1981) ที่ย่อยสลายเลือดซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมเนื้อด้วยเอนไซม์ Neutrase® ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60°C พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการย่อยสลายจาก 30 เป็น 60°C activity ของเอนไซม์ในการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้น

เมื่อปรับ pH เป็น 6.0 พบว่าระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอื้อเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะ pH มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ โดย pH ที่เหมาะสม (optimum pH) ของเอนไซม์ Flavourzyme® อยู่ในช่วง pH 5 ถึง 7 เมื่อ pH สูงหรือต่ำเกินไปจะส่งผลให้โครงสร้างบางส่วนของเอนไซม์ถูกทำลายและเกิดการสูญเสีย activity ของเอนไซม์ จึงทำให้เอนไซม์ย่อยสลายโปรตีนในวัตถุดิบที่ pH ต่างๆ ได้ไม่เท่ากัน (Eskin and Henderson, 1971)

#### 4.4.2.1.2 ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอื้อ

ก่อนวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอื้อ เริ่มต้นการทดลองโดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในตัวอย่างเนื้อหอยเป่าอื้อ โดยใช้เนื้อหอยเป่าอื้อที่ใช้น้ำสกัดเป็นตัวอย่างควบคุมที่ 1 และใช้เนื้อหอยเป่าอื้อที่ใช้น้ำที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 ในการสกัดเป็นตัวอย่างควบคุมที่ 2 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.80 จากนั้นจึงวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอื้อ ได้ผลดังตารางที่ 4.81 – 4.83

ตารางที่ 4.80 ปริมาณกรดอะมิโนในตัวอย่างเนื้อหอยเป่าสื้อ

| กรดอะมิโน     | ตัวอย่างควบคุมที่ 1*<br>(mg/100g sample) | ตัวอย่างควบคุมที่ 2**<br>(mg/100g sample) |
|---------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Aspartic acid | 4.50 ± 0.71                              | 6.50 ± 0.71                               |
| Serine        | 1.50 ± 0.71                              | 3.50 ± 0.71                               |
| Glutamic acid | 12.50 ± 0.71                             | 16.50 ± 0.71                              |
| Glycine       | 3.50 ± 0.71                              | 6.50 ± 0.71                               |
| Histidine     | 3.50 ± 0.71                              | 5.50 ± 0.71                               |
| Arginine      | 132.50 ± 2.12                            | 148.50 ± 2.12                             |
| Threonine     | 19.00 ± 1.41                             | 20.50 ± 2.12                              |
| Alanine       | 2.50 ± 0.71                              | 4.50 ± 0.71                               |
| Proline       | 1.50 ± 0.71                              | 3.50 ± 0.71                               |
| Cysteine      | 0.00 ± 0.00                              | 0.00 ± 0.00                               |
| Tyrosine      | 2.50 ± 0.71                              | 3.00 ± 0.00                               |
| Valine        | 1.00 ± 0.00                              | 2.00 ± 0.00                               |
| Methionine    | 0.15 ± 0.07                              | 0.35 ± 0.07                               |
| Lysine        | 2.50 ± 0.71                              | 5.50 ± 0.71                               |
| Isoleucine    | 1.50 ± 0.71                              | 2.00 ± 0.00                               |
| Leucine       | 1.00 ± 0.00                              | 2.00 ± 0.00                               |
| Phenylalanine | 1.50 ± 0.71                              | 2.50 ± 0.71                               |
| Total         | 191.15 ± 5.59                            | 232.85 ± 3.46                             |

\* ตัวอย่างควบคุมที่ 1 คือ เนื้อหอยเป่าสื้อที่ใช้น้ำสกัด

\*\* ตัวอย่างควบคุมที่ 2 คือ เนื้อหอยเป่าสื้อที่ใช้น้ำสกัดที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในตัวอย่างควบคุมที่ 1 และ ตัวอย่างควบคุมที่ 2 ของเนื้อหอยเป่าสื้อ ในตารางที่ 4.80 พบว่า ตัวอย่างควบคุมที่ 1 มีปริมาณกรดอะมิโนต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมที่ 2 ไม่มากนัก ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าภาวะการย่อยสลายเนื้อหอยเป่าสื้อโดยใช้น้ำที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 แทบจะไม่มีผลต่อปริมาณการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโน แสดงว่าเอนไซม์ที่มีในเนื้อหอยเป่าสื้อไม่มีบทบาทต่อการย่อยสลาย เกิด autolysis น้อย แต่เมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะมิโนในตัวอย่างควบคุมที่ 1 และ ตัวอย่างควบคุมที่ 2 ของเนื้อหอยเป่าสื้อ เทียบกับปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าสื้อที่ย่อยโดยใช้เอนไซม์ที่อุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่างต่างๆ (ตารางที่ 4.81 – 4.83) จะพบว่ากรดอะมิโนในตัวอย่างควบคุมที่ 1 และ ตัวอย่างควบคุมที่ 2 ของเนื้อหอยเป่าสื้อ มีปริมาณต่ำกว่ากรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากเนื้อหอยเป่าสื้อที่ย่อยโดยใช้เอนไซม์ที่อุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่างต่างๆอย่างเห็นได้ชัดมาก ดังนั้นปริมาณการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าสื้อจึงเป็นผลมาจากการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเป่าสื้อที่ภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์

ตารางที่ 4.81 ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าที่ชื้อที่ชื้อโดยใช้ เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหนักรวม ที่อุณหภูมิ 40°C และที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

| กรดอะมิโน     | ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) |                         |                         |                         |
|---------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|               | เอนไซม์*<br>Flavourzyme®         | โปรตีนไฮโดรไลเสต        | โปรตีนไฮโดรไลเสต        | โปรตีนไฮโดรไลเสต        |
|               |                                  | ที่ได้จากส่วนเนื้อ      | ที่ได้จากส่วนเนื้อ      | ที่ได้จากส่วนเนื้อ      |
|               |                                  | หอยเป่าที่ค่า<br>pH 5.0 | หอยเป่าที่ค่า<br>pH 6.0 | หอยเป่าที่ค่า<br>pH 7.0 |
| Aspartic acid | 0.00 ± 0.00                      | 19.50 ± 2.12            | 23.00 ± 1.41            | 16.50 ± 2.12            |
| Serine        | 0.03 ± 0.00                      | 20.00 ± 0.00            | 27.00 ± 0.00            | 14.00 ± 0.00            |
| Glutamic acid | 0.03 ± 0.00                      | 32.00 ± 0.00            | 38.00 ± 0.00            | 24.50 ± 2.12            |
| Glycine       | 0.02 ± 0.00                      | 14.00 ± 1.41            | 16.50 ± 0.71            | 9.50 ± 3.54             |
| Histidine     | 0.04 ± 0.00                      | 22.50 ± 0.71            | 19.50 ± 0.71            | 8.50 ± 2.12             |
| Arginine      | 0.04 ± 0.00                      | 378.50 ± 2.12           | 382.50 ± 2.12           | 190.00 ± 7.07           |
| Threonine     | 0.03 ± 0.00                      | 81.00 ± 1.41            | 83.50 ± 2.12            | 37.50 ± 4.95            |
| Alanine       | 0.03 ± 0.00                      | 16.00 ± 2.83            | 17.00 ± 2.83            | 9.50 ± 2.12             |
| Proline       | 0.05 ± 0.00                      | 35.50 ± 0.71            | 38.00 ± 2.83            | 16.50 ± 0.71            |
| Cysteine      | 0.05 ± 0.00                      | 4.50 ± 0.71             | 7.00 ± 1.41             | 5.50 ± 0.71             |
| Tyrosine      | 0.06 ± 0.00                      | 15.50 ± 0.71            | 10.50 ± 0.71            | 4.00 ± 1.41             |
| Valine        | 0.03 ± 0.00                      | 17.50 ± 2.12            | 20.00 ± 1.41            | 9.00 ± 1.41             |
| Methionine    | 0.06 ± 0.01                      | 15.00 ± 0.00            | 14.50 ± 0.71            | 5.00 ± 0.00             |
| Lysine        | 0.04 ± 0.01                      | 35.50 ± 0.71            | 35.00 ± 0.00            | 16.50 ± 0.71            |
| Isoleucine    | 0.04 ± 0.00                      | 12.50 ± 0.71            | 15.50 ± 0.71            | 9.00 ± 1.41             |
| Leucine       | 0.03 ± 0.00                      | 44.00 ± 2.83            | 40.50 ± 0.71            | 16.50 ± 0.71            |
| Phenylalanine | 0.06 ± 0.00                      | 21.00 ± 1.41            | 24.50 ± 0.71            | 9.00 ± 1.41             |
| Total         | 0.63 ± 0.01                      | 784.50 ± 3.54           | 812.50 ± 9.19           | 401.00 ± 24.04          |

\* ปริมาณเอนไซม์ Flavourzyme® ที่ใช้ในสคมภ์ที่ 2 มีปริมาณเท่ากับปริมาณที่ใช้ในการย่อยสลายตัวอย่างอื่น

ตารางที่ 4.82 ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าที่ย่อยโดยใช้ เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหนักรวม ที่อุณหภูมิ 50°C และที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

| กรดอะมิโน     | ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) |                         |                         |                         |
|---------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|               | เอนไซม์*<br>Flavourzyme®         | โปรตีนไฮโดรไลเสต        | โปรตีนไฮโดรไลเสต        | โปรตีนไฮโดรไลเสต        |
|               |                                  | ที่ได้จากส่วนเนื้อ      | ที่ได้จากส่วนเนื้อ      | ที่ได้จากส่วนเนื้อ      |
|               |                                  | หอยเป่าที่ค่า<br>pH 5.0 | หอยเป่าที่ค่า<br>pH 6.0 | หอยเป่าที่ค่า<br>pH 7.0 |
| Aspartic acid | 0.00 ± 0.00                      | 31.50 ± 0.71            | 34.50 ± 0.71            | 25.50 ± 9.19            |
| Serine        | 0.03 ± 0.00                      | 34.50 ± 0.71            | 53.50 ± 0.71            | 29.50 ± 2.12            |
| Glutamic acid | 0.03 ± 0.00                      | 65.50 ± 2.12            | 69.50 ± 2.12            | 42.50 ± 4.95            |
| Glycine       | 0.02 ± 0.00                      | 21.00 ± 1.41            | 26.50 ± 4.95            | 18.00 ± 1.41            |
| Histidine     | 0.04 ± 0.00                      | 27.50 ± 3.54            | 52.00 ± 2.83            | 26.00 ± 1.41            |
| Arginine      | 0.04 ± 0.00                      | 678.50 ± 0.71           | 1110.50 ± 3.54          | 436.50 ± 3.54           |
| Threonine     | 0.03 ± 0.00                      | 145.50 ± 4.95           | 171.50 ± 0.71           | 92.00 ± 7.07            |
| Alanine       | 0.03 ± 0.00                      | 24.00 ± 2.83            | 34.00 ± 5.66            | 18.00 ± 2.83            |
| Proline       | 0.05 ± 0.00                      | 62.50 ± 2.12            | 66.00 ± 2.83            | 42.00 ± 2.83            |
| Cysteine      | 0.05 ± 0.00                      | 9.00 ± 1.41             | 10.00 ± 2.83            | 5.00 ± 0.00             |
| Tyrosine      | 0.06 ± 0.00                      | 15.00 ± 1.41            | 34.50 ± 0.71            | 19.00 ± 0.00            |
| Valine        | 0.03 ± 0.00                      | 39.00 ± 7.07            | 28.50 ± 0.71            | 20.50 ± 0.71            |
| Methionine    | 0.06 ± 0.01                      | 22.00 ± 2.83            | 43.50 ± 0.71            | 17.50 ± 2.12            |
| Lysine        | 0.04 ± 0.01                      | 49.00 ± 0.00            | 83.50 ± 0.71            | 44.00 ± 0.00            |
| Isoleucine    | 0.04 ± 0.00                      | 30.50 ± 3.54            | 22.50 ± 2.12            | 17.00 ± 2.83            |
| Leucine       | 0.03 ± 0.00                      | 95.00 ± 7.07            | 53.00 ± 0.00            | 48.00 ± 1.41            |
| Phenylalanine | 0.06 ± 0.00                      | 31.50 ± 3.54            | 54.50 ± 0.71            | 26.50 ± 0.71            |
| Total         | 0.63 ± 0.01                      | 1381.50 ± 0.71          | 1948.00 ± 11.31         | 927.50 ± 36.06          |

\* ปริมาณเอนไซม์ Flavourzyme® ที่ใช้ในสคมภ์ที่ 2 มีปริมาณเท่ากับปริมาณที่ใช้ในการย่อยสลายตัวอย่างอื่นๆ

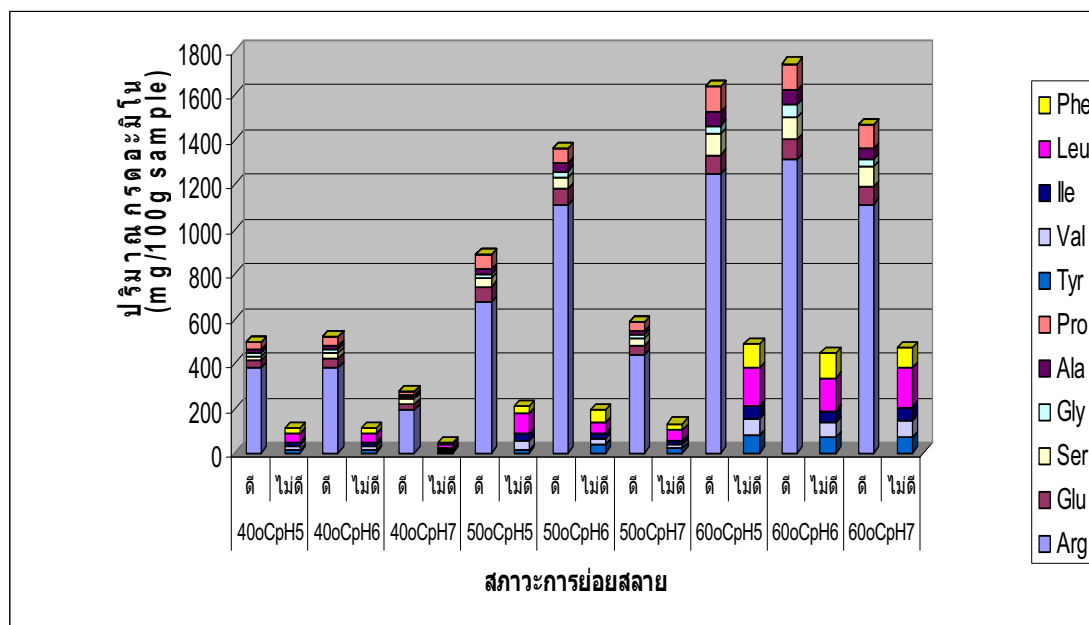
ตารางที่ 4.83 ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าที่ชื้อที่ชื้อโดยใช้ เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหนักรวม ที่อุณหภูมิ 60°C และที่ค่าความเป็นกรดต่าง ๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

| กรดอะมิโน     | ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) |                                                                       |                                                                       |                                                                       |
|---------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|               | เอนไซม์*<br>Flavourzyme®         | โปรตีนไฮโดรไลเสตที่<br>ได้จากส่วนเนื้อหอย<br>เป่าที่ชื้อที่ค่า pH 5.0 | โปรตีนไฮโดรไลเสตที่<br>ได้จากส่วนเนื้อหอย<br>เป่าที่ชื้อที่ค่า pH 6.0 | โปรตีนไฮโดรไลเสตที่<br>ได้จากส่วนเนื้อหอย<br>เป่าที่ชื้อที่ค่า pH 7.0 |
| Aspartic acid | 0.00 ± 0.00                      | 42.50 ± 0.71                                                          | 46.50 ± 0.71                                                          | 41.50 ± 0.71                                                          |
| Serine        | 0.03 ± 0.00                      | 91.50 ± 2.12                                                          | 97.50 ± 0.71                                                          | 87.50 ± 0.71                                                          |
| Glutamic acid | 0.03 ± 0.00                      | 83.50 ± 0.71                                                          | 93.50 ± 0.71                                                          | 76.50 ± 0.71                                                          |
| Glycine       | 0.02 ± 0.00                      | 39.50 ± 3.54                                                          | 58.50 ± 4.95                                                          | 33.50 ± 2.12                                                          |
| Histidine     | 0.04 ± 0.00                      | 85.00 ± 0.00                                                          | 85.50 ± 0.71                                                          | 82.00 ± 1.41                                                          |
| Arginine      | 0.04 ± 0.00                      | 1250.00 ± 253.14                                                      | 1310.50 ± 286.38                                                      | 1113.00 ± 299.81                                                      |
| Threonine     | 0.03 ± 0.00                      | 244.50 ± 2.12                                                         | 255.00 ± 1.41                                                         | 241.50 ± 0.71                                                         |
| Alanine       | 0.03 ± 0.00                      | 60.50 ± 3.54                                                          | 64.50 ± 4.95                                                          | 51.50 ± 3.54                                                          |
| Proline       | 0.05 ± 0.00                      | 114.00 ± 2.83                                                         | 118.00 ± 2.83                                                         | 107.50 ± 0.71                                                         |
| Cysteine      | 0.05 ± 0.00                      | 19.50 ± 0.71                                                          | 23.50 ± 0.71                                                          | 14.00 ± 0.00                                                          |
| Tyrosine      | 0.06 ± 0.00                      | 75.00 ± 1.41                                                          | 70.00 ± 2.83                                                          | 67.50 ± 0.71                                                          |
| Valine        | 0.03 ± 0.00                      | 76.50 ± 0.71                                                          | 66.00 ± 2.83                                                          | 76.50 ± 3.54                                                          |
| Methionine    | 0.06 ± 0.01                      | 58.50 ± 0.71                                                          | 71.50 ± 0.71                                                          | 50.00 ± 1.41                                                          |
| Lysine        | 0.04 ± 0.01                      | 146.00 ± 0.00                                                         | 148.50 ± 0.71                                                         | 117.50 ± 0.71                                                         |
| Isoleucine    | 0.04 ± 0.00                      | 59.50 ± 2.12                                                          | 52.00 ± 0.00                                                          | 60.50 ± 4.95                                                          |
| Leucine       | 0.03 ± 0.00                      | 166.50 ± 4.95                                                         | 148.00 ± 0.00                                                         | 175.50 ± 2.12                                                         |
| Phenylalanine | 0.06 ± 0.00                      | 108.00 ± 0.00                                                         | 108.00 ± 0.00                                                         | 93.00 ± 1.41                                                          |
| Total         | 0.63 ± 0.01                      | 2720.50 ± 253.85                                                      | 2817.00 ± 299.81                                                      | 2489.00 ± 291.33                                                      |

\* ปริมาณเอนไซม์ Flavourzyme® ที่ใช้ในสัปดาห์ที่ 2 มีปริมาณเท่ากับปริมาณที่ใช้ในการย่อยสลายตัวอย่างอื่นๆ

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในเอนไซม์ Flavourzyme® ในตารางที่ 4.81 – 4.83 พบว่าเอนไซม์ Flavourzyme® มีปริมาณกรดอะมิโนต่ำมาก (ปริมาณที่ใช้มีปริมาณเท่ากับปริมาณที่ใช้ในการย่อยสลายตัวอย่างอื่นๆ) ดังนั้น ปริมาณกรดอะมิโนในเอนไซม์จึงไม่มีผลต่อปริมาณการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากเนื้อหอย เป่าที่ชื้อ และจากการศึกษาผลของอุณหภูมิ และค่าความเป็นกรดต่าง ๆ ที่มีต่อปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้ จากส่วนเนื้อหอยเป่าที่ชื้อ เมื่อพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน พบว่าที่ pH 6.0 จะให้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงกว่า ที่ pH 5.0 และ 7.0 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็จะได้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยที่อุณหภูมิ 60°C จะให้ ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงสุดซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับระดับการย่อยสลาย (ตารางที่ 4.79) ทั้งนี้เป็น เพราะเมื่อมีการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ โปรตีนจะแตกตัวเป็นกรดอะมิโน และเมื่อการย่อยสลายเกิดมากขึ้นก็จะได้ ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นภาวะการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เป็นภาวะที่ให้ปริมาณ กรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงสุดในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าที่ชื้อซึ่งเป็นภาวะเดียวกับที่ให้ระดับการย่อย

สลายสูงสุดด้วย อย่างไรก็ตามภาวะที่มีระดับการย่อยสลายและปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงสุดไม่ได้หมายความว่า เป็นภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายเสมอไป เพราะถ้าเกิดการย่อยสลายมากเกินไปจะทำให้โปรตีนไฮโดรไลเซสที่ได้มีรส ขม ดังนั้นจึงพิจารณาถึงปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในภาวะการย่อยสลายต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรส (mg/100g sample) ในโปรตีนไฮโดรไลเซสที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าสั้ว ที่ย่อยโดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหอยที่อุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลเซสที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าสั้วในรูปที่ 4.18 พบว่าที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เป็นภาวะที่ให้กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสดีโดยมีกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าสั้วได้แก่ proline, alanine, glycine, serine, glutamic acid และ arginine ในปริมาณสูงกว่าภาวะการย่อยสลายอื่นๆ ภาวะ ส่วนกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ให้รสขมได้แก่ phenylalanine, leucine, isoleucine, valine และ tyrosine ก็มีในปริมาณสูงเช่นกัน แต่เมื่อเทียบปริมาณการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสดีจะพบว่ามีการเพิ่มที่สูงกว่ากรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีอยู่มาก ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าโปรตีนไฮโดรไลเซสที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าสั้วที่ได้จากการย่อยที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 จะมีกลิ่นรสดีกว่าภาวะการย่อยสลายอื่นๆ ภาวะ จึงเลือกภาวะในการย่อยสลายนี้นี้สำหรับการทดลองขั้นต่อไป

ในการทดลองไม่ได้ย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเป่าสั้วที่อุณหภูมิสูงกว่า 60°C เนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีนซึ่งถ้าย่อยที่อุณหภูมิสูงกว่าช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ (อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ Flavourzyme® อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 60°C) จะมีผลทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพธรรมชาติและสูญเสีย activity ไป

#### 4.4.2.2 เวลาที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเนื้อหอยเป่าสั้ว

จากการศึกษาอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่างๆ ที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเนื้อหอยเป่าสั้ว ได้เลือกภาวะในการย่อยสลายนี้นี้ที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 มาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป จากนั้นศึกษาผลของเวลาที่

ใช้ในการย่อยสลายเนื้อหอยเป่าของเอนไซม์ Flavourzyme<sup>®</sup> โดยแปรการย่อยสลายที่ 30, 60, 90, 120 และ 180 นาที วิเคราะห์ค่าต่างๆ ได้ผลดังนี้

#### 4.4.2.2.1 ระดับการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเป่า

จากการวิเคราะห์ระดับการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเป่า ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.84

**ตารางที่ 4.84** ระดับการย่อยสลาย (Degree of Hydrolysis; DH) ของเนื้อหอยเป่าที่ย่อยโดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme<sup>®</sup> ความเข้มข้น 1% ของน้ำหอยที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายต่างๆ

| เวลา (นาที) | ระดับการย่อยสลาย ; DH(%)  |
|-------------|---------------------------|
| 30          | 36.69 <sup>a</sup> ± 0.30 |
| 60          | 39.77 <sup>b</sup> ± 0.54 |
| 90          | 41.75 <sup>c</sup> ± 0.70 |
| 120         | 44.27 <sup>d</sup> ± 0.34 |
| 180         | 47.77 <sup>c</sup> ± 0.39 |

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ CRD พบว่าเวลามีผลต่อระดับการย่อยสลายของเนื้อหอยเป่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นระดับการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้น ที่เวลา 180 นาที จะให้ระดับการย่อยสลายสูงสุด

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้นจาก 30 เป็น 180 นาที ทำให้โปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่ามีระดับการย่อยสลายเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เอนไซม์สามารถย่อยสลายพันธะเพปไทด์ของโปรตีนได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sarabok และ Kittikun (1999) ที่ศึกษาเวลาการย่อยสลายน้ำนิ่งปลาทูน่าด้วยเอนไซม์ Alcalase<sup>®</sup> และ Neutrase<sup>®</sup> ที่เวลา 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120 และ 180 นาที พบว่าทั้งเอนไซม์ Alcalase<sup>®</sup> และ Neutrase<sup>®</sup> มีระดับการย่อยสลายแปรผันกับเวลา เมื่อย่อยสลายเป็นเวลา 180 นาที สามารถย่อยสลายน้ำนิ่งปลาทูน่าได้สูงสุด นอกจากนี้ Guerard และคณะ (2002) ศึกษาการย่อยสลายวัสดุเศษเหลือของปลาทูน่าด้วยเอนไซม์ Umamizyme พบว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเกิดอย่างรวดเร็วในช่วงต้น หลังจากนั้นปฏิกิริยาการย่อยสลายจะช้าลง และระดับการย่อยสลายจะแปรผันกับเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย

#### 4.4.2.2.2 ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่า

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่า ได้ผลดังตารางที่ 4.85 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายมากขึ้นก็จะได้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยที่เวลา 180 นาที จะให้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงสุดในโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่า ซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับระดับการย่อยสลาย (ตารางที่ 4.84) ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อมีการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ โปรตีนจะแตกตัวเป็นกรดอะมิโน และเมื่อการย่อยสลายเกิดมากขึ้นก็จะได้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดเพิ่มมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามควรพิจารณาถึงปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อกลิ่นรสและคุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่า จึงนำโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าไปวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส และแยกดูปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าต่อไป

**ตารางที่ 4.85** ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g) ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าฮื้อที่ย่อยโดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหนักรวม ที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายต่างๆ

| กรดอะมิโน     | ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) |               |               |               |               |
|---------------|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|               | 30 นาที                          | 60 นาที       | 90 นาที       | 120 นาที      | 180 นาที      |
| Aspartic acid | 27.67±0.58                       | 42.33±0.58    | 56.00±1.00    | 67.67±0.58    | 80.67±4.04    |
| Serine        | 59.33±1.15                       | 93.67±0.58    | 128.00±1.73   | 132.67±2.52   | 146.67±3.51   |
| Glutamic acid | 41.33±0.58                       | 85.67±3.21    | 154.33±6.43   | 153.67±3.06   | 153.67±3.51   |
| Glycine       | 39.67±0.58                       | 59.00±4.36    | 81.67±0.58    | 82.67±0.58    | 82.67±0.58    |
| Histidine     | 83.67±0.58                       | 87.67±0.58    | 158.00±6.00   | 184.00±2.00   | 212.67±1.53   |
| Arginine      | 983.00±1.00                      | 1066.67±1.53  | 1440.33±28.94 | 1391.00±4.58  | 1384.00±1.73  |
| Threonine     | 240.00±2.00                      | 250.67±1.53   | 571.33±0.58   | 544.00±3.61   | 520.67±0.58   |
| Alanine       | 58.67±1.15                       | 74.67±0.58    | 138.00±24.27  | 153.67±6.66   | 157.00±11.79  |
| Proline       | 7.33±4.62                        | 33.00±17.09   | 52.00±29.51   | 15.67±3.21    | 11.33±5.13    |
| Cysteine      | 40.00±1.00                       | 66.33±1.15    | 126.00±14.53  | 95.33±8.50    | 49.67±33.01   |
| Tyrosine      | 9.67±0.58                        | 12.67±0.58    | 15.67±1.53    | 104.00±2.00   | 151.33±5.13   |
| Valine        | 39.33±2.52                       | 58.67±1.53    | 82.67±12.01   | 162.67±1.15   | 185.67±17.93  |
| Methionine    | 44.33±4.73                       | 71.33±3.51    | 73.33±7.77    | 146.33±0.58   | 170.00±2.00   |
| Lysine        | 105.67±1.53                      | 109.33±0.58   | 158.00±1.00   | 205.67±0.58   | 263.00±1.00   |
| Isoleucine    | 26.67±0.58                       | 43.00±2.00    | 60.00±6.08    | 94.67±0.58    | 138.67±14.01  |
| Leucine       | 60.00±2.00                       | 146.67±0.58   | 151.67±4.51   | 241.33±16.17  | 472.00±1.00   |
| Phenylalanine | 48.00±2.00                       | 65.00±1.00    | 100.67±0.58   | 164.00±1.00   | 231.67±0.58   |
| Total         | 1914.33±9.71                     | 2366.33±25.03 | 3547.67±56.08 | 3939.00±28.93 | 4411.33±53.82 |

#### 4.4.2.2.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าฮื้อ

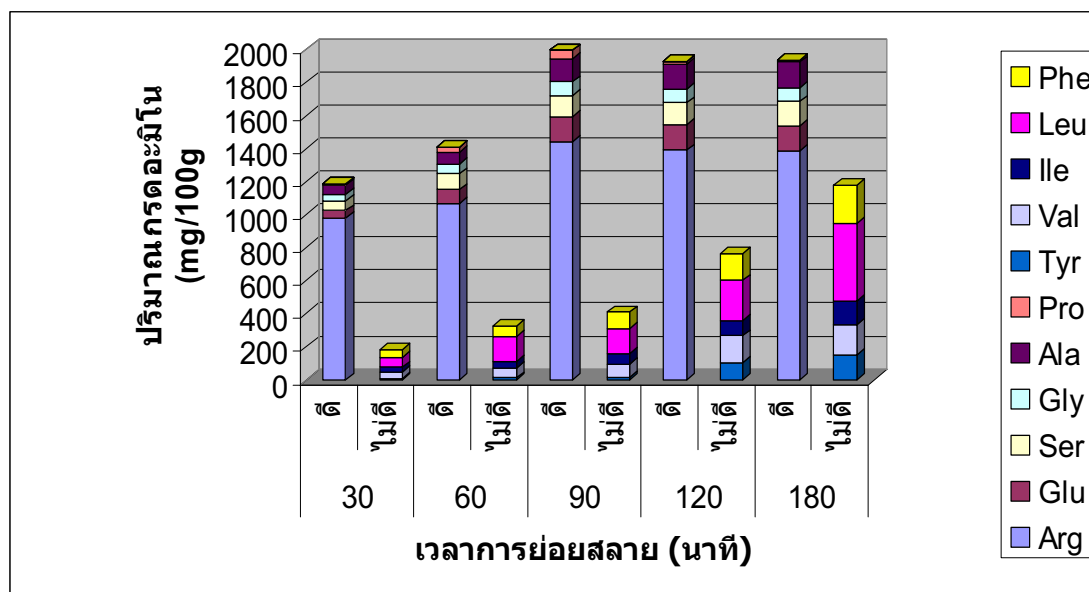
จากการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าฮื้อ โดยใช้แบบทดสอบชนิด Descriptive Analysis with Scoring คะแนน 1-5 โดยให้คะแนน 1 ไม่มีกลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อ และคะแนน 5 มีกลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบทั้งฝึกฝนจำนวน 10 คน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.86

**ตารางที่ 4.86** คะแนนด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าฮื้อที่ย่อยโดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหนักรวม ที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายต่างๆ

| เวลา (นาที) | คะแนนด้านกลิ่นรส         |
|-------------|--------------------------|
| 30          | 2.30 <sup>a</sup> ± 0.79 |
| 60          | 3.80 <sup>c</sup> ± 0.85 |
| 90          | 4.43 <sup>d</sup> ± 0.97 |
| 120         | 3.10 <sup>b</sup> ± 0.84 |
| 180         | 2.27 <sup>a</sup> ± 0.98 |

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) พบว่าเวลาที่มีผลต่อคะแนนด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอ้อมีความสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นเวลา 90 นาที พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอ้อมีคะแนนด้านกลิ่นรสสูงที่สุด ซึ่งผลการทดลองที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองในตารางที่ 4.85 คือ เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นเวลา 180 นาที พบว่าจะให้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงสุดในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอ้อม จากนั้นจึงวิเคราะห์ดูปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอ้อม เพื่อตัดสินใจเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเป่าอ้อม ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรส (mg/100g sample) ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอ้อมที่ย่อยโดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหอยที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายต่างๆ

เมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเนื้อหอยเป่าอ้อมในรูปที่ 4.19 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายมากขึ้นจะได้กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ให้รสขมในปริมาณมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเป่าอ้อม โดยพบว่าเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายเนื้อหอยเป่าอ้อมเป็นเวลา 90 นาที จะได้กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสดีซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าอ้อม ได้แก่ proline, alanine, glycine, serine, glutamic acid และ arginine ในปริมาณสูงสุด ส่วนกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ให้รสขม ได้แก่ phenylalanine, leucine, Isoleucine, valine และ tyrosine ก็ไม่ได้มีในปริมาณสูงเกินไป ดังนั้นจึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอ้อมมีคะแนนด้านกลิ่นรสสูงที่สุดเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลาย 90 นาที จึงเลือกเวลาในการย่อยสลายนี้นำมาใช้ในการผลิตเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอ้อมต่อไป Hill (1965) รายงานว่าในการย่อยสลายโปรตีน กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสดีซึ่งเป็นพวก hydrophilic amino acids จะถูกย่อยสลายออกมาได้ง่ายกว่ากรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีซึ่งเป็นพวก hydrophobic amino acids จึงทำให้กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสดีถูกย่อยสลายออกมาได้ก่อน เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีจะถูกย่อยสลายตามออกมาเนื่องจากกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า และมี side chains ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการย่อยสลาย ในงานทดลองนี้จึงอาจเป็นไปได้ว่าเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายเนื้อหอยเป่าอ้อมต่ำกว่า 90 นาที กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสดีอาจมีในปริมาณต่ำเกินไป โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอ้อมจึงมีคะแนนด้านกลิ่นรสไม่ดีพอ ต่อมาเมื่อเพิ่มเวลาใน

การย่อยสลายเป็น 90 นาที ทำให้กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสดีมีปริมาณมากขึ้น โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จึงมีคะแนนด้านกลิ่นรสสูงขึ้น แต่เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายเพิ่มมากกว่า 90 นาที ทำให้กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีย่อยสลายออกมามากขึ้น โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จึงมีคะแนนด้านกลิ่นรสลดลง ผลดังกล่าวนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับทฤษฎีของ Schrodter และ Wolm (1980) ซึ่งได้อธิบายไว้ว่าเมื่อการย่อยสลายโปรตีนเกิดมากขึ้น ทำให้กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีได้แก่ tryptophan, tyrosine, phenylalanine, valine, leucine และ isoleucine ถูกย่อยสลายออกมามากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นรสไม่ดี

#### 4.4.3 ปัจจัยที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเครื่องในหอยเป่าฮื้อ

##### 4.4.3.1 อุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเครื่องในหอยเป่าฮื้อ

ผลของอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่างที่ใช้ในการย่อยเครื่องในหอยเป่าฮื้อโดย Flavourzyme® เมื่อแปรอุณหภูมิการย่อยที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C และที่ pH 5.0, 6.0 และ 7.0 วิเคราะห์ค่าต่างๆ ได้ผลดังนี้

##### 4.4.3.1.1 ระดับการย่อยสลายโปรตีนในเครื่องในหอยเป่าฮื้อ

จากการวิเคราะห์ระดับการย่อยสลายโปรตีนในเครื่องในหอยเป่าฮื้อ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.87 จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Symmetric Factorial Design ขนาด 3X3 พบว่าอุณหภูมิและ pH มีผลต่อระดับการย่อยสลายของเครื่องในหอยเป่าฮื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่อิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ และ pH ไม่มีผลต่อระดับการย่อยสลายของเครื่องในหอยเป่าฮื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) จึงวิเคราะห์ข้อมูลโดยแยกปัจจัย โดยเมื่อพิจารณาที่ระดับ pH เดียวกัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ระดับการย่อยสลายก็จะเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 60°C จะให้ระดับการย่อยสลายสูงสุด เมื่อพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน พบว่าที่ pH 6.0 จะให้ระดับการย่อยสลายสูงสุด ดังนั้นภาวะการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เป็นภาวะที่ให้ระดับการย่อยสลายสูงสุดคือ ประมาณ 44% ซึ่งภาวะที่ได้ (อุณหภูมิ 60°C pH 6.0) เป็นภาวะเดียวกับที่ใช้ในการย่อยสลายเนื้อหอยเป่าฮื้อ

**ตารางที่ 4.87** ระดับการย่อยสลาย (Degree of Hydrolysis; DH) ของเครื่องในหอยเป่าฮื้อที่ย่อย โดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหนักหอย ที่อุณหภูมิและ ค่าความเป็นกรดต่างต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

| อุณหภูมิ (°C) | ระดับการย่อยสลาย ; DH (%)  |                            |                            |
|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|               | pH 5.0                     | pH 6.0                     | pH 7.0                     |
| 40            | 27.42 <sup>Ba</sup> ± 0.18 | 30.85 <sup>Ca</sup> ± 0.86 | 25.25 <sup>Aa</sup> ± 0.62 |
| 50            | 34.96 <sup>Ab</sup> ± 0.95 | 38.17 <sup>Bb</sup> ± 0.71 | 33.29 <sup>Ab</sup> ± 0.06 |
| 60            | 41.04 <sup>Bc</sup> ± 0.58 | 44.48 <sup>Cc</sup> ± 1.50 | 37.43 <sup>Ac</sup> ± 0.16 |

A,B,C ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

a,b,c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันตามแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

จากผลการทดลองจะเห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการย่อยสลายจาก 40 เป็น 60°C และการปรับ pH เป็น 6.0 ทำให้โปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีระดับการย่อยสลายเพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลในข้อ 4.4.2.1.1

เมื่อปรับ pH เป็น 6.0 พบว่าระดับการย่อยสลายของโปรตีนไฮโดรไลเซตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นค่า pH เดียวกับการย่อยสลายโปรตีนในส่วนของเนื้อหอยเป่าฮื้อ

#### 4.4.3.1.2 ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่า

ก่อนวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่า ได้เริ่มดำเนินการทดลองโดยการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในตัวอย่างเครื่องในหอยเป่า โดยใช้เครื่องในหอยเป่าที่ใช้น้ำสกัดเป็นตัวอย่างควบคุมที่ 1 และใช้เครื่องในหอยเป่าที่ใช้น้ำที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 ในการสกัดเป็นตัวอย่างควบคุมที่ 2 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.88 จากนั้นจึงวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่า ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.89 – 4.91

ตารางที่ 4.88 ปริมาณกรดอะมิโนในตัวอย่างเครื่องในหอยเป่า

| กรดอะมิโน     | ตัวอย่างควบคุมที่ 1* | ตัวอย่างควบคุมที่ 2** |
|---------------|----------------------|-----------------------|
| Aspartic acid | 4.50 ± 0.71          | 6.50 ± 0.71           |
| Serine        | 4.50 ± 0.71          | 8.50 ± 0.71           |
| Glutamic acid | 14.00 ± 1.41         | 19.50 ± 2.12          |
| Glycine       | 4.50 ± 0.71          | 8.50 ± 0.71           |
| Histidine     | 0.50 ± 0.71          | 1.00 ± 0.00           |
| Arginine      | 249.50 ± 4.95        | 265.50 ± 2.12         |
| Threonine     | 23.50 ± 0.71         | 26.50 ± 2.12          |
| Alanine       | 4.50 ± 0.71          | 6.00 ± 0.00           |
| Proline       | 1.50 ± 0.71          | 3.50 ± 0.71           |
| Cysteine      | 0.00 ± 0.00          | 0.00 ± 0.00           |
| Tyrosine      | 0.40 ± 0.14          | 0.50 ± 0.00           |
| Valine        | 0.50 ± 0.71          | 1.00 ± 0.00           |
| Methionine    | 0.15 ± 0.21          | 0.45 ± 0.07           |
| Lysine        | 1.50 ± 0.71          | 3.50 ± 0.71           |
| Isoleucine    | 0.50 ± 0.00          | 0.75 ± 0.35           |
| Leucine       | 1.00 ± 0.00          | 1.50 ± 0.71           |
| Phenylalanine | 1.00 ± 0.00          | 1.50 ± 0.71           |
| Total         | 312.05 ± 7.14        | 354.70 ± 1.84         |

\* ตัวอย่างควบคุมที่ 1 คือ เครื่องในหอยเป่าที่ใช้น้ำสกัด

\*\* ตัวอย่างควบคุมที่ 2 คือ เครื่องในหอยเป่าที่ใช้น้ำสกัดที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในตัวอย่างควบคุมที่ 1 และ ตัวอย่างควบคุมที่ 2 ของเครื่องในหอยเป่า ในตารางที่ 4.88 พบว่า ตัวอย่างควบคุมที่ 1 มีปริมาณกรดอะมิโนต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมที่ 2 ไม่มากนัก ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการย่อยสลายโปรตีนในเนื้อหอยเป่า

ตารางที่ 4.89 ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าสัที่ข่อยโดย  
ใช้เอนไซม์ Flavourzyme<sup>®</sup> ความเข้มข้น 1% ของน้ำหั่นหอย ที่อุณหภูมิ 40°C และที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ เป็นเวลา 1  
ชั่วโมง

| กรดอะมิโน     | ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) |                                                     |                                                     |                                                     |
|---------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|               | เอนไซม์*                         | โปรตีนไฮโดรไลเสต                                    | โปรตีนไฮโดรไลเสต                                    | โปรตีนไฮโดรไลเสต                                    |
|               | Flavourzyme <sup>®</sup>         | ที่ได้จากส่วนเครื่อง<br>ในหอยเป่าสัที่ค่า<br>pH 5.0 | ที่ได้จากส่วนเครื่อง<br>ในหอยเป่าสัที่ค่า pH<br>6.0 | ที่ได้จากส่วนเครื่อง<br>ในหอยเป่าสัที่ค่า pH<br>7.0 |
| Aspartic acid | 0.00 ± 0.00                      | 56.00 ± 0.00                                        | 62.00 ± 0.00                                        | 49.00 ± 1.41                                        |
| Serine        | 0.03 ± 0.00                      | 50.00 ± 5.66                                        | 60.00 ± 8.49                                        | 46.00 ± 0.00                                        |
| Glutamic acid | 0.03 ± 0.00                      | 69.00 ± 1.41                                        | 88.00 ± 2.83                                        | 68.00 ± 0.00                                        |
| Glycine       | 0.02 ± 0.00                      | 55.00 ± 1.41                                        | 66.00 ± 0.00                                        | 41.50 ± 0.71                                        |
| Histidine     | 0.04 ± 0.00                      | 28.00 ± 0.00                                        | 33.50 ± 3.54                                        | 28.00 ± 0.00                                        |
| Arginine      | 0.04 ± 0.00                      | 404.50 ± 0.71                                       | 707.50 ± 0.71                                       | 309.50 ± 9.19                                       |
| Threonine     | 0.03 ± 0.00                      | 49.00 ± 9.90                                        | 53.00 ± 9.90                                        | 47.50 ± 0.71                                        |
| Alanine       | 0.03 ± 0.00                      | 39.50 ± 0.71                                        | 50.00 ± 0.00                                        | 35.00 ± 1.41                                        |
| Proline       | 0.05 ± 0.00                      | 41.00 ± 4.24                                        | 47.00 ± 4.24                                        | 37.00 ± 1.41                                        |
| Cysteine      | 0.05 ± 0.00                      | 17.50 ± 0.71                                        | 18.50 ± 0.71                                        | 18.00 ± 0.00                                        |
| Tyrosine      | 0.06 ± 0.00                      | 25.50 ± 0.71                                        | 27.50 ± 0.71                                        | 27.00 ± 0.00                                        |
| Valine        | 0.03 ± 0.00                      | 42.50 ± 0.71                                        | 50.00 ± 0.00                                        | 40.50 ± 0.71                                        |
| Methionine    | 0.06 ± 0.01                      | 22.00 ± 0.00                                        | 23.50 ± 0.71                                        | 20.50 ± 0.71                                        |
| Lysine        | 0.04 ± 0.01                      | 56.00 ± 0.00                                        | 62.00 ± 0.00                                        | 53.50 ± 0.71                                        |
| Isoleucine    | 0.04 ± 0.00                      | 22.00 ± 0.00                                        | 23.50 ± 0.71                                        | 20.50 ± 0.71                                        |
| Leucine       | 0.03 ± 0.00                      | 46.00 ± 0.00                                        | 41.50 ± 0.71                                        | 45.50 ± 0.71                                        |
| Phenylalanine | 0.06 ± 0.00                      | 23.00 ± 1.41                                        | 22.50 ± 0.71                                        | 21.50 ± 2.12                                        |
| Total         | 0.63 ± 0.01                      | 1046.50 ± 16.26                                     | 1436.00 ± 25.46                                     | 908.50 ± 0.71                                       |

\* ปริมาณเอนไซม์ Flavourzyme<sup>®</sup> ที่ใช้ในสคมภ์ที่ 2 มีปริมาณเท่ากับปริมาณที่ใช้ในการย่อยสลายตัวอย่างอื่นๆ

ตารางที่ 4.90 ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าที่ย่อย โดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme<sup>®</sup> ความเข้มข้น 1% ของน้ำหอยที่อุณหภูมิ 50°C และที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

| กรดอะมิโน     | ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample)     |                        |                        |                        |
|---------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|               | เอนไซม์*<br>Flavourzyme <sup>®</sup> | โปรตีนไฮโดรไลเสต       | โปรตีนไฮโดรไลเสต       | โปรตีนไฮโดรไลเสต       |
|               |                                      | ที่ได้จากส่วนเครื่อง   | ที่ได้จากส่วนเครื่อง   | ที่ได้จากส่วนเครื่อง   |
|               |                                      | ในหอยเป่าที่ค่า pH 5.0 | ในหอยเป่าที่ค่า pH 6.0 | ในหอยเป่าที่ค่า pH 7.0 |
| Aspartic acid | 0.00 ± 0.00                          | 67.00 ± 7.07           | 80.00 ± 0.00           | 67.00 ± 2.83           |
| Serine        | 0.03 ± 0.00                          | 67.50 ± 7.78           | 74.00 ± 0.00           | 66.00 ± 8.49           |
| Glutamic acid | 0.03 ± 0.00                          | 95.00 ± 1.41           | 121.50 ± 0.71          | 93.00 ± 1.41           |
| Glycine       | 0.02 ± 0.00                          | 71.00 ± 21.21          | 76.50 ± 19.09          | 66.50 ± 17.68          |
| Histidine     | 0.04 ± 0.00                          | 33.50 ± 3.54           | 42.00 ± 2.83           | 36.50 ± 3.54           |
| Arginine      | 0.04 ± 0.00                          | 740.50 ± 0.71          | 764.50 ± 0.71          | 710.50 ± 30.41         |
| Threonine     | 0.03 ± 0.00                          | 59.00 ± 9.90           | 65.00 ± 9.90           | 57.00 ± 9.90           |
| Alanine       | 0.03 ± 0.00                          | 60.00 ± 8.49           | 74.00 ± 8.49           | 54.00 ± 0.00           |
| Proline       | 0.05 ± 0.00                          | 58.50 ± 20.51          | 58.00 ± 19.80          | 51.50 ± 17.68          |
| Cysteine      | 0.05 ± 0.00                          | 18.50 ± 0.71           | 18.50 ± 0.71           | 19.50 ± 0.71           |
| Tyrosine      | 0.06 ± 0.00                          | 31.00 ± 0.00           | 33.50 ± 0.71           | 32.50 ± 0.71           |
| Valine        | 0.03 ± 0.00                          | 54.50 ± 0.71           | 64.00 ± 2.83           | 53.50 ± 0.71           |
| Methionine    | 0.06 ± 0.01                          | 23.50 ± 0.71           | 24.50 ± 0.71           | 23.00 ± 0.00           |
| Lysine        | 0.04 ± 0.01                          | 67.50 ± 0.71           | 90.00 ± 0.00           | 72.00 ± 0.00           |
| Isoleucine    | 0.04 ± 0.00                          | 26.00 ± 0.00           | 27.50 ± 3.54           | 26.00 ± 0.00           |
| Leucine       | 0.03 ± 0.00                          | 45.50 ± 0.71           | 62.00 ± 0.00           | 63.50 ± 0.71           |
| Phenylalanine | 0.06 ± 0.00                          | 23.50 ± 0.71           | 30.50 ± 3.54           | 30.50 ± 2.12           |
| Total         | 0.63 ± 0.01                          | 1542.00 ± 79.20        | 1706.00 ± 55.15        | 1522.50 ± 94.05        |

\* ปริมาณเอนไซม์ Flavourzyme<sup>®</sup> ที่ใช้ในสคมภ์ที่ 2 มีปริมาณเท่ากับปริมาณที่ใช้ในการย่อยสลายตัวอย่างอื่นๆ

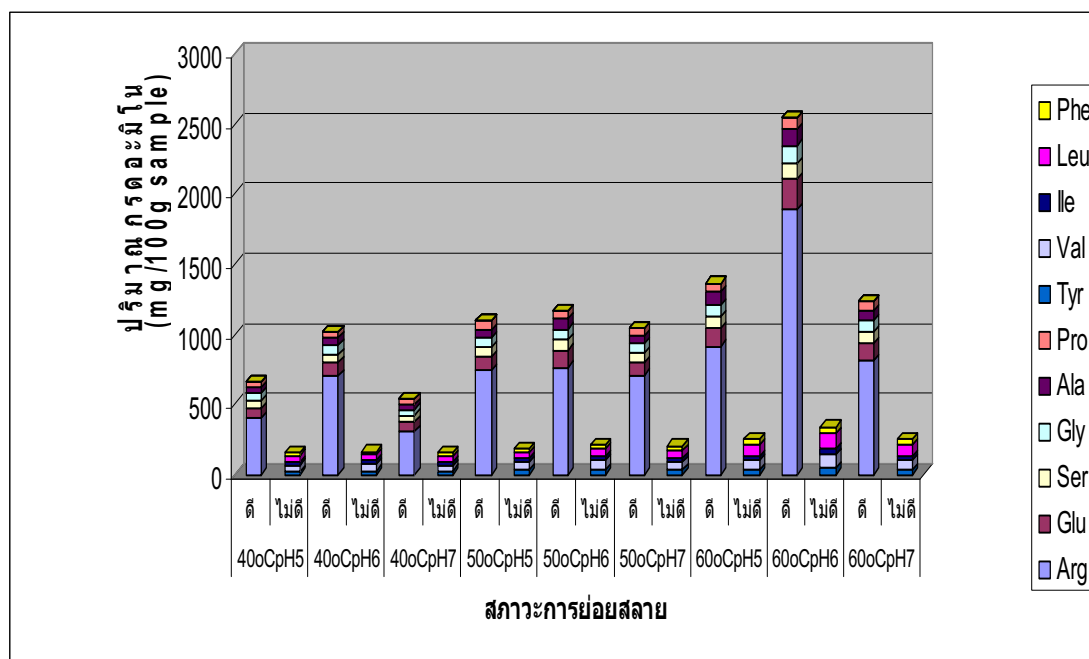
ตารางที่ 4.91 ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าสัที่ข่อยโดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหอยที่อุณหภูมิ 60°C และที่ค่าความเป็นกรดต่างๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

| กรดอะมิโน     | ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) |                                                                  |                                                                  |                                                                  |
|---------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|               | เอนไซม์*<br>Flavourzyme®         | โปรตีนไฮโดรไลเสต<br>ที่ได้จากส่วนเครื่อง<br>ในหอยเป่าสัที่ค่า pH | โปรตีนไฮโดรไลเสต<br>ที่ได้จากส่วนเครื่อง<br>ในหอยเป่าสัที่ค่า pH | โปรตีนไฮโดรไลเสต<br>ที่ได้จากส่วนเครื่อง<br>ในหอยเป่าสัที่ค่า pH |
|               |                                  | 5.0                                                              | 6.0                                                              | 7.0                                                              |
| Aspartic acid | 0.00 ± 0.00                      | 76.00 ± 0.00                                                     | 128.50 ± 0.71                                                    | 92.00 ± 2.83                                                     |
| Serine        | 0.03 ± 0.00                      | 79.00 ± 4.24                                                     | 110.00 ± 0.00                                                    | 75.00 ± 7.07                                                     |
| Glutamic acid | 0.03 ± 0.00                      | 135.00 ± 7.07                                                    | 210.00 ± 0.00                                                    | 124.00 ± 16.97                                                   |
| Glycine       | 0.02 ± 0.00                      | 82.00 ± 14.14                                                    | 134.00 ± 7.07                                                    | 81.00 ± 21.21                                                    |
| Histidine     | 0.04 ± 0.00                      | 43.50 ± 3.54                                                     | 58.00 ± 0.00                                                     | 43.50 ± 3.54                                                     |
| Arginine      | 0.04 ± 0.00                      | 913.00 ± 1.41                                                    | 1891.00 ± 1.41                                                   | 813.00 ± 0.00                                                    |
| Threonine     | 0.03 ± 0.00                      | 75.00 ± 24.04                                                    | 91.00 ± 4.24                                                     | 73.00 ± 9.90                                                     |
| Alanine       | 0.03 ± 0.00                      | 88.00 ± 16.97                                                    | 121.00 ± 18.38                                                   | 78.00 ± 16.97                                                    |
| Proline       | 0.05 ± 0.00                      | 66.00 ± 22.63                                                    | 74.00 ± 22.63                                                    | 63.00 ± 24.04                                                    |
| Cysteine      | 0.05 ± 0.00                      | 20.00 ± 0.00                                                     | 21.50 ± 0.71                                                     | 19.00 ± 0.00                                                     |
| Tyrosine      | 0.06 ± 0.00                      | 37.50 ± 0.71                                                     | 52.00 ± 0.00                                                     | 36.50 ± 0.71                                                     |
| Valine        | 0.03 ± 0.00                      | 64.00 ± 2.83                                                     | 92.00 ± 2.83                                                     | 66.00 ± 2.83                                                     |
| Methionine    | 0.06 ± 0.01                      | 26.00 ± 1.41                                                     | 27.50 ± 2.12                                                     | 26.00 ± 1.41                                                     |
| Lysine        | 0.04 ± 0.01                      | 92.00 ± 0.00                                                     | 127.50 ± 2.12                                                    | 90.00 ± 0.00                                                     |
| Isoleucine    | 0.04 ± 0.00                      | 28.50 ± 2.12                                                     | 40.00 ± 2.83                                                     | 30.00 ± 4.24                                                     |
| Leucine       | 0.03 ± 0.00                      | 82.00 ± 0.00                                                     | 112.00 ± 2.83                                                    | 80.00 ± 0.00                                                     |
| Phenylalanine | 0.06 ± 0.00                      | 35.50 ± 2.12                                                     | 45.00 ± 0.00                                                     | 36.00 ± 0.00                                                     |
| Total         | 0.63 ± 0.01                      | 1943.00 ± 91.92                                                  | 3335.00 ± 49.50                                                  | 1826.00 ± 90.51                                                  |

\* ปริมาณเอนไซม์ Flavourzyme® ที่ใช้ในสคมภ์ที่ 2 มีปริมาณเท่ากับปริมาณที่ใช้ในการย่อยสลายตัวอย่างอื่นๆ

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในเอนไซม์ Flavourzyme® ในตารางที่ 4.89 – 4.91 พบว่าเอนไซม์ Flavourzyme® มีปริมาณกรดอะมิโนต่ำมาก (ปริมาณที่ใช้มีปริมาณเท่ากับปริมาณที่ใช้ในการย่อยสลายตัวอย่างอื่นๆ) ดังนั้นปริมาณกรดอะมิโนในเอนไซม์จึงไม่มีผลต่อปริมาณการเพิ่มขึ้นของกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าสั และจากการศึกษาผลของอุณหภูมิ และค่าความเป็นกรดค่าที่มีต่อปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าสั เมื่อพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน พบว่าที่ pH 6.0 จะให้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงกว่าที่ pH 5.0 และ 7.0 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็จะได้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยที่อุณหภูมิ 60°C จะให้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงสุดซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับระดับการย่อยสลาย (ตารางที่ 4.87)

ทั้งนี้เพราะเมื่อมีการย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ โปรตีนจะแตกตัวเป็นกรดอะมิโน และเมื่อการย่อยสลายเกิดมากขึ้น ก็จะได้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นภาวะการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เป็นภาวะที่ทำให้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงสุดในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าซึ่งเป็นภาวะเดียวกับที่ทำให้ระดับการย่อยสลายสูงสุดด้วย อย่างไรก็ตามภาวะที่มีระดับการย่อยสลายและปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงสุดไม่ได้หมายความว่า เป็นภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสลายเสมอไป เพราะถ้าเกิดการย่อยสลายมากเกินไปจะทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้มีรสขม ดังนั้นจึงพิจารณาถึงปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในภาวะการย่อยสลายต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.20 เช่นเดียวกับที่ทำในส่วนเนื้อหอยเป่า



รูปที่ 4.20 ปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรส (mg/100g sample) ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าซึ่งย่อยโดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหนักรวมของเนื้อหอยเป่าที่อุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่าง ๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าซึ่งย่อยในรูปที่ 4.20 พบว่าที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เป็นภาวะที่ทำให้กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสดีซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าซึ่งได้แก่ proline, alanine, glycine, serine, glutamic acid และ arginine ในปริมาณสูงกว่าภาวะการย่อยสลายอื่นๆ ภาวะอย่างเห็นได้ชัด ส่วนกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ให้รสขมได้แก่ phenylalanine, leucine, isoleucine, valine และ tyrosine ก็มีในปริมาณไม่ค้อย่างจากภาวะการย่อยสลายอื่นๆ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าซึ่งย่อยที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 จะมีกลิ่นรสดีกว่าที่ภาวะการย่อยสลายอื่นๆ ภาวะ จึงเลือกภาวะในการย่อยสลายนี้อย่างชัดเจนสำหรับการทดลองต่อไป ซึ่งภาวะที่เลือก (อุณหภูมิ 60°C pH 6.0) เป็นภาวะเดียวกับที่ใช้ในการย่อยสลายเนื้อหอยเป่า

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อ (ตารางที่ 4.81 – 4.83) และส่วนเครื่องในหอยเป่า (ตารางที่ 4.89 – 4.91) ที่ได้จากการย่อยที่อุณหภูมิและค่าความเป็นกรดต่างๆ พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าซึ่งย่อยจะมีปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงกว่าส่วนเนื้อหอยเป่าซึ่งย่อยทุกภาวะการ

ย่อย ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากในส่วนเครื่องในหอยเป่ามีปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมด (449.50 mg/100g sample) สูงกว่าในส่วนเนื้อหอยเป่า (314.75 mg/100g sample) ดังแสดงในตารางที่ 4.78 นอกจากนี้ในส่วนเครื่องในหอยเป่ายังมีค่าระดับการย่อยสลายสูงกว่าในเนื้อหอยเป่าทุกภาวะการย่อยสลาย ดังแสดงในตารางที่ 4.79 และ 4.87 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อ (รูปที่ 4.18) และส่วนเครื่องในหอยเป่า (รูปที่ 4.20) ที่ได้จากการย่อยที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 ซึ่งเป็นภาวะที่เลือกเพื่อใช้ในการย่อยสลายในส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในหอยเป่าสำหรับการทดลองต่อไป พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่ามีปริมาณกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสดี ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่า ได้แก่ proline, alanine, glycine, serine, glutamic acid และ arginine ในปริมาณสูงกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่า ส่วนกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ทำให้รสขม ได้แก่ phenylalanine, leucine, isoleucine, valine และ tyrosine ก็มีในปริมาณไม่ต่างกัน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าจะมีกลิ่นรสดีกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่า

#### 4.4.3.2 เวลาที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเครื่องในหอยเป่า

จากการศึกษาอุณหภูมิและค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมของเอนไซม์ Flavourzyme® ต่อการย่อยโปรตีนในเครื่องในหอยเป่า ได้เลือกภาวะในการย่อยสลายที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 มาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป จากนั้นศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายเครื่องในหอยเป่าของเอนไซม์ Flavourzyme® โดยแปรการย่อยสลายที่ 30, 60, 90, 120 และ 180 นาที วิเคราะห์ค่าต่างๆ ได้ผลดังนี้

##### 4.4.3.2.1 ระดับการย่อยสลายโปรตีนในเครื่องในหอยเป่า

การวิเคราะห์ระดับการย่อยสลายโปรตีนในเครื่องในหอยเป่า แสดงดังตารางที่ 4.92 จากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Completely Randomized Design (CRD) พบว่าเวลามีผลต่อระดับการย่อยสลายของเครื่องในหอยเป่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ระดับการย่อยสลายก็จะเพิ่มขึ้น โดยที่เวลา 180 นาที จะให้ระดับการย่อยสลายสูงสุด

จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายเพิ่มมากขึ้นจาก 30 เป็น 180 นาที ทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่ามีระดับการย่อยสลายเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เอนไซม์สามารถย่อยสลายพันธะเพปไทด์ของโปรตีนได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

**ตารางที่ 4.92** ระดับการย่อยสลาย (Degree of Hydrolysis ; DH) ของเครื่องในหอยเป่าที่ย่อยโดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหนักหอย ที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายต่างๆ

| เวลา (นาที) | ระดับการย่อยสลาย ; DH(%)  |
|-------------|---------------------------|
| 30          | 41.05 <sup>a</sup> ± 0.17 |
| 60          | 44.24 <sup>b</sup> ± 0.90 |
| 90          | 46.31 <sup>c</sup> ± 0.09 |
| 120         | 49.05 <sup>d</sup> ± 0.46 |
| 180         | 52.89 <sup>e</sup> ± 0.22 |

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

#### 4.4.3.2.2 ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่า

จากการศึกษาผลของเวลาที่มีต่อปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่า ในตารางที่ 4.93 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายมากขึ้นก็จะได้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยที่เวลา 180 นาที จะให้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงสุดในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในหอยเป่า ซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับระดับการย่อยสลาย (ตารางที่ 4.92) ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ โปรตีนจะแตกตัวเป็นกรดอะมิโน อย่างไรก็ตามควรพิจารณาถึงปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อกลิ่นรสและคุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในหอยเป่าด้วย จึงนำโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในหอยเป่าไปวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส และแยกดูปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในหอยเป่าต่อไป ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อ (ตารางที่ 4.85) และส่วนเครื่องในหอยเป่า (ตารางที่ 4.93) ที่ได้จากการย่อยที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายต่างๆ พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าจะมีปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าทุกเวลาการย่อยสลาย ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากในส่วนเครื่องในหอยเป่ามีปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมด (449.50 mg/100g) สูงกว่าในส่วนเนื้อหอยเป่า (314.75 mg/100g) (ตารางที่ 4.78) นอกจากนี้ในส่วนเครื่องในหอยเป่ายังมีค่าระดับการย่อยสลายสูงกว่าในส่วนเนื้อหอยเป่าทุกเวลาการย่อยสลาย (ตารางที่ 4.84 และ 4.92 ตามลำดับ)

**ตารางที่ 4.93** ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าที่ย่อยโดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหนักหอย ที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายต่างๆ

| กรดอะมิโน     | ปริมาณกรดอะมิโน (mg/100g sample) |               |              |               |               |
|---------------|----------------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
|               | 30 นาที                          | 60 นาที       | 90 นาที      | 120 นาที      | 180 นาที      |
| Aspartic acid | 69.67±1.53                       | 136.67±0.58   | 226.67±0.58  | 230.00±3.00   | 272.67±3.51   |
| Serine        | 73.67±2.31                       | 161.00±8.72   | 167.00±2.00  | 173.33±0.58   | 180.67±1.53   |
| Glutamic acid | 153.67±10.69                     | 205.67±6.66   | 220.00±11.27 | 213.67±0.58   | 154.33±3.06   |
| Glycine       | 73.00±2.00                       | 135.67±1.53   | 139.00±1.00  | 134.00±2.00   | 130.67±13.80  |
| Histidine     | 35.33±0.58                       | 53.33±1.53    | 139.00±1.00  | 176.00±2.00   | 180.67±1.53   |
| Arginine      | 973.00±2.00                      | 1847.00±1.73  | 2067.00±2.00 | 2052.67±0.58  | 1993.33±3.06  |
| Threonine     | 44.33±2.52                       | 71.33±0.58    | 154.33±0.58  | 88.00±2.00    | 75.33±0.58    |
| Alanine       | 73.67±2.31                       | 154.67±2.52   | 167.00±2.00  | 176.00±2.00   | 175.33±0.58   |
| Proline       | 42.33±1.53                       | 66.00±9.54    | 67.00±2.00   | 74.33±3.21    | 76.67±2.08    |
| Cysteine      | 26.67±1.53                       | 47.67±1.53    | 138.33±0.58  | 134.00±2.00   | 114.67±2.52   |
| Tyrosine      | 25.33±0.58                       | 47.00±1.73    | 130.00±2.00  | 133.33±3.06   | 164.67±0.58   |
| Valine        | 47.33±0.58                       | 54.00±1.73    | 103.33±3.51  | 158.33±0.58   | 181.67±0.58   |
| Methionine    | 22.33±2.52                       | 25.67±0.58    | 28.33±2.08   | 33.33±2.08    | 45.33±1.53    |
| Lysine        | 95.67±0.58                       | 166.00±1.00   | 228.67±3.79  | 233.33±0.58   | 236.33±3.51   |
| Isoleucine    | 34.00±2.65                       | 47.67±1.53    | 67.00±2.00   | 87.33±2.31    | 141.00±1.00   |
| Leucine       | 92.67±4.93                       | 146.00±16.46  | 230.00±6.08  | 263.00±1.73   | 290.33±3.51   |
| Phenylalanine | 27.67±1.53                       | 32.00±2.00    | 37.67±0.58   | 72.67±0.58    | 101.33±0.58   |
| Total         | 1910.33±10.50                    | 3397.33±11.93 | 4310.33±4.73 | 4433.33±14.19 | 4515.00±20.95 |

#### 4.4.3.2.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากเครื่องในหอยเป่าฮื้อ

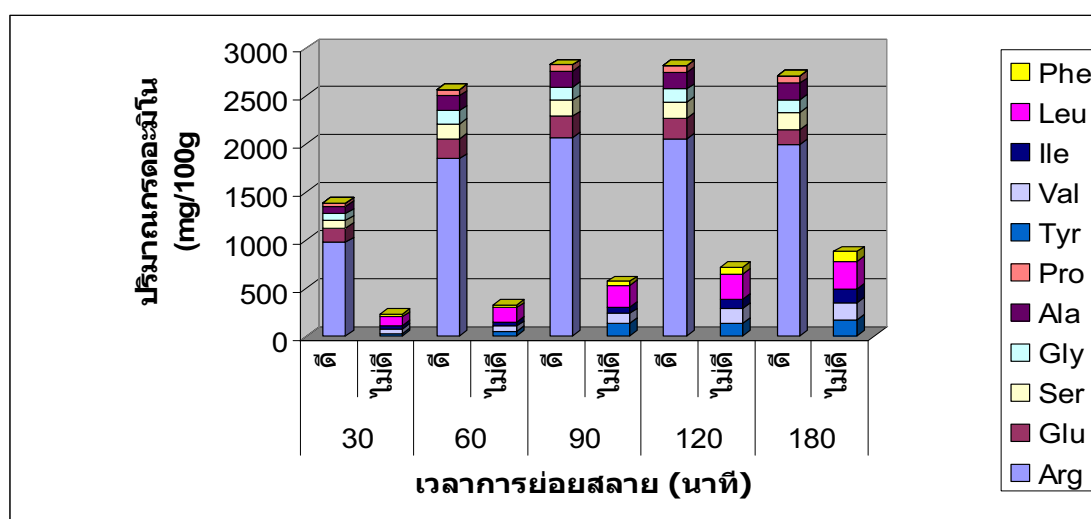
จากการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อ ใช้แบบทดสอบชนิด Descriptive Analysis with Scoring คะแนน 1-5 โดยให้คะแนน 1 ไม่มีกลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อ และคะแนน 5 มีกลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบทั้งฝึกฝนจำนวน 10 คน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.94

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าเวลาที่มีผลต่อคะแนนด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นเวลา 60 นาที พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีคะแนนด้านกลิ่นรสสูงที่สุด (เวลาที่เลือกใช้สำหรับเนื้อหอยเป่าฮื้อคือ 90 นาที) ซึ่งผลการทดลองที่ได้ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองในตารางที่ 4.93 คือ เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นเวลา 180 นาที พบว่าจะให้ปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมดสูงสุดในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ดูปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อ เพื่อตัดสินใจเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายโปรตีนในเครื่องในหอยเป่าฮื้อ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.21

**ตารางที่ 4.94** คะแนนด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อที่ย่อย โดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหนักหอย ที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายต่างๆ

| เวลา (นาที) | คะแนนด้านกลิ่นรส         |
|-------------|--------------------------|
| 30          | 3.67 <sup>c</sup> ± 0.88 |
| 60          | 4.43 <sup>d</sup> ± 1.01 |
| 90          | 3.83 <sup>c</sup> ± 0.83 |
| 120         | 3.13 <sup>b</sup> ± 0.90 |
| 180         | 2.17 <sup>a</sup> ± 0.91 |

a,b,c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



**รูปที่ 4.21** ปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรส (mg/100g sample) ในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในหอยเป่าฮื้อที่ย่อย โดยใช้เอนไซม์ Flavourzyme® ความเข้มข้น 1% ของน้ำหนักหอย ที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายต่างๆ

เมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อในรูปที่ 4.21 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายมากขึ้นจะได้กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ให้รสขมในปริมาณมากขึ้น โดยพบว่าเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายเครื่องในหอยเป่าฮื้อเป็นเวลา 60 นาที จะได้กรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสดีซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสของหอยเป่าฮื้อ ได้แก่ proline, alanine, glycine, serine, glutamic acid และ arginine ในปริมาณสูง ส่วนกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ให้รสขม ได้แก่ phenylalanine, leucine, Isoleucine, valine และ tyrosine ก็ไม่ได้มีในปริมาณที่สูงมากนัก ดังนั้นจึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีคะแนนด้านกลิ่นรสสูงสุดเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลาย 60 นาที จึงเลือกเวลาในการย่อยสลายนี้นำมาใช้ในการผลิตเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อต่อไป

เมื่อพิจารณาคะแนนด้านกลิ่นรสของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อ (ตารางที่ 4.86) และส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อ (ตารางที่ 4.94) ที่ได้จากการย่อยที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายต่างๆ พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าฮื้อมีคะแนนด้านกลิ่นรสสูงที่สุดเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลาย 90 นาที ส่วนโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีคะแนนด้านกลิ่นรสสูงที่สุดเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลาย 60 นาที ซึ่งใช้เวลาในการย่อยสลายน้อยกว่าในส่วนเนื้อหอยเป่าฮื้อ และเมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อ (รูปที่ 4.19) และส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อ (รูปที่ 4.21) ที่ได้จากการย่อยที่อุณหภูมิ 60°C pH 6.0 เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายต่างๆ ซึ่งได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านกลิ่นรส พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าฮื้อเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลาย 90 นาที ซึ่งมีคะแนนด้านกลิ่นรสสูงที่สุดมีปริมาณกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสดีและกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีในปริมาณใกล้เคียงกับโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลาย 60 นาทีมากที่สุด ซึ่งมีคะแนนด้านกลิ่นรสสูงสุดเช่นเดียวกัน แต่การที่โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อใช้เวลาในการย่อยสลายน้อยกว่า ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากในส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีปริมาณกรดอะมิโนรวมทั้งหมด (449.50 mg/100g sample) สูงกว่าในส่วนเนื้อหอยเป่าฮื้อ (314.75 mg/100g sample) ดังแสดงในตารางที่ 4.78 นอกจากนี้ในส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อยังมีค่าระดับการย่อยสลายสูงกว่าในเนื้อหอยเป่าฮื้อทุกเวลาการย่อยสลาย ดังแสดงในตารางที่ 4.84 และ 4.92 ตามลำดับ จึงทำให้ส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อไม่ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานเท่ากับส่วนเนื้อหอยเป่าฮื้อ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะมิโนที่มีผลต่อกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อ (รูปที่ 4.19) และส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อ (รูปที่ 4.21) เมื่อใช้เวลาในการย่อยสลาย 90 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีปริมาณกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสดีในปริมาณสูงกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าฮื้อ ส่วนกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ดีก็มีในปริมาณใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อจะมีกลิ่นรสดีกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าฮื้อ

#### 4.4.4 สมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อ และส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อ

##### 4.4.4.1 ปริมาณ AMP ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อ

จากการวิเคราะห์ปริมาณ AMP ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารสกัดที่ทำให้เกิดกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮื้อ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.95 พบว่าปริมาณ AMP ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อแตกต่างกัน โดยโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮื้อมีปริมาณ AMP (46.00 mg/100g sample) สูงกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าฮื้อ (16.33 mg/100g sample)

เช่นเดียวกับในเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮือสด (ตารางที่ 4.77) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าโปรตีนไฮโดรไลสได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮือจะมีกลิ่นรสดีกว่าโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าฮือเนื่องจากมีปริมาณ AMP สูงกว่า โดย AMP จะทำให้เกิดรส umami เมื่ออยู่ร่วมกับ glutamic acid (Konosu *et al.*, 1987 ; Kimura *et al.*, 1969) และพบว่าปริมาณ AMP ในโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในหอยเป่าฮือลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณ AMP ในเนื้อและเครื่องในหอยเป่าฮือสด การที่ปริมาณ AMP ในโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในหอยเป่าฮือลดลงอาจเกิดเนื่องจากในขั้นตอนการผลิตโปรตีนไฮโดรไลสนั้นมีการให้ความร้อน (อุณหภูมิ 60°C) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ AMP เกิดการสลายตัวไปเป็นสารอนุพันธ์ตัวอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจาก AMP เป็นสารประกอบกลุ่มนิวคลีโอไทด์ซึ่งมีพันธะเคมีไม่แข็งแรง เช่น glucosidic linkage และ ester linkage เมื่อได้รับความร้อนพันธะ phosphoric ester ของนิวคลีโอไทด์จะถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นนิวคลีโอไซด์และกรดฟอสฟอริก จากนั้นพันธะ N-glucosidic จะถูกไฮโดรไลซ์ทำให้นิวคลีโอไซด์สลายตัวเป็นพิวรีนและน้ำตาลไรโบส (Matoba *et al.*, 1988)

ตารางที่ 4.95 ปริมาณ AMP ในโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮือ

| ตัวอย่างที่วิเคราะห์                           | ปริมาณ AMP (mg/100g sample) |
|------------------------------------------------|-----------------------------|
| โปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าฮือ     | 16.33 ± 1.53                |
| โปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮือ | 46.00 ± 2.65                |

#### 4.4.4.2 volatile compounds ที่มีผลต่อกลิ่นรส

จากการวิเคราะห์ volatile compounds ที่มีผลต่อกลิ่นรส เช่น สารพวก aldehyde ในโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าฮือด้วยวิธี Headspace GC-MS ผลที่ได้คือ ไม่พบสารพวก volatile compounds กลุ่มที่ให้กลิ่นเฉพาะของอาหารทะเล ในโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าฮือ แต่พบในโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮือ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.96

ตารางที่ 4.96 Volatile compounds ที่มีผลต่อกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮือ

| volatile compound                       | % of total |
|-----------------------------------------|------------|
| acetic acid                             | 5.11       |
| methyl-d3-1-dideuterio-2-propenyl ether | 11.39      |
| 2-ethyl-1-hexanol                       | 6.85       |
| benzenemethanol                         | 3.89       |
| benzothiazole                           | 55.12      |
| 2,6-dimethoxyphenol                     | 1.50       |
| 2,2,4-trimethyldihydroquinoline         | 7.08       |

จากผลการวิเคราะห์ volatile compounds ที่มีผลต่อกลิ่นรสในโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮือด้วยวิธี Headspace GC-MS ในตารางที่ 4.96 พบว่าโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮือมีปริมาณ benzothiazole, methyl-d3-1-dideuterio-2-propenylether, 2,2,4-trimethyldihydroquinoline, 2-ethyl-1-hexanol, acetic acid, benzenemethanol และ 2,6-dimethoxyphenol (55.12, 11.39, 7.08, 6.85, 5.11, 3.89 และ 1.50% of total) ตามลำดับ จากผลการทดลองที่ได้จะพบว่า volatile compounds ที่มีปริมาณสูงสุดในโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าฮือ

คือ benzothiazole (55.12% of total) โดย benzothiazole เป็นสารประกอบซัลไฟด์ชนิดวงแหวนและซัลเฟอร์ที่มีไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบที่ให้กลิ่นเฉพาะของอาหารทะเล นอกจากนี้สารพวกแอลกอฮอล์ เช่น 2-ethyl-1-hexanol, benzenemethanol, 2,6-dimethoxyphenol และสารพวกคีโตน เช่น 2,2,4-trimethyl- dihydroquinoline ก็เป็นสารระเหยที่ให้กลิ่นรสในอาหารทะเลเช่นกัน (Sikorski, 1990) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเครื่องในหอย เป้าสื้อจะมีกลิ่นรสดีกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป้าสื้อ เนื่องจากมี volatile compounds ที่ให้กลิ่นเฉพาะของอาหารทะเลเป็นองค์ประกอบ

นอกจากนี้ชนิดของ volatile compounds ยังขึ้นกับชนิดของสัตว์ โดย hexanal เป็นแอลดีไฮด์ที่พบในเนื้อปลาดิบทุกชนิด ส่วน 2-hexenal, 2-octenal, 2-nonenal และ 2,6-nonadienal พบในปลาน้ำจืดเท่านั้น การมีแอลดีไฮด์ที่ไม่อิ่มตัวดังกล่าวร่วมกับแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอน 8 อะตอมซึ่งไม่อิ่มตัวจะให้กลิ่นคล้ายแตงหวาน (sweet melon) ในปลาน้ำจืด คีโตนชนิดอิ่มตัวที่พบในปลาสด เช่น 2-alkanone ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 5, 7, 8, 9, 10, 11, 15 อะตอม และ 3-alkanones ซึ่งมีคาร์บอน 7 และ 8 อะตอม ส่วน 2,3-octanedione พบในปลาน้ำจืด 1-octen-3-one และ 1,5-octadien-3-one พบในปลาน้ำจืดแต่ไม่พบในปลาน้ำเค็ม เป็นต้น ส่วนแอลกอฮอล์ไม่อิ่มตัวเช่น 1-octen-3-ol, 1,5-octadien-3-ol และ 2,5-octadiene-1-ol สามารถพบได้ในหอยนางรม แอลกอฮอล์ชนิดไม่อิ่มตัวดังกล่าวที่ระดับความเข้มข้นสูงให้กลิ่นคล้ายแตงในหอยนางรมแปซิฟิก แต่ไม่ให้กลิ่นดังกล่าวในหอยนางรมแอตแลนติก แอลกอฮอล์ชนิดไม่อิ่มตัวชนิดอื่น เช่น 1-pentene-3-ol และแอลกอฮอล์ชนิดวงแหวนเช่น cyclopentanol พบมากในหอยนางรมทั้ง 2 ชนิด (Sikorski, 1990)

#### 4.4.4.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณโซเดียมคลอไรด์

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป้าสื้อ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.97

ตารางที่ 4.97 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป้าสื้อ

| ตัวอย่างที่วิเคราะห์                                  | ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด*<br>(% w/v) | ปริมาณโซเดียมคลอไรด์<br>(% w/v) |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อ<br>หอยเป้าสื้อ     | 9.58 ± 0.40                       | 0.23 ± 0.00                     |
| โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วน<br>เครื่องในหอยเป้าสื้อ | 7.20 ± 0.30                       | 0.23 ± 0.00                     |

\* วิเคราะห์ด้วย Kjeldahl method

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเนื้อและเครื่องในของหอยเป้าสื้อ ในตารางที่ 4.97 พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเนื้อและเครื่องในหอยเป้าสื้อแตกต่างกัน แต่มีปริมาณโซเดียมคลอไรด์เท่ากัน โดยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเนื้อหอยเป้าสื้อมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (9.58% w/v) สูงกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในหอยเป้าสื้อ (7.20% w/v) เช่นเดียวกับในเนื้อและเครื่องในหอยเป้าสื้อสด ซึ่งพบว่าปริมาณโปรตีนของเนื้อและเครื่องในหอยเป้าสื้อแตกต่างกัน โดยเนื้อหอยเป้าสื้อมีปริมาณโปรตีน (14.91%) สูงกว่าเครื่องในหอยเป้าสื้อ (11.20%) ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเนื้อหอยเป้าสื้อ (9.58% w/v) จึงมีปริมาณสูงกว่าในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในหอยเป้าสื้อ (7.20% w/v) และจากการระบุ

องค์ประกอบทางเคมีของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตให้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 6% w/v (Anonymous, 2006) พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในหอยเป่าอ้อมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (9.58 และ 7.20% w/v ตามลำดับ) ได้ตามกำหนด นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงปริมาณโซเดียม-คลอไรด์ในโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าอ้อมีพบว่ามีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (0.23% w/v) เท่ากัน และจากการระบอบองค์ประกอบทางเคมีของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลเสตให้มีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ไม่เกิน 1.5% w/v (Anonymous, 2006) พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าอ้อมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (0.23% w/v) ได้ตามกำหนด ซึ่งการที่โปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าอ้อมีโซเดียมคลอไรด์อยู่ในปริมาณต่ำทำให้สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลายมากขึ้น เพราะมีผู้บริโภคบางกลุ่มที่ไม่สามารถบริโภคอาหารที่มีโซเดียมคลอไรด์ปริมาณสูงได้ เช่น ผู้บริโภคที่มีปัญหาเกี่ยวกับไตหรือความดันโลหิต เป็นต้น (นิธิยา รัตนานนท์ และวิบูลย์ รัตนานนท์, 2543)

#### 4.4.4.4 สมบัติทางกายภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าอ้อม

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนเนื้อและส่วนเครื่องในของหอยเป่าอ้อมีได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.98 และ 4.99

ตารางที่ 4.98 สมบัติทางกายภาพของโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากส่วนเนื้อหอยเป่าอ้อม

| สมบัติทางกายภาพที่วิเคราะห์               | ค่าที่วัดได้     |
|-------------------------------------------|------------------|
| ค่าความหนาแน่น (g/mL)                     | $1.12 \pm 0.02$  |
| ค่า pH                                    | $6.32 \pm 0.01$  |
| total soluble solids ( <sup>o</sup> brix) | $1.70 \pm 0.00$  |
| ค่าความหนืด (cP)                          | $22.00 \pm 0.42$ |
| ค่าสี L                                   | $16.90 \pm 1.50$ |
| ค่าความขุ่น(%T)                           | $63.84 \pm 0.74$ |

จากตารางที่ 4.98 – 4.99 พบว่าค่าความหนาแน่น, ค่า pH, total soluble solids และค่าความหนืดของโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเนื้อและเครื่องในหอยเป่าอ้อมีใกล้เคียงกัน แต่มีค่าสี (L, a, b) และค่าความขุ่นแตกต่างกัน โดยโปรตีนไฮโดรไลเสตจากส่วนเนื้อหอยเป่าอ้อมีค่าความหนาแน่น, ค่า pH, total soluble solids และค่าความหนืด (1.12 g/mL, 6.32, 1.70<sup>o</sup>brix และ 22.00 cP ตามลำดับ) ต่ำกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในหอยเป่าอ้อมีเล็กน้อย (1.13 g/mL, 6.42, 2.00<sup>o</sup>brix และ 24.24 cP ตามลำดับ) ซึ่งการที่โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเนื้อและเครื่องในของหอยเป่าอ้อมีค่าความหนาแน่นและ total soluble solids ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเนื้อและเครื่องในหอยเป่าอ้อมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์เท่ากัน (ตารางที่ 4.97) โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเนื้อและเครื่องในหอยเป่าอ้อมีค่า pH ใกล้เคียงกัน แต่โปรตีนไฮโดรไลเสตจากเนื้อและเครื่องในของหอยเป่าอ้อมีค่า pH ลดลงเมื่อเทียบกับในเนื้อและเครื่องในหอยเป่าอ้อมสด ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์ โปรตีนจะแตกตัวเป็นกรดอะมิโน จึงทำให้โปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากเนื้อและเครื่องในของหอยเป่าอ้อมีค่า pH ลดลง และเมื่อพิจารณาระดับการลดลงของค่า pH ในโปรตีนไฮโดรไลเสตที่ได้จากเนื้อและเครื่องในของหอยเป่าอ้อมีพบว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเครื่องในหอยเป่าอ้อมีระดับการลดลงของค่า pH มากกว่าโปรตีนไฮโดรไลเสตจากเนื้อหอยเป่าอ้อมี ทั้งนี้เป็นเพราะในเครื่องในหอยเป่าอ้อมีการย่อยสลายมากกว่าในเนื้อหอยเป่าอ้อมีจึงทำให้โปรตีนในเครื่องในหอยเป่าอ้อมีเกิดการย่อยสลายและแตกตัวเป็นกรดอะมิโนมากกว่าในเนื้อหอย

เป่าอื้อ ส่งผลให้ระดับการลดลงของค่า pH ในโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเครื่องในหอยเป่าอื้อมากกว่าในโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเนื้อหอยเป่าอื้อ และจากการระบุสมบัติทางกายภาพของสารละลายโปรตีนไฮโดรไลสได้หาค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.10-1.15 g/mL และค่า pH อยู่ในช่วง 4.0-6.5 (Anonymous, 2006) พบว่าโปรตีนไฮโดรไลสจากเนื้อและเครื่องในหอยเป่าอื้อมีค่าความหนาแน่น (1.12 และ 1.13 g/mL ตามลำดับ) และค่า pH (6.32 และ 6.42 ตามลำดับ) ได้ตามกำหนด

ตารางที่ 4.99 สมบัติทางกายภาพของโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากส่วนเครื่องในหอยเป่าอื้อ

| สมบัติทางกายภาพที่วิเคราะห์             | ค่าที่วัดได้     |
|-----------------------------------------|------------------|
| ค่าความหนาแน่น (g/mL)                   | $1.13 \pm 0.02$  |
| ค่า pH                                  | $6.42 \pm 0.01$  |
| total soluble solids ( $^{\circ}$ brix) | $2.00 \pm 0.00$  |
| ค่าความหนืด (cP)                        | $24.24 \pm 0.22$ |
| ค่าสี L                                 | $24.69 \pm 0.14$ |
| a                                       | $3.94 \pm 0.11$  |
| b                                       | $18.23 \pm 0.30$ |
| ค่าความขุ่น(%T)                         | $1.46 \pm 0.05$  |

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงค่าสี และค่าความขุ่นของโปรตีนไฮโดรไลสจากเนื้อและเครื่องในของหอยเป่าอื้อ พบว่ามีค่าสีและค่าความขุ่นแตกต่างกัน โดยโปรตีนไฮโดรไลสจากเนื้อหอยเป่าอื้อมีค่าสี (L, a, b) (16.90, -1.12, -3.27 ตามลำดับ) ต่ำกว่าโปรตีนไฮโดรไลสจากเครื่องในหอยเป่าอื้อ (24.69, 3.94, 18.23 ตามลำดับ) แสดงว่าโปรตีนไฮโดรไลสจากเนื้อหอยเป่าอื้อมีสีอ่อนกว่าโปรตีนไฮโดรไลสที่ได้จากเครื่องในหอยเป่าอื้อ (โปรตีนไฮโดรไลสจากเนื้อหอยเป่าอื้อเป็นสารละลายมีสีเหลืองอ่อน ส่วนโปรตีนไฮโดรไลสจากเครื่องในหอยเป่าอื้อเป็นสารละลายมีสีน้ำตาลเข้ม) และเมื่อพิจารณาถึงค่าความขุ่นของโปรตีนไฮโดรไลสจากเนื้อและเครื่องในของหอยเป่าอื้อ พบว่าโปรตีนไฮโดรไลสจากเนื้อหอยเป่าอื้อมีค่าความขุ่น 63.84%T ส่วนโปรตีนไฮโดรไลสจากเครื่องในหอยเป่าอื้อมีค่าความขุ่น 1.46%T แสดงว่าโปรตีนไฮโดรไลสจากเนื้อหอยเป่าอื้อขุ่นน้อยกว่าโปรตีนไฮโดรไลสจากเครื่องในหอยเป่าอื้อ จากผลที่ได้ในงานวิจัยนี้พบว่าสามารถนำโปรตีนไฮโดรไลสจากเนื้อและเครื่องในของหอยเป่าอื้อที่ผลิตได้มาใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารในรูปแบบต่างๆได้ เช่น ซอสหอยเป่าอื้อ และสารปรุงแต่งกลิ่นรสหอยเป่าอื้อชนิดผง เป็นต้น โดยในการนำโปรตีนไฮโดรไลสมาใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสอาหารควรมีการทำโปรตีนไฮโดรไลสให้เข้มข้นก่อน ซึ่งนอกจากจะทำให้ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ลดลงและสะดวกต่อการนำไปใช้แล้ว การให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์จะทำให้เข้มข้นยังทำให้เกิดสารระเหยที่ให้กลิ่นหอมหลายชนิด ได้แก่ สารประกอบประเภท thiol เช่น thiazole ซึ่งมีจุดเดือด  $93-246^{\circ}\text{C}$  จากปฏิกิริยา Maillard เป็นต้น นอกจากสารประกอบพวก thiol แล้วยังมีสารประกอบพวกเอมีน เช่น pyrazine, pyridine ซึ่งมีจุดเดือด  $155-180^{\circ}\text{C}$  จาก Strecker degradation โดยมีสารประกอบ dicarbonyl ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยา Maillard กับ  $\alpha$ -amino groups ของกรดอะมิโนเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา (Eskin and Henderson, 1971) การให้ความร้อนที่ความดันบรรยากาศเพื่อระเหยน้ำต้องใช้อุณหภูมิสูงจึงอาจเกิดการสูญเสียสารระเหยได้ จึงอาจมีการทำผลิตภัณฑ์ให้เข้มข้นโดยให้ความร้อนภายใต้ภาวะสุญญากาศด้วยเครื่องระเหยหมุนแบบสุญญากาศได้

## 5. สรุปผลการทดลอง

**5.1** หอยเป่าอื้อที่บรรจุโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่อุณหภูมิ  $2\pm 1^{\circ}\text{C}$  มีอายุการเก็บนานกว่าในบรรยากาศปกติ และหอยเป่าอื้อสดที่เก็บในภาวะสุญญากาศมีสมบัติด้านกายภาพและเคมีดีกว่าและมีปริมาณจุลินทรีย์น้อยกว่าในบรรยากาศปกติ เมื่อใช้การยอมรับทางประสาทสัมผัสเป็นเกณฑ์ในการประเมินอายุการเก็บพบว่าการเก็บหอยเป่าอื้อในภาวะสุญญากาศมีอายุการเก็บ 3 วัน การปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่มีอัตราส่วน  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 40:\text{N}_2 20$  มีอายุการเก็บ 9 วัน โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านเคมีและกายภาพเร็วกว่าในภาวะอื่นๆ ในภาวะ  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 20:\text{N}_2 40$ ,  $\text{CO}_2 60:\text{O}_2 40$  และ  $\text{CO}_2 60:\text{O}_2 20:\text{N}_2 20$  มีอายุการเก็บ 11 วัน ส่วนในภาวะ  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 30:\text{N}_2 30$  มีอายุการเก็บ 13 วัน และเมื่อพิจารณาดัชนีต่างๆ ที่มีผลต่ออายุการเก็บของหอยเป่าอื้อ โดยใช้ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและการยอมรับทางประสาทสัมผัสเป็นเกณฑ์ในการประเมินอายุการเก็บ พบว่าการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุสามารถยืดอายุการเก็บของหอยเป่าอื้อได้ ภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ  $\text{CO}_2 40:\text{O}_2 30:\text{N}_2 30$  ที่อุณหภูมิ  $2\pm 1^{\circ}\text{C}$  ซึ่งผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บนานกว่าในบรรยากาศปกติ 8 วัน โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสีและเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านเนื้อสัมผัสเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และไม่พบปริมาณ TMA และแบคทีเรียที่ก่อโรค สำหรับการบอกอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์หอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาโดยการปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุที่อุณหภูมิ  $2\pm 1^{\circ}\text{C}$  ไม่ควรใช้ดัชนีใดดัชนีหนึ่งเป็นเกณฑ์ในการบอกอายุการเก็บ เนื่องจากค่า TVB อยู่ในระดับต่ำและระยะเวลาในการเก็บรักษาหอยเป่าอื้อเพียง 15 วันไม่สามารถใช้ค่า TVB แยกความแตกต่างในการเกิดการเน่าเสียได้ และค่าความสดหรือ K-value นั้นจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณ Hypoxanthine เพียงค่าเดียว จึงไม่สามารถบอกค่าความสดที่แท้จริงของหอยเป่าอื้อได้ สำหรับงานวิจัยนี้ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดและการยอมรับทางประสาทสัมผัสเป็นดัชนีที่เหมาะสมที่สุดในการบอกอายุการเก็บหอยเป่าอื้อ

**5.2.1** หอยเป่าอื้อที่เก็บรักษาแบบทั้งตัวหรือแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก เก็บที่อุณหภูมิ 0 และ  $10^{\circ}\text{C}$  ตรวจไม่พบฮิสตามีนและแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ฮิสติดีนดีคาร์บอกซิเลส แต่ทำให้ ค่า pH เนื้อสัมผัส และปริมาณแบคทีเรียที่ต้องการอากาศเปลี่ยนแปลง เมื่อใช้ปริมาณจุลินทรีย์เท่ากับ  $10^6$  cfu/g เป็นเกณฑ์กำหนดอายุการเก็บ พบว่าหอยเป่าอื้อสดที่เก็บรักษาแบบทั้งตัวและแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก ที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  มีอายุการเก็บ 6 และ 9 วัน ตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิ  $10^{\circ}\text{C}$  มีอายุการเก็บ 3 และ 4 วัน ตามลำดับ ดังนั้นการขนส่งหอยเป่าอื้อแบบทั้งตัวหรือแบบแกะเปลือกเอาเครื่องในออก โดยใช้อุณหภูมิแช่เย็นไม่เกิน  $10^{\circ}\text{C}$  หรือการใช้น้ำแข็งช่วยในการเก็บรักษาในระยะเวลาไม่เกิน 2 วัน จะยังคงรักษาคุณภาพของหอยเป่าอื้อทั้งทางด้านปริมาณจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงค่า pH และเนื้อสัมผัสไว้ได้ ในขั้นตอนการศึกษาผลของความร้อนที่อุณหภูมิ 100 และ  $120^{\circ}\text{C}$  พบว่าปริมาณ cooking loss และค่า degree of browning ของเนื้อหอยเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาในการให้ความร้อน ส่วนค่า water-holding capacity มีความสัมพันธ์กับค่า toughness โดยจะลดลงในช่วง 10 นาทีแรกของการให้ความร้อน และค่า toughness ของเนื้อหอยเป่าอื้อลดลงมากหลังให้ความร้อนนาน 60 นาที โดยภาวะในการนำเชื้อที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์หอยเป่าอื้อในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตแพจ คือการใช้อุณหภูมิสูง เวลาสั้น ( $121^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 6 นาที เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ  $70^{\circ}\text{C}$  และ 7 นาที เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ  $50^{\circ}\text{C}$ ) เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 เดือน ผู้ทดสอบยังยอมรับผลิตภัณฑ์ในทุกคุณลักษณะ ได้แก่ สี กลิ่น ความยืดหยุ่น ความเหนียว ความชุ่มน้ำ และการยอมรับโดยรวม และไม่พบจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายและทำให้เกิดการเน่าเสียตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

**5.2.2** การศึกษาผลของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของหอยเป่าอื้อ *H. asinina* L. ในน้ำเกลือบรรจุกระป๋อง โดยแช่เนื้อหอยเป่าอื้อในสารละลายผสมระหว่างโซเดียมเมตา-

ไบซัลไฟต์ และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตความเข้มข้น 0.1% และ 5% ตามลำดับ ระยะเวลาในการแช่ตั้งแต่ 0 – 15 นาที และบรรจุกระป๋องขนาด 307 x 113 ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C และ  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที พบว่าเวลาในการฆ่าเชื้อทั้งหมดตั้งแต่เริ่มเปิดไอน้ำจนปิดไอน้ำเป็นเวลา 21.50 นาที เนื้อหอยเป่าอื้อที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายจะมีสีคล้ำและบางส่วนมีสีน้ำเงิน และเวลาในการแช่สารละลายนานขึ้นทำให้ค่าความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับค่า degree of browning ที่เนื้อหอยมีสีคล้ำน้อยลง และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารตกค้างในผลิตภัณฑ์ พบว่ามีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่เกิน 30 ppm และสารประกอบฟอสเฟตในรูป  $P_2O_5$  ไม่เกิน 0.5% ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

**5.2.3** การใช้แปรงคัดแปรแทนที่แปรงข้าวโพดในชุดสุตรควบคุมด้วยแปรงคัดแปร 3 ชนิด ได้แก่ Resistamyl® 347, National® Frigex และ Farinex® VA70 ได้ระดับการแทนที่เป็น 3.9%, 4.5% และ 5.4% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ทำให้มีความหนืดของซูปใกล้เคียงกับสูตรควบคุมที่ใช้แปรงข้าวโพด 3.5% โดยน้ำหนัก และเมื่อนำซูปหอยเป่าอื้อที่เตรียมจากแปรงคัดแปรแต่ละชนิดมาผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121°C และค่า  $F_0 = 4$  นาที พบว่าแปรงคัดแปรที่เหมาะสมกับกระบวนการฆ่าเชื้อ คือแปรง Farinex® VA70 และเลือกสูตรซูปที่ใช้แปรง Farinex® VA70 เพิ่มขึ้น 5.4% เป็นสูตรผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าอื้อในรีทอร์ตแพจ โดยผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าอื้อหลังผ่านการฆ่าเชื้อมีสมบัติทางกายภาพและทางจุลชีววิทยาเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ ซูปมีความหนืดเพิ่มขึ้น เนื้อหอยเป่าอื้อมีสีเข้มขึ้นและเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น และไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมด, flat sour, *Thermophilic anaerobes* และ *Putrefactive anaerobes* และเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C พบว่าซูปมีความหนืดลดลง สีของซูปและเนื้อหอยเป่าอื้อเข้มขึ้น เนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าอื้อเหนียวและกระด้างขึ้น สารให้กลิ่นฉุนและสารให้กลิ่นเฉพาะตัวของหอยเป่าอื้อลดลง ในขณะที่สารให้กลิ่นหืนเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 55°C จะมีการเปลี่ยนแปลงช้ากว่าที่ 65°C จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าสมบัติด้านสีของเนื้อหอยเป่าอื้อเกิดการเสื่อมเสียเป็นอันดับแรก จึงใช้ในการทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 25°C พบว่าผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 10 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 25°C ในการวิเคราะห์สารให้กลิ่นในผลิตภัณฑ์ซูปหอยเป่าอื้อด้วยวิธี SPME-GC-MS จำแนกได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ สารกลุ่ม benzopyran เป็นสารที่ให้กลิ่นของชี้อ้วขาว สารกลุ่ม thiazole และ imidazole เป็นสารที่ให้กลิ่นของหอยเป่าอื้อ สาร zingiberene, alpha – farnesene และสารกลุ่ม phenol เป็นสารที่ให้กลิ่นของขิง และสาร pentadecanal, octadecanal และ hexadecanal เป็นสารที่ให้กลิ่นหืน โดยในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเร่ง 55 และ 65°C สารกลุ่ม benzopyran, thiazole, imidazole และ zingiberene มีแนวโน้มลดลง ส่วน alpha – farnesene และสารกลุ่ม phenol เห็นการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน ในขณะที่สารที่ให้กลิ่นหืนมีปริมาณเพิ่มขึ้น

**5.3** ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหอยเป่าอื้ออบแห้งโดยการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ใช้อุณหภูมิขาเข้าคงที่ คือที่อุณหภูมิ 55°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง เนื่องจากมีความสามารถในการควบแน่นน้ำคือนสูง ค่าความแข็งต่ำ และได้รับคะแนนความชอบโดยรวมและลักษณะปรากฏสูง และภาวะที่เหมาะสมในการผลิตหอยเป่าอื้ออบแห้งด้วยลมร้อนที่ใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าแบบเป็นขั้น คือ ภาวะการอบแห้งที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบโดยรวมและความสามารถในการควบแน่นน้ำคือนสูง และค่าความแข็งต่ำ เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัสของหอยเป่าอื้ออบแห้งจากการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ใช้อุณหภูมิขาเข้าคงที่และแบบเป็นขั้น พบว่าภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตหอยเป่าอื้ออบแห้งด้วยลมร้อน คือภาวะการอบแห้งแบบเป็นขั้นที่เริ่มต้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C นาน 4 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55°C นาน 10 ชั่วโมง นอกจากนี้การอบแห้งหอยเป่าอื้อที่ภาวะการอบแห้งแบบเป็นขั้นนี้ยังใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าที่อุณหภูมิคงที่ที่ 55°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง คิดเป็น 33.3% ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานในการอบแห้งได้

**5.4** เนื้อหอยเป่ามีปริมาณ AMP ต่ำกว่าเครื่องในหอยเป่า (33.33 และ 55.33 mg/100g sample ตามลำดับ) ซึ่งส่งผลต่อการรับรู้รส umami เมื่ออยู่ร่วมกับ glutamic acid โดยเนื้อหอยเป่ามีกรดอะมิโนชนิดหลักคือ arginine, threonine, glutamic acid และ aspartic acid ส่วนเครื่องในหอยเป่ามีกรดอะมิโนชนิดหลักคือ arginine, threonine, glutamic acid, aspartic acid, serine และ glycine ขั้นตอนการศึกษาภาวะในย่อยสลายที่ทำให้มีระดับการย่อยสลายและปริมาณกรดอะมิโนรวมสูงสุด คือ ปรับ pH ของเนื้อหอยเป่าและเครื่องในหอยเป่าเป็น 6.0 ย่อยสลายที่อุณหภูมิ 600°C โดยเวลาในการย่อยสลายที่ทำให้โปรตีนไฮโดรไลสได้จากเนื้อหอยเป่าและเครื่องในหอยเป่ามีคะแนนด้านกลิ่นรส สูงสุดคือ 90 และ 60 นาที ตามลำดับ ซึ่งที่ภาวะและเวลาในการย่อยสลายดังกล่าวโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเครื่องในหอยเป่ามีปริมาณกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสสูงกว่าโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเนื้อหอยเป่า ส่วนกรดอะมิโนที่ให้กลิ่นรสไม่ มีปริมาณใกล้เคียงกัน ในขณะที่โปรตีนไฮโดรไลสได้จากเนื้อหอยเป่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเครื่องในหอยเป่า (9.58% และ 7.20% w/v ตามลำดับ) แต่มีปริมาณโซเดียมคลอไรด์เท่ากัน (0.23% w/v) และพบว่าโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเนื้อหอยเป่ามีค่าความหนาแน่น 1.12g/mL, ค่า pH 6.32, total soluble solids 1.70°brix, ค่าความหนืด 22.00cP, ค่าสี (L, a, b) (16.90, -1.12, -3.27) และค่าความขุ่น 63.84%T ส่วนโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเครื่องในหอยเป่ามีค่าความหนาแน่น 1.13g/mL, ค่า pH 6.42, total soluble solids 2.00°brix, ค่าความหนืด 24.24cP, ค่าสี (L, a, b) (24.69, 3.94, 18.23) และค่าความขุ่น 1.46%T ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ค่าสีและค่าความขุ่น พบว่าโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเนื้อหอยเป่ามีสีอ่อนกว่าและขุ่นน้อยกว่าโปรตีนไฮโดรไลสได้จากเครื่องในหอยเป่า

## รายการอ้างอิง

กรมการจัดหางาน กระทรวงแรงงาน. 2548. กระเพาะปลา[ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.doe.go.th/VG/career/career5/job107.htm>[25 พฤษภาคม 2547]

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป๊ะ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 276 หน้า.

กอบพร ประทุมณพรัตน์. 2543. การปรับปรุงกระบวนการผลิตปลาหางควายแห่งปทุมธานี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เกษมพร เฉลิมวัฒน์. 2544. หอยโข่งทะเล. ใน การเพาะเลี้ยงหอย, หน้า 211 – 228. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์วีวีเอ.

งานจิตร โลวิฑูร. 2547. อาหารพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์รีไซเคิล. วารสารอาหาร 34(4): 284 – 286.

จักรพันธ์ กังวาล. 2547. หอยเป่าสื่อจากธรรมชาติสู่ฟาร์มเลี้ยง. นิตยสารสารคดี 20(231): 68 – 76.

จิราวรรณ เข้มประยูร. 2539. ผลของการหมักเกลือและการทำแห้งต่อคุณภาพของปลานิลเค็มแห้ง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 9/2539 สถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. กรมประมง, กรุงเทพมหานคร.

ชัยณรงค์ กันทรนิต. 2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช.

ดารามาส แก้วแดง. 2547. Soup. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: บริษัท สำนักแม่บ้าน จำกัด.

ทิพาพร อยู่วิทยา. 2535. การกำหนดกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน. วารสารอาหาร 22(4): 39 – 50.

ทศพล ตั้งเดิมศักดิ์. 2545. หอยเป่าสื่อ สัตว์เศรษฐกิจตัวใหม่ของไทย[ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.thaimisc.com/freewebboard/php/vreply.php?user=fisheries&topic=270>[28 มิถุนายน 2547]

นภาพร เชี่ยวชาญ. 2548. ผลของอุณหภูมิต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร. วารสารสมาคมเครื่องทำความเย็นไทย 14(กุมภาพันธ์): 17 – 22.

นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

นิธิยา รัตนานนท์ และ วิบูลย์ รัตนานนท์. 2543. สารพิษในอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

นงลักษณ์ สุทธิวนิช. 2531. คุณภาพสัตว์น้ำ: Fish Quality. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บริษัท ป๊อป เนทเวอร์ค จำกัด. 2547. ซูปแสนวน[ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.pop.co.th/food/recipe.phtml?status=menu,519,TH&mid=3>[25 พฤษภาคม 2547]

บริษัท ภูเก็ต เป้าสื่อ ฟาร์ม จำกัด. 2547. Abalone[ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.phuketabalone.com/Abalone-Thai/abalone.html>[21 มิถุนายน 2547]

บริษัท สดรองแพค จำกัด (มหาชน). 2547. ซองบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนสำหรับอาหาร[ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.thaipack.com/tpa2002/thai/news/nl/pouch/pouch.shtm>[15 กันยายน 2547]

ประสาร สวัสดิ์ชิตัง. 2538. การปรับปรุงคุณภาพอาหารด้วยสารประกอบฟอสเฟต. วารสารวิทยาศาสตร์ มข 23(2): 76– 80.

ปราณีศา เชื้อโพธิ์หัก และ นงนุช รักสกุลไทย. 2534. การใช้เอนไซม์ปาเปนและบรอมเมลลินในการทำซอสหอยนางรม. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ 25: 65-74.

ปริยา วิบูลย์ศาสตร์. 2538. จุลชีววิทยาของอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ. วารสารอาหาร 25(2): 127 – 133.

ปริยา วิบูลย์เศรษฐ์. 2538. สารละลายเกี่ยวกับอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ. วารสารอาหาร 25(3): 200 – 206.

- เฉลิมศักดิ์ จารยะพันธ์. 2547. หอยเป้าชื่อ: จากระบบการเพาะเลี้ยงอย่างมีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม สินค้าคุณภาพจากประเทศไทย[ออนไลน์]. แหล่งที่มา:  
<http://www.trf.or.th/news/exb01/food/.pdf>[28 มิถุนายน 2547]
- พายัพ ยังปักยี. 2541. หอยเป้าชื่อ. วารสารสัตว์น้ำฉบับพิเศษ 10 (มกราคม): 169 – 174.
- ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาลิก. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. อ้างถึงใน เนื้อนึ่ง บำราบพาล. 2543. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซูปลาบบรรจุกระป๋องโดยใช้เศษเหลือจากกระบวนการปลาแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. 2539. อาหารกึ่งแห้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาลิขสิทธิ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ภิญโญ พานิชพันธ์. 2542. กรดอะมิโนและโปรตีน. ใน ชีวเคมี, หน้า 89-123. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- มัทนา แสงจินดาวงษ์. 2548. ผลิตภัณฑ์ประมงของไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มะลิ บุญยรัตพันธุ์. 2545. การพัฒนาสัตว์น้ำเศรษฐกิจของไทยหอยเป้าชื่อ. ใน เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการพัฒนาสัตว์น้ำเศรษฐกิจของไทย, หน้า 1 – 18. 2 กุมภาพันธ์ 2545 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพมหานคร.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2523. วิธีวิเคราะห์อาหารทางจุลชีววิทยาเล่ม 1 อาหารกระป๋อง. 42 หน้า.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนหอยแห้ง. มพช. 310/2547. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- มัลลยวรรณ อารยะสกุล และ วรณวิบูลย์ กาญจนบุญชู. 2540. เนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์. ใน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, หน้า 248-281. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ยิ่งศักดิ์ จงเลิศเจษฎาวงศ์. 2545. สถาบันศิลปศาสตร์การอาหาร และ โรงเรียนธุรกิจการอาหารไทยและนานาชาติ. กระเพาะปลา[ออนไลน์]. แหล่งที่มา:  
<http://www.yingsakfood.com/media/entertainmentfamily/show.asp?ID=กระเพาะปลา>[25 พฤษภาคม 2547]
- รัชนิ ตันตะพานิชกุล. 2544. เคมีอาหาร. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพมหานคร.
- รัศมี สุภศรี. 2535. สารความรู้เกี่ยวกับอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ. วารสารอาหาร 22(2): 43 – 48.
- รุ่งทิพย์ ตปนิยศิลป์. 2546. การศึกษาลักษณะการไหลและการทำแห้งกึ่งในเจตสเปาท์เดอบด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- รุ่งภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535. วิศวกรรมแปรรูปอาหาร: การถนอมอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- ลีลา เรืองเป็น. 2543. การเพาะเลี้ยงหอยเป้าชื่อ. วารสารสัตว์น้ำฉบับพิเศษ 12 (มกราคม): 126 – 131.
- วันชลี เฟื่องพงศา อติศักดิ์ นาถกรณกุล และสมชาติ โสภณกรณฤทธิ์. 2549. การอบแห้งเนื้อหมูปรุงรสด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งร่วมกับปฏิกิริยาร้อน. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2. 27 – 29 กรกฎาคม 2549 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา.
- วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัลพับลิเคชั่น.

- วราทิพย์ สมบุญญฤทธิ์. 2542. บรรจุภัณฑ์อ่อนตัวสำหรับอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ. ในเอกสารประกอบการฝึกอบรม เรื่อง *Retort Pouch for Low Acid Canned Food*, หน้า 1 – 10. 29 – 30 กรกฎาคม ณ โรงแรมมารวยการ์เด็น กรุงเทพมหานคร.
- วิวัฒน์ ปฐมโยธิน. 2542. หลักการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องในบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว. ในเอกสารประกอบการฝึกอบรม เรื่อง *Retort Pouch for Low Acid Canned Food*, หน้า 61 – 75. 29 – 30 กรกฎาคม ณ โรงแรมมารวยการ์เด็น กรุงเทพมหานคร.
- ศิวาพร ศิวเวช. 2535. *วัตถุดิบอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร*. นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 240 หน้า
- ศิรินทรา บุญสำเร็จ. 2544. ผลของกระบวนการแช่เยือกแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีแบบลมพ่นและแบบไครโอจินิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งประจวบคีรีขันธ์. 2541. การเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อเชิงพาณิชย์. *วารสารการประมง* 51(กันยายน – ตุลาคม): 395 – 405.
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งจันทบุรี. 2547. *การเพาะเลี้ยงหอยเป๋าฮื้อ*[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.fisheries.go.th/coastal/abalone.htm>[28 มิถุนายน 2547]
- ศรณีย์ รอดเที่ยง. 2542. ผลของกรดต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาปลาสดเค็ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สังวาล สมบูรณ์ สุภาณี พิมพ์สมาน รัตนภรณ์ พรหมศรีธธา วาสนา ไชยคำ และ พรทิพย์ วิสารทนนท์. 2550. *zingiberene*[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [agriqua.doe.go.th](http://agriqua.doe.go.th)[12 มีนาคม 2550]
- สิทธิศักดิ์ เหมืองสิน. 2545. หอยเป๋าฮื้อสัตว์น้ำเศรษฐกิจตัวใหม่ของไทย. ใน *เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการพัฒนาสัตว์น้ำเศรษฐกิจของไทย*, หน้า 1 – 12. 2 กุมภาพันธ์ 2545 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพมหานคร.
- สุนทรรัตน์ ศรีงาม. 2543. กระบวนการทำแห้ง. ใน *คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, บรรณาธิการ. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 3, หน้า 164–172. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุทรวรรณ เบญจกุล. 2536. การใช้ฟอสเฟตในอาหารทะเล. *วารสารอาหาร* 23(1): 7 – 12.
- สมณฑา วัฒนสินธุ์. 2545. *จุลชีววิทยาทางอาหาร*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2529. *กรรมวิธีการอบแห้ง*. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมปอง วิชญวิเชียร. 2542. หอยเป๋าฮื้อ. *ข่าวกรมประมง* 23 (มกราคม – มิถุนายน): 18 – 31.
- สมพงษ์ คุประมณารักษ์. 2534. การผลิตเนื้อปูม้าบรรจุกระป๋องปลอดซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเอทิลีนไดอะไมนเตตราอะซิเตด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 2547. *หอยเป๋าฮื้อ*[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.trf.or.th/news/15jobs/Project45\\_3.asp](http://www.trf.or.th/news/15jobs/Project45_3.asp)[28 มิถุนายน 2547]
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2528. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปลาสดเค็มกระป๋อง*. มอก. 89-2528. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม.

- อัศวิน ชินธรรมมิตร. 2546. การพัฒนากรรมวิธีการอบแห้งแครอทและเนื้อไก่ในการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อุบลวรรณ พิงพิม. 2546. ผลของกระบวนการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อต่อองค์ประกอบทางเคมีและเนื้อสัมผัสของหอยเป้าฮ็อตชนิด *Haliotis asinina* และ *Haliotis ovina*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรุณี สมมณี. 2547. หอยเป้าฮ็อต. วารสารการประมง 57(1): 47 – 51.
- Abe, H. 1983. Distribution of free L-histidine and its related compounds in marine fishes. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 49: 1683 – 1687.
- Achmad, P. and Bandol, B. S. 1990. Review of Studies on Salting and Drying of Sardine. In FAO Fisheries Report Thailand, 19-22 April 1988. pp. 133 – 152.
- Adler-Nissen, J. 1986. A review of food hydrolysis-specific areas. In Enzymic Hydrolysis of Food Proteins. Elsevier Applied Science Publishers, Copenhagen, Denmark. pp. 57 – 109.
- Aishima, T. 2004. Correlating sensory attributes to gas chromatography – mass spectrometry profiles and e-nose responses using partial least squares regression analysis. Journal of Chromatography A 1054: 39 – 46.
- Ang, C. Y. W. and Young, L. L. 1989. Factors relating to oxidative stability of cooked broiler breast patties treated with sodium tripolyphosphate. Journal of Food Science 54(5): 1151 – 1154.
- Ang, J. F. and Haard, N. F. 1985. Chemical composition and postmortem changes in soft textured muscle from intensely feeding Atlantic cods. Journal of Food Biochemistry 9(1): 49 – 51.
- Anna, V. A. 1998. Consumer Sensory Testing for Product Development. Maryland: Aspen Publisher.
- Antoine, F. R., Wei, C. I., Littell, R. C., and Marshall, M. R. 1999. HPLC method for analysis of free amino acid in fish using *o*-phthalaldehyde precolumn derivatization. Journal of Agricultural and Food Chemistry 47: 5100 – 5107.
- A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis. 16<sup>th</sup> ed. Vol.2. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Arnold, S. H., and Brown, W. 1978. Histamine toxicity from fish products. Advance Food Research 24: 113 – 154.
- Ashie, I. N. A., Smith, J. P., and Simpson, B. K. 1996. Spoilage and shelf-life extension of fresh fish and shellfish. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 36(1&2): 87 – 121.
- Ateba, P. and Mittal, G. S. 1994. Dynamics of crust formation and kinetics of quality changes during frying of meatballs. Journal of Food Science 59(6): 1275 – 1278
- Anonymous. 2006. Protein Hydrolysate Solution. [Online]. Available from: <http://www.priyachem.com/prohyd.htm>.
- Babbitt, J. K., Law, D. K., and Crawford, D. L. 1973a. Blueing discolouration in canned crab meat (*Cancer magister*). Journal of Food Science 38: 1101 – 1103.
- Babbitt, J. K., Law, D. K., and Crawford, D. L. 1973b. Phenolase and blue discoloration in whole cooked Dungeness crab (*Cancer magister*). Journal of Food Science 38: 1089 – 1090.

- Bailey, A. J. and Light, N. D. 1989. Connective Tissue in Meat and Meat Products. London: Elsevier Applied Science.
- Baldwin, J., Wells, R. M. G., Low, M., and Ryder, J. M. 1992. Tauropine and D-lactate as metabolic stress indicators during transport and storage of live paua, (New Zealand abalone) (*Haliotis iris*). Journal of Food Science 57: 280 – 282.
- Ball, C. O. 1923. Thermal Process Time for Canned Foods. Bull. 37 Vol. 7, Part I. Washington, DC: National Research Council.
- Barbosa-Canovas, G. V. and Vega-Mercado, H. 1996. Dehydration of Food. 1<sup>st</sup> ed. New York: Chapman & Hall.
- Barnett, H. J., Conrad, J. W., and Nelson, R. W. 1987. Use of laminated high and low density polyethylene flexible packaging to store trout (*Salmo Gairdneri*) in a modified atmosphere. Journal of Food Protection 50(8): 645 – 651.
- Benjakul, S. and Morrissey, M.T. 1997. Protein hydrolysates from Pacific whiting solid wastes. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45: 3423 – 3430.
- Bennion, M. 1980. Introductory Foods. 7<sup>th</sup> ed. New York: Macmillan. Cite in Pigott, G. M. and Tucker, B. W. 1990. Seafood: Effects of Technology on Nutrition. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Bertola, N. C., Bevilacqua, A. E., and Zaritzky, N. E. 1994. Heat treatment effect on texture changes and thermal denaturation of proteins in beef muscle. Journal of Food Processing and Preservation 18: 31 – 46.
- Bermejo, A. and Mondaca, M. A. 2002. Growth and characterization of the histamine-producing bacteria of jack mackerel (*Thachurus symmetricus*). Journal of Food Processing Preservation 26: 401 – 414.
- Birch, G. G., Blakebrough, N., and Parker, K. J. 1981. Enzyme and Food Processing. London: Applied Science Publishers.
- Boon, D. D. 1975. Discoloration in processed crabmeat. A Review. Journal of Food Science 40(4): 756 – 761.
- Botta, J. R. 1994. Freshness quality of seafoods: a review. In F. Shahidi, and J. R. Botta (eds.), Seafoods: chemistry, processing technology and quality, pp. 140-167. Glasgow: Blackie Academic and Professional.
- Bouton, P. E., Harris, P. V., and Shorthose, W.R. 1975. Changes in shear parameters of meat associated with structural changes produced by aging, cooking, and myofibrillar contraction at 50-65°C. Journal of Food Science 40(6): 1122 – 1126.
- Bowen, C., Handslip, C., Hawkins, K., Hsiung, D.-T., Lee, W., Stacey, J., and Wadey, R. 1998. Classic Chinese Recipes. UK: Parragon.
- Boyle, J. L., Lindsay, R. C., and Stuibler, D. A. 1991. Adenine nucleotide degradation in modified atmosphere chill-stored fresh fish. Journal of Food Science 56: 1267 – 1270.
- Brandsch, J. and Piringer, O. 2000. Characteristics of plastic materials. In Piringer, O.-G., and Baner, A. L. (Eds.), Plastic packaging materials for food: barrier function, mass transport, quality assurance and legislation, pp. 9-45. Weinheim: Wiley – Vch Verlag GmbH.
- Bremer, P. J., Fletcher, G. C. and Osborne, C. 2003. Scombrototoxin in seafood[Online]. Christchurch: New Zealand Institute for Crop and Food Research Limited. Available from: [www.crop.cri.nz/home/research/marine/pathogens/scombrototoxin.pdf](http://www.crop.cri.nz/home/research/marine/pathogens/scombrototoxin.pdf)[2004, October 11]

- Brown, W. D., Albright, M. Watts, D. A., Heyer, B., Spruce, B., and Price, R. J. 1980. Modified atmosphere storage of rockfish (*Sebastes miniatus*) and silver salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Journal of Food Science 45: 93 – 96.
- Bugueno, G., Escriche, I., Martinez-Navarrete, N., Camacho, M. M., and Chiralt, A. 2003. Influence of storage conditions on some physical and chemical properties of smoked salmon (*Salmo salar*) processed by vacuum impregnation techniques. Food Chemistry 81: 85 – 90.
- Califano, A. N., Bertola, N. C., Bevilacqua, A. E., and Zaritzky, N. E. 1997. Effect of processing conditions on the hardness of cooked beef. Journal of Food Engineering 34: 41 – 54.
- Canadian Food Inspection Agency. 2002. Flexible Retort Pouch Defects Manual-Identification and Classification Chapter 2[Online]. Available from: <http://www.inspection.gc.ca/english/anima/fispoi/manman/pousac/chap2e.shtml>[2004, July 2]
- Chen, D., and Zhang, M. 2006. Analysis of volatile compounds in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). Journal of Food and Drug Analysis 14(3): 297 – 303.
- Chen, T. S. and George, W. Z. 1981. Ascorbic acid retention in retort pouched green beans. Journal of Food Science 46(2): 642 – 643.
- Cheng, C. S. and Parrish, F. C. 1976. Scanning electron microscopy of bovine muscle: effect of heating on ultrastructure. Fisheries Science 41: 1449 – 1454.
- Chia, S. S., Baker, R. C., and Hotchkiss, J. H. 1983. Quality comparison of thermo processed fishery products in cans and retortable pouches. Journal of Food Science 48(5): 1521 – 1525, 1531.
- Chiou, T.-K., and Lai, M.-M. 2002. Comparison of test components in cooked meats of small abalone fed different diets. Fisheries Science 68: 388 – 394.
- Chiou, T.-K., Lai, M.-M., and Shiau, C.-Y. 2001. Seasonal variations of chemical constituents in the muscle and viscera of small abalone fed different diets. Fisheries Science 67: 146 – 156.
- Chiou, T.-K., Lai, M.-M., Lan, H.-L., and Shiau, C.-Y. 2002. Extractive component changes in the foot muscle of live small abalone during storage. Fisheries Science 68: 380 – 387.
- Chiou, T. K., Lin, J. F., and Shiau, C. Y. 1998. Changes in extractive components and glycogen in the edible meat of hard clam *Meretrix lusoria* during storage at different temperatures. Fisheries Science 64: 115 – 120.
- Chiou, T.-K., Tsai, C.-Y., and Lan, H.-L. 2004. Chemical, physical and sensory changes of small abalone meat during cooking. Fisheries Science 70: 867 – 874.
- Church, N. 1994. Developments in modified-atmosphere packaging and related technologies. Trends in Food Science & Technology 5: 345–352.
- Church, N., and Parsons, A. L. 1995. Modified atmosphere packaging technology: a review. Journal of the Science of Food and Agriculture 67: 143-152.
- Cochran, W. C. and Cox, G. M. 1992. Experimental Designs. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley and Sons. 611pp.
- Codex Alimentarius. Canned crab meat . (Codex stan 90-1981, Rev.1-1995 )
- Copeland, R. A. 1994. Methods for protein quantitation. In Methods for Protein Analysis, pp. 39-58. New York: Chapman&Hall.

- Corzo, O., Bracho, N., and Marjal, J. 2006. Color change kinetics of sardine sheets during vacuum pulse osmotic dehydration. Journal of Food Engineering 75: 21-26.
- Crapo C. A. and Crawford, D. L. 1991. Influence of polyphosphate soak and cooking procedures on yield and quality of Dungeness crab meat. Journal of Food Science 56(3): 657-659, 664.
- Cross, H. R., Carpenter, Z. L., and Smith, G. C. 1973. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. Journal of Food Science 38(6): 998-1003.
- Currie, R. W. and Wolfe, F. H. 1980. Rigor related changes in mechanical properties (tensile and adhesive) and extracellular space in beef muscle. Meat Science 4: 123-143.
- Dalgaard, P. 1995. Qualitative and quantitative characterization of spoilage bacteria from packed fish. International Journal of Food Microbiology 26:319-333.
- Daniels, J. A., Krishnamurthi, R., and Rizvi, S. S. H. 1985. A review of effects of carbon dioxide on microbial growth and food quality. Journal of Food Protection 48(6):532-537.
- Davey, C. L. and Gilbert, K. V. 1974. Cite in D. A. Ledward. 1979. Meat. In Priestley, R. J. (ed.), Effects of Heating on Foodstuffs, pp. 157-194. London: Applied Science Publishers Ltd.
- David, D. 1975. Discoloration in processed crabmeat. A review. Journal of Food Science 40: 756-761.
- Davies, R., Birch, G. G. and Parker, K. J. 1976. Intermediate Moisture Foods. Applied Science Publications. London.
- Dawson, P. L., Sheldon, B. W., and Miles, J. J. 1991. Effect of aseptic processing on the texture of chicken meat. Poultry Science 70: 2359-2367.
- Day, B. P. F. 1997. Modified-atmosphere packaging markets, Europe. In Brody, A. L., and Marsh, K. S. (eds.), The Wiley encyclopedia of packaging technology, pp. 656-659. John Wiley&sons, Inc. New York.
- Dean, E. B. 1981. Abalone canning. Commonwealth of Australia Patents Act 1952-62 Complete specification.
- Devahastin, S. and Mujumdar, A. S. 1999. Batch drying of grains in a well-mixed dryer – Effect of continuous and stepwise change in drying air temperature. Transactions of the ASAE. 42(2): 421 – 425.
- Donsì, G., Ferrari, G. and Matteo, P.D. 2001. Utilization of combined processes in freeze-drying of shrimps. Food and Bioproducts Processing. 81: 152 – 159.
- Downing, D. L. 1996. A complete course in canning and related processes. 13<sup>th</sup> ed. Maryland: CTI Publications, Inc.
- อ้างอิงใน วิไล รังสาทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เฟอร์นัลส์ จำกัด.
- Du, W. X., Lin, C. M., Phu, A. T., Cornell, J. A., Marshall, M. R., and Wei, C. I. 2002. Development of biogenic amines in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) : Effect of storage and correlation with decarboxylase- positive bacterial flora. Journal of Food Science 67(1): 292 – 301.
- Dunajski, E. 1979. Texture of fish muscle. Journal of Texture Studies 10: 301 – 309.
- Durance, T. D. and Collins, L. S. 1991. Quality enhancement of sexually mature chum salmon *Onchorhynchus keta* in retort pouches. Journal of Food Science 56(5): 1282 – 1286.
- Dziezak, J. D. 1990. Phosphates improve many foods. Food Technology 44(4): 80 – 92.

- Ehira, S., and Uchiyama, H. 1974. Freshness-lowering rates of cod and sea bream viewed from changes in bacterial count, total volatile base- and trimethylamine-nitrogen, and ATP related compounds. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 40(5): 479 – 487.
- English, P. M., Gerdes, D. L., Finerty, M. W., and Grodner, R. M. 1988. Effects of tripolyphosphate dips on quality of thermally processed mullet (*Mugi cephalus*). Journal of Food Science 53(5): 1319 – 1321, 1502.
- Eskin, N. A. M., and Henderson, H. M. 1971. Biochemistry of Food. New York: Academic Press.
- FAO. 2005. Canned Abalone[Online]. Available from:  
<http://www.fao.org/docrep/003/t0007e/t0007e05.htm#4.5Molluscs>[2005, December 11]
- Farber, J. M. 1991. Microbiological aspects of modified-atmosphere packaging technology. Journal of Food Protection 54(1): 58 – 70.
- Farber, J. M., Warburton, D. W., Gour, L., and Milling, M. 1990. Microbiological quality of foods packaged under modified atmospheres. Food Microbiology 7: 327 – 334.
- Fieger, E. A. and Novak, A. 1961. Microbiology of shellfish deterioration. In Borgstrom, G. (ed.), Fish as Food, Vol. 1. San Diego: Academic Press.
- Findlay, C. J., Stanley, D. W., and Gullet, E. A. 1986. Thermo-mechanical properties of beef muscle. Meat Science 16: 57 – 70.
- Fletcher, G. C., Summers, G., Winchester, R. V., and Wong, R. 1995. Histamine and histidine in New Zealand marine fish and shellfish species, particularly kahawai (*Arripis trutta*). Journal of Aquatic Food Product Technology 4: 54 – 74.
- Fuke, S. 1994. Taste-active components of seafood with special reference to umami substances. In F. Shahidi, and J. R. Botta (eds.), Seafoods: Chemistry, Processing Technology and Quality, pp. 115-139. Glasgow: Blackie Academic and Professional.
- Gao, X., Ogawa, H., Tashiro, Y., and Iso, N. 2001. Rheological properties and structural changes in raw and cooked abalone meat. Fisheries Science 67: 314 – 320.
- Gao, X., Tashiro, Y., and Ogawa, H. 2002. Rheological properties and structural changes in steamed and boiled abalone meat. Fisheries Science 68: 499 – 508.
- Gildberg, A. 1993. Review: Enzymic Processing of Marine Raw Materials. Process Biochemistry 28: 1 – 15.
- Gimenez, B., Roncales, P., and Beltran, J. A. 2002. Modified atmosphere packaging of filleted rainbow trout. Journal of the Science of Food and Agriculture 82: 1154 – 1159
- Goddard, R. 1990. Packaging materials. 1<sup>st</sup> ed. England: Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire.
- Goncalves, A. C., Lopez-Caballero, M. E., and Nunes, M. L. 2003. Quality changes of deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) packed in modified atmosphere. Journal of Food Science 68: 2586 – 2590.
- Gram, L., and Dalgaard, P. 2002. Fish spoilage bacteria-problems and solutions. Biotechnology 13: 262–266.
- Gram, L., and Huss, H. H. 1996. Microbiological spoilage of fish and fish products. International Journal of Food Microbiology 33: 121-137.

- Guerard, F., Guimas, L., and Binet, A. 2002. Production of tuna waste hydrolysates by a commercial neutral protease preparation. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic 19-20: 489-498.
- Hall, G. M. 1997. Fish processing technology. 2<sup>nd</sup> ed. London: Blackie Academic & Professional.
- Hahn, K., O. 1989. Handbook of Culture of Abalone and Other Marine Gastropoda. CRC Press. Boca Raton. Florida, USA.
- Hamm, R. 1970. Properties of meat proteins. Cite in Cheng, C. S. and Parrish, F. C. 1976. Scanning electron microscopy of bovine muscle: effect of heating on ultrastructure. Fisheries Science 41: 14449-1454
- Handumrongkul, C., and Silva, J. L. 1994. Aerobic counts, color and adenine nucleotide changes in CO<sub>2</sub> packed refrigerated striped bass strips. Journal of Food Science. 59:67-69.
- Hasegawa H. 1987. Laboratory manual on analytical methods and procedures for fish and fish products. Marine Fisheries Research Department Southeast Asian Fisheries Development Center, Singapore.
- Hatae, K., Nakai, H., Shimada, A., Murakami, T., Takada, K., Shirojo, Y., and Watabe, S. 1995. Abalone (*Haliotis discus*): seasonal variations in chemical composition and textural properties. Journal of Food Science 60(1): 32 – 35, 39.
- Hatae, K., Nakai, H., Takada, C., Shimada, A., and Watabe, S. 1996. Taste and texture of abalone meat after extended cooking. Fisheries Science 62(4): 643 – 647.
- Hatae, K., Yoshimatsu, F., and Matsumoto, J. J. 1984. Discriminative characterization of different texture profiles of various cooked fish muscles. Journal of Food Science 49(3): 721–726.
- Hearne, E. H., Penfield, M. P., and Goertz, G. E. 1978. Heating effects on bovine semitendinosus: shear, muscle fiber measurements, and cooking losses. Journal of Food Science 43(1): 10-16.
- Heidelbaugh, N. D. and Karel, M. 1970. Changes in pouched heat-processed foods. Modern Packaging 43(11): 80-90.
- Hill, R. L. 1965. Advances in Protein Chemistry. New York: John Wiley & Sons.
- Hintlian, C. B., and Hotchkiss, J. H. 1986. The safety of modified atmosphere packaging: a review. Food Technology 34(12):55-63.
- Hirsch, A. 1991. Flexible food packaging questions and answers. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Hunter, R. S. 1975. Scales for measurements of color differences. In: J. Wiley (Ed.). Measurement of Appearance. New York: Interscience. pp. 133. Cited in Ochoa, M. R., Kessler, A. G., Vullioud, M. B., and Lozano, J. E. 1999. Physical and chemical characteristics of raspberry pulp: Storage effect on composition and color. Lebensmittel – Wissenschaft – und – Technologie 32(3): 149 – 153.
- Huss, H. H. 1988. Fresh fish: Quality and quality changes. FAO Fisheries No. 29. อ้างถึงใน มัทนา แสงจินดาวงษ์. 2545. ผลิตภัณฑ์ประมงของไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหา- วิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- James, D. G., and Olley, J. 1970. Moisture and pH changes as criteria of freshness in abalone and their relationship to texture of the canned product. Food Technology in Australia 22:350-357.
- James, D. G. and Olley, J. 1971. Studies on the processing of abalone Part II: The maturometer as a guide to canned abalone texture. Food Technology in Australia 23: 3914-3918.

- James, D. G., and Olley, J. 1974. The abalone industry in Australia. In K. Rudolf (Ed.), Fishery products, pp. 238-242. England: The Whitefriars Press Ltd.
- Jarayabhand, P., and Paphavasit, N. 1996. A review of the culture of tropical abalone with special reference to Thailand. Aquaculture 140: 159 – 168.
- Jauregui, C., Regenstein, J., and Baker, R.C. 1981. A simple centrifugal method for measuring expressible moisture, a water-binding property of muscle foods. Journal of Food Science 46(4): 1271, 1273.
- Jayasingh, P., Cornforth, D. P., Brennand, C. P., Carpenter, C. E., and Whittier, D. R. 2002. Sensory evaluation of ground beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging. Journal of Food Science 67:3493-3496.
- Jones, S. B., Carrol, R. J., and Cavanaugh, J. R. 1977. Structural changes in heated bovine muscle: a scanning electron microscope study. Journal of Food Science 42(1): 125-131.
- Kaplow, M. 1970. Commercial development of intermediate moisture foods. Food Technology 24(8): 53-57.
- Kawashima, K., and Yamanaka, H. 1992. Effects of storage temperatures on the post-mortem biochemical changes in scallop adductor muscle. Nippon Suisan Gakkaishi 58(11): 2175-2180.
- Kawashima, K. and Yamanaka, H. 1995. Effects of cold storage, freezing and thawing on browning of cooked scallop adductor muscle. Fisheries Science 61: 1031-1034.
- Kawashima, K., and Yamanaka, H. 1996a. Free amino acids responsible for the browning of cooked scallop adductor muscle. Fisheries Science 62(2): 293 – 296.
- Kawashima, K., and Yamanaka, H. 1996b. Relations between glycolysis and browning of cooked scallop abductor muscle. Fisheries Science 62(5): 800-805.
- Kebede, E., Mannheim, C. H., and Miltz, J. 1996. Heat penetration and quality preservation during thermal treatment in plastic trays and metal cans. Journal of Food Engineering 30: 109 – 115.
- Kim, S. H., Price, R. J., Morissey, M. T., Field, K. G., Wei, C. I., and An, H. 2002. Histamine production by *Morganella morganii* in mackerel, albacore, mahi-mahi, and salmon at various storage temperatures. Journal of Food Science 67(4): 1522-1528.
- Kimura, J., Shimizu, A., Kimizuka, A., Ninomiya, T., and Katsuya, N. 1969. The contribution of peptides and amino acids to the taste of food stuffs. Journal of Agricultural and Food Chemistry 17(2): 689-695.
- Kimura, S. and Kubota, M. 1968. Some properties of collagen from the abalone. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 34(4): 925-929.
- Kijowski, J. 2001. Muscle proteins. In Sikorski, Z. E. (ed.), Chemical and Functional Properties of Food Proteins, pp. 233-269. Pennsylvania: Technomic Publication.
- Kolodziejaska, I., Sikorski, Z. E., and Sadowska, M. 1987. Texture of cooked mantle of squid *Illex argentinus* as influenced by specimen characteristics and treatments. Journal of Food Science 52(4): 932 – 935.
- Konagaya, S. and Konagaya, T. 1979. Acid denaturation of myofibrillar protein as the main cause of formation of “yake-niku”, a spontaneously of done meat, in red meat fish. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 45(2): 245-248.

- Konosu, S. 1973. Taste of fish and shellfish with special deference to taste – producing substances. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi 20: 432 – 439.
- Konosu, S., Hayashi, T., and Yamaguchi, K. 1987. Role of extractive components of boiled crab in producing the characteristic flavor. In K. Kawamura, and M. R. Karo (Eds.), Umami: A Basic Taste, pp. 235-253. New York: Marcel Dekker.
- Kotzekidou, P. 2000. *Bacillus stearothermophilus*. In Robinson, R. K., Batt, C. A., and Patel, P. D. (Eds.), Encyclopedia of Food Microbiology Volume 1, pp.124-129. London: Academic Press.
- Kristinsson, H.G. and Rasco, B.A. 2000. Fish protein hydrolysate: production, biochemical, and functional properties. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 40(1): 43-81.
- Kusmider, E. A., Sebranek, J. G., Lonergan, S. M., and Honeyman, M. S. 2002. Effects of carbon monoxide packaging on color and lipid stability of irradiated ground beef. Journal of Food Science 67(9): 3463 – 3468.
- Laakkonen, E., Wellington, G. H., and Sherbon, J. W. 1970. Low temperature, long time heating of bovine muscle. 1. Changes in tenderness, water-binding capacity, pH and amount of water soluble components. Journal of Food Science 35(2):175-177.
- Labuza, T. P. 1984. Application of chemical kinetics to deterioration of foods. Journal of Chemical Education 61(4): 348 – 358.
- Labuza, T. P., and Schmidl, M. K. 1985. Accelerated shelf – life testing of foods. Food Technology 51: 57 – 60, 64.
- Labuza, T. P., Fu, B., and Taoukis, P. S. 1992. Prediction for shelf life and safety of minimally processed CAP / MAP chilled foods : A Review. Journal of Food Protection 55:741–750.
- Lampila, L. E. and Godber, J. P. 2002. Food phosphates. In Brannen, A. L., Davidson, P. M., Salminen, N., and Thorngate III, J. H. (eds.), Food Additives 2<sup>nd</sup> ed., pp. 809-896. New York: Marcel Dekker.
- Lannelongue, M., Finne, G., Hanna, M. O., Nickelson, R., and Vanderzant, G. 1982a. Microbiological and chemical changes during storage of swordfish (*Xiphias gladius*) steaks in retail packages containing CO<sub>2</sub>-enriched atmospheres. Journal of Food Protection 45(13):1197-1203.
- Lannelongue, M., Finne, G., Hanna, M. O., Nickelson, R., and Vanderzant, G. 1982b. Storage characteristics of brown shrimp (*Penaeus aztecus*) stored in retail packages containing CO<sub>2</sub>-enriched atmospheres. Journal of Food Science 47:911-913.
- Lannelongue, M., Hanna, M. O., Finne, G., Nickelson, R., and Vanderzant, G. 1982c. Storage characteristics of finfish fillets (*Archosargus probatocephalus*) packed in modified gas atmospheres containing carbon dioxide. Journal of Food Protection 45(5):440-444.
- Larick, D. K. and Turner, B. E. 1992. Aseptic processing of bovine particulates: flavor development/stability and texture. Journal of Food Science 57(5): 1046-1050.
- Lawrie, R. A. 1968. Chemical changes in meat due to processing – a review. Journal of the Science of Food and Agriculture 19(1): 233-240.
- Layrisse, M. E., and Matches, J. R. 1984. Microbiological and chemical changes of spotted shrimp (*Pandalus platyceros*) stored under modified atmosphere. Journal of Food Protection 47(6):453-457.

- Leach, A. A. 1960. Notes on a modification of the Neuman & Longman method for the determination of the hydroxyproline. The Biochemical Journal 74(1): 70-71.
- Ledward, D. A. 1979. Meat. In Priestley, R. J. (ed.), Effects of Heating on Foodstuffs, pp. 157-194. London: Applied Science Publishers Ltd.
- Ledward, D. A. 1984. Food group (meat panel) symposium connective tissue in meat and meat products - Thermal stability of connective tissue in meat and meat products. Journal of the Science of Food and Agriculture 35(5): 1261-1267.
- Lehane, L. and Olley, J. 2000. Histamine fish poisoning revisited. International Journal of Food Microbiology 58: 1-37.
- Li, W., Bowers, J. A., Craig, J. A., and Perng, S. K. 1993. Sodium tripolyphosphate stability and effect in ground turkey meat. Journal of Food Science 58(3): 501-504.
- Light, N., Voyle, C., and Champion, A. 1984. Relationship between collagen content, type and texture of difference muscles. Journal of Science of Food and Agriculture 35 (5): 1261-1262.
- Little, R. S. 2007. A abalone stocks continue to face depletion[online]. Available from: <http://www.panda.org.za/article.php?id=212>[2007, march 5]
- Lopez-Sabater, E. I., Rodriguez, J. J., Roig- Saguez, A. X., and Mora-Ventura, M. T. 1994. Bacteriological quality of tuna fish (*Thunnus thynnus*) destined for canning: Effect of tuna handling on presence of histidine decarboxylase bacteria and histamine level. Journal of Food Protection 57(4): 318-323.
- Lopez-Sabater, E. I., Rodriguez-Jerez, J. J., Hernandez-Herrero, M., Roig-Sagues, A. X., and Mora-Ventura, M. T. 1996. Sensory quality and histamine formation during controlled decomposition of tuna (*Thunnus thynnus*). Journal of Food Protection 59(2): 167-174.
- Ma, L. Y., Deng, J. C., Ahmed, E. M., and Adams, J. P. 1983. Canned shrimp texture as a function of its heat history. Journal of Food Science 48(2): 360-363.
- Martens, H., Stabursvik, E., and Martens, M. 1982. Texture and colour changes in meat during cooking related to thermal denaturation of muscle proteins. Journal of Texture Studies 13: 291-309.
- Matiella, J. E., and Hsieh, T. C. Y. 1990. Analysis of crabmeat volatile compounds. Journal of Food Science 55(4): 962 – 966.
- Matoba, M., and Hata, T. 1972. Relationship between bitterness of peptides and their chemical structure. Agricultural and Biological Chemistry 36(8): 1423-1431.
- Matoba, T., Kuchiba, M., Kimura, M., and Hasegawa, K. 1988. Thermal degradation of flavor enhancers, inosine 5'-monophosphate, and guanidine 5'-monophosphate in aqueous solution. Journal of Food Science 53(4): 1156-1159.
- Matsumoto, M., and Yamanaka, H. 1990. Post-mortem biochemical changes in the muscle of Kuruma prawn during storage and evaluation of the freshness. Nippon Suisan Gakkaishi 56:1145-1149.
- McLaughlin, C. P. and Magee, T. R. A. 1998. The determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. Journal of Food Engineering 35: 267-280.

- McMeekin, T. A., Olley, J., Ross, and T., Ratkowski, D. A. 1993. A thermodynamic approach to bacterial growth. Cite in Lehane, L., and Olley, J. 2000. Histamine fish poisoning revisited: a review. International Journal of Food Microbiology 58: 1-37.
- Mizuta, S., Miyaki, T., Nishimiya, T., and Yoshinaka, R. 2004. Partial characterization of collagen in several bivalve molluscs. Food Chemistry 87: 83-88.
- Mizuta, S., Yoshinaka, R., Sato, M., and Sakaguchi, M. 1994. Characterization of collagen in the muscle several crustacean species in association with raw meat texture. Fisheries Science 60: 323-328.
- Mohan, C. O., Ravishankar, C. N., Bindu, J., Geethalakshmi, V., and Srinivasa Gopal, T. K. 2006. Effect of thermal process time on quality of "Shrimp Kuruma" in retortable pouches and aluminum cans. Journal of Food Science 71(6): 496 – 500.
- Murata, M., and Sakaguchi, M. 1986. Changes in contents of free amino acids, trimethylamine, and nonprotein nitrogen of oyster during ice storage. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 52(11): 1975 – 1980.
- Nakayama, F. and Kimura, S. 1979. Glucose-6-phosphate content in the meat of boil-shucked scallop and browning of the canned product. Journal of Food Science 44(1): 209-213.
- Nathakaranakule, A., Kraiwanichkul, W. and Soponronnarit, S. 2007. Comparative study of different combined superheated-steam drying techniques for chicken meat. Journal of Food Engineering 80 (4): 1023-1030.
- Newport Scientific Pty, Ltd. 1995. Operation Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyzer. Australia.
- Nilsang, S., Lertsiri, S., Suphantharika, M. and Assavanig, A. 2005. Optimization of enzymatic hydrolysis of fish soluble concentrate by commercial proteases. Journal of Food Engineering 70(4): 571-578.
- Nishimura, T., and Kato, H. 1988. Taste of free amino acids and peptides. Food Reviews International 4(1): 175 -194.
- Niven, C.F., Jeffrey, M. B., and Corlett, D. A. 1981. Differential plating medium for quantitative detection of histamine-producing bacteria. Applied and Environmental Microbiology 41(1): 321-322.
- Nketsia-Tabiri, J. and Sefa-Dedeh, S. 1995. Optimization of process conditions and quality of salted dried tilapia (*Oreochromis niloticus*) using response surface methodology. Journal of Science Food Agriculture 69: 117-127.
- Nonratip, A., Wada, S., and Yamanaka, H. 1991. Post – mortem glycolysis and degradation in the muscle of ascidian *Halocynthia roretzi*. Nippon Suisan Gakkaishi 57(4): 761 – 766.
- Noryati, I. and Michael, W. 1992. Fish salting and drying: a review. Asean Food Journal. 7(4):175-183.
- Oakes, F. R., and Ponte, R. D. 1996. The abalone market: Opportunities of cultured abalone. Aquaculture 140: 187 – 195.
- Oberlender, V., Hanna, M. O., Miget, R., Vanderzant, C., and Finne, G. 1983. Storage characteristics of fresh swordfish steaks stored in carbon dioxide-enriched controlled (flow-through) atmospheres. Journal of Food Science 46:434-440.
- Ochiai, Y., Kariya, Y., Watabe, S., and Hashimoto, K. 1985. Heat – induced tendering of turban shell (*Batillus cornutus*) muscle. Journal of Food Science 50(2): 981 – 984.

- Offer, G., Knight, P., Jeacocke, R., Almond, R., Consins, T., Elsey, J., Parsons, N., Sharp, A., Starr, R., and Purslow, P. 1989. The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat products. Food Microstructure 8: 151-170.
- Olaechea, R. P., Ushio, H., Watabe, S., Takada, K., and Hatae, K. 1993. Toughness and collagen content of abalone muscles. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry 57(1): 6-11.
- Olafsdottir, G., Martinsdottir, E., Oehlenschläger, J., Dalgaard, P., Jensen, B., Undeland, I., Mackie, I. M., Henehan, G., Nielsen, J., and Nilsen, H. 1997. Method to evaluate fish freshness in research and industry. Trends in Food Science & Technology 8:258–265.
- Olley, J. and Thrower, S. J. 1977. Abalone – an esoteric food. Advance in Food Research 23(1): 143-185.
- Olson, K. I. and Sorrells, K. M. 2001. Thermophilic flat sour sporeformers. In Pouch, S. F. and Ito, K. (Eds.), Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, pp. 245-248. Washington, D. C.: American Public Health Association.
- Otwell, W. S., and Hamann, D. D. 1979. Textural characterization of squid (*Loligo pealei* L.): Instrumental and panel evaluations. Journal of Food Science 44: 1636 – 1643.
- Ozogul, F., Taylor, K. D. A., Quantick, P., and Ozogul, Y. 2000. Chemical, microbiological and sensory evaluation of Atlantic herring (*Clupea harengus*) stored in ice, modified atmosphere and vacuum pack. Food Chemistry 71:267-273.
- Ozogul, Y., Ozogul, F., and Gokbulut, C. 2006. Quality assessment of wild European eel (*Anguilla anguilla*) stored in ice. Food Chemistry 95: 458 – 465.
- Palka, K. and Daun, H. 1999. Changes in texture, cooking losses, and myofibrillar structure of bovine M. semitendinosus during heating. Meat Science 51: 237-243.
- Palumbo, S. A. 1986. Is refrigeration enough to restrain foodborne pathogens?. Journal of Food Protection 49(12):1003–1009.
- Parkin, K. L. and Brown, W. D. 1983. Modified atmosphere storage of Dungeness crab (*Cancer magister*). Journal of Food Science 48(2): 370-374.
- Pastoriza, L., Sampedro, G., Herrera, J. J., and Cabo, M. L. 1996. Effect of carbon dioxide atmosphere on microbial growth and quality of salmon slices. Journal of the Science of Food and Agriculture 72: 348-352.
- Paul, P. 1963. Influence of methods of cooking on meat tenderness. In Processing of Meat Tenderness Symposium, pp. 225-242, Campell Soup Co., Camden NJ.
- Peck, M. W. 1997. *Clostridium botulinum* and the safety of refrigerated processed foods of extended durability. Trends in Food Science and Technology 8: 186–192.
- Phillips, C. A. 1996. Review: Modified atmosphere packaging and its effects on the microbiological quality and safety of produce. International Journal of Food Science and Technology 31:463-479.
- Piggott, J. R. 1984. Sensory Analysis of Foods. London: Elsevier Applied Science Publishers. pp. 179-242.
- Piggott, G. M. and Tucker, B. W. 1990. Seafood: Effects of Technology on Nutrition. New York: Marcel Dekker, Inc.

- Poole, S. E., Wilson, P., Mitchell, G. E., and Wills, P. A. 1990. Storage life of chilled scallops treated with low dose irradiation. Journal of Food Protection 53(9): 763 – 766.
- Posomboon, W. 1998. Processing Effect on Quality of Dried Shrimp. Master of Engineering Thesis, Agricultural Engineering Program, Faculty Engineering, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Prendergast, K. 1974. Protein hydrolysate – A review. Food Trade Review 44(14): 16 – 21.
- Price, R. J. and Tom, P. D. 2004. Scombrototoxin (Histamine): Chapter 27[online]. Davis: The National Sea Grant College Fisheries Extension Enhancement Grant Program. Available from:  
<http://seafood.ucdavis.edu/haccp/compendium/chapter27.htm> [2005, March 29]
- Price, R. J., Melvin, E. F., and Bell, J. W. 1991. Postmortem changes in chilled round, bled and dressed albacore. Journal of Food Science 56: 318 – 321.
- Prost, C., Hallier, A., Cardinal, M., Serot, T., and Courcoux, P. 2004. Effect of storage time on raw sardine (*Sardina pilchardus*) flavor and aroma quality. Journal of Food Science 69(5): 198 – 204.
- Rahman, M. S. 1999. Water Activity and Food Preservation. In Rahman, M. S. and Labuza, T. P. (Eds.), Handbook of Food Preservation. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Raina, C. S., Singh, S., Bawa, A. S., and Saxena, D. C. 2006. A comparative study of Indian rice starches using different modification model solutions. Lebensmittel – Wissenschaft – und – Technologie (accepted)
- Ramaswamy, H. S., and Grabowski, S. 1999. Thermal processing of pacific salmon in stream/air and water-immersion still retorts: Influence of container type/shape on heating behavior. Lebensmittel – Wissenschaft – und – Technologie 32: 12 – 18.
- Reddy, N. R., Roman, M. G., Villanueva, M., Solomon, H. M., Kautter, D. A., and Rhodehamel, E. J. 1997. Shelf life and *Clostridium botulinum* toxin development during storage of modified atmosphere-packaged fresh catfish fillets. Journal of Food Science 62:878-884.
- Reddy, N. R., Schreiber, C. L., Buzard, K. S., Skinner, G. E., and Armstrong, D. J. 1994. Shelf life of fresh tilapia fillets packaged in high barrier film with modified atmospheres. Journal of Food Science 59: 260 – 264.
- Reddy, N. R., Villanueva, M., and Kautter, D. A. 1995. Shelf life of modified-atmosphere-packaged fresh tilapia fillets stored under refrigeration and temperature-abuse conditions. Journal of Food Protection 58(8): 908-914.
- Rizvi, A. F. and Tong, C. H. 1997. Fractional conversion of determining texture degradation kinetics of vegetables. Journal of Food Science 62(1): 1-7.
- Rizvi, S. S. H., and Acton, J. C. 1982. Nutrient enhancement of thermostabilized foods in retort pouches. Food Technology 36(4): 105 – 109.
- Rockland, L. B. and Nishi, S. K. 1980. Influences of water on food product quality and stability. Food Technology 34(4): 42-51.
- Ruiz-Capillas, C., and Moral, A. 2001. Chilled bulk storage of gutted hake (*Merluccius merluccius* L.) in CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> enriched controlled atmospheres. Food Chemistry 74:317–325.
- Ruiz-Capillas, C., and Moral, A. 2004. Free amino acids in muscle of Norway lobster (*Nephrops norvegicus* (L.)) in controlled and modified atmospheres during chilled storage. Food Chemistry 86:85-91.

- Ruiz-Capillas, C., Moral, A., Morales, J., and Montero, P. 2002. Preservation of shelf life of pota and octopus in chilled storage under controlled atmospheres. Journal of Food Protection 65(1):140–145.
- Ryder, J. M. 1985. Determination of adenosine triphosphate and its breakdown products in fish muscle by high-performance liquid chromatography. Journal of Agricultural and Food Chemistry 33:678-680.
- Saito, T., and Arai, K. 1957. Studies on the organic phosphates in muscle of aquatic animals. V. Changes in muscular nucleotides of crap during freezing and storage. (in Japanese) Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 23: 265 – 268. Cited in Hatae, K., Nakai, H., Shimada, A., Murakami, T., Takada, K., Shirojo, Y., and Watabe, S. 1995. Abalone (*Haliotis discus*): seasonal variations in chemical composition and textural properties. Journal of Food Science 60(1): 32 – 35, 39.
- Sanchez-Brambila, G. Y., Lyon, B. G., Huang, Y. W., Lyon, C. E., and Gates, K. W. 2002a. Sensory characteristics and instrumental texture attributes of abalones, *Haliotis fulgens* and *crachrodii*. Journal of Food Science 67(3): 1233 – 1239.
- Sanchez-Brambila, G. Y., Lyon, B. G., Huang, Y. W., Santiago, J. R. F., Lyon, C. E., and Gates, K. W. 2002b. Sensory and texture quality of canned whelk (*Astraea undosa*) subjected to tenderizing treatments. Journal of Food Science 67(4):1559-1563.
- Sarabok, A., and H-Kittikun, A. 1999. Tuna condensate for flavour sauce production. Songklanakarin Journal of Science and Technology 21(4): 497-500.
- Schrodter, R., and Wolm, G. 1980. Optimization of conditions for flavour formation in amino acid / glucose model system. Nahrung 24(2): 175-183.
- Scott, D. N., Fletcher, G. C., Hogg, M. G., and Ryder, J. M. 1986. Comparison of whole and headed and gutted orange roughly stored in ice: sensory, microbiology and chemical assessment. Journal of Food Science 51(1): 79-83.
- Shahidi, F. 1994. Seafood proteins and preparation of protein concentrates. In Shahidi, F. and Botta, J. R. (Eds.), Seafood: Chemistry, Processing Technology and Quality, pp. 3-9. Glasgow: Blackie Academic and Professional.
- Shahidi, F., Han, X. Q. and Synowiecki, J. 1995. Production and characteristics of protein hydrolysates from capelin (*Mallotus villous*). Food Chemistry 53: 285-293.
- Shama, F., Parkinson, C., and Sherman, P. 1973. Identification of stimuli controlling the sensory evaluation of viscosity I. 4(1): 102 – 110.
- Shen, C., Xie, J., and Xu, X. 2007. The components of cuttlefish (*Sepiella maindroni de Rochebruns*) oil. Food Chemistry 102: 210 – 214.
- Sidwell, V. 1981. Chemical and nutritional composition of finfish, whales, crustaceans, mollusks, and their products. NOAA Technical memorandum, NMFS F/SEC-11. United States Department of commerce, Washington, D. C. Cite in Pigott, G. M. and Tucker, B. W. 1990. Seafood: Effects of Technology on Nutrition. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Sikorski, Z. E. 1990. Seafood: Resources, Nutritional Composition, and Preservation. Florida: CRC Press, Inc.

- Sikorski, Z. E. and Borderias, J. 1994. Collagen in muscle and skin of marine animals. In Sikorski, Z. E., Pan, B. S., and Shahidi, F. (eds.), Seafood Protein, pp. 58-70. New York: Chapman & Hall.
- Silva, J. L., Harkness, E., and White, T. D. 1993. Residual effect of CO<sub>2</sub> on bacterial counts and surface pH of channel catfish. Journal of Food Protection 56(12):1051-1053.
- Silva, J. L., and White, T. D. 1994. Bacteriological and color changes in modified atmosphere-packaged refrigerated channel catfish. Journal of Food Protection 57(8):715-719.
- Smiddy, M., Papkovsky, D., Kerry, J. 2002. Evaluation of oxygen content in commercial modified atmosphere packs (MAP) of processed cooked meats. Food Research International 35: 571–575.
- Smith, P. S. 1982. Starch derivatives and their uses in foods. In D. R. Lineback, and G.E. Inglett (Eds.). Food Carbohydrates. Connecticut: AVI Publishing Co., Inc. pp. 237 – 269.
- Sofos, J. N. 1986. Use of phosphate in low-sodium meat products. Food Technology 40(9): 52-69.
- Sofos, J. N. 1994. Microbial growth and its control in meat, poultry and fish. In Pearson, A. M. and Dutson, T. R. (eds.), Advances in Meat Research Series Volume 9: Quality Attributes in Meat, Poultry and Fish Products, pp. 359-403. London: Blackie Academic & Professional.
- Solomon, H. M., Johnson, E. A., Bernard, D.T., Arnon, S. S., and Ferreira, J. L. 2001. *Clostridium botulinum* and its toxins. In Pouch, S. F. and Ito, K. (eds.), Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, pp. 317-323. Washington, D. C.: American Public Health Association.
- Srinivasa Gopal, T. K., Vijayan, P. K., Balachandran, K. K., Madhavan, P., and Iyer, T. S. G. 2001. Traditional Kerala style fish curry in indigenous retort pouch. Food Control 12: 523 – 527.
- Stammen, K., Gerdes, D., and Caporaso, F. 1990. Modified atmosphere packaging of seafood. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 29(5):301-331.
- Stumbo, C. R. 1973. Thermobacteriology in food processing. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Academic Press. อ้างถึงใน วิไล รังสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัลพับลิเคชัน จำกัด.
- Subburaj, M., Karunasagar, I., and Karunasagar, I. 1984. Incidence of histidine-decarboxylating bacteria in fish and market environments. Food Microbiology 1: 263-267
- Sun Pan, B., and Kuo, J. M. 1994. Flavour of shellfish and Kamaboko flavorants. In F. Shahidi, and J. R. Botta (Eds.), Seafood: Chemistry, Processing Technology and Quality, pp. 85-88. Glasgow: Blackie Academic and Professional.
- Suwetja, K., Hori, K., Miyazawa, K., and Ito, K. 1989. Changes in content of ATP-related compounds, Homarine, and Trigonelline in marine invertebrates during ice storage. Nippon Suisan Gakkaishi 55:559-566.
- Takayama, N., Yamamoto, Y., Kadowaki, Y. and Endo, K. 1970. Chemical components of abalone meat. Kaseikaku Zasshi. 21(1): 239-245.
- Troller, J. A. and Christian, J. H. B. 1978. Water Activity and Food. Academic Press. New York.
- Takayama, N., Yamamoto, Y., Kadowaki, Y., and Endo, K. 1970. Chemical components of abalone meat. Kaseikaku Zasshi. 21(1): 239-245.

- Taylor, S. L., Guthertz, L. S., Leatherwood, M., Tillman, F., and Lieber, E. R. 1978. Histamine production by food-borne bacteria species. Journal of Food Safety 1: 173-187.
- Taylor, S. L. and Speckhard, M. W. 1983. Isolation of histamine producing bacteria from frozen tuna. Marine Fisheries Review 45(4-6): 35-39.
- Tompkin, R. B. 1984. Indirect antimicrobial effects in foods: Phosphates. Journal of Food Protection 46: 846-860.
- Tuschhoff, J. V. 1986. Hydroxypropylated starch. In O. B. Wurzburg (Ed.). Modified Starches: Properties and Uses. Florida: CRC Press Inc. pp. 89 – 96.
- Tyszkiewicz, S. 1979. Factors determining meat tenderness (in Polish). Przemysł Spożywczy 23: 218-221. Cite in Palka, K., and Daun, H. 1999. Changes in texture, cooking losses, and myofibrillar structure of bovine *M. semitendinosus* during heating. Meat Science 51: 237-243.
- Ueng, Y. and Chow, C. 1998. Textural and histological changes of different squid mantle muscle during frozen storage. Journal of Agriculture and Food Chemistry 46: 4728-4733.
- Villemure, G., Simard, R. E., and Picard, G. 1986. Bulk storage of cod fillets and gutted cod (*Gadus morhua*) under carbon dioxide atmosphere. Journal of Food Science 51:317-320.
- Wang, M. Y., and Brown, W. D. 1983. Effects of elevated CO<sub>2</sub> atmosphere on storage of freshwater crayfish (*Pacifastacus leniusculus*). Journal of Food Science 48(1):158-162.
- Ward, A. G. and Court, A. 1977. The Science and Technology of Gelatin. New York: Academic press.
- Warn, D., and Brown, N. 1984. Abalone canning: Factors affecting product safety, sensory quality and profitability. Infofish Marketing Digest 5(1): 42-44.
- Warne, D. 1988. Manual on fish canning FAO[online]. Available from: [www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/DOCREP/003/T0007E/T0007E05.HTM](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/003/T0007E/T0007E05.HTM)[2004, October 20]
- Watabe, S., Ochiai, Y., Kariya, Y., Dinh, T. N. L., Kimura, S., and Hashimoto, K. 1986. Characterization of three types of turban shell *Batillus cornutus* muscle – ultrastructure and protein composition. Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries 52(4): 737-744.
- Watabe, S., Ushio, H., Iwamoto, M., Kamal, M., Ioka, H., and Hashimoto, K. 1989. Rigor-mortis progress of sardine and mackerel in association with ATP degradation and lactate accumulation. Nippon Suisan Gakkaishi 55:1833-1839.
- Watanabe, H., Yamanaka, H., and Yamakawa, H. 1992b. Post-mortem biochemical changes in the muscle of disk abalone during storage. Nippon Suisan Gakkaishi 58: 2081 – 2088.
- Watanabe, H., Yamanaka, H., and Yamakawa, H. 1992a. Seasonal variation of extractive components in the muscle of disk abalone. Nippon Suisan Gakkaishi 58: 921 – 925.
- Wattanachant, S., Benjakul, S., and Ledward, D. A. 2005. Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of Thai indigenous chicken muscle. Food Chemistry 93: 337-348.
- Webber, H. H. 1970. Changes in metabolite composition during the reproductive cycle of the abalone *Haliotis cracheroidii* (Gastropoda: Prosobranchiata). Physiological Zoology 43(1): 213-217.

- Wekell, J. C. and Teeney, F. M. 1988. Canned salmon curd reduced by use of polyphosphates. Journal of Food Science 53(4): 1009-1013.
- Whitaker, J. R. 1972. Principles of Enzymology for the Food Sciences. New York: Marcel Dekker.
- Wolfe, S. K. 1980. Use of CO<sub>2</sub>- and CO<sub>2</sub>-enriched atmospheres for meats, fish, and produce. Food Technology 34(3):55-63.
- Wongso, S., Yamanaka, H. 1998. Extractive components of the adductor muscle of Japanese baking scallop and changes during refrigerated storage. Journal of Food Science 63(5): 772-776.
- Wurzburg, O. B. 1986. Cross – linked Starches. In O. B. Wurzburg (Ed.). Modified starches: Properties and Uses. Florida: CRC Press Inc. pp. 41 – 51.
- Xiong, Y. L. 1997. Structure-function relationships of muscle protein. In Damodaran, S. (ed.), Food Proteins and Their Application, pp. 341-362. New York: Marcel Dekker.
- Yokoyama, Y., Sakaguchi, M., Kawai, F., and Kanamori, M. 1992. Changes in concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage. Nippon Suisan Gakkaishi 58:2125-2136.
- Yokoyama, Y., Sakaguchi, M., Kawai, F., and Kanamori, M. 1994. Chemical indices for assessing freshness of shellfish during storage. Fisheries Science 60:329-333.
- Yoneda, C., Kasamatsu, C., Hatae, K., and Watabe, S. 2002. Changes in taste and textural properties of the foot of the Japanese cockle (*Fulvia mutica*) by cooking and during storage. Fisheries Science 68: 1138-1144.
- Yoshinaga, D.H. and Frank, H. A. 1982. Histamine-producing bacteria in decomposing skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). Applied and Environmental Microbiology 44(2): 447-452.
- Zayas, J. F. 1997. Functionality of Proteins in Food. Germany: Springer.

## ภาคผนวก ก

### วิธีวิเคราะห์ทางเคมี

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณ Trimethylamine (TMA) และ Total Volatile Base (TVB) ตามวิธี Conway (Hasegawa, 1987)

#### อุปกรณ์

1. จานคอนเวย์
2. กระดาษกรอง Whatman No.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร
3. กระดาษกรอง Whatman No.41 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร
4. ไมโครบิวเรต
5. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (AB204, Mettler – Toledo, Switzerland)
6. ปิเปต ขนาด 1, 10 มิลลิลิตร
7. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 10, 1000 มิลลิลิตร

#### สารเคมี

1. กรดบอริก (boric acid) (Univa, Ajax Finechem, Australia)
2. เอทานอล (ethanol) (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy)
3. โบรโมโครีซอลกรีน (bromo cresol green) (Merck, Darmstadt, Germany)
4. เมทิลเรด (methyl red) (Merck, Darmstadt, Germany)
5. กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy)
6. โพแทสเซียมคาร์บอเนต (potassium carbonate) (Univa, Ajax Finechem, Australia)
7. กรดไทรคลอโรอะซิติก (trichloro acetic acid) (Merck, Darmstadt, Germany)
8. แมกนีเซียมคาร์บอเนต (magnesium carbonate) (Univa, Ajax Finechem, Australia)
9. ฟอรัมัลดีไฮด์ (formaldehyde) (Univa, Ajax Finechem, Australia)

#### การเตรียมสารละลายอินดิเคเตอร์

ชั่ง โบรโมโครีซอลกรีน 0.01 กรัมและเมทิลเรด 0.02 กรัม ละลายในเอทานอล 10 มิลลิลิตร

#### การเตรียมสารละลาย Inner ring

ชั่งกรดบอริก 10 กรัมละลายในเอทานอล 200 มิลลิลิตร เติมสารละลายอินดิเคเตอร์ 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนได้ 1 ลิตร

#### การเตรียมสารละลายอ้อมตัวของโพแทสเซียมคาร์บอเนต

ชั่งโพแทสเซียมคาร์บอเนต 60 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร นำไปต้มประมาณ 10 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1

#### การเตรียมสารละลาย Neutralized 10% Formaldehyde

ชั่งแมกนีเซียมคาร์บอเนต 10 กรัม ละลายในฟอรัมาลิน 100 มิลลิลิตร เขย่าเพื่อให้เกิด neutralize กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 3 เท่า

### การเตรียมตัวอย่าง

สับตัวอย่างให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างมา 2 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ เติมสารละลาย 4% ไตรคลอโรอะซิติกแอซิด 8 มิลลิลิตร บดให้ทั่วด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 ปรับปริมาตรให้ได้ 10 มิลลิลิตรด้วย 4% ไตรคลอโรอะซิติกแอซิด เก็บในตู้เย็นเพื่อรอการวิเคราะห์

### การวิเคราะห์หาปริมาณ Trimethylamine

ปิเปตสารละลาย Inner ring 1 มิลลิลิตรลงด้านในของจาน Conway ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงด้านนอกของจาน Conway ข้างหนึ่ง ปิเปตสารละลาย Neutralized 10% Formaldehyde 1 มิลลิลิตรลงไปผสมกับตัวอย่างที่ด้านนอกของจานอีกข้างหนึ่ง ปิดฝาจาน Conway ทันที แล้วหมุนจานเบาๆ ให้สารละลายด้านนอกสองข้างผสมกัน จากนั้นปิเปตสารละลายอิมตัวของโปแตสเซียมคาร์บอเนต 1 มิลลิลิตรลงที่ด้านนอกของจาน ปิดฝาและหมุนจานเบาๆ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง ไตรเตรตส่วนที่อยู่ด้านในของจานด้วย 0.02 N ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกโดยใช้ไมโครบิวเรต จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู และนำปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้มาคำนวณหาปริมาณ Trimethylamine ดังสูตร

$$\text{TMA-N (mg/100g Sample)} = \frac{\text{NV} \times 14 (\text{C-B}) \times 100}{\text{g Sample}}$$

N = Normality ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

C = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตรเตรตสารละลายตัวอย่าง

B = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตรเตรต Blank

V = ปริมาตรรวมของตัวอย่างและสารละลาย 4% กรดไฮโดรคลอริกที่ใช้เตรียมสารละลายตัวอย่าง

### การวิเคราะห์หาปริมาณ Total Volatile Base

ปิเปตสารละลาย inner ring 1 มิลลิลิตรลงด้านในของจาน Conway ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตรลงด้านนอกของจาน Conway ข้างหนึ่ง ปิดฝาจาน Conway แล้วค่อยๆ เติมน้ำจากนั้นปิเปตสารละลายอิมตัวของโปแตสเซียมคาร์บอเนต 1 มิลลิลิตรลงที่ด้านนอกของจานอีกข้างหนึ่ง โดยยังไม่ให้ผสมกัน ปิดฝาและหมุนจานเบาๆ ให้สารละลายอิมตัวของโปแตสเซียมคาร์บอเนตผสมกับสารละลายตัวอย่าง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 3 ชั่วโมง ไตรเตรตสารละลายที่อยู่ด้านในของจานด้วย 0.02 N ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกโดยใช้ไมโครบิวเรต จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู และนำปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้มาคำนวณหาปริมาณ TVB ดังสูตร

$$\text{TVB-N (mg/100g Sample)} = \frac{\text{NV} \times 14 (\text{A-B}) \times 100}{\text{g Sample}}$$

N = Normality ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

A = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตรเตรตสารละลายตัวอย่าง

B = ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตรเตรต Blank

V = ปริมาตรรวมของตัวอย่างและสารละลาย 4% กรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ใน

การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

## ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์และสารอนุพันธ์ (Hatae *et al.*, 1995)

### การเตรียมสารสกัด

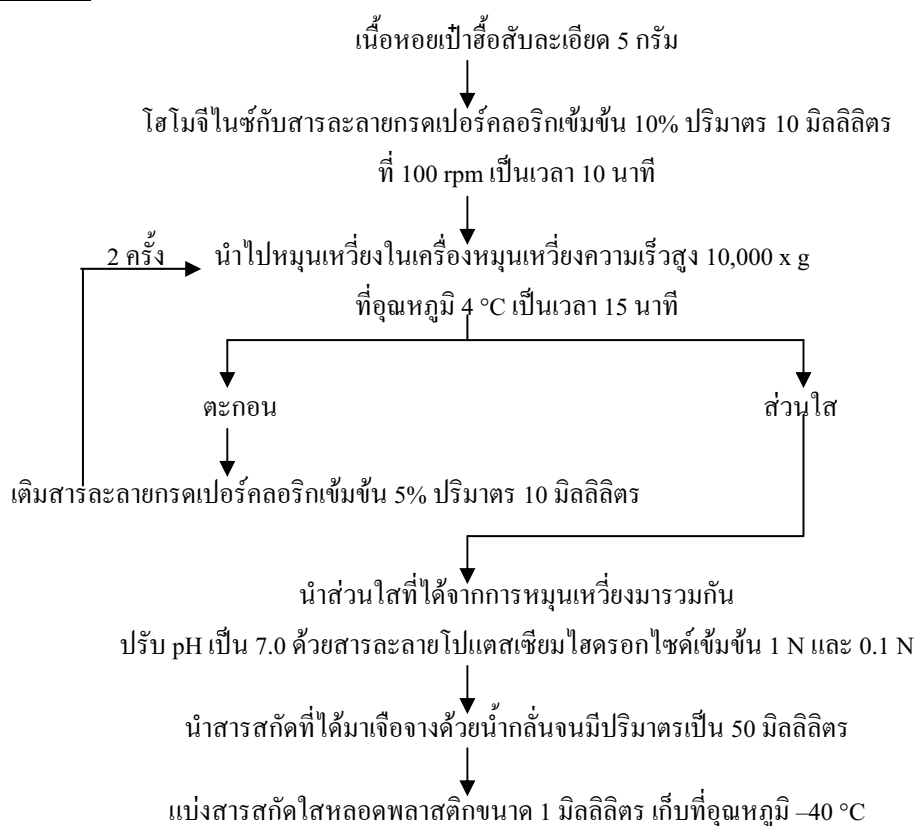
#### อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (AB204, Mettler – Toledo, Switzerland)
2. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) (F21, Horiba, Japan)
3. เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูงแบบควบคุมอุณหภูมิ (Thermo ICE, ICE Multi RF)
4. homogenizer (Ace homogenizer)
5. ตู้แช่แข็งชนิดควบคุมอุณหภูมิต่ำ (MDF – 592, Sanyo, Japan)
6. หลอดเครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูงขนาด 80 มิลลิลิตร
7. ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร
8. ขวดพลาสติกขนาด 60 มิลลิลิตร
9. หลอดหยด

#### สารเคมี

1. กรดเปอร์คลอริก (perchloric acid) (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy)
2. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy)
3. กรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloro acetic acid) (Merck, Darmstadt, Germany)

### วิธีเตรียมสารสกัด



รูปที่ ก.1 วิธีเตรียมสารสกัดจากหอยเป่าสดในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบนิวคลีโอไทด์

## การวิเคราะห์

### อุปกรณ์

1. High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ประกอบด้วย  
ระบบฉีดตัวอย่าง (717 Plus Autosampler, Waters, USA)  
คอลัมน์ Pursuit C8 ขนาด 4.6 x 150 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาค 3 ไมครอน  
เครื่องตรวจวัด (2487 Dual  $\lambda$  Absorbance Detector, Waters, USA)
2. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) (CG 840, Schott, Germany)
3. เครื่องกวนแม่เหล็กอัตโนมัติ (magnetic stirrer) (210T, Thermix, USA) และแท่งกวนแม่เหล็ก (magnetic bar)
4. เข็มฉีดยา ขนาด 5 มิลลิลิตร
5. ชุดกรอง (Gast Manufacturing, Inc., USA)
6. แผ่นกรองแบบบาง (National Scientific Company, USA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร nylon syringe pore size 0.45 ไมครอน
7. แผ่นกรองแบบบาง (Pall Corporation, Michigan) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร pore size 0.45 ไมครอน
8. ขวดใสสารตัวอย่างขนาด 1 มิลลิลิตร (150  $\mu$ l clear glass concial)

### สารเคมี

1. สารมาตรฐาน inosine (Ino) purity 100% (Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Japan)
2. สารมาตรฐาน adenosine 5' – triphosphate, disodium (ATP – Na<sub>2</sub>) purity 99%  
(Sigma. Chem. Co., Ltd., USA)
3. adenosine 5' – diphosphate, disodium (ADP – Na<sub>2</sub>) purity 98%  
(Sigma. Chem. Co., Ltd., USA)
4. adenosine 5' – monophosphate, disodium (AMP – Na<sub>2</sub>) purity 99%  
(Sigma. Chem. Co., Ltd., USA)
5. inosine 5' – monophosphate, disodium (IMP – Na<sub>2</sub>) purity 98 – 100%  
(Sigma. Chem. Co., Ltd., USA)
6. adenosine (AdR) purity 99% (Sigma. Chem. Co., Ltd., USA)
7. hypoxanthine (Hx) purity 99% (Sigma. Chem. Co., Ltd., USA)
8. เมทานอล (methanol) (Carlo Erba Reagenti, Rodano, Italy) (HPLC grade)
9. น้ำบริสุทธิ์ผ่านกระบวนการ reverse osmosis และ deionization จนน้ำมีความต้านทานไฟฟ้า 18.2  $\Omega$  ซม
10. กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) (Univa, Ajax Finechem, Australia)
11. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไดไฮดรต (sodium dihydrogen phosphate) (Univa, Ajax Finechem, Australia)

### ภาวะในการวิเคราะห์

|                             |                                                  |
|-----------------------------|--------------------------------------------------|
| ปริมาตรสารสกัด              | 10 ไมโครลิตร                                     |
| สารละลายเฟสเคลื่อนที่       | สารละลายโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 50 mM |
| pH ของสารละลายเฟสเคลื่อนที่ | 6.0                                              |
| อัตราการไหล                 | 1.0 มิลลิลิตร/นาที                               |
| ความยาวคลื่นที่ตรวจวัด      | 254 นาโนเมตร                                     |

### ก.3 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนด้วยวิธี HPLC

AccQ.Tag. เป็นวิธีการหากรดอะมิโนโดยการทำอนุพันธ์ของกรดอะมิโนด้วยวิธี pre-column โดยสารเคมีที่ใช้ในการทำอนุพันธ์ ได้แก่ AQC. (AccQ-fluor reagent) มีชื่อทางเคมี คือ 6-amino quinolyl-N-hydroxy succinimidyl carbamate ซึ่งสามารถเกิดอนุพันธ์กับ primary และ secondary amino acids ได้เป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโนที่มีความเสถียร เก็บที่อุณหภูมิห้องได้นานและสามารถแยกได้ง่ายด้วย reverse phase HPLC อนุพันธ์ที่แยกได้สามารถตรวจวัดด้วยเครื่อง UV detector ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร นอกจากนี้สาร AQC. ที่มากเกินไปจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยน้ำได้เป็น AMQ. (aminoquinoline) ที่ตรวจวัดได้น้อย ทำให้ไม่มีการรบกวนจากปริมาณ AQC. ที่มากเกินไป

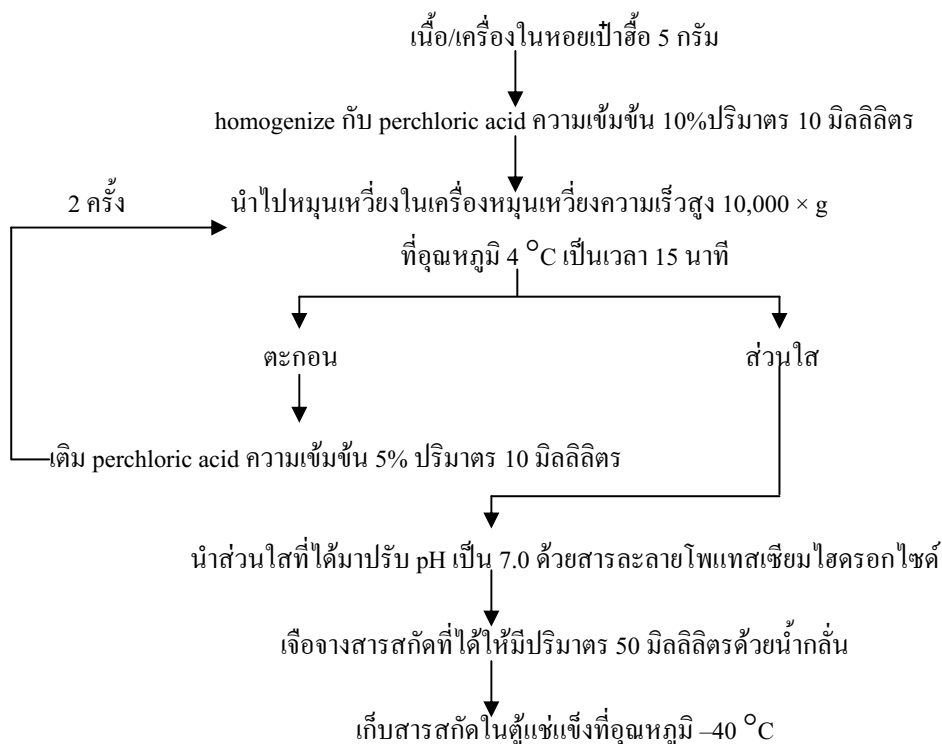
#### อุปกรณ์

1. ระบบฉีดตัวอย่าง (Waters 717 plus Autosampler)
2. คอลัมน์ Waters AccQ-Tag amino acid analysis column ขนาด 3.9 มิลลิเมตร  $\times$  150 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาค 4 ไมครอน
3. เครื่องตรวจวัด (Waters 2487 Dual Absorbance Detector: 254 นาโนเมตร)

#### สารเคมี

1. Waters AccQ-Tag eluent A concentrate (gradient mobile phase)
2. Water amino acid hydrolysate standard ampoules 100
3. 60% acetonitrile
4. Water AccQ.fluor reagent kit ประกอบด้วย Water AccQ. fluor borate buffer  
Water AccQ. fluor reagent powder (2A)  
Water AccQ. fluor reagent diluent (2B)

#### วิธีเตรียมสารสกัด



รูปที่ ก.2 วิธีเตรียมสารสกัดจากหอยเป่าสดในการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโน

### วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียม Waters AccQ. reagent เพื่อทำอนุพันธ์น้ำ Water AccQ. fluor reagent (2B) 1 มิลลิตร ใส่ลงใน Water AccQ. fluor reagent (2A) ปิดฝาเขย่า 10 วินาที ให้ความร้อน 55 °C จนผงใน (2A) ละลายหมด ระวังอย่าให้ความร้อนนานเกิน 10 นาที เมื่อเตรียมเสร็จสามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นาน 1 สัปดาห์

2. การเตรียมสารมาตรฐานและอนุพันธ์ของสารมาตรฐาน

2.1 การเตรียมสารมาตรฐาน เดิม amino acid hydrolysate standard 40 ไมโครลิตร และ internal standard stock solution 40 ไมโครลิตร (ละลาย 2-amino butyric acid 6.45 มิลลิกรัม ใน 0.1M HCl ปริมาตร 25 มิลลิตร เก็บที่อุณหภูมิ -20 °C ได้นาน 6 เดือน) จากนั้นเติมน้ำ Milli-Q 920 ไมโครลิตร สารมาตรฐานที่เตรียมได้จะประกอบด้วย 100 pmol/ไมโครลิตร ของกรดอะมิโนแต่ละชนิด และ internal standard 100 pmol/ไมโครลิตร

2.2 การเตรียมอนุพันธ์สารมาตรฐาน นำสารมาตรฐาน 10 ไมโครลิตรที่เตรียมไว้ใน sample tube ขนาด 6 × 50 มิลลิเมตร เดิม Waters AccQ. fluor borate buffer ประมาณ 70 ไมโครลิตร เดิม ACQ. reagent 20 ไมโครลิตร วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 นาที ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

3. การเตรียมอนุพันธ์ของตัวอย่าง

3.1 การเตรียมอนุพันธ์ของตัวอย่าง เดิม AccQ. fluor borate ปริมาตร 60 ไมโครลิตร ลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้ จากนั้นเขย่าให้เข้ากันและเติม ACQ. reagent ที่เตรียมไว้ 20 ไมโครลิตร เขย่าเป็นเวลา 10 วินาที ทิ้งไว้ 1 นาที เพื่อให้ ACQ. ที่มากเกินไปถูก hydrolysed ด้วยน้ำไปเป็น AMQ. นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 10 นาที

3.2 การแยกอนุพันธ์ของกรดอะมิโน ใช้ปั๊มขับเคลื่อน mobile phase เข้าร่วมกับตัวอย่างเพื่อพาเข้าสู่ separating column ที่อุณหภูมิ 37°C โดยใช้ mobile phase 2 ชนิด คือ

- eluent A เป็น AccQ. Tag eluent 200 มิลลิตร ใน Milli-Q 2 ลิตร
- eluent B เป็น acetonitrile 60%

ใช้ปริมาตรสารสกัดอนุพันธ์ 5 ไมโครลิตร ตรวจวัดด้วย Waters 2487 Dual Absorbance Detector ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร

### **ก.4 การวิเคราะห์ volatile compounds ด้วยวิธี Headspace – GC – MS**

#### อุปกรณ์

1. Headspace (Agilent, 7694, USA)
2. Gas Chromatography (GC) (Agilent, 6890N, USA)
3. Mass Spectrometer (MS) (Agilent, MSD 5973, USA)
4. Capillary column ขนาด 30 เมตร × 250 ไมโครเมตร × 0.25 ไมโครเมตร (J&W Scientific, DB-5MS, USA)

#### สภาวะของ Headspace

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| oven temperature program:  | 80°C      |
| loop temperature:          | 85°C      |
| transfer line temperature: | 85°C      |
| GC cycle time:             | 50 นาที   |
| vial equivalent time:      | 30 นาที   |
| pressurize time:           | 0.20 นาที |

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| loop fill time:       | 0.20 นาที |
| loop equivalent time: | 0.05 นาที |
| inject time:          | 1.0 นาที  |

#### สภาวะของเครื่อง GC

|                            |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|
| injector temperature:      | 200°C                           |
| splitless mode:            | 30 มิลลิลิตรต่อนาที @ 0.75 นาที |
| oven temperature program:  | 40°C hold time 2 นาที           |
| ramp rate:                 | 10°C/นาที                       |
| final temperature:         | 250°C hold time 10 นาที         |
| column flow rate:          | 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที            |
| transfer line temperature: | 250°C                           |

#### สภาวะของเครื่อง MS

|                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| mode:                | Electron Ionization (EI) |
| mass range:          | 10-350 unit              |
| electron multiplier: | 1400 volt                |

### **ก.5 การวิเคราะห์ volatile compounds ด้วยวิธี SPME – GC – MS**

#### อุปกรณ์

1. SPME fiber ชนิด polydimethylsiloxane (Supelco, USA)
2. เครื่อง Gas Chromatography (6890N, Agilent Technologies, USA)
3. เครื่อง Mass Spectrometer (MSD 5973, Agilent Technologies, USA) พร้อม library Wiley275
4. คอลัมน์ชนิด silica capillary column HP – INNOWAX โดยมี polyethylene glycol เป็น nonpolar stationary phase (30 m x 0.32 mm x 0.25  $\mu$ m) (19091N – 113, Agilent Technologies, USA)

#### สภาวะของตัวอย่างและ SPME

|                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| preheated sample vial: | 50°C holding time 10 นาที |
| SPME absorption time:  | 20 นาที                   |
| SPME desorption time:  | 5 นาที                    |

#### สภาวะของเครื่อง GC

|                            |                                                 |
|----------------------------|-------------------------------------------------|
| carrier gas:               | Helium                                          |
| injection port:            | splitless mode 1.5 มิลลิลิตร/นาที ที่ 0.75 นาที |
| injection temperature:     | 200°C                                           |
| oven temperature:          | 50°C holding time 2 นาที                        |
| ramp rate:                 | 10°C/นาที                                       |
| final temperature:         | 250°C holding time 10 นาที                      |
| column flow rate:          | constant flow 1.5 มิลลิลิตร/นาที                |
| transfer line temperature: | 280°C                                           |

สภาวะของเครื่อง MS

|                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| operation mode:         | Electron Ionization (EI) |
| mass range:             | 35 – 350 unit (m/z)      |
| electron multiplier:    | 1400 volt                |
| electron energy         | 70 eV                    |
| ion source temperature: | 230 <sup>o</sup> C       |

## ภาคผนวก ข

### การวิเคราะห์ทางกายภาพ

#### ข.1 การวิเคราะห์การเกิดเจลลิตีในเซชันและสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

##### อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA (4D, Newport Scientific Pty. Ltd., Australia)
2. ภาชนะบรรจุตัวอย่างพร้อมใบพัด
3. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่อง RVA
4. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (E 350, Memmert, Germany)

##### วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่อง RVA ไว้ นาน 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง
2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมเครื่อง RVA และปรับสภาวะในการทำงานของเครื่องดังนี้

Temperature profile:

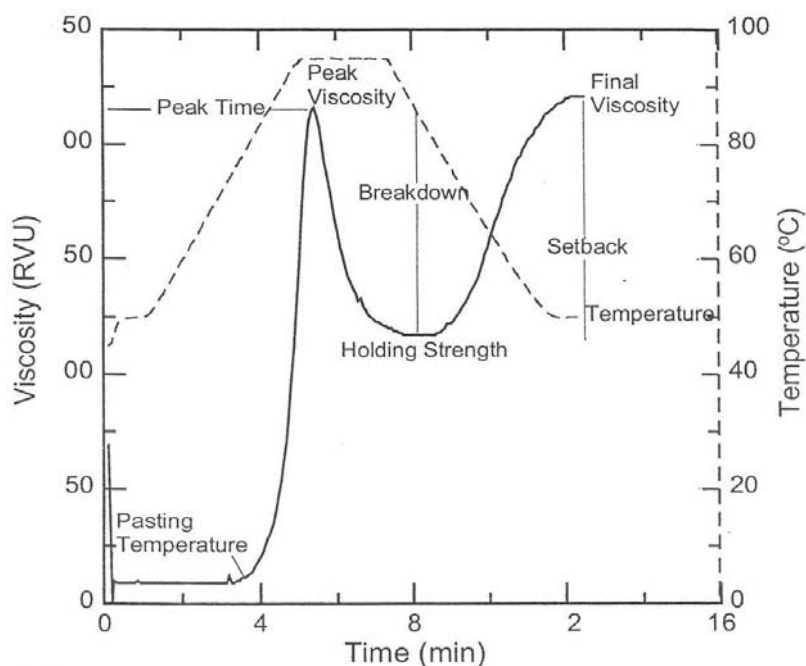
|                  |         |    |          |      |      |
|------------------|---------|----|----------|------|------|
| อุณหภูมิเริ่มต้น | 50      | °C |          |      |      |
| อุณหภูมิ         | 50      | °C | ระยะเวลา | 1    | นาที |
| อุณหภูมิ         | 50 – 95 | °C | ระยะเวลา | 3.75 | นาที |
| อุณหภูมิ         | 95      | °C | ระยะเวลา | 2.5  | นาที |
| อุณหภูมิ         | 95 – 50 | °C | ระยะเวลา | 3.75 | นาที |
| อุณหภูมิ         | 50      | °C | ระยะเวลา | 2    | นาที |

ควบคุมความเร็วรอบในการกวนของมอเตอร์ 160 รอบ/นาที

อัตราเร็วการให้ความร้อน 12 °C / นาที

3. ชั่งน้ำกลั่นใส่ในภาชนะบรรจุตัวอย่างตามปริมาณที่คำนวณไว้ ให้ได้น้ำหนักรวมของน้ำกลั่นและตัวอย่างเป็น 28 กรัม
4. ชั่งตัวอย่าง 1.68 กรัม (6% โดยน้ำหนักแห้ง) ใส่ในภาชนะบรรจุตัวอย่างที่มีน้ำกลั่นอยู่แล้ว
5. ใส่ใบพัดลงในภาชนะบรรจุตัวอย่าง หมุนใบพัด ไปมาแรงๆ และดึงขึ้นลงเพื่อกวนตัวอย่างไม่ให้จับเป็นก้อนที่ผิว น้ำหรือติดอยู่ที่ใบพัด
6. นำภาชนะบรรจุตัวอย่างที่ใส่ใบพัดแล้วใส่เข้าเครื่อง RVA กดมอเตอร์ลงให้เครื่อง RVA เริ่มทำงาน ผลการวิเคราะห์จากเครื่อง RVA จะได้กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting curve) แสดงดังรูปที่ ข.1 และรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่างๆ ดังนี้
  1. ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีหน่วยเป็น RVU
  2. เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด (peak time) มีหน่วยเป็นนาที
  3. อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด หรือมีความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 2 วินาที (pasting temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
  4. ผลต่างของความหนืดสูงสุดกับความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วยเป็น RVU
  5. ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU

6. ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough) มีหน่วยเป็น RVU
7. ความหนืดต่ำสุด (trough) มีหน่วยเป็น RVU



รูปที่ ข.1 ตัวอย่าง pasting curve ของสตาร์ชที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง RVA

## ข.2 การวิเคราะห์สมบัติการไหลของซูปพอยเป่าอื้อ

### อุปกรณ์

1. เครื่อง Bohlin Rheometer (C – VOR, Malvern Instrument Ltd., UK)
2. หัววัด cone and plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร มุม 4 องศา (CP 4/40)

### วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่อง Bohlin Rheometer ปิดลม cooling และ thermostat ให้พร้อมต่อการทำงาน ใส่หัววัด CP 4/40 แล้วล็อกเกลียวที่หัววัด ตั้ง zero และตั้ง gap ที่ 150 ไมโครเมตร
2. เปิดโปรแกรมในหน้าจอคอมพิวเตอร์ แล้วเข้าไปที่ mode viscometry ตั้งสภาวะในการทำงานของเครื่องดังนี้

- Pre condition : controlled rate

|                  |    |          |
|------------------|----|----------|
| shear rate       | 10 | $s^{-1}$ |
| apply time       | 60 | s        |
| equilibrium time | 10 | s        |

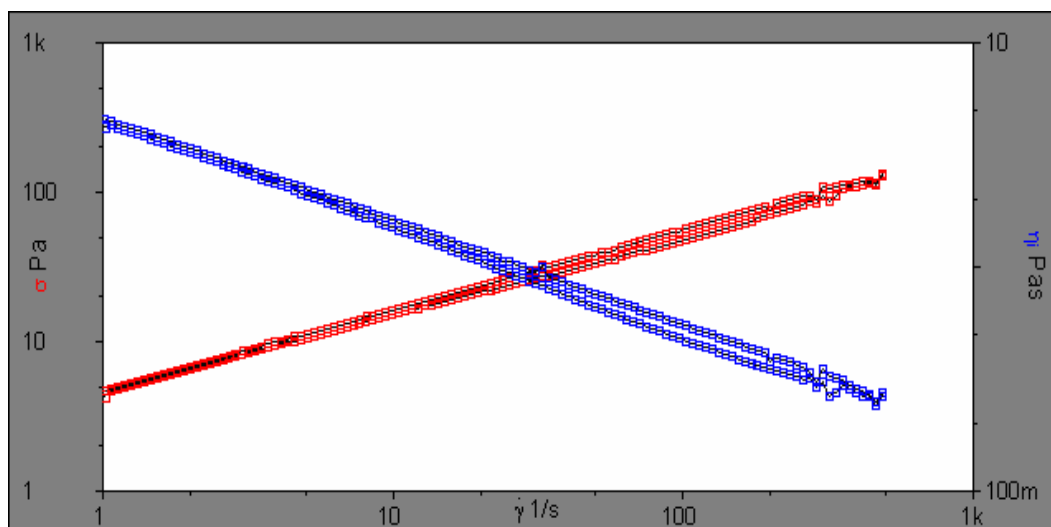
- Shear profile :

|             |     |          |
|-------------|-----|----------|
| start shear | 1   | $s^{-1}$ |
| end shear   | 500 | $s^{-1}$ |

thixotropic analysis

- Isothermal : 25°C

3. นำตัวอย่างใส่ลงบนแท่น เลื่อนหัววัดลงมาสัมผัสกับตัวอย่างยังตำแหน่ง gap ที่ตั้งไว้ เคลียร์ให้ขอบตัวอย่างพอดี ขอบหัววัด ปลดล็อกหัววัด แล้วกด start เพื่อเริ่มการทำงานของเครื่อง
4. คำนวณผล โดยใช้สมการ Herschel bulkey model



รูปที่ ข.2 ตัวอย่าง profile ของซูปที่ ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bohlin Rheometer

### ข.3 การวิเคราะห์ค่าสี

#### อุปกรณ์

1. เครื่องวัดสี Minolta Chroma meter (CR300 series, Minolta, Tokyo, Japan)
2. เซลล์สำหรับใส่ตัวอย่างของเหลว CR – A71

#### วิธีวิเคราะห์

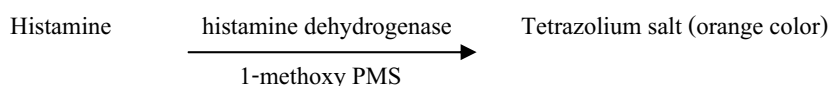
1. เลื่อนสวิตช์ power on พร้อมกับกดปุ่ม all data clear
2. กดปุ่ม index set
3. เลือกแหล่งแสง C หรือ D แล้วกดปุ่ม enter
4. กดปุ่ม calibrate เพื่อป้อนค่า Y, x, y ซึ่งได้จากค่าที่อยู่บนตัวเครื่อง
5. กดปุ่ม measure แล้วรอจนเกิดการ reflect ของแสงครบ 3 ครั้ง
6. กดปุ่ม color space select เพื่อเลือกระบบสีที่ต้องการ คือ L, a, b
7. นำซูปที่ต้องการวัดสีใส่ cell แล้วนำไปใส่ในตัวเครื่อง
8. กดปุ่ม measure

ถ้าต้องการวิเคราะห์สถิติ กดปุ่ม stat เครื่องจะแสดงค่า max, min, mean และ SD

## ภาคผนวก ค

### การวิเคราะห์ฮิสตามีน

หลักการวิเคราะห์ฮิสตามีน คือ เอนไซม์ histamine dehydrogenase จะช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของฮิสตามีนในภาวะที่มี 1-methoxy-5-methylphenazinium methylsulphate (1-methoxy PMS) ทำให้เกิด tetrazolium salt ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีสีส้ม ดังสมการ แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร



#### สารเคมี

1. สารละลายบัฟเฟอร์ 0.1 M EDTA .2Na (pH 8.0)

ชั่งเอทรีนไดอะมีนเตตระอะซิดิกแอซิดไดโซเดียมซอลท์ (EDTA.2Na.2H<sub>2</sub>O) 37.22 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร ปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

2. สารเคมีในชุดทดสอบฮิสตามีน ประกอบด้วย

2.1 colorimetric reagent ที่ประกอบด้วย tetrazolium salt และ 1-methoxy PMS เตรียมโดยเติมน้ำกลั่น 9 มิลลิลิตร เข้าเบาๆ เมื่อละลายดี ห่อหุ้มขวดด้วยฟอยล์และแช่ตู้เย็นก่อนนำมาใช้งาน

2.2 enzymatic reagent ได้แก่ เอนไซม์ histamine dehydrogenase เตรียมโดยเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร เข้าเบาๆ เมื่อละลายดี ห่อหุ้มขวดด้วยฟอยล์ และแช่ตู้เย็นก่อนนำมาใช้งาน

- 2.3 tris-hydrochloric acid buffer solution

- 2.4 histamine standard solution

#### วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่าง (sample extraction)

นำหอยเป่าที่ปั่นละเอียด 1 กรัม ใส่ในหลอดเข็นτριฟิวจ์ เติมสารละลายบัฟเฟอร์ EDTA.2Na (pH 8.0) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 24 มิลลิลิตร ต้มในน้ำเดือด 20 นาที แล้วทำให้เย็นอย่างรวดเร็วในอ่างน้ำแข็ง แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 10,000×g นาน 5 นาที เก็บของเหลวส่วนใสเพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป

2. การวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบฮิสตามีน (Kikkoman Corporation, Japan)

- 2.1 ปิเปตสารละลายแต่ละชนิดใส่ในหลอดทดลองพลาสติก ดังนี้

| สารที่ใช้                   | ปริมาณที่ใช้ (มิลลิลิตร) |              |                   |               |
|-----------------------------|--------------------------|--------------|-------------------|---------------|
|                             | Sample                   | sample blank | standard solution | reagent blank |
| น้ำกลั่น                    | 1.0                      | 1.4          | 1.0               | 2.4           |
| สารสกัดตัวอย่าง             | 1.0                      | 1.0          | -                 | -             |
| histamine standard solution | -                        | -            | 1.0               | -             |
| buffer solution             | 0.4                      | 0.4          | 0.4               | 0.4           |
| colorimetric reagent        | 0.4                      | 0.4          | 0.4               | 0.4           |
| enzyme solution             | 0.4                      | -            | 0.4               | -             |

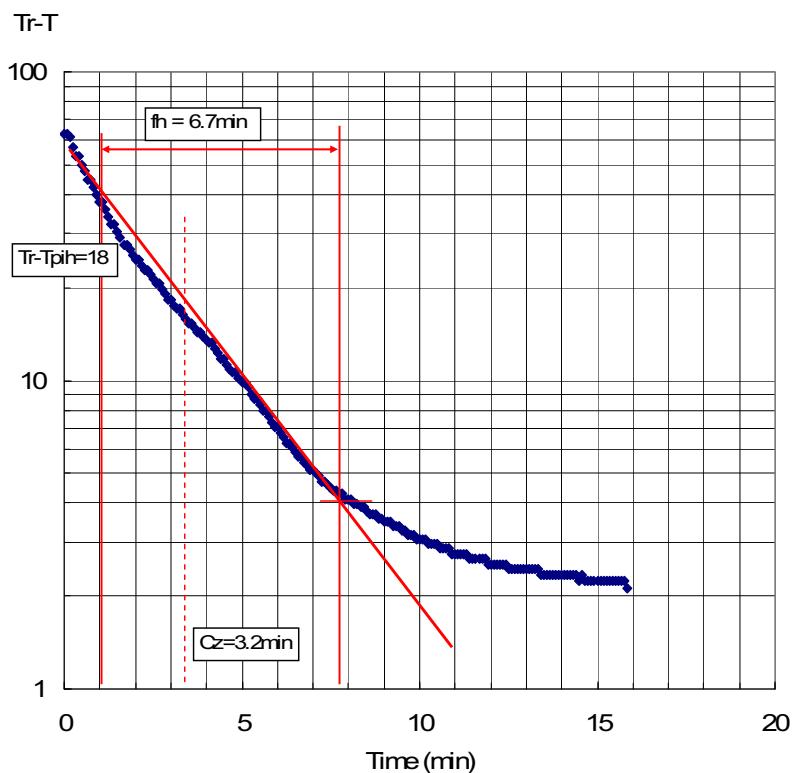
2.2 เขย่าผสมให้เข้ากัน แล้วบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง นาน 15 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Jasco UV/VIS Spectrophotometer รุ่น V-530) ที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร คำนวณปริมาณฮิสตามีนในตัวอย่างดังสมการ

$$\begin{array}{lcl} \text{ปริมาณฮิสตามีน} & = & \frac{(\text{ค่าการดูดกลืนแสงของ sample} - \text{sample blank}) \times 100}{(\text{ค่าการดูดกลืนแสงของ histamine standard solution} - \text{reagent blank})} \\ \text{(ppm)} & & \end{array}$$

## ภาคผนวก ง

## การคำนวณ heat penetration parameter และเวลาในการฆ่าเชื้อ

## ง.1 การคำนวณ heat penetration parameters



รูปที่ ง.1 Heat penetration curve ของผลิตภัณฑ์หอยเป่าสตูในน้ำเกลือบรรจุรีทอร์ตแพซ

Heat penetration parameters ที่ใช้ในการคำนวณ

|           |                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $F_0$     | Sterilizing value (นาที)                                                                                                                                                                                                                                       |
| $F_i$     | เวลาในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ $T_i$ ที่มีค่าการฆ่าเชื้อเทียบเท่ากับการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิมาตรฐาน ( $121.1^{\circ}\text{C}$ หรือ $250^{\circ}\text{F}$ ) เป็นเวลา 1 นาที                                                                                         |
| $f_h$     | Heating rate index มีค่าเท่ากับเวลา (นาที) ที่ทำให้ค่า $(T_r - T)$ ลดลง 1 log cycle                                                                                                                                                                            |
| $g$       | $T_r - T$ ( $^{\circ}\text{C}$ หรือ $^{\circ}\text{F}$ ) ที่เวลาใดๆ                                                                                                                                                                                            |
| $I_h$     | $T_r - T_{ih}$ ( $^{\circ}\text{C}$ หรือ $^{\circ}\text{F}$ )                                                                                                                                                                                                  |
| $j_{ch}$  | Heating rate lag factor มีค่าเท่ากับ $(T_r - T_{pih}) / (T_r - T_{ih})$                                                                                                                                                                                        |
| $T_{ih}$  | อุณหภูมิอาหารเมื่อเริ่มต้นให้ความร้อน ( $^{\circ}\text{C}$ หรือ $^{\circ}\text{F}$ )                                                                                                                                                                           |
| $T_{pih}$ | pseudo-initial temperature ในช่วงที่เริ่มให้ความร้อน ( $^{\circ}\text{C}$ หรือ $^{\circ}\text{F}$ ) มีค่าเท่ากับจุดตัดของเส้น ที่ลากผ่าน heat penetration curve ในส่วนที่เป็นเส้นตรงกับเวลาศูนย์ที่แก้ไขแล้ว (Corrected zero time = $0.58 \times \text{CUT}$ ) |
| $T_r$     | อุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อ ( $^{\circ}\text{C}$ หรือ $^{\circ}\text{F}$ )                                                                                                                                                                                         |

|       |                                                                                                                                                                      |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $t_B$ | thermal process time คำนวณโดย Ball's formula method (นาที) มีค่าเท่ากับเวลานับตั้งแต่เปิดจนปิดไอน้ำด้วย $0.58 \times \text{CUT}$ หรือ $t_B = t_p + 0.42 \text{ CUT}$ |
| $t_p$ | Operator's process time เท่ากับเวลานับตั้งแต่จุดที่หม้อฆ่าเชื้อมีอุณหภูมิตามที่กำหนดจนถึงเวลาที่ปิดไอน้ำ (นาที)                                                      |
| CUT   | เวลา (นาที) ที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของหม้อฆ่าเชื้อจากจุดที่เปิดไอน้ำจนกระทั่งหม้อฆ่าเชื้อ มีอุณหภูมิตามที่กำหนด                                                     |

จากการทดลองฆ่าเชื้อหอยเป่าฮือในน้ำเกลือบรรจุรีโอร์ตเพาซ์ที่อุณหภูมิ  $110^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 50 นาที เครื่องจะบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทุก 5 วินาที ตั้งแต่เริ่มฆ่าเชื้อจนสิ้นสุดกระบวนการ

พบว่า come-up time (CUT) = 5.55 นาที

corrected zero time ( $C_z$ ) = 3.2 นาที

จากกราฟ heat penetration ณ จุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์ สามารถคำนวณ heat penetration parameter

จะได้  $f_h = 6.7$  นาที

จากสมการ  $j_{ch} = (T_r - T_{pjh}) / (T_r - T_{ih})$

เมื่อ  $T_r - T_{pjh} = 18$  และ  $I_h = T_r - T_{ih} = 110 - 93 = 17$

ดังนั้น  $j_{ch} = 18/17 = 1.0588$

## ง.2 การคำนวณเวลาการฆ่าเชื้อ เมื่อกำหนดให้ sterilizing value ( $F_0$ ) เท่ากับ 4 นาที ตามวิธี Formula

### ง.2.1 อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ $50^\circ\text{C}$ และอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ $114^\circ\text{C}$

เมื่อ  $F_i = F(114^\circ\text{C}) = 5.275$

$U = F_0 F_i = 4 \times 5.275 = 21.1$

ดังนั้น  $f_h/U = 6.7/21.1 = 0.3175$

หาค่า  $\log g$  จากสมการ (เมื่อ  $f_h/U \leq 0.6$ )

$\log g = ((0.71 \times (f_h/U)) - 1) / (f_h/U)$   
 $= (0.71 \times 0.3175) - 1 / (0.3175) = -2.4393$

ที่อุณหภูมิฆ่าเชื้อ  $114^\circ\text{C}$  พบว่า  $I_h = T_r - T_{ih} = 114 - 95.9 = 18.1$

$t_B = f_h (\log jI - \log g)$   
 $= 6.7 (\log (1.0588 \times 18.1) - (-2.4393)) = 24.94$  นาที

ดังนั้นการกำหนดเวลาฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเป็น  $50^\circ\text{C}$  และอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ  $114^\circ\text{C}$  ต้องใช้เวลา 24.94 นาที เพื่อให้ได้  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที

### ง.2.2 อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ $50^\circ\text{C}$ และอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ $121^\circ\text{C}$

เมื่อ  $F_i = F(121^\circ\text{C}) = 1.0272$

$U = F_0 F_i = 4 \times 1.0272 = 4.11$

ดังนั้น  $f_h/U = 6.7/4.11 = 1.630$

หาค่า  $\log g$  จากตาราง  $f_h/U$  vs.  $\log g$

$\log g = 0.159$

ที่อุณหภูมิฆ่าเชื้อ  $121^{\circ}\text{C}$  พบว่า  $I_h = T_r - T_{ih} = 121 - 101 = 20$

$$\begin{aligned} t_B &= f_h (\log jI - \log g) \\ &= 6.7 (\log (1.0588 \times 20) - (0.159)) = 7.82 \text{ นาที} \end{aligned}$$

ดังนั้นการกำหนดเวลาฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร  $50^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ  $121^{\circ}\text{C}$  ต้องใช้เวลา 7.82 นาที เพื่อให้ได้  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที

### ง.2.3 อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ $70^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ $114^{\circ}\text{C}$

เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นอาหารเปลี่ยนไปจะทำให้ค่า  $f_h$  และค่า  $j$  เปลี่ยนไปด้วย

$$\text{จะได้} \quad f_h = 5.4 \text{ นาที}$$

$$\text{จากสมการ} \quad j_{ch} = (T_r - T_{pih}) / (T_r - T_{ih})$$

$$\text{เมื่อ} \quad T_r - T_{pih} = 11.1 \text{ และ } I_h = T_r - T_{ih} = 110 - 100.2 = 9.8$$

$$\text{ดังนั้น} \quad j_{ch} = 11.1 / 9.8 = 1.1327$$

$$\text{เมื่อ} \quad F_i = F(114^{\circ}\text{C}) = 5.275$$

$$U = F_0 F_i = 4 \times 5.275 = 21.1$$

$$\text{ดังนั้น} \quad f_h / U = 5.4 / 21.1 = 0.2559$$

หาค่า  $\log g$  จากสมการ (เมื่อ  $f_h / U \leq 0.6$ )

$$\begin{aligned} \log g &= ((0.71 \times (f_h / U)) - 1) / (f_h / U) \\ &= (0.71 \times 0.2559 - 1) / (0.2559) = -3.1974 \end{aligned}$$

ที่อุณหภูมิฆ่าเชื้อ  $114^{\circ}\text{C}$  พบว่า  $I_h = T_r - T_{ih} = 114 - 103.3 = 10.7$

$$\begin{aligned} t_B &= f_h (\log jI - \log g) \\ &= 5.4 (\log (1.1327 \times 10.7) - (-3.1974)) = 23.12 \text{ นาที} \end{aligned}$$

ดังนั้นการกำหนดเวลาฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเป็น  $70^{\circ}\text{C}$  และอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ  $114^{\circ}\text{C}$  ต้องใช้เวลา 23.12 นาที เพื่อให้ได้  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที

### ง.2.4 อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเท่ากับ $70^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ $121^{\circ}\text{C}$

$$\text{เมื่อ} \quad F_i = F(121^{\circ}\text{C}) = 1.0272$$

$$U = F_0 F_i = 4 \times 1.0272 = 4.11$$

$$\text{ดังนั้น} \quad F_h / U = 5.4 / 4.11 = 1.3143$$

หาค่า  $\log g$  จากตาราง  $f_h / U$  vs.  $\log g$

$$\log g = -0.01$$

ที่อุณหภูมิฆ่าเชื้อ  $121^{\circ}\text{C}$  พบว่า  $I_h = T_r - T_{ih} = 121 - 108.6 = 12.4$

$$\begin{aligned} t_B &= f_h (\log jI - \log g) \\ &= 5.4 (\log (1.1327 \times 12.4) - (-0.01)) = 6.25 \text{ นาที} \end{aligned}$$

ดังนั้นการกำหนดเวลาฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหาร  $70^{\circ}\text{C}$  อุณหภูมิหม้อฆ่าเชื้อ  $121^{\circ}\text{C}$  ต้องใช้เวลา 6.25 นาที เพื่อให้ได้  $F_0$  เท่ากับ 4 นาที

**ภาคผนวก จ**  
**สูตรมาตรฐานและวิธีการเตรียมซุปรอยเป่าสื่อ**

**จ.1 Chinese stock (Bowen และคณะ, 1998)**

|                |            |       |      |
|----------------|------------|-------|------|
| <u>ส่วนผสม</u> | ซี่โครงไก่ | 750   | กรัม |
|                | ซี่โครงหมู | 750   | กรัม |
|                | น้ำ        | 5,000 | กรัม |
|                | จิงทูปแตก  | 150   | กรัม |
|                | หอมใหญ่    | 800   | กรัม |

วิธีเตรียม

1. นำซี่โครงไก่และซี่โครงหมูมาหั่นส่วนหนังและไขมันออก และล้างน้ำให้สะอาด
2. เทน้ำใส่หม้อ คั้นเนื้อไก่ กระดูกหมู จิง และหอมใหญ่
3. คั้นให้เดือด ช้อนฟองที่ลอยอยู่ที่ผิวออก แล้วลดไฟให้อ่อนลง เคี่ยวต่ออีก 2 ชั่วโมง
4. กรองเอาแต่น้ำ ทิ้งไว้ให้เย็น เก็บใส่ตู้เย็นหรือแช่แข็งไว้ แบ่งมาละลายเมื่อต้องการใช้

**จ.2 ซุปเสฉวน (บริษัท บิ๊อป เนทเวอร์ค จำกัด, 2547)**

|                |                       |     |      |
|----------------|-----------------------|-----|------|
| <u>ส่วนผสม</u> | เกลือ                 | 3.5 | กรัม |
|                | น้ำตาลทราย            | 96  | กรัม |
|                | ซีอิ๊วขาว             | 21  | กรัม |
|                | น้ำส้มสายชู           | 45  | กรัม |
|                | น้ำมันงา              | 5   | กรัม |
|                | ไข่ไก่ (ตีให้เข้ากัน) | 50  | กรัม |
|                | แป้งข้าวโพด           | 16  | กรัม |
|                | น้ำสต็อก              | 800 | กรัม |

วิธีเตรียม

1. ต้มน้ำสต็อกให้เดือด เติมเกลือและน้ำตาลทราย คนให้เข้ากัน ลดไฟอ่อนลง
2. ค่อยๆ เทไข่ลงในหม้อที่น้ำกำลังเดือดๆ โดยไม่ต้องคน
3. ใส่ซีอิ๊ว น้ำส้มสายชู และน้ำมันงา คนให้เข้ากัน เคี่ยวประมาณ 1 นาที
4. ค่อยๆ เทแป้งที่ละลายน้ำไว้แล้วลงในหม้อช้าๆ พร้อมกับคนเบาๆ จนข้นหนืด แล้วเคี่ยวต่ออีก 1 นาที ยกออกจากเตา

**จ.3 ซุปกระเพาะปลา (กรมการจัดงาน, 2548)**

|                |             |    |      |
|----------------|-------------|----|------|
| <u>ส่วนผสม</u> | เกลือ       | 7  | กรัม |
|                | น้ำตาลทราย  | 24 | กรัม |
|                | ซีอิ๊วขาว   | 28 | กรัม |
|                | ซีอิ๊วดำ    | 5  | กรัม |
|                | ซอสปรุงรส   | 13 | กรัม |
|                | แป้งข้าวโพด | 61 | กรัม |

น้ำสต็อก 1,400 กรัม

#### วิธีเตรียม

1. ต้มน้ำสต็อกให้เดือด เติมซีอิ๊วขาว ซีอิ๊วดำ ซอสปรุงรส เกลือ และน้ำตาลทราย คนให้ละลายเข้ากัน
2. นำแป้งที่ละลายน้ำไว้แล้ว เทลงในหม้ออย่างช้าๆ โดยขณะเทให้คนไปพร้อมกันด้วย คนจนข้นเหนียวเข้ากันจึงยก  
ลง

#### จ.4 ซุปกระเพาะปลา (ยี่งักดี จงเลศเจษฎาวงศ์, 2545)

|         |             |     |      |
|---------|-------------|-----|------|
| ส่วนผสม | น้ำตาลทราย  | 6   | กรัม |
|         | ซอสเห็ดหอม  | 40  | กรัม |
|         | น้ำมันงา    | 10  | กรัม |
|         | แป้งข้าวโพด | 36  | กรัม |
|         | น้ำสต็อก    | 800 | กรัม |

#### วิธีเตรียม

1. ต้มน้ำสต็อกให้เดือด เติมน้ำตาลทราย และซอสเห็ดหอม คนให้เข้ากัน ต้มพอเดือด
2. นำน้ำแป้งที่ละลายน้ำไว้แล้วค่อยๆ เทผสมลงในหม้อช้าๆ พร้อมกับคนขณะเท คนผสมจนข้นเหนียวแล้วเติมน้ำมันงา ผสมจนเข้ากันจึงยกลงจากเตา

#### จ.5 ซุปกระเพาะปลา (คารามาศ แก้วแดง, 2547)

|         |             |      |      |
|---------|-------------|------|------|
| ส่วนผสม | เกลือ       | 3.5  | กรัม |
|         | ซีอิ๊วขาว   | 28   | กรัม |
|         | ซีอิ๊วดำ    | 5    | กรัม |
|         | น้ำตาลทราย  | 3    | กรัม |
|         | แป้งข้าวโพด | 30.5 | กรัม |
|         | น้ำสต็อก    | 800  | กรัม |

#### วิธีเตรียม

1. ต้มน้ำสต็อกให้เดือด ปรุงรสด้วยเกลือ น้ำตาลทราย ซีอิ๊วขาว และซีอิ๊วดำ คนให้เข้ากัน  
ค่อยๆ เทน้ำแป้งที่ละลายไว้แล้วลงในหม้อ คนเร็วๆ ไปพร้อมๆ กับการเท ผสมให้เข้ากัน แล้วยกลงจากเตา

ภาคผนวก ฉ  
รูปผลิตภัณฑ์จากหอยเป่าฮื้อ



รูปที่ ฉ.1 หอยเป่าฮื้อชนิด *H. asinina* Linnaeus ที่ยังมีชีวิต



รูปที่ ฉ.2 หอยเป่าฮื้อที่บรรจุโดยปรับสภาพบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ



รูปที่ ฉ.3 ผลิตภัณฑ์ซุปรูปหอยเป่าฮื้อ



รูปที่ จ.4 ผลิตภัณฑ์หอยเป่าฮืออบแห้ง

**ภาคผนวก ข**  
**ข้อมูลการทดลอง**

**ตารางที่ ข.1** ปริมาณ cooking loss ของเนื้อหอยเป่าฮื้อที่ภาวะต่าง ๆ

| เวลา (นาที) | ปริมาณ cooking loss (%)      |                             |                              |
|-------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|             | อุณหภูมิการให้ความร้อน (°ซ)  |                             |                              |
|             | 80                           | 100                         | 120                          |
| 2           | 14.30 <sup>a</sup> ±0.49     | 17.52 <sup>ab</sup> ±2.67   | 18.13 <sup>ab</sup> ±3.01    |
| 4           | 16.57 <sup>ab</sup> ±0.05    | 21.46 <sup>bcd</sup> ±2.90  | 26.16 <sup>defg</sup> ±0.91  |
| 6           | 16.74 <sup>ab</sup> ±2.07    | 21.49 <sup>cd</sup> ±4.62   | 27.13 <sup>defgh</sup> ±2.44 |
| 8           | 18.84 <sup>abc</sup> ±0.57   | 26.09 <sup>defg</sup> ±3.10 | 28.62 <sup>efghi</sup> ±0.90 |
| 10          | 24.21 <sup>cde</sup> ±0.71   | 26.22 <sup>defg</sup> ±2.12 | 30.55 <sup>ghijk</sup> ±2.57 |
| 15          | 21.57 <sup>defgh</sup> ±3.83 | 32.08 <sup>hijk</sup> ±0.92 | 35.86 <sup>klmn</sup> ±3.67  |
| 20          | 25.30 <sup>def</sup> ±3.95   | 33.19 <sup>ijkl</sup> ±3.92 | 39.18 <sup>iklm</sup> ±4.13  |
| 30          | 30.29 <sup>fghij</sup> ±1.58 | 33.99 <sup>jkl</sup> ±1.19  | 37.13 <sup>klmno</sup> ±5.99 |
| 60          | 31.35 <sup>ghijk</sup> ±0.94 | 33.08 <sup>iklm</sup> ±1.05 | 35.28 <sup>klmn</sup> ±0.55  |
| 120         | 36.11 <sup>ijklm</sup> ±1.73 | 38.21 <sup>lmno</sup> ±2.16 | 42.33 <sup>mno</sup> ±4.43   |
| 180         | 36.30 <sup>klmn</sup> ±3.25  | 40.96 <sup>lmno</sup> ±4.78 | 48.69 <sup>no</sup> ±2.10    |
| 240         | 38.19 <sup>lmno</sup> ±1.43  | 48.91 <sup>o</sup> ±2.92    | 52.40 <sup>o</sup> ±0.44     |

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)

ตารางที่ ข.2 Degree of browning ของเนื้อหอยเป่าที่ภาวะต่าง ๆ

| เวลา (นาทึ) | Degree of browning (A420nm/g sample) |                                  |                               |
|-------------|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
|             | อุณหภูมิการให้ความร้อน (°C)          |                                  |                               |
|             | 80                                   | 100                              | 120                           |
| 0           | 0.0086 <sup>a</sup> ±0.0002          | 0.0086 <sup>a</sup> ±0.0002      | 0.0086 <sup>a</sup> ±0.0002   |
| 2           | 0.0224 <sup>def</sup> ±0.0018        | 0.0086 <sup>a</sup> ±0.0003      | 0.0086 <sup>a</sup> ±0.0006   |
| 4           | 0.0213 <sup>cde</sup> ±0.0007        | 0.0123 <sup>abc</sup> ±0.0001    | 0.0116 <sup>ab</sup> ±0.0003  |
| 6           | 0.0200 <sup>bcd</sup> ±0.0001        | 0.0218 <sup>cde</sup> ±0.0015    | 0.0218 <sup>cde</sup> ±0.0013 |
| 8           | 0.0234 <sup>defg</sup> ±0.0004       | 0.0215 <sup>cde</sup> ±0.0014    | 0.0198 <sup>bcd</sup> ±0.0002 |
| 10          | 0.0270 <sup>defgh</sup> ±0.0003      | 0.0400 <sup>iklm</sup> ±0.0058   | 0.0210 <sup>cde</sup> ±0.0007 |
| 15          | 0.0310 <sup>efghij</sup> ±0.0002     | 0.0377 <sup>ijkl</sup> ±0.0039   | 0.0422 <sup>klm</sup> ±0.0011 |
| 20          | 0.0328 <sup>ghijk</sup> ±0.0022      | 0.0296 <sup>defghi</sup> ±0.0042 | 0.0476 <sup>m</sup> ±0.0002   |
| 30          | 0.0288 <sup>defghi</sup> ±0.0015     | 0.0296 <sup>defghi</sup> ±0.0042 | 0.0571 <sup>n</sup> ±0.0027   |
| 60          | 0.0344 <sup>hijk</sup> ±0.0006       | 0.0460 <sup>lm</sup> ±0.0063     | 0.0706 <sup>op</sup> ±0.0016  |
| 120         | 0.0345 <sup>hijk</sup> ±0.0034       | 0.0643 <sup>no</sup> ±0.0050     | 0.1206 <sup>r</sup> ±0.0025   |
| 180         | 0.0321 <sup>fghij</sup> ±0.0011      | 0.0615 <sup>n</sup> ±0.0007      | 0.1136 <sup>qr</sup> ±0.0014  |
| 240         | 0.0321 <sup>defghi</sup> ±0.0007     | 0.0760 <sup>p</sup> ±0.0023      | 0.1111 <sup>q</sup> ±0.0020   |

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวแนวดังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.3 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อหอยเป่าที่ห่อที่ภาวะต่าง ๆ

| เวลา (นาที) | ค่า toughness (g.mm '10 <sup>3</sup> ) |                            |                            |
|-------------|----------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|             | อุณหภูมิการให้ความร้อน (°C)            |                            |                            |
|             | 80                                     | 100                        | 120                        |
| 0           | 45.97 <sup>j</sup> ±6.76               | 45.97 <sup>j</sup> ±6.76   | 45.97 <sup>j</sup> ±6.76   |
| 2           | 19.08 <sup>ef</sup> ±2.11              | 26.36 <sup>i</sup> ±7.61   | 23.22 <sup>gh</sup> ±3.55  |
| 4           | 19.36 <sup>ef</sup> ±2.96              | 13.46 <sup>bc</sup> ±0.63  | 20.33 <sup>efg</sup> ±2.37 |
| 6           | 17.67 <sup>dc</sup> ±2.71              | 12.67 <sup>bc</sup> ±1.81  | 20.10 <sup>efg</sup> ±1.05 |
| 8           | 20.16 <sup>efg</sup> ±2.12             | 14.86 <sup>cd</sup> ±2.89  | 22.19 <sup>fgh</sup> ±2.07 |
| 10          | 20.59 <sup>efg</sup> ±1.13             | 14.75 <sup>cd</sup> ±2.41  | 21.57 <sup>fg</sup> ±2.19  |
| 15          | 21.96 <sup>fgh</sup> ±2.71             | 21.77 <sup>fg</sup> ±1.22  | 20.11 <sup>efg</sup> ±1.77 |
| 20          | 21.31 <sup>fg</sup> ±3.16              | 19.71 <sup>efg</sup> ±1.26 | 21.68 <sup>fg</sup> ±0.65  |
| 30          | 25.30 <sup>hi</sup> ±2.18              | 19.86 <sup>efg</sup> ±2.57 | 20.77 <sup>efg</sup> ±3.25 |
| 60          | 23.05 <sup>gh</sup> ±2.74              | 12.95 <sup>bc</sup> ±1.86  | 12.81 <sup>bc</sup> ±1.15  |
| 120         | 22.53 <sup>fgh</sup> ±1.98             | 12.40 <sup>bc</sup> ±1.87  | 11.18 <sup>b</sup> ±0.92   |
| 180         | 22.52 <sup>fgh</sup> ±3.02             | 7.28 <sup>a</sup> ±1.18    | 10.74 <sup>b</sup> ±1.19   |
| 240         | 20.08 <sup>efg</sup> ±2.74             | 11.20 <sup>b</sup> ±2.14   | 11.84 <sup>bc</sup> ±1.82  |

a,b,c,... ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแต่ละแถวแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P≤0.05)