# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

## โครงการเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่และศึกษาอายุการเก็บรักษา

## (Development of Litchi Products and Their Shelf Life Studies)

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รัตนา อัตตปัญโญและคณะ

เมษายน 2544

สัญญาเลขที่ RDG 4220011

# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

## โครงการเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่และศึกษาอายุการเก็บรักษา

**(Development of Litchi Products and Their Shelf Life Studies)**


**คณะผู้วิจัย**

| | |
|---|---|
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รัตนา อัตตปัญโญ | หัวหน้าโครงการ |
| รองศาสตราจารย์ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์ | ผู้ร่วมโครงการ |
| นางสาวเบญจมาศ พวงสมบัติ | ผู้ช่วยวิจัย |
| นายวัฒนา เอื้อตรงจิตต์ | ผู้ช่วยวิจัย |
| นางสาวดรุณี มูลโรจน์ | ผู้ช่วยวิจัย |

**สังกัด** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร วิทยาเขตดอยคำ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ต. แม่เหียะ อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50100

โทรศัพท์ (053) 948244 โทรสาร (053) 948201



**ชุดโครงการงานวิจัยและพัฒนาพืชสวน**

**สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)**



(ความคิดเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยทุนสนับสนุนงานวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และการประสานงานอย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร. จริงแท้ ศิริพานิช ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัย ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอบคุณมูลนิธิโครงการหลวงที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ห้องเย็นในการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ตลอดระยะเวลาที่ทำวิจัย ขอบคุณ คุณทัดดาว ภายีผล และคุณอรุณรัศม์ ธิพิงค์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดเตรียมลิ้นจี่ คุณสมคิด ใจตรง คุณรุจิภรณ์ พัฒนจันทร์ และคุณสุระศักดิ์ ชาญชำนิที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดพิมพ์และจัดเตรียมรายงานฉบับสมบูรณ์

รัตนา อัตตปัญโญ
นิธิยา รัตนาปนนท์
เมษายน 2544

# การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่และศึกษาอายุการเก็บรักษา

ผศ. รัตนา อัตตปัญโญ รศ. ดร. นิธิยา รัตนาปนนท์
นส. เบญจมาศ พวงสมบัติ นายวัฒนา เอื้อตรงจิตต์ และ นส. ดรุณี มูลโรจน์

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและพัฒนากระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ 3 ประเภท คือ ผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก เนื้อลิ้นจี่อบแห้ง และเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋อง รวมทั้งได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมี และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา เพื่อบ่งชี้อายุการเก็บรักษา โดยทำการศึกษาความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกโดยวิธี ideal ratio profile พบว่าผู้บริโภคต้องการให้ผลลิ้นจี่อบแห้งมีเปลือกเป็นสีแดง มีกลิ่นลิ้นจี่ และมีรสชาติหวานอมเปรี้ยว การศึกษารูปแบบของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 3 รูปแบบ พบว่าการอบแห้งผลลิ้นจี่ทั้งเปลือกอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 60, 70, 80, 70 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 6, 6, 15, 12 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ รวมเวลาที่ใช้ทั้งหมด 42 ชั่วโมง เป็นรูปแบบการอบแห้งที่เหมาะสม

ผลการศึกษาระยะความแก่-อ่อนของผลลิ้นจี่ที่เหมาะสมในการอบแห้ง พบว่าผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ (มีอายุการเก็บเกี่ยว 74 วันนับจากวันที่ผลมีขนาด 0.29 x 0.61 เซ็นติเมตรและน้ำหนักผล 0.05 กรัม) ซึ่งเป็นผลลิ้นจี่ที่มีน้ำหนักผล ปริมาณเนื้อ ปริมาณแอนโทไซยานินในเปลือกมากกว่าและมีปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อน้อยกว่าผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ (มีอายุการเก็บเกี่ยว 64 วันนับจากวันที่ผลมีขนาด 0.29 x 0.61 เซ็นติเมตรและน้ำหนัก 0.05 กรัม) ผลการศึกษาระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการแช่ผลลิ้นจี่สดในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสม โดยใช้สารละลายกรด 3 ระดับ (0.5, 0.3 และ 0.1 นอร์มัล ) และระยะเวลาการแช่นาน 3 ระยะ (15, 20 และ 25 นาที) พบว่าสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล แช่นาน 15 นาที สามารถรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้งได้ดีที่สุด และไม่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง เมื่อศึกษาระยะความแก่-อ่อนร่วมกับวิธีการรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้งพบว่า การแช่ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัลนาน 15 นาที สามารถรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้งได้ดีที่สุด และผลลิ้นจี่อบแห้งมีปริมาณกรดในเนื้อในรูปของกรดมาลิกน้อยกว่าการใช้ผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ การแช่ผลลิ้นจี่สดในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล นาน 15 นาที แล้วนำ

ไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 1 สัปดาห์ ก่อนนำไปอบแห้ง มีผลทำให้ผลลิ้นจี่อบแห้งมีปริมาณกรดทั้งหมดลดลง และผลการประเมินทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด

การเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก 4 วิธี คือ การเก็บรักษาในถุง HDPE, ถุง OPP, ถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น และถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจน พบว่าระหว่างการเก็บรักษาเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีสีแดงลดลง มีความชื้นและค่า $a_w$ เพิ่มขึ้น การเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจน สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้ง ชะลอการเพิ่มขึ้นของความชื้นและค่า $a_w$ ได้ดีที่สุด และมีอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุด คือ 10.95 เดือน ส่วนผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP, ถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น และถุง HDPE มีอายุการเก็บรักษา 9.68, 9.31 และ 7.22 เดือน ตามลำดับ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง เริ่มจากการศึกษาความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งโดยวิธี ideal ratio profile พบว่าผู้บริโภคต้องการเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่มีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นลิ้นจี่ชัดเจน รสหวานอมเปรี้ยว เนื้อสัมผัสไม่นิ่มและไม่เหนียว ผลการพัฒนาสูตรส่วนผสมของน้ำเชื่อมและวิธีการแช่อิ่มที่เหมาะสม พบว่าวิธีการแช่อิ่มที่เหมาะสม คือ การแช่อิ่มแบบช้า ใช้เวลานาน 5 วัน โดยเริ่มจากความเข้มข้นของน้ำเชื่อม 35 องศาบริกซ์ เพิ่มความเข้มข้นให้มากขึ้นทุกๆ วันเป็น 40, 45, 45 องศาบริกซ์ตามลำดับ และแช่ไว้ในน้ำเชื่อม 45 องศาบริกซ์เป็นเวลา 2 วัน สูตรส่วนผสมของน้ำเชื่อมที่ผู้ทดสอบชิมให้ความพอใจ คือแช่อิ่มในน้ำเชื่อมที่มีความหวาน 45 องศาบริกซ์ มีกรดซิตริก 0.7% โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.2% และแคลเซียมคลอไรด์ 0.7% ผสมอยู่

ผลการศึกษาวิธีการทำออสโมติกดีไฮเดรชันเนื้อลิ้นจี่ พบว่าการแช่เนื้อลิ้นจี่ในสารละลายซูโครส 70% ที่มีโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.4% อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย 1:1.5 ระยะเวลาแช่ 3-4 ชั่วโมง เป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าการใช้สารละลายซูโครส 70% ผสมกลีเซอรอล 15% และโซเดียม-เมตาไบซัลไฟต์ 0.4%

ผลการศึกษากรรมวิธีการอบแห้ง 2 วิธี พบว่าวิธีการอบแห้งเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มที่เหมาะสม คือ การอบแห้งอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 70, 65 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 2, 6 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ รวมเวลาอบแห้งทั้งหมด 14 ชั่วโมง เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่ได้มีความชื้น 23.12% มีค่า $a_w$ 0.482 ค่าสี L 43.56 ค่าสี a* 2.56 และค่าสี b* 12.89 และเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านออสโมติกดีไฮเดร-ชันมีความชื้น 31.33% มีค่า $a_w$ 0.421 ค่าสี L 48.10 ค่าสี a* 3.10 และค่าสี b* 15.65

ผลการศึกษาสภาวะการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งและเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการออสโม-ติกดีไฮเดรชัน ทั้งที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส และ 25-30 องศาเซลเซียส พบว่าสภาวะการเก็บรักษา

ที่ดีที่สุด คือการเก็บรักษาในถุงอะลูมิเนียม โดยมีอายุการเก็บรักษาได้นาน 12 เดือน และ 8 เดือน ตามลำดับ

การศึกษาผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋อง เริ่มจากการสอบถามความต้องการของผู้ประกอบการแปรรูปผลไม้จำนวน 20 แห่ง ที่มีต่อขนาดของชิ้นเนื้อลิ้นจี่ตีป่น พบว่าผู้ประกอบการส่วนใหญ่ต้องการชิ้นเนื้อลิ้นจี่ตีป่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.7 มิลลิเมตร การผลิตให้ได้ขนาดชิ้นดังกล่าว ต้องใช้ความเร็วในการตีป่นที่ระดับ liquify นาน 5 วินาที และปริมาณกรดซิตริกที่เหมาะสมโดยไม่ทำให้เนื้อลิ้นจี่เกิดสีชมพู ควรเติมกรดซิตริกให้ได้พีเอชสุดท้ายไม่ต่ำกว่า 3.95

การศึกษา incubation test พบว่าเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกและเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องใช้เวลาฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 18 นาที เท่ากัน สำหรับกระป๋องขนาด 300 X 407 และใช้เวลาฆ่าเชื้อนาน 28 และ 30 นาที สำหรับกระป๋องขนาด 603 X 700 ตามลำดับ การแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ทั้ง 2 ชนิด พบว่าเส้นกราฟเป็นแบบ simple heating ที่มีลักษณะการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบ convection สำหรับตำแหน่งร้อนช้าที่สุดของกระป๋องขนาด 300 X 407 และกระป๋องขนาด 603 X 700 เท่ากับ 3.5 และ 6.5 เซนติเมตร จากขอบล่างของกระป๋อง ตามลำดับ ค่า sterilization value ($F^{8.9\ ซ}_{100}$) ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกและเนื้อลิ้นจี่ตีป่น บรรจุกระป๋องขนาด 300 X 407 เท่ากับ 3.61 และ 3.24 นาที และบรรจุกระป๋องขนาด 603 X 700 เท่ากับ 3.40 และ 3.22 นาที ตามลำดับ

ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่ทั้ง 2 ชนิด พบว่าสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส แต่การยอมรับด้านสีของผลิตภัณฑ์ลดลง ภายหลังเก็บรักษาไว้นาน 8 เดือน ผลการคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อโดยวิธี Ball formula เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของการฆ่าเชื้อเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส เนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด 300 X 407 และ 603 X 700 ซึ่งมีน้ำหนักเนื้อบรรจุเท่ากับ 300 และ 2,700 กรัม ใช้ระยะเวลาฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 18.79 และ 22.70 นาที สำหรับเนื้อลิ้นจี่ตีป่นซึ่งมีน้ำหนักสุทธิเท่ากับ 420 และ 3,000 กรัม ใช้ระยะเวลาฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15.56 และ 19.76 นาที ตามลำดับ

**คำสำคัญ** :- ลิ้นจี่ ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก เนื้อลิ้นจี่อบแห้ง การเก็บรักษา ออสโมติกดีไฮเดรชัน การแช่อิ่ม ลิ้นจี่กระป๋อง การฆ่าเชื้อด้วยความร้อน และค่า $F_0$

# Development of Litchi Products and Their Shelf Life Studies

Asst. Prof. Ratana Attabhanyo, Assoc. Prof. Dr. Nithiya Rattanapanone
Miss Benjamas Puangsombut, Mr. Wattana Auetrongjit and Miss Darunee Moonrote

## Abstract

A development study of three types litchi products :- dried whole litchi fruit, dried flesh litchi , canned litchi puree and their shelf life was studied.

The requirement from consumers for the quality of a dried whole litchi fruit was first studied using an ideal ratio profile. It was showed that a red peel colour, a strong litchi odour, and a combination taste of sweet and sour were the preference characteristics. Three drying time and temperature combination for pilot plant scale were compared. It was found that a whole litchi fruit could be dried continuously at temperatures 60, 70, 80, 70, and 60 degree C for 6, 6, 15, 12, and 3 hours, respectively for a total drying periods of 42 hours was recommended.

In studying the maturity of litchi fruit for drying, it was found that a fully ripe stage (74 days after a fruit size of 0.29 X 0.61 cm and a weight of 0.05 g) had more fruit weight, flesh weight and anthocyanin content in the peel fruit and total acidity in the flesh less than the partially ripe stage (64 days after a fruit size of 0.29 X 0.61 cm and a weight of 0.05 g). In studying a concentration of HCl solution and a dipping time, 3 levels of HCl concentration (0.5, 0.3 and 0.1 N) and 3 periods of dipping time (15, 20 and 25 minutes) were compared. It was found that the litchi fruit dipped in 0.5 N HCl solution for 15 minutes before drying could improve the red peel colour. This treatment also had no effect on the quality of the dried litchi fruit. Studying the maturity of litchi fruit with a combination of acid treatments was used to maintain the red peel colour after drying. The results showed that a mature fruit dipped in 0.5 N HCl solution for 15 minutes could maintain the red peel colour of its dried fruit and the dried litchi fruit had a lower acidity as malic acid than a dried litchi fruit from the partially ripe stage. Storage of the acid treated fruit at 4 degree C for 1 week could further reduce the total acidity in the dried litchi fruit and the quality of the fruit was accepted by taste panels.

The shelf life of dried litchi fruit (150 fruits) packed individual in a sealed packaging of HDPE, OPP, OPP with a silica gel sachet and OPP with a combination of silica gel sachet and an

oxygen scavengers sachet store at room temperature were studied. The maximum shelf life of the fruit were 7.22, 9.31, 9.68, and 10.95 months, respectively. The best quality of the dried litchi fruit was obtained when the dried fruit was packed in OPP with a combination of a silica gel sachet and an oxygen scavengers sachet. This storage condition could delay the fading of the red peel colour and the increasing of moisture content and $a_w$.

Studying for a consumer requirement of the quality of dried flesh litchi using an ideal ratio profile showed that a yellow colour, a strong litchi odour, a combination of sweet and sour tastes, and a good texture were the preference characteristics. The development of syrup formulations and candying methods was done. It was found that a slow method of candying by dipping fruit in a mixture of sugar solution containing citric acid 0.7%, sodium metabisulphite 0.2% and calcium chloride 0.7%, started from 35$^{\circ}$brix, then increased every day to 40, 45, 45$^{\circ}$ brix, and it was further stored in 45$^{\circ}$brix solution for two days. This method had the best preference.

A suitable condition for osmotic dehydration of flesh litchi fruit was studied. It was found that dipping the fruit for 3-4 hours in a 70% sucrose solution with 0.4% sodium metabisulphite and a fruit solution ratio of 1:1.5 provided better quality products than a 70% sucrose solution with 15% glycerol and 0.4% sodium metabisulphite.

The drying patterns of flesh litchi fruit were studied. It was found that drying continuously at temperature of 75, 65 and 60 degree C for 2, 6 and 6 hours, respectively was recommended. The candied flesh litchi had moisture content 23.12%, $a_w$ 0.482, colour L, a*, b* values of 43.56, 2.56 and 12.89, respectively. The osmotic dehydration of the dried flesh litchi had moisture content 31.33%, $a_w$ 0.421, colour L, a*, b* values of 43.10, 3.10 and 15.65, respectively.

The best storage condition for both dried litchi products was in an aluminium foil (AL/LDPE) package. The shelf life of the products at 8 degree C and at 25-30 degree C were 12 and 8 months, respectively.

In studying a canned litchi puree, preference for particle sizes of litchi puree from 20 fruit factories were surveyed. It was found that particle sizes larger than 4.7 mm were required. To get this particle size, blending the puree at liquify speed for 5 seconds was recommended. To

prevent pink discolouration, the products were adjusted by adding citric acid solution to final pH not lower than 3.95.

Studying of the incubation test, it was found that the process times for both broken and puree products were similar for 18 minutes at 100 degree C for 300 X 407 cans and the process time for 603 X 700 cans were 28 and 30 minutes, respectively. The heat penetration of both canned litchi products were a simple heating curve-type convection. The cold point of 300 X 407 and 603 X 700 cans were 3.5 cm and 6.5 cm from the bottom of the can, respectively. The sterilization value ($F^{8.9\,c}_{100}$) of broken and puree products for 300 X 407 cans were 3.61 and 3.24 minutes, respectively and for 603 X 700 cans were 3.40 and 3.22 minutes, respectively.

The results from the shelf life study showed that both products could be stored for more than 12 months at 25-30 degree C, but from the consumer acceptability for colour, it was recommended a storage time of 8 months only. The recommendation process times from the Ball formula method with an initial temperature of 80 degree C for broken litchi in 300 X 407 and 603 X 700 cans with drained weight of 300 and 2,700 g at 100 degree C were 18.79 and 22.70 minutes, respectively and for litchi puree with net weight 420 and 3,000 g at 100 degree C were 15.56 and 19.76 minutes, respectively.

**Key Words** : litchi, dried litchi whole fruit, dried flesh litchi, storage, osmotic dehydration, candying, canned litchi, thermal processing, and $F_0$ value.

# สารบัญ


| **เรื่อง** | **หน้า** |
|---|---|
| กิตติกรรมประกาศ | |
| บทคัดย่อ | |
| **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่และศึกษาอายุการเก็บรักษา** | |
| **บทที่ 1 บทนำ** | 1 |
| - ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง* | 1 |
| - วัตถุประสงค์ | 3 |
| - แผนการดำเนินการวิจัย | 3 |
| - ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 5 |
| - การถ่ายทอดผลงานวิจัยไปสู่ผู้ใช้ | 5 |
| - งบประมาณ | 5 |
| **บทที่ 2 การตรวจเอกสาร** | 6 |
| - ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของลิ้นจี่ | 6 |
| - ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่ | 7 |
| - การรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บเกี่ยว | 10 |
| - ออสโมติกดีไฮเดรชัน | 11 |
| - ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการถ่ายเทมวลสารระหว่างการทำออสโมซิส | 12 |
| - วิธีการเก็บรักษาอาหารอบแห้งและอายุการเก็บรักษา | 17 |
| - โปรแอนโทไซยานิดิน | 22 |
| - สาเหตุการเกิดสีชมพูในผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ | 22 |
| - วิธีลดและป้องกันการเกิดสีชมพูในผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ | 23 |
| - ความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์ | 23 |
| - การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ของอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรด | 24 |

# สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| **บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง** | 28 |
| - การศึกษาพัฒนาลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกและอายุการเก็บรักษา | 31 |
| - การศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งและวิธีการเก็บรักษา | 39 |
| - การศึกษาเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องและอายุการเก็บรักษา | 51 |
| **บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์** | 59 |
| ● **การศึกษาพัฒนาลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกและอายุการเก็บรักษา** | 59 |
| - การสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์เพื่อหาลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ | 59 |
| - ผลการศึกษารูปแบบอุณหภูมิและเวลาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการอบแห้ง | 61 |
| - ผลการศึกษาระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้ง | 65 |
| - ผลการศึกษาเพื่อหาระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการแช่ในสารละลายที่เหมาะสม | 82 |
| - ผลการศึกษาการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็นก่อนนำไปอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก | 87 |
| - ผลการศึกษากรรมวิธีการอบแห้งผลลิ้นจี่ทั้งเปลือก | 101 |
| - การศึกษาวิธีการเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกและอายุการเก็บรักษา | 108 |

# สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| **บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล** | 136 |
| ● **การศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งและวิธีการเก็บรักษา** | 136 |
| - ผลการทดสอบการยอมรับวิธีการแช่อิ่มแบบช้าและแบบเร็ว | 136 |
| - ผลการศึกษาเพื่อหาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่ผู้ทดสอบชิมต้องการ | 136 |
| - ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง | 138 |
| - ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี | 138 |
| - การวิเคราะห์ผลของแต่ละปัจจัยต่อคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง | 139 |
| - ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการแช่อิ่มแบบช้า | 143 |
| - ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของการพัฒนาสูตรเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบช้า | 146 |
| - ผลการศึกษาเปรียบเทียบเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งระหว่างสูตรน้ำตาลอย่างเดียวกับสูตรที่ใช้แบะแซ | 147 |
| - ผลการศึกษาหาชนิดของสารละลายอัตราส่วนและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำเนื้อลิ้นจี่อบแห้งด้วยวิธีออสโม-ติกดีไฮเดรชัน | 149 |
| - ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันทั้ง 4 อัตราส่วนในสารละลาย 2 ชนิด | 156 |
| - ผลการศึกษาเพื่อหาวิธีการอบเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มที่เหมาะสม | 160 |
| - ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในการอบเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชัน | 163 |

## สารบัญ (ต่อ)


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| - ผลการศึกษาวิธีการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งและอายุการเก็บรักษา | 166 |
| - ผลการศึกษาวิธีการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติก-ไฮเดรชันและอายุการเก็บรักษา | 186 |
| - ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งและเนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชัน | 205 |
| **บทที่ 6 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล** | 206 |
| ● **การศึกษาเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องและอายุการเก็บรักษา** | 206 |
| - ผลการศึกษาเพื่อหาขนาดของชิ้นเนื้อลิ้นจี่ | 206 |
| - การศึกษาเพื่อหาปริมาณกรดซิตริกที่เหมาะสมในการปรับพีเอชโดยไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีชมพูในผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ | 212 |
| - ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน | 220 |
| - ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส | 253 |
| **บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ** | 283 |
| - สรุปผลการทดลอง | 283 |
| - ข้อเสนอแนะ | 291 |
| เอกสารอ้างอิง | 293 |
| ภาคผนวก ก | 303 |
| ภาคผนวก ข | 320 |
| ภาคผนวก ค | 338 |
| ภาคผนวก ง | 351 |
| ภาคผนวก จ | 364 |

# สารบัญตาราง


| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย จักรพรรดิ และกิมเจง | 7 |
| 2.2 | ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของผลลิ้นจี่สดและลิ้นจี่อบแห้งในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม | 8 |
| 2.3 | คุณสมบัติบางอย่างของโพลิเมอร์ที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุ | 20 |
| 2.4 | สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำลายจุลินทรีย์บางชนิด | 25 |
| 2.5 | ความทนทานต่อความร้อนของแบคทีเรียในอาหารที่มีพีเอชต่างๆ | 26 |
| 3.1 | แผนการทดลองโดยใช้ปัจจัยของระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีเปลือก | 34 |
| 3.2 | แผนการทดลองโดยใช้ปัจจัยความเข้มข้นของสารละลายและระยะเวลาในการแช่ผลลิ้นจี่ | 36 |
| 3.3 | การวางแผนการทดลองแบบ Plackette and Burman Design | 43 |
| 3.4 | ส่วนผสมของน้ำเชื่อม | 44 |
| 3.5 | การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในการทำออสโมติกดีไฮเดรชันโดยใช้สารละลายซูโครส 70% อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ : น้ำเชื่อม 1:1.5 | 48 |
| 3.6 | ชนิดของสารละลาย อัตราส่วน และส่วนประกอบของสารละลายที่ใช้ | 49 |
| 3.7 | แผนการทดลองแบบ CRD โดยผันแปรระยะเวลาที่ใช้ในการตีป่น | 52 |
| 3.8 | แผนการทดลองแบบ CRD โดยผันแปรปริมาณกรดซิตริกที่เติมลงในเนื้อลิ้นจี่ตีป่น | 53 |
| 3.9 | แผนการทดลองแบบ CRD โดยแปรผันเวลาฆ่าเชื้อในน้ำเดือดของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกและเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 และ A10 | 54 |
| 4.1 | ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการและค่าสัดส่วน Ideal ratio profile | 60 |
| 4.2 | ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลลิ้นจี่อบแห้งที่มีรูปแบบอุณหภูมิอบแห้งแตกต่างกันโดยวิธี Structure scaling test | 64 |
| 4.3 | สมบัติทางกายภาพของผลลิ้นจี่สดภายหลังการแช่ในสารละลายตามวิธีการรักษาสีต่างๆ ก่อนนำไปอบแห้ง | 70 |

| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 4.4 | สมบัติทางกายภาพของผลลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้งจากการใช้ระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีแดงที่แตกต่างกัน | 71 |
| 4.5 | ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่สดภายหลังการแช่ในสารละลายตามวิธีการรักษาสีต่างๆ | 80 |
| 4.6 | ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้งเมื่อใช้ระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีแดงแตกต่างกัน | 81 |
| 4.7 | สมบัติทางกายภาพของเปลือกและเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นและระยะเวลาการแช่แตกต่างกัน | 84 |
| 4.8 | การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่ที่แตกต่างกัน | 88 |
| 4.9 | สมบัติทางกายภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ใช้รูปแบบการอบแห้ง 3 รูปแบบ | 103 |
| 4.10 | ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ใช้รูปแบบการอบแห้ง 3 รูปแบบ | 106 |
| 4.11 | ผลการทดสอบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ใช้รูปแบบการอบแห้ง 3 รูปแบบ | 107 |
| 4.12 | การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 114 |
| 4.13 | การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 115 |
| 4.14 | การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 116 |
| 4.15 | การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 117 |
| 4.16 | การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 118 |
| 4.17 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 119 |
| 4.18 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 120 |
| 4.19 | การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 121 |
| 4.20 | การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 122 |

| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 4.21 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 123 |
| 4.22 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 124 |
| 4.23 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 125 |
| 4.24 | การเปลี่ยนแปลงค่า $a_w$ ของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 126 |
| 4.25 | การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 127 |
| 4.26 | ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะทางด้านสีของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 128 |
| 4.27 | ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะทางด้านกลิ่นของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 129 |
| 4.28 | ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะทางด้านรสหวานของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 130 |
| 4.29 | ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะทางด้านรสเปรี้ยวของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 131 |
| 4.30 | ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะโดยรวมของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา | 132 |
| 4.31 | แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา 10 เดือน ที่อุณหภูมิห้องและอายุการเก็บรักษาโดยวิธีการคำนวณ | 133 |
| 5.1 | ผลการทดสอบการยอมรับโดยผู้ทดสอบชิม | 136 |
| 5.2 | ผลการประเมินคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบช้าโดยวิธี Ideal Ratio Profile | 137 |
| 5.3 | แสดงค่า ratio profile ของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง | 138 |
| 5.4 | ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งทั้ง 8 สิ่งทดลอง | 138 |
| 5.5 | ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งทั้ง 8 สิ่งทดลอง | 139 |
| 5.6 | ผลการคำนวณที่ได้จากผลวิเคราะห์ทางกายภาพ | 139 |
| 5.7 | ผลการคำนวณที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี | 140 |
| 5.8 | ผลการคำนวณที่ได้จากข้อมูลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส | 141 |

| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 5.9 | ปัจจัยที่มีระดับนัยสำคัญต่อสิ่งทดลองที่ทำการทดลอง | 142 |
| 5.10 | การเปลี่ยนแปลงองศาบริกซ์ของน้ำเชื่อมทั้ง 6 สิ่งทดลอง | 143 |
| 5.11 | การเปลี่ยนแปลงองศาบริกซ์ของเนื้อลิ้นจี่ทั้ง 6 สิ่งทดลอง | 143 |
| 5.12 | แสดงค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ได้รับ | 148 |
| 5.13 | ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของทั้ง 6 สิ่งทดลอง | 148 |
| 5.14 | ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อสูตรเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบช้าโดยวิธี Ranking test | 148 |
| 5.15 | ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งระหว่างสูตรที่ใช้น้ำตาลอย่างเดียวกับสูตรที่ผสมแบะแซ | 149 |
| 5.16 | ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี | 149 |
| 5.17 | ผลของสารละลายซูโครส 70 % ที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่ | 150 |
| 5.18 | ผลของสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครส 60 % กับกลีเซอรอล 15 % ที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่ | 151 |
| 5.19 | ค่า Ideal ratio profile ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชัน | 158 |
| 5.20 | ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ได้ทั้ง 8 สิ่งทดลอง | 159 |
| 5.21 | ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง | 161 |
| 5.22 | ผลวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งทั้ง 2 รูปแบบ | 161 |
| 5.23 | ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านการออสโมติก-ดีไฮเดรชันกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง | 164 |
| 5.24 | การเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a* และ b* ของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส | 168 |
| 5.25 | การเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a* และ b* ของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส | 169 |
| 5.26 | การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสและปริมาณกรดทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส | 170 |

| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 5.27 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดและเนื้อสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส | 171 |
| 5.28 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและ $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส | 172 |
| 5.29 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและ $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส | 173 |
| 5.30 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซิงของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส | 181 |
| 5.31 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลรีดิวซิงของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส | 181 |
| 5.32 | ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเก็บที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บรักษาครบ 10 เดือน | 184 |
| 5.33 | ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บรักษาครบ 12 เดือน | 184 |
| 5.34 | การเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a*, b* ของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส | 189 |
| 5.35 | การเปลี่ยนแปลงค่าสี L, a*, b* ของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25–30 องศาเซลเซียส | 190 |
| 5.36 | การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสและปริมาณกรดทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส | 191 |
| 5.37 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดและเนื้อสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส | 191 |
| 5.38 | การเปลี่ยนแปลงความชื้นและ $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส | 196 |
| 5.39 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น และ $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส | 197 |
| 5.40 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส | 198 |

| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 5.41 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส | 198 |
| 5.42 | ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ครบ 12 เดือน | 199 |
| 5.43 | ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส | 199 |
| 6.1 | ผลการวิเคราะห์พีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่สดสายพันธุ์ฮงฮวย | 206 |
| 6.2 | ขนาดของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นตามระยะเวลาการตีป่น | 208 |
| 6.3 | สมบัติทางด้านค่าสี L ค่าสี a* และค่าสี b* ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นที่แปรผันตามเวลาที่ใช้ตีป่น | 208 |
| 6.4 | ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ที่แปรผันตามเวลาที่ใช้ตีป่น | 209 |
| 6.5 | ผลการตอบแบบสอบถามขนาดของเนื้อลิ้นจี่ตีป่น | 210 |
| 6.6 | ขนาดของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ | 210 |
| 6.7 | ผลการเปรียบเทียบค่าสี L ค่าสี a* และค่าสี b* ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อที่แปรผันตามปริมาณกรดซิตริกในเนื้อลิ้นจี่ตีป่น | 213 |
| 6.8 | ค่าความหนืดของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นที่แปรผันตามปริมาณกรดซิตริกภายหลังการฆ่าเชื้อ | 213 |
| 6.9 | ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นที่แปรผันตามปริมาณกรดซิตริกภายหลังการฆ่าเชื้อ | 217 |
| 6.10 | สมบัติทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ภายหลังการฆ่าเชื้อ 1 วัน | 220 |
| 6.11 | ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ภายหลังการฆ่าเชื้อ 1 วัน | 220 |
| 6.12 | ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน | 221 |
| 6.13 | สมบัติทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน | 221 |

| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 6.14 | ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน | 221 |
| 6.15 | สมบัติทางกายภาพของเนื้อชิ้นแตกบรรจุขนาด A10 ภายหลังฆ่าเชื้อ 1 วัน | 224 |
| 6.16 | ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ภายหลังการฆ่าเชื้อ 1 วัน | 224 |
| 6.17 | ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน | 225 |
| 6.18 | สมบัติทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน | 225 |
| 6.19 | ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน | 225 |
| 6.20 | สมบัติทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ภายหลังการฆ่าเชื้อ 1 วัน | 227 |
| 6.21 | ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ภายหลังการฆ่าเชื้อ 1 วัน | 228 |
| 6.22 | ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋อง ขนาด A1 ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน | 228 |
| 6.23 | สมบัติทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน | 228 |
| 6.24 | ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน | 229 |
| 6.25 | สมบัติทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ภายหลังการฆ่าเชื้อ 1 วัน | 231 |
| 6.26 | ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ภายหลังการฆ่าเชื้อ 1 วัน | 231 |
| 6.27 | ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน | 232 |
| 6.28 | สมบัติทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน | 232 |

| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 6.29 | ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ภายหลังการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน | 232 |
| 6.30 | ตำแหน่งของจุดร้อนช้าที่สุดภายในกระป๋อง | 234 |
| 6.31 | ผลการคำนวณหาค่า sterilization value โดยใช้วิธี general ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ด้วยการฆ่าเชื้อในน้ำเดือด | 237 |
| 6.32 | ผลการคำนวณหาค่า sterilization value โดยใช้วิธี general ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ด้วยการฆ่าเชื้อในน้ำเดือด | 238 |
| 6.33 | ผลการคำนวณหาค่า sterilization value โดยใช้วิธี general ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ด้วยการฆ่าเชื้อในน้ำเดือด | 238 |
| 6.34 | ผลการคำนวณหาค่า sterilization value โดยใช้วิธี general ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ด้วยการฆ่าเชื้อในน้ำเดือด | 239 |
| 6.35 | สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่บรรจุกระป๋อง | 239 |
| 6.36 | ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่บรรจุกระป๋อง | 240 |
| 6.37 | การคำนวณเวลาฆ่าเชื้อ ณ อุณหภูมิเริ่มต้นต่างๆ โดยใช้วิธี Ball formula ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 และ A10 | 242 |
| 6.38 | การคำนวณเวลาฆ่าเชื้อ ณ อุณหภูมิเริ่มต้นต่างๆ โดยใช้วิธี Ball formula ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 และ A10 | 242 |
| 6.39 | ข้อมูลจากการทดลองเพื่อศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 สายที่ 6 | 243 |
| 6.40 | ข้อมูลจากการทดลองเพื่อศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 สายที่ 1 | 244 |
| 6.41 | ข้อมูลจากการทดลองเพื่อศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 สายที่ 1 | 246 |
| 6.42 | ข้อมูลจากการทดลองเพื่อศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 สายที่ 3 | 247 |
| 6.43 | ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 256 |
| 6.44 | สมบัติทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 257 |

| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 6.45 | ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 257 |
| 6.46 | ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 260 |
| 6.47 | ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อแยมที่แปรรูปจากเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 260 |
| 6.48 | ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 263 |
| 6.49 | สมบัติทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 263 |
| 6.50 | ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 265 |
| 6.51 | ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 267 |
| 6.52 | ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อแยมที่แปรรูปจากเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 267 |
| 6.53 | ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 269 |
| 6.54 | สมบัติทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 270 |
| 6.55 | ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 271 |
| 6.56 | ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 274 |

**ตาราง** **หน้า**


6.57 ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อน้ำลิ้นจี่ที่แปรรูปจากเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน 274

6.58 ผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน 277

6.59 สมบัติทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน 277

6.60 ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน 278

6.61 ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อน้ำลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน 281

6.62 ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อน้ำลิ้นจี่ที่แปรรูปจากเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน 281

ตารางภาคผนวก ง-1 ข้อมูล heating ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 353

ตารางภาคผนวก ง-2 ข้อมูล cooling ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 358

ตารางภาคผนวก ง-3 ผลการคำนวณหาเวลาฆ่าเชื้อโดยใช้วิธี Ball formula 362

ตารางภาคผนวก ง-4 แสดงค่า fh/U : g เมื่อค่า z = 16 องศาฟาเรนไฮต์ (8.9 องศาเซลเซียส) 363

ตารางภาคผนวก จ-1 สมการรีเกรซชันเส้นตรงจากการทดลองตอนที่ 2 365

ตารางภาคผนวก จ-2 สมการรีเกรซชันเส้นตรงจากการทดลองตอนที่ 4 366

# สารบัญรูป


| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| 4.1 | ลักษณะเค้าโครงผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก | 60 |
| 4.2 | ค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่ที่ลดลงระหว่างการอบแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้ง 3 รูปแบบ | 62 |
| 4.3 | ปริมาณความชื้นและค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ | 62 |
| 4.4 | น้ำหนักผลลิ้นจี่และปริมาณส่วนประกอบของผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ | 68 |
| 4.5 | ค่าสีและปริมาณแอนโทไซยานินในเปลือกผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ | 68 |
| 4.6 | ปริมาณกรด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ | 68 |
| 4.7 | ลักษณะของผลลิ้นจี่สดภายหลังการแช่ในสารละลายก่อนนำไปอบแห้ง | 72 |
| 4.8 | ลักษณะของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่มีระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีแดงของเปลือกแตกต่างกัน | 73 |
| 4.9 | ลักษณะเค้าโครงผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่มีระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีที่แตกต่างกัน | 82 |
| 4.10 | ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นและเวลาการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีผลต่อค่าสี a* ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้ง | 85 |
| 4.11 | ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นและเวลาการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีผลต่อค่าสี b* ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้ง | 85 |
| 4.12 | ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นและเวลาการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีผลต่อปริมาณกรดในเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้ง | 89 |
| 4.13 | ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นและเวลาการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีผลต่อปริมาณกรดในเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง | 89 |
| 4.14 | ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นและเวลาการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีผลต่อค่าพีเอชในเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง | 89 |

| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| 4.15 | ลักษณะเค้าโครงผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่รักษาสีโดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นและระยะเวลาการแช่ในสารละลายกรดแตกต่างกัน | 90 |
| 4.16 | การเปลี่ยนแปลงค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ | 91 |
| 4.17 | ลักษณะผลลิ้นจี่สดภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ | 91 |
| 4.18 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดและค่าพีเอชในผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ | 94 |
| 4.19 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณน้ำตาลในผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ | 94 |
| 4.20 | การเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็นก่อนนำไปอบแห้งที่มีผลต่อค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลลิ้นจี่อบแห้ง | 97 |
| 4.21 | การเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็นที่มีผลต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงของผลลิ้นจี่อบแห้ง | 97 |
| 4.22 | การเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็นก่อนการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดและค่าพีเอชของผลลิ้นจี่อบแห้ง | 99 |
| 4.23 | การเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็นก่อนการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณน้ำตาลของผลลิ้นจี่อบแห้ง | 99 |
| 4.24 | ผลของวิธีการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็น 1 สัปดาห์ ต่อลักษณะเค้าโครงผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก | 99 |
| 4.25 | อัตราการอบแห้งผลลิ้นจี่จากการอบแห้งรูปแบบที่ 1 | 105 |
| 4.26 | อัตราการอบแห้งผลลิ้นจี่จากการอบแห้งรูปแบบที่ 2 | 105 |
| 4.27 | อัตราการอบแห้งผลลิ้นจี่จากการอบแห้งรูปแบบที่ 3 | 105 |
| 4.28 | ปริมาณความชื้นที่ลดลงของผลลิ้นจี่ระหว่างการอบแห้งโดยใช้รูปแบบการอบแห้งที่ 1 | 106 |
| 4.29 | ปริมาณความชื้นที่ลดลงของผลลิ้นจี่ระหว่างการอบแห้งโดยใช้รูปแบบการอบแห้งที่ 2 | 106 |

| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| 4.30 | ปริมาณความชื้นที่ลดลงของผลลิ้นจี่ระหว่างการอบแห้งโดยใช้รูปแบบการอบแห้งที่ 3 | 106 |
| 4.31 | ปริมาณความชื้นและค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ใช้รูปแบบการอบแห้ง 3 รูปแบบ | 107 |
| 4.32 | การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุชนิดต่างๆ | 134 |
| 4.33 | การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุชนิดต่างๆ | 134 |
| 4.34 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดในเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุชนิดต่างๆ | 134 |
| 4.35 | การเปลี่ยนแปลงค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุชนิดต่างๆ | 135 |
| 4.36 | การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างๆ | 135 |
| 5.1 | ภาพแสดงลักษณะผลิตภัณฑ์ | 137 |
| 5.2 | การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่ละลายได้ในเนื้อลิ้นจี่ระหว่างการแช่อิ่ม | 145 |
| 5.3 | อัตราส่วนของเนื้อลิ้นจี่ต่อน้ำเชื่อมที่มีต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักลดของเนื้อลิ้นจี่ | 152 |
| 5.4 | อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ต่อน้ำเชื่อมที่มีผลต่อความเข้มข้นของสารที่ละลายได้ในเนื้อลิ้นจี่ (ซูโครส 70%) | 153 |
| 5.5 | อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ต่อสารละลายที่มีต่อความเข้มข้นของสารที่ละลายได้ในเนื้อลิ้นจี่ (ซูโครส 60%+กลีเซอรอล 15%) | 153 |
| 5.6 | อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ต่อน้ำเชื่อมที่มีต่อ $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่ (ซูโครส 70%) | 154 |
| 5.7 | อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ต่อสารละลายที่มีต่อ $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่ (ซูโครส 60% + กลีเซอรอล 15%) | 154 |
| 5.8 | ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง | 162 |

| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| 5.9 | ความสัมพันธ์ของอัตราการทำแห้งกับเวลาในการอบแห้งเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่ม | 162 |
| 5.10 | ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกับเวลาในการอบแห้งเนื้อลิ้นจี่แบบออสโมติกดีไฮเดรชัน | 165 |
| 5.11 | ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งกับเวลาในการอบแห้ง เนื้อลิ้นจี่แบบออสโมติกดีไฮเดรชัน | 165 |
| 5.12 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดกับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่ แช่อิ่มอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส | 176 |
| 5.13 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรด กับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่ แช่อิ่มอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส | 176 |
| 5.14 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส | 177 |
| 5.15 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่แชอิ่มอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส | 177 |
| 5.16 | ความสัมพันธ์ระหว่าง $a_w$ กับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส | 178 |
| 5.17 | ความสัมพันธ์ระหว่าง $a_w$ กับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง ในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส | 178 |
| 5.18 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลทั้งหมดกับระยะเวลาการเก็บรักษา เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด | 182 |
| 5.19 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลทั้งหมดกับระยะเวลาการเก็บรักษา เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด | 182 |
| 5.20 | เค้าโครงใยแมงมุมผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด อายุการเก็บรักษานาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศา-เซลเซียส | 185 |
| 5.21 | เค้าโครงใยแมงมุมผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งสูตรใช้น้ำเชื่อม เปรียบเทียบระหว่างเริ่มต้นกับอายุการเก็บรักษานาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียสในถุงอะลูมิเนียม | 185 |

| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| 5.22 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดกับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่อบแห้งโดยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชันที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด | 200 |
| 5.23 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดกับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่อบแห้งโดยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชันในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ที่อุณหภูมิ 25-30 องศา-เซลเซียส | 200 |
| 5.24 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่อบแห้งโดยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชันที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด | 201 |
| 5.25 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $a_w$ กับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่อบแห้งโดยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชันที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด | 201 |
| 5.26 | ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่อบแห้งโดยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชันที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียสในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด | 202 |
| 5.27 | ความสัมพันธ์ระหว่าง $a_w$ กับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่อบแห้งโดยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชันที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียสในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด | 202 |
| 5.28 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลทั้งหมดกับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่อบแห้งโดยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชันที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด | 203 |
| 5.29 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลทั้งหมดกับระยะเวลาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่อบแห้งโดยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชันที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส ในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด | 203 |
| 5.30 | เค้าโครงใยแมงมุมของผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดชันในบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด อายุการเก็บรักษานาน 12 เดือน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส | 204 |
| 5.31 | เค้าโครงใยแมงมุมของผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 8 เดือน | 204 |
| 6.1 | ปริมาณของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นแต่ละขนาดตามระยะเวลาที่ใช้ตีป่น | 208 |

| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| 6.2 | สัดส่วนของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกขนาดต่างๆ | 211 |
| 6.3 | การเปรียบเทียบค่าสี L ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อตามปริมาณกรดซิตริกที่เติมลงในเนื้อลิ้นจี่ตีป่น | 214 |
| 6.4 | การเปรียบเทียบค่าสี a* ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อตามปริมาณกรดซิตริกที่เติมลงในเนื้อลิ้นจี่ตีป่น | 214 |
| 6.5 | การเปรียบเทียบค่าสี b* ก่อนและหลังการฆ่าเชื้อตามปริมาณกรดซิตริกที่เติมลงในเนื้อลิ้นจี่ตีป่น | 214 |
| 6.6 | ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี a* ภายหลังการฆ่าเชื้อกับค่าพีเอชและปริมาณกรดซิตริกที่เติมในเนื้อลิ้นจี่ตีป่น | 215 |
| 6.7 | ค่าความหนืดที่แปรผันตามปริมาณกรดซิตริกในเนื้อลิ้นจี่ตีป่น | 215 |
| 6.8 | ความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริกกับค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่ตีป่น | 218 |
| 6.9 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดซิตริกกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง น้ำตาลซูโครส และน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่ตีป่น | 218 |
| 6.10 | Heating curve ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 | 235 |
| 6.11 | Heating curve ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 | 235 |
| 6.12 | Heating curve ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 | 236 |
| 6.13 | Heating curve ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 | 236 |
| 6.14 | Heating curve ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 สายที่ 6 | 249 |
| 6.15 | Cooling curve ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 สายที่ 6 | 249 |
| 6.16 | อุณหภูมิของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 (สายที่ 6) ตั้งแต่เริ่มต้นให้ความร้อนจนสิ้นสุดกระบวนการทำให้เย็นเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของน้ำในหม้อต้ม | 249 |
| 6.17 | Heating curve ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 สายที่ 1 | 250 |
| 6.18 | Cooling curve ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 สายที่ 1 | 250 |
| 6.19 | อุณหภูมิของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 (สายที่ 1) ตั้งแต่เริ่มต้นให้ความร้อนจนสิ้นสุดกระบวนการทำให้เย็นเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของน้ำในหม้อต้ม | 250 |

| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| 6.20 | Heating curve ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 สายที่ 1 | 251 |
| 6.21 | Cooling curve ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 สายที่ 1 | 251 |
| 6.22 | อุณหภูมิของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 (สายที่ 1) ตั้งแต่เริ่มต้นให้ความร้อนจนสิ้นสุดกระบวนการทำให้เย็นเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของน้ำในหม้อต้ม | 251 |
| 6.23 | Heating curve ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 สายที่ 3 | 252 |
| 6.24 | Cooling curve ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 สายที่ 3 | 252 |
| 6.25 | อุณหภูมิของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 (สายที่ 3) ตั้งแต่เริ่มต้นให้ความร้อนจนสิ้นสุดกระบวนการทำให้เย็นเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของน้ำในหม้อต้ม | 252 |
| 6.26 | การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ค่าสี a* และค่าสี b* ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 258 |
| 6.27 | การเปลี่ยนแปลงพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 258 |
| 6.28 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง ปริมาณน้ำตาลซูโครสและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 258 |
| 6.29 | ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 261 |
| 6.30 | ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อแยมที่แปรรูปจากเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 261 |
| 6.31 | การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ค่าสี a* และค่าสี b* ของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 264 |

| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| 6.32 | การเปลี่ยนแปลงพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 264 |
| 6.33 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง ปริมาณน้ำตาลซูโครส และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 264 |
| 6.34 | ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 268 |
| 6.35 | ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อแยมที่แปรรูปจากเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 268 |
| 6.36 | การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ค่าสี a* และค่าสี b* ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 272 |
| 6.37 | การเปลี่ยนแปลงพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 272 |
| 6.38 | การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง ปริมาณน้ำตาลซูโครส และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 272 |
| 6.39 | ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสที่มีต่อเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 275 |
| 6.40 | ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสที่มีต่อน้ำลิ้นจี่ที่แปรรูปจากผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน | 275 |

**รูป** **หน้า**

6.41 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ค่าสี a* และค่าสี b* ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน 279

6.42 การเปลี่ยนแปลงพีเอช และปริมาณกรดทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน 279

6.43 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง ปริมาณน้ำตาลซูโครส และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน 279

6.44 ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส 282

6.45 ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อน้ำลิ้นจี่ที่แปรรูปจากผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A10 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน 282

รูปภาคผนวก ก-1 ลักษณะของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่เก็บรักษาด้วยวิธีการเก็บรักษา 4 วิธี 304

รูปภาคผนวก ก-2 ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกอายุการเก็บรักษา 0 เดือน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องด้วยวิธีการเก็บรักษาทั้ง 4 วิธี 304

รูปภาคผนวก ก-3 ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกอายุการเก็บรักษา 2 เดือน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องด้วยวิธีการเก็บรักษาทั้ง 4 วิธี 305

รูปภาคผนวก ก-4 ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกอายุการเก็บรักษา 4 เดือน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องด้วยวิธีการเก็บรักษาทั้ง 4 วิธี 305

รูปภาคผนวก ก-5 ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกอายุการเก็บรักษา 6 เดือน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องด้วยวิธีการเก็บรักษาทั้ง 4 วิธี 306

รูปภาคผนวก ก-6 ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกอายุการเก็บรักษา 8 เดือน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องด้วยวิธีการเก็บรักษาทั้ง 4 วิธี 306

| รูป | | หน้า |
|---|---|---|
| รูปภาคผนวก ก-7 | ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกอายุการเก็บรักษา 10 เดือน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องด้วยวิธีการเก็บรักษาทั้ง 4 วิธี | 307 |
| รูปภาคผนวก ก-8 | การคว้านเมล็ดออกจากผลลิ้นจี่ | 307 |
| รูปภาคผนวก ก-9 | เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มในสารละลายน้ำเชื่อม | 308 |
| รูปภาคผนวก ก-10 | การจัดวางเนื้อลิ้นจี่ในตู้อบลมร้อน | 308 |
| รูปภาคผนวก ก-11 | เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบช้าและแบบเร็ว | 309 |
| รูปภาคผนวก ก-12 | เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตด้วยน้ำเชื่อมอย่างเดียวกับน้ำเชื่อมผสมกลูโคสไซรัป | 309 |
| รูปภาคผนวก ก-13 | เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำเชื่อม 70% 3 ชั่วโมงก่อนการอบแห้ง | 310 |
| รูปภาคผนวก ก-14 | ภาชนะบรรจุถุงอลูมิเนียม ถุงบรรจุสุญญากาศ ถุงอัดแก๊สไนโตรเจน และถุงโพลีโพรพิวลีน | 310 |
| รูปภาคผนวก ก-15 | ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือน | 311 |
| รูปภาคผนวก ก-16 | ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 4 เดือน | 311 |
| รูปภาคผนวก ก-17 | ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน | 312 |
| รูปภาคผนวก ก-18 | ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 8 เดือน | 312 |
| รูปภาคผนวก ก-19 | ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 10 เดือน | 313 |
| รูปภาคผนวก ก-20 | ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 2 เดือน | 313 |
| รูปภาคผนวก ก-21 | ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 4 เดือน | 314 |
| รูปภาคผนวก ก-22 | ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน | 314 |

**รูป** **หน้า**


รูปภาคผนวก ก-23 ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 7 เดือน 315

รูปภาคผนวก ก-24 ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 8 เดือน 315

รูปภาคผนวก ก-25 ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน 316

รูปภาคผนวก ก-26 ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 8 เดือน 316

รูปภาคผนวก ก-27 ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 10 เดือน 317

รูปภาคผนวก ก-28 ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน 317

รูปภาคผนวก ก-29 ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 6 เดือน 318

รูปภาคผนวก ก-30 ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 8 เดือน 318

รูปภาคผนวก ก-31 ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 10 เดือน 319

รูปภาคผนวก ก-32 ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชันเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน 319

รูปภาคผนวก ข-1 ตำแหน่งที่ใช้วัดสีบริเวณเปลือกภายนอกของผลลิ้นจี่ 321

รูปภาคผนวก ข-2 แผนภูมิวิธีการสกัดและวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานิน ทั้งหมดในเปลือกลิ้นจี่ 327

รูปภาคผนวก ข-3 ชุดเครื่องกลั่นสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 329

รูปภาคผนวก ง-1 Heating curve ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ก่อนการปรับข้อมูล 355

รูปภาคผนวก ง-2 Heating curve ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 หลังการปรับข้อมูลเพื่อเพิ่มค่า $R_2$ 357

**รูป** **หน้า**

รูปภาคผนวก ง-3 Cooling curve ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 ก่อนการปรับข้อมูล 359

รูปภาคผนวก ง-4 Cooling curve ของเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 หลังการปรับข้อมูลเพื่อเพิ่มค่า $R_2$ 361

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1. 1 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

ลิ้นจี่เป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย มีการปลูกมากในเขตภาคเหนือ ซึ่งสามารถผลิตลิ้นจี่ได้ถึงร้อยละ 90 ของผลผลิตทั้งประเทศ โดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และพะเยา ซึ่งมีพื้นที่การเพาะปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ประมาณ 73% เชียงราย 10% และพะเยา 7% ในปี 2538 ได้ผลผลิตประมาณ 45,000 ตัน ปริมาณการส่งออกผลลิ้นจี่สดในปี 2537 ประมาณ 1,000 ตัน มีมูลค่า 36 ล้านบาท และในปี 2538 ส่งออกประมาณ 3,200 ตัน มูลค่าประมาณ 120 ล้านบาท (กรมการค้าภายใน, 2539) ถึงแม้ปริมาณการส่งออกผลลิ้นจี่สดจะเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณผลผลิตแล้ว ยังส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้ไม่มากนัก เพราะผลลิ้นจี่สดมีช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวสั้น และมีอายุการเก็บรักษาได้ไม่นาน เนื่องจากเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่สามารถส่งไปขายเป็นระยะทางไกลได้ จึงเกิดปัญหาผลลิ้นจี่ล้นตลาดและมีราคาถูก โดยเฉพาะผลลิ้นจี่ที่มีคุณภาพต่ำและผลร่วง ยังไม่มีการนำผลลิ้นจี่เหล่านี้ไปใช้ประโยชน์แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่ากันมากนัก ผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ที่มีการแปรรูปจำหน่ายกันอยู่ในปัจจุบันมีเพียงลิ้นจี่บรรจุกระป๋องในน้ำเชื่อม ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก และน้ำลิ้นจี่เท่านั้น ปริมาณการผลิตลิ้นจี่กระป๋องในปี 2538 ที่ส่งออกจำหน่ายต่างประเทศมีประมาณ 7 พันตัน มูลค่าประมาณ 280 ล้านบาท (กรมการค้าภายใน, 2539)

การศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ที่ Holcroft and Mitcham (1996) ได้รวบรวมและรายงานว่าการทำลิ้นจี่อบแห้ง หรือที่เรียกว่า Litchi nut มักใช้วิธีตากแดด หรือใช้เตาอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 43 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้เกิด bitter fruit และก่อนอบแห้งอาจนำผลลิ้นจี่มาลวก หรือรมกำมะถัน หรือจุ่มในสารละลายกรดซิตริก เพื่อรักษาสีเปลือกระหว่างการอบแห้ง การจุ่มผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดเกลือความเข้มข้น 1 โมล่าร์ สามารถช่วยรักษาสีแดงที่เปลือกของผลลิ้นจี่ไว้ได้ (Duvenhage *et al.*, 1995)

ผลลิ้นจี่ยังสามารถนำไปแช่แข็งทั้งผล โดยไม่มีผลกระทบต่อเนื้อลิ้นจี่ เพียงแต่ทำให้เปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ส่วนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่กระป๋องวิธีการป้องกันไม่ให้เนื้อลิ้นจี่เปลี่ยนเป็นสีชมพูทำได้โดยเติมกรดซิตริกและควบคุม processing time (Nip, 1988) นอกจากนี้ผลลิ้นจี่ยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นไวน์และน้ำลิ้นจี่ได้ด้วย (Tindall, 1994)

สำหรับประเทศไทยเนื่องจากลิ้นจี่เป็นผลไม้ที่มีช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวสั้นทำให้ปริมาณวัตถุดิบที่นำไปแปรรูปมีจำนวนจำกัด และไม่สามารถนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิด

เพิ่มมากขึ้น มีเพียงลิ้นจี่กระป๋องและลิ้นจี่อบแห้งเท่านั้นที่ผลิตเป็นการค้าอยู่ในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์สองชนิดนี้ก็ยังมีปริมาณการผลิตไม่มากนักและเทคโนโลยีการผลิตก็ยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างจริงจัง เท่าที่รายงานมีเพียง สิงหนาท (2533) ได้ศึกษาวิธีการอบแห้งผลลิ้นจี่ พบว่า การลวกผลลิ้นจี่ทั้งเปลือกในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5% นาน 2 นาที นำไปรมควันกำมะถัน 0.5% นาน 1 ชั่วโมง แล้วนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นเหลือประมาณ 65% แกะเปลือกออกแล้วนำมาอบต่อจนแห้ง จะได้เนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่มีคุณภาพดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส แต่ต้องใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส สำหรับการผลิตลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกในประเทศจีนและการผลิตลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกจำหน่ายรายย่อยในจังหวัดเชียงใหม่ จะอบแห้งผลลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ประดลเดช, 2540) อีกทั้งลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกของไทยมีรสเปรี้ยว คุณภาพสู้ลิ้นจี่อบแห้งจากประเทศจีนไม่ได้ เป็นเหตุให้พ่อค้าจากประเทศจีนรับซื้อผลลิ้นจี่อบแห้งในราคาที่ต่ำ

หากพิจารณาการใช้ประโยชน์จากผลลิ้นจี่ จะเห็นได้ว่าผลผลิตลิ้นจี่ส่วนใหญ่ประมาณ 70% ส่งออกในรูปผลสด ส่วนที่เหลือบริโภคภายในประเทศและแปรรูปเป็นลิ้นจี่กระป๋อง เนื้อลิ้นจี่ที่ฉีกขาดในการแปรรูปเป็นลิ้นจี่กระป๋อง ถูกนำมาผลิตเป็นน้ำลิ้นจี่กระป๋อง ตั้งแต่ปี 2539 และ 2540 เริ่มมีการส่งออกผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งผลไปยังประเทศจีน ผลลิ้นจี่ที่นำมาอบแห้งทั้งหมดเป็นผลลิ้นจี่ที่ทางโรงงานกระป๋องใช้แปรรูปเป็นลิ้นจี่กระป๋องไม่ได้ จะถูกนำมาอบแห้งแทนการปล่อยทิ้ง อันเป็นสาเหตุให้คุณภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกมีรสเปรี้ยวและเนื้อบาง คุณภาพด้อยกว่าผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่จีนผลิตเอง และราคาขายที่จีนรับซื้อจากไทยก็ต่ำมาก จนทำให้มีจำนวนผู้ผลิตน้อยราย นอกจากนี้ยังมีผลลิ้นจี่ที่เปลือกแตกบนต้น ซึ่งมีปริมาณประมาณ 1-5% ของผลผลิตทั้งหมด ซึ่งผลลิ้นจี่ที่เปลือกแตกนี้ยังไม่มีการนำมาแปรรูปเพิ่มมูลค่าอย่างจริงจัง

ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและพัฒนากรรมวิธีการผลิตลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก และเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง เพื่อพัฒนาให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น ศึกษากรรมวิธีการผลิตเนื้อลิ้นจี่ตีป่น (puree) สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ รวมทั้งศึกษาอายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดด้วย

อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นในปี พ.ศ. 2540 พบว่าผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยที่เก็บเกี่ยวแล้วนำไปอบแห้งทันที ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จะมีรสเปรี้ยว การเก็บผลลิ้นจี่ไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 สัปดาห์ เมื่อนำไปอบแห้งจะทำให้ได้ผลลิ้นจี่อบแห้งที่มีรสหวาน ส่วนการทดลองอบแห้งผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยทั้งเปลือกโดยใช้เตากระบะลมร้อน พบว่าเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งแตกต่างจากการอบผลลำไยทั้งเปลือก คือต้องใช้เวลานานกว่าและอุณหภูมิต่ำกว่า มิฉะนั้นเปลือกจะแตกและไม่แห้ง

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษากรรมวิธีการอบลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง และศึกษากรรมวิธีการทำเนื้อลิ้นจี่ตีป่น

1.2.2 ศึกษาวิธีการรักษาสีของเปลือกลิ้นจี่อบแห้งให้คงสีแดงเหมือนผลสดและการ treatment ผลลิ้นจี่ก่อนอบแห้งเพื่อพัฒนาคุณภาพของลิ้นจี่หลังอบแห้ง

1.2.3 ศึกษาวิธีการเก็บรักษาและ/หรืออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

## 1.3 แผนการดำเนินการวิจัย

1.3.1 คัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง โดยวางแผนการทดลองด้วยวิธี Plackett and Burman Designs เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่สำคัญและมีผลต่อคุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์มากที่สุด โดยพิจารณาจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและผลการวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพ

1.3.2 พัฒนาสูตรที่เหมาะสมของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง ด้วยการวางแผนการทดลองโดยใช้ factorial design ทำการคัดเลือกสูตร โดยพิจารณาจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส และจากผลการวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพ

1.3.3 ศึกษาคุณภาพของผลลิ้นจี่ในช่วงอายุการเก็บต่างๆ ด้วยการวิเคราะห์ทั้งทางกาย-ภาพและทางเคมี เพื่อคัดเลือกช่วงอายุการเก็บผลลิ้นจี่ที่เหมาะสมสำหรับนำมาอบแห้งทั้งเปลือก

1.3.4 ศึกษาวิธีการเตรียมผลลิ้นจี่ก่อนนำมาอบให้แห้ง โดยเน้นเรื่องสีเปลือก และรสชาติของผลลิ้นจี่ วิธีการเตรียม ได้แก่

1.3.4.1 ทดลองเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในตู้เย็น 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 และ 2 สัปดาห์ ก่อนนำไปอบแห้ง

1.3.4.2 แช่สารละลายกรด

1.3.4.3 รมควันกำมะถัน

1.3.4.4 แช่สารละลายโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์และกรด

1.3.5 พัฒนากรรมวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมในการอบผลลิ้นจี่ทั้งเปลือก และเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง เพื่อหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง โดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ทั้งทางกายภาพ ทางเคมี จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและต้นทุนการผลิต

1.3.6 ศึกษาวิธีการเตรียมเนื้อลิ้นจี่เพื่อทำเนื้อลิ้นจี่ตีป่น ด้วยการหาวิธีการรักษาสีเนื้อลิ้นจี่ให้ขาวเหมือนเดิม อัตราความเร็วและระยะเวลาในการตีป่น โดยคำนึงถึงการยอมรับของผู้บริโภค

1.3.7 พัฒนากรรมวิธีการนึ่งฆ่าเชื้อ เนื้อลิ้นจี่ตีป่น เพื่อหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการนึ่งฆ่าเชื้อ และค่า sterilization value ($F_o$) ของขนาดภาชนะบรรจุ 2 ขนาด คือ ขนาดใหญ่และเล็ก

1.3.8 ศึกษาวิธีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งและอายุการเก็บที่เหมาะสม ด้วยการทดลองเก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิห้องเย็น 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง 25 หรือ 30 องศาเซลเซียส ทั้งในสภาวะปกติ และสภาวะสุญญากาศ โดยการสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบเปรียบเทียบคุณภาพในด้านสี (Hunter) ความชื้น (AOAC) ปริมาณน้ำอิสระ ($a_w$ meter) และลักษณะเนื้อสัมผัส (Instron)

1.3.9 ศึกษาอายุการเก็บรักษาและการเปลี่ยนแปลง ระหว่างการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่ตีป่น โดยนำผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่ตีป่นมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 เดือน โดยสุ่มตัวอย่างที่เก็บรักษาไว้มาวิเคราะห์ทุก 2 เดือน นำผลการวิเคราะห์และการทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นตัวกำหนดอายุการเก็บรักษา

1.3.10 การวิเคราะห์

ก. การวิเคราะห์ทางกายภาพ

1. วัดสีใช้ Hunter
2. Texture ใช้ Instron

ข. การวิเคราะห์ทางเคมี

1. Total acidity (titration)
2. pH (pH meter)
3. Total soluble solid (Hand refractometer)
4. Total sugar (Lane and Eynon)
5. $a_w$ ($a_w$ meter)
6. ความชื้น (AOAC)

ค. การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

1. Total plate count
2. Yeast and mould
3. Coliform
4. Aciduric spoilage
5. Flat sour

ง. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่คุ้นเคยกับการบริโภคผลไม้อบแห้ง แยมผลไม้ และน้ำผลไม้ โดยใช้ ideal ratio profile, hedonic scale, ranking test และ paired comparisons

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ภายใน 1 ปีจะทราบ

1.4.1 ภายใน 1 ปี ทราบวิธีการปรับปรุงคุณภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกให้มีสีเปลือกสวยและรสชาติดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

1.4.2 ภายใน 1 ปี ทราบสูตร วิธีการแช่อิ่ม และวิธีการอบแห้งที่เหมาะสม

1.4.3 ภายใน 1 ปี ทราบวิธีการเตรียมเนื้อลิ้นจี่เพื่อทำเป็นเนื้อลิ้นจี่ตีป่นที่เหมาะสม

1.4.4 ภายใน 1 ปีครึ่ง ทราบอุณหภูมิ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการนึ่งฆ่าเชื้อเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋อง และค่า Sterilization value

1.4.5 ภายใน 1 ปีครึ่ง ทราบอุณหภูมิ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก

1.4.6 ภายใน 2 ปี ทราบ วิธีการเก็บรักษาและอายุการเก็บของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง และเนื้อลิ้นจี่ตีป่น

## 1.5 การถ่ายทอดผลงานวิจัยไปสู่ผู้ใช้

ผู้ใช้ผลงานวิจัยนี้คือ โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร และถ่ายทอดผลการวิจัยโดยการพิมพ์เอกสารเผยแพร่

## 1.6 งบประมาณ

| รายการ | จำนวนเงิน |
|---|---|
| 1. หมวดค่าตอบแทน | 343,200.00 |
| 2. หมวดค่าจ้าง | 147,360.00 |
| 3. หมวดค่าใช้สอย | 62,000.00 |
| 4. หมวดค่าวัสดุ | 519,00.00 |
| 5. หมวดค่าครุภัณฑ์ | 0.00 |
| 6. หมวดค่าใช้จ่ายอื่นๆ | 0.00 |
| รวมค่าใช้จ่ายโดยตรง | 1,071,560.00 |
| 7. หมวดค่าใช้จ่ายทางอ้อม | 107,156.00 |
| 8. รวมทั้งสิ้น | 1,178,716.00 |
| รวมทั้งสิ้นหนึ่งล้านหนึ่งแสนเจ็ดหมื่นแปดพันเจ็ดร้อยสิบหกบาทถ้วน | |

# บทที่ 2

# การตรวจเอกสาร

## 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของลิ้นจี่

ลิ้นจี่ (*Litchi chinensis* Sonn.) เป็นผลไม้กึ่งร้อน (sub-tropical fruit) จัดอยู่ในวงศ์ Sapindaceae ลิ้นจี่เป็นผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดมาจากทางตอนใต้ของประเทศจีน ซึ่งปัจจุบันลิ้นจี่ได้กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมเพาะปลูกกันมากในหลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศในเขตร้อน เนื่องจากลิ้นจี่เป็นผลไม้ที่มีลักษณะเฉพาะตัว มีกลิ่นหอม และมีรสชาติพิเศษ คือ มีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ลิ้นจี่จึงเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค มีการส่งผลผลิตออกไปจำหน่ายยังตลาดโลกเป็นจำนวนมาก ประเทศที่ผลิตผลลิ้นจี่ออกจำหน่ายยังตลาดโลก ได้แก่ ประเทศไทย จีน ไต้หวัน เวียตนาม อินเดีย มาเลเซีย อาฟริกาใต้ ปากีสถาน อินโดนีเซีย และออสเตรเลีย (Kadam and Deshpande,1995) สำหรับประเทศไทยมีการเพาะปลูกลิ้นจี่มากในเขตภาคเหนือตอนบน โดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่ พะเยา และเชียงราย ซึ่งสามารถผลิตผลลิ้นจี่ได้มากถึง 90% ของผลผลิตทั้งประเทศ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2540)

พันธุ์ลิ้นจี่มีมากมายหลายสายพันธุ์แต่สายพันธุ์ลิ้นจี่ที่นิยมปลูกกันมากในภาคเหนือและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ ได้แก่ พันธุ์ฮงฮวย โอเฮียะ กิมเจง และจักรพรรดิ์ โดยเฉพาะลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยเป็นพันธุ์ที่ปลูกมากที่สุดทางภาคเหนือ เนื่องจากมีลักษณะเด่นเฉพาะตัวคือสามารถติดผลได้ดีเกือบทุกปี ดอกลิ้นจี่จะเริ่มบานประมาณเดือนกุมภาพันธ์ และผลจะเริ่มแก่ประมาณกลางเดือนพฤษภาคม ผลลิ้นจี่มีรูปทรงกลมรี เปลือกมีสีแดงอมชมพู เมื่อผลแก่สมบูรณ์หนามจะเป็นตุ่มสั้นกว่าผลที่ยังไม่แก่ (จริงแท้, 2538) ดังนั้นจึงต้องเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่ในระยะที่สามารถบริโภคได้ทันที เนื่องจากลิ้นจี่เป็นผลไม้ชนิด non-climacteric (Somogyi *et al.*, 1996) ภายหลังการเก็บเกี่ยวแล้วกระบวนการสุกจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ดังนั้นหากเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่ในระยะที่ไม่เหมาะสม เช่น ผลลิ้นจี่ที่ยังโตไม่เต็มที่จะทำให้ได้ผลลิ้นจี่ที่มีคุณภาพต่ำ เช่น มีรสเปรี้ยวมากเกินไป เนื่องจากผลลิ้นจี่ที่มีระยะความแก่-อ่อนต่างกันจะมีส่วนประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ผลลิ้นจี่ที่มีระยะความแก่-อ่อนพร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้นั้นจะมีปริมาณกรดลดลงและมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น ทำให้เมื่อเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่ในระยะที่มีความแก่สมบูรณ์จะได้ผลลิ้นจี่ที่มีรสชาติดี คือมีรสหวานอมเปรี้ยวเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Holcroft and Mitcham, 1996)

## 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่

ผลลิ้นจี่มีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะความแก่-อ่อน สายพันธุ์ พื้นที่ปลูก และการดูแลในระหว่างการเพาะปลูก ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของผลลิ้นจี่ประกอบด้วย น้ำ 77-87% โปรตีน 0.8-0.9% ไขมันน้อยกว่า 1% ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ 14.0-20.3% ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดประมาณ 15.3% ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลรีดิวซิงถึง 81.7% และน้ำตาลซูโครส 18.3% ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Kadam and Deshpande, 1995) ผลลิ้นจี่สดสายพันธุ์ Brewster มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 16.8% ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส 51.1% ที่เหลืออีก 30.1% และ 18.8% เป็นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตส ตามลำดับ (Chan *et al.,* 1975)

ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดที่พบในผลลิ้นจี่มีประมาณ 0.20-0.64% โดยอยู่ในรูปของกรดมาลิกมากกว่า 80% ของปริมาณกรดทั้งหมด กรดที่เหลือประกอบด้วยกรดชนิดอื่นๆ คือ กรดซิตริก ซักซินิก มาโลนิก แลกติก ฟอสฟอริก และลีวูลินิก นอกจากนี้ยังพบว่าผลลิ้นจี่เป็นแหล่งของกรดแอสคอร์บิก มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงถึง 40-90 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (Somogyi *et al.*, 1996) นอกจากนี้ในผลลิ้นจี่ยังมีวิตามินและแร่ธาตุบางชนิด ได้แก่ ไทอามีน ไรโบฟลาวิน แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก (Salunkhe และKadam, 1995)

สำหรับผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย จักรพรรดิ์ และกิมเจงมีสมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีแสดงดังตาราง 2.1 (Rattanapanone and Boonyakiat, 2000)

**ตาราง 2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย จักรพรรดิ์ และกิมเจง**

| พันธุ์ | % เปลือก | % เมล็ด | % เนื้อ | ค่าสี L* | ค่าสี a* | ค่าสี b* | % TSS | ค่า พีเอช | % ปริมาณกรดทั้งหมด* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ฮงฮวย | 15.18 | 16.48 | 68.36 | 43.56 | 29.37 | 22.35 | 17.93 | 4.51 | 0.39 |
| จักรพรรดิ์ | 17.50 | 13.50 | 69.00 | 35.36 | 34.63 | 14.30 | 18.53 | 4.25 | 0.41 |
| กิมเจง | 17.75 | 9.20 | 73.05 | 35.18 | 32.27 | 15.28 | 17.87 | 4.76 | 0.25 |

* ในรูปกรดมาลิก

ที่มา : Rattanapanone and Boonyakiat (2000)

ผลลิ้นจี่เมื่อมีระยะความแก่เพิ่มมากขึ้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบทางเคมี คือ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดทั้งหมดลดลง และค่าพีเอช (pH) เพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบทางเคมีดังกล่าวสามารถชี้บ่งถึงระยะความแก่-อ่อนของผลลิ้นจี่ได้ ดังนั้นปัจจัยที่ใช้เป็นดัชนีในการพิจารณาระยะการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม อาจพิจารณาได้จากหลายปัจจัย เช่น ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด และอัตราส่วนระหว่าง

ปริมาณน้ำตาลต่อปริมาณกรด (sugar : acid ratio) เป็นต้น (Holcroft and Mitcham, 1996) ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของผลลิ้นจี่สดและลิ้นจี่อบแห้งในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม แสดงดังตาราง 2.2

**ตาราง 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของผลลิ้นจี่สดและลิ้นจี่อบแห้ง ในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม**

| ส่วนประกอบ | ลิ้นจี่สด | ลิ้นจี่อบแห้ง |
|---|---|---|
| พลังงาน (แคลอรี) | 63.0-64.0 | 277.0 |
| ความชื้น (เปอร์เซ็นต์ต่อ 100 กรัม) | 81.90-84.83 | 17.90-22.30 |
| โปรตีน (กรัม/100 กรัม) | 0.68-1.00 | 2.90-3.80 |
| ไขมัน (กรัม/100 กรัม) | 0.30-0.58 | 0.20-1.2 |
| คาร์โบไฮเดรต (กรัม/100 กรัม) | 13.31-16.40 | 70.70-77.50 |
| เส้นใยอาหาร (กรัม/100 กรัม) | 0.23-0.40 | 1.40 |
| เถ้า (กรัม/100 กรัม) | 0.37-0.50 | 1.50-2.00 |
| แคลเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 8.0-10.0 | 33.0 |
| ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 30.0-42.0 | - |
| เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 0.4 | 1.7 |
| โซเดียม (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 3.0 | 3.0 |
| โพแทสเซียม (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 170.0 | 1,100 |
| วิตามินบี 1 (ไทอามิน) (ไมโครกรัม/100 กรัม) | 28.0 | - |
| วิตามินบี 2 (ไรโบฟลาวิน) (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 0.40 | - |
| วิตามินบี 6 (กรดนิโคตินิก) (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 0.05 | 0.05 |
| วิตามินซี (กรดแอสคอร์บิก) (มิลลิกรัม/100 กรัม) | 24.0-60.0 | 42.0 |

ที่มา : www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/lychee.html โดย Purdue University Center for New Crop and Plant Produces (1999)

ในช่วงระยะการเจริญเติบโตและการพัฒนาของผลลิ้นจี่ นอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบทางเคมีแล้ว ยังมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน คือการเปลี่ยนแปลงของสีผิวที่เปลือกนอกของผลลิ้นจี่ จะมีการพัฒนาจากสีเขียวเป็นสีแดงเพิ่มมากขึ้นตามระยะการสุก รงควัตถุที่ให้สีแดงในเปลือกของผลลิ้นจี่ คือ แอนโทไซยานิน ซึ่งประกอบด้วยอนุพันธ์หลายชนิด คือ 3-ไกลโคไซด์ (3-glycoside) ไซยานิดีน (cyanidin) 3-กาแลก-

โตไซด์ (3-galactoside) พิลาโกนิดีน (pelargonidin) 3-แรมโนไซด์ (3-rhamnoside) และพิลาร์โกนิ-ดีน-3,5-ไดไกลโคไซด์ (pelargonidin-3,5-diglycoside) โดยพบว่าไซยานิดีน-3-รูติโนไซด์ (cyanidin-3-rutinoside) เป็นอนุพันธ์หลักที่มีปริมาณมากกว่า 67% ของปริมาณแอนโทไซยานิน ทั้งหมด ปริมาณแอนโทไซยานินเป็นดัชนีที่สามารถชี้บ่งถึงระยะการสุกของผลลิ้นจี่ได้เป็นอย่างดี เพราะในระหว่างที่ผลลิ้นจี่สุก จะมีการสังเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินที่เปลือกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้เปลือกลิ้นจี่มีสีแดงเพิ่มมากขึ้น และปริมาณแอนโทไซยานินจะมีความเข้มข้นสูงสุดเมื่อผลลิ้นจี่มีระยะการสุกเต็มที่ หลังจากนั้นปริมาณแอนโทไซยานินจะค่อยๆ ลดลงภายหลังการเก็บเกี่ยวและเมื่อผลลิ้นจี่เริ่มเน่าเสีย ภาวะดังกล่าวจึงเป็นตัวชี้บ่งที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสีเปลือกของผลลิ้นจี่กับระยะการสุกได้เป็นอย่างดี (Mazza and Miniati , 1993)

ผลลิ้นจี่มีอายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากผิวเปลือกเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงเป็นสีน้ำตาลอย่างรวดเร็วภายใน 24 ชั่วโมงภายหลังการเก็บเกี่ยวเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (Ray, 1998) การเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณผิวเปลือกของผลลิ้นจี่นับว่าเป็นปัญหาสำคัญในทางการค้า เพราะจะทำให้ราคาผลผลิตตกต่ำและไม่สามารถส่งออกไปจำหน่ายในระยะทางไกลๆ ได้ ซึ่งเชื่อกันว่าการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวเปลือกผลลิ้นจี่มีสาเหตุเนื่องมาจากการสลายตัวของแอนโทไซยานินในภาวะต่างๆ เช่น ภาวะภายหลังการเก็บเกี่ยว ความเข้มข้นของแอนโทไซยานินบริเวณเปลือกผลลิ้นจี่จะลดลงอย่างช้าๆ การสลายตัวของแอนโทไซยานินมีสาเหตุมาจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟี-นอลออกซิเดส (polyphenol oxidase ; PPO) ซึ่งเป็นเอนไซม์หลักในการทำให้เกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานิน (Zhang *et al.,* 2000 )

Underhill (1992) รายงานว่า ภายหลังการเก็บเกี่ยวกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิ-เดสที่เปลือกของผลลิ้นจี่จะค่อยๆ ลดลง มีการสลายตัวของแอนโทไซยานินอย่างรวดเร็ว และเกิดสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น จึงไม่น่าเป็นไปได้ว่าการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลิ้นจี่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเพียงอย่างเดียว น่าจะมีปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น การได้รับความเสียหายจากลักษณะทางกายภาพ เช่น การเก็บผลลิ้นจี่สดไว้ในห้องเย็นโดยตรง (อุณหภูมิต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส) หรือการได้รับความร้อน (อุณหภูมิสูงกว่า 53 องศาเซลเซียส) ปัจจัยทางกายภาพเหล่านี้จะเร่งให้เกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ให้เร็วขึ้น เนื่องจากภายหลังการเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่จะสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็ว การเก็บรักษาผลลิ้นจี่ไว้ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผลลิ้นจี่สูญเสียความชื้นถึง 7% ของน้ำหนักเปลือก หลังจากนั้นอีก 4 ชั่วโมง เปลือกลิ้นจี่จะสูญเสียความชื้นเพิ่มมากขึ้นเป็น 40% และจะเพิ่มขึ้นเป็น 60% ภายหลังจาก 64 ชั่วโมงของการเก็บรักษา (Underhill, 1992) การเก็บผลลิ้นจี่ไว้ในภาวะที่ไม่เหมาะสมจะช่วยเร่งการสูญเสียความชื้นของเปลือกผลลิ้นจี่ การสูญเสียความชื้นของเปลือกผลลิ้นจี่จะทำให้เปลือกมีลักษณะแห้งแข็ง และเกิดการฉีกขาดของเนื้อเยื่อบริเวณเปลือกผลลิ้นจี่ (Underhill and Critchley, 1993) ส่งผลให้เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินได้โดย

ตรง แสดงให้เห็นว่าการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียความชื้น ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญระหว่างการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ (Underhill, 1992)

## 2.3 การรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บเกี่ยว

การชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บเกี่ยว สามารถทำได้โดยการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และนำผลลิ้นจี่บรรจุในถุงพลาสติก เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 5 องศาเซลเซียส สามารถรักษาสีเปลือกผลลิ้นจี่ไว้ได้ 4 สัปดาห์ การรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ในระหว่างการเก็บรักษา ทำได้โดยการรมผลลิ้นจี่ด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือนำผลลิ้นจี่ไปจุ่มในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (60 กรัม/ลิตร) นาน 10 นาที แล้วจึงนำไปจุ่มในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 4% เป็นเวลา 2 หรือ 3 นาที หรือนำไปจุ่มในสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้น 10% นาน 5 นาที ก่อนที่จะนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียล สามารถยืดระยะเวลาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่เปลือกของผลลิ้นจี่ได้นาน 28 วัน (Duvenhage, 1994)

การใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลไฟต์ เช่น โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ หรือโปแตสเซียม-เมตาไบซัลไฟต์ สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่บริเวณเปลือกของผลลิ้นจี่ที่มีสาเหตุมาจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ โดยซัลไฟต์จะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส และสารประกอบซัลเฟอร์จะไปจับกับแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นสารสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอนโทไซยานิน (anthocyanin complex) ที่มีความคงตัวสูง ทำให้สามารถควบคุมไม่ให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ (Zauberman *et al*., 1991; Fuchs *et al*., 1993 )

การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่บริเวณเปลือกของผลลิ้นจี่ ทำได้โดยนำผลลิ้นจี่มาจุ่มลงในสารละลายกรดซัลฟูริก หรือ สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีค่าพีเอชหลายๆ ระดับ คือ 0.2, 0.4 และ 0.6 ใช้ระยะเวลาในการจุ่ม 5, 10 และ 15 นาที ทั้งก่อนและภายหลังการนำผลลิ้นจี่ไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น พบว่าภาวะที่มีค่าพีเอชต่ำและเวลาในการแช่ที่นานขึ้น จะสามารถช่วยรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ได้ ซึ่งก็คือการจุ่มในสารละลายกรดที่มีค่าพีเอช 0.2 นาน 15 นาที จะให้ผลในการรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงไว้ได้ดีที่สุด (Kesta และ Leelawatana, 1992)

การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของเปลือกลิ้นจี่ โดยการรมควันผลลิ้นจี่ด้วยก๊าซซัล-เฟอร์ไดออกไซด์ เปรียบเทียบกับผลลิ้นจี่ที่ไม่ได้รม พบว่าผลลิ้นจี่ที่ไม่ได้รมจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลอย่างสมบูรณ์ ส่วนผลลิ้นจี่ที่ผ่านการรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะฟอกสีเปลือกของผลลิ้นจี่ให้มีสีเหลือง แต่ระหว่างที่เก็บรักษาไว้ระยะเวลาหนึ่ง ผลลิ้นจี่ที่ถูกฟอกสีจะมีสีแดงกลับมาอีกครั้งหนึ่ง (นิธิยาและดนัย, 2544) ซึ่งสีแดงของผลลิ้นจี่ที่เกิดขึ้นภายหลังการถูกฟอกสีนี้จะไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นได้อีก เนื่องจากแอนโทไซยานินที่เป็นสารสีให้สีแดงของผลลิ้นจี่

จะจับกับสารซัลเฟอร์ได้สารประกอบที่มีความคงตัวสูง จึงสามารถควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ (Kremer-Kohno and Lonsdale, 1990)

การแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายที่ประกอบด้วยโซเดียมไบซัลไฟต์ 2% รวมกับกรดซิตริก 10% และโซเดียมคลอไรด์ 2% เป็นเวลา 2 นาที จะช่วยรักษาสีเปลือกของผลลิ้นจี่ไว้ได้ (Nip, 1990) และการใช้สารอนินทรีย์ เช่น สารละลายกรดซัลฟูริก หรือสารละลายกรดไฮโดรคลอริกอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือใช้ร่วมกับสารประกอบซัลเฟอร์จะสามารถใช้ควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ แต่การใช้สารประกอบซัลเฟอร์จะมีผลทำให้เนื้อลิ้นจี่มีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ และการใช้สารละลายกรดนั้นจะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพในการบริโภคเนื้อลิ้นจี่ (Ray, 1998)

การจุ่มผลลิ้นจี่ลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มัล สามารถรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ไว้ได้นานกว่า 12 สัปดาห์ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 60% (Underhill *et al.,* 1992) และการจุ่มผลลิ้นจี่ลงในสารละลายที่มีค่าพีเอชต่ำ เช่น สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีค่าพีเอช 0.3 ถึง 0.5 สามารถรักษาสีแดงตามธรรมชาติของเปลือกผลลิ้นจี่ไว้ได้นาน 6 วันโดยไม่มีการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส (Zauberman *et al.,* 1989) การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสซึ่งเป็นเอนไซม์หลักในการทำให้เกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลิ้นจี่ สามารถทำได้โดยการควบคุมค่าพีเอชให้ต่ำกว่า 4.2 และการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะลดลงถึง 28% และจะมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ เมื่อผลลิ้นจี่ได้รับความร้อนนานขึ้น อย่างไรก็ตามการทำลายเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสด้วยความร้อน จะทำให้ผลลิ้นจี่ได้รับความเสียหายเนื่องจากความร้อนด้วยเช่นกัน (Yue-Ming *et al.,* 1997) การให้ความร้อนกับผลลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ก็จะมีผลให้แอนโทไซยานินเกิดการสลายตัวและมีปริมาณลดลง (Underhill and Critchley, 1993) หากเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนนานกว่า 60 นาที แอนโทไซยานินในเปลือกผลลิ้นจี่ก็จะสลายตัวจนหมด เป็นผลให้เกิดสีน้ำตาลบริเวณเปลือกผลลิ้นจี่ทั่วทั้งผล เนื่องจากความร้อนมีผลทำให้แอนโทไซยานินเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปอยู่ในรูปของ chalcone ซึ่งไม่มีสี (John, 1994)

## 2.4 ออสโมติกดีไฮเดรชัน (Osmotic dehydration)

การทำแห้งโดยอาศัยหลักการออสโมซิส เป็นการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากอาหาร (partially dehydration) โดยการแช่อาหารลงในสารละลายเกลือ หรือน้ำตาลชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ซูโครส ซอร์บิทอล หรือกลีเซอรอลที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งจัดเป็น minimal process อย่างหนึ่ง เพราะใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนัก เช่น ใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส (Lazarides *et al.,* 1995) อย่างไรก็ตาม การทำแห้งผลไม้โดยวิธีนี้ยังมีข้อเสียเปรียบบางประการ ดังนั้น จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

ในการศึกษาวิจัยเพื่อนำกระบวนการดังกล่าวไปใช้ในอุตสาหกรรมการทำแห้งผลไม้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการของผู้บริโภคและเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

หลักการของกระบวนการออสโมซิส เป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ต้องการศึกษาวิจัยควรต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ เพราะขณะที่ผลไม้แช่อยู่ในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จะเกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมซิสระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้กับสารละลายที่ผลไม้แช่อยู่ เกิดเป็นแรงขับ (driving force) ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสาร โดยน้ำจะแพร่กระจายออกจากเซลล์มายังสารละลายภายนอกและตัวถูกละลายในสารละลายจะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ และสารบางอย่างภายในเซลล์ผลไม้ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ และเกลือแร่ต่างๆ ก็จะซึมออกสู่ภายนอกเซลล์ด้วย การที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลในผลไม้ และการสูญเสียสารที่มีตามธรรมชาติบางส่วนออกไป อาจทำให้มีผลกระทบต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Lazarides *et al.,* 1995)

## 2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการถ่ายเทมวลสารระหว่างการทำออสโมซิส

การศึกษาวิจัยส่วนใหญ่จะศึกษาถึงผลของปัจจัยหลักของกระบวนการ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ อุณหภูมิ การกวนสารละลาย อัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลาย ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และระยะความสุก รูปร่างและขนาดชิ้นของผลไม้ที่มีผลต่อกลไกของการถ่ายเทมวลสารในรูปของค่าการสูญเสียน้ำ [water loss (WL)] การเพิ่มปริมาณน้ำตาล [sugar gain (SG)] น้ำหนักที่ลดลง [weight reduction (WR)] และอัตราส่วนของการสูญเสียน้ำต่อการเพิ่มปริมาณน้ำตาล [ water loss to sugar gain ratio (WL/SG) ] และการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส

**ก. การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล**

Rahman (1995) ได้ศึกษาการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสในชิ้นสับปะรดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40, 50, 60 และ 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 40 องศา-เซลเซียส พบว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจะเพิ่มอัตราของการสูญเสียน้ำ เพิ่มปริมาณน้ำตาล น้ำหนักลดลง และเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งได้ผลในทำนองเดียวกันเมื่อทำการทดลองกับมะละกอและผักคื่นฉ่าย (Wang *et al.,* 1999) และในกล้วยสุกที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส ความเข้มข้น 35, 50 และ 65 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยพบว่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่สูงขึ้น สามารถดึงน้ำออกจากกล้วยได้ดีกว่า และเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sankat *et al.,* 1997) แต่ Rahman (1995) ได้รายงานว่าการใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้นต่ำจะให้ WL/SG สูงกว่าและสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ ให้ค่าการสูญเสียน้ำและน้ำหนักที่ลดลงน้อยกว่าสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 60 และ 50 องศาบริกซ์ สาเหตุอาจเกิดจากในสารละลายที่มี

ความเข้มข้นสูงเร่งให้เกิดชั้นของน้ำตาลรอบๆ ชิ้นสับปะรดอย่างรวดเร็วซึ่งจะมีผลต่อ concentration profile ของระบบ

**ข. การศึกษาผลของอุณหภูมิของสารละลาย**

Rahman (1995) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิของสารละลายน้ำตาล โดยการแช่ชิ้นสับปะรดในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 60 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำ (WL) และการเพิ่มปริมาณน้ำตาล (SG) จะเพิ่มขึ้นส่วนน้ำหนักของชิ้นผลไม้ (WR) และอัตราส่วนของการสูญเสียน้ำต่อการเพิ่มปริมาณน้ำตาล (WL/SG) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เช่นเดียวกับผลการทดลองที่ได้จากการศึกษากับมะละกอและผักคื่นฉ่าย พบว่าที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จะให้ค่าการสูญเสียน้ำ (WL) และการเพิ่มปริมาณน้ำตาล (SG) สูงกว่าการทำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Wang *et al.,* 1999) อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของอุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับ sensitivity ของผลไม้แต่ละชนิด (Lazarides *et al.,* 1995)

การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์บางชนิดได้ เช่น Fito *et al.,* (1999) รายงานว่าการใช้อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ในการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสของชิ้นแอปเปิลทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติด้วย Mata *et al.,*(1999) ได้ศึกษาการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสในชิ้นมะละกอ พบว่าการใช้อุณหภูมิสูงเกินไปทำให้สูญเสียวิตามินซีและเกิดการเปลี่ยนสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

**ค. การศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายออสโมติก**

Rahman (1995) ได้ศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของอัตราส่วนระหว่างผลไม้ต่อสารละลายน้ำตาลที่ใช้ โดยใช้อัตราส่วน 1:2, 1:4, 1:6, 1:8 และ 1:10 พบว่าการใช้อัตราส่วนสูงๆ (1:8 และ 1:10) จะเพิ่มอัตราเร็วของการสูญเสียน้ำต่อการเพิ่มปริมาณน้ำตาลและน้ำหนักที่ลดลงมากกว่าการใช้อัตราส่วนต่ำๆ แต่การใช้อัตราส่วนต่ำ (1:4 และ 1:6) กลับทำให้อัตราส่วนของการสูญเสียน้ำต่อการเพิ่มปริมาณน้ำตาลสูงขึ้นด้วย

**ง. การศึกษาผลของการกวนสารละลาย ชนิดของผลไม้ พันธุ์ ระยะความสุก ขนาด และรูปร่างของผลไม้**

การกวนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก เพราะการกวนสารละลายอย่างต่อเนื่องขณะที่แช่ผลไม้จะช่วยลดการสะสมของน้ำที่ซึมออกมาเกาะอยู่รอบๆ ชิ้นผลไม้ ซึ่งจะมีผลต่อกระบวนการถ่ายเทมวลสาร อีกทั้งยังช่วยทำให้สารละลายมีอุณหภูมิเท่ากันและสม่ำเสมอกันอีกด้วย (Lazarides *et al.,* 1995)

ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และระยะการสุกจะมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อกระบวนการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสที่ใช้ เช่น พบว่าชิ้นสับปะรดจะทำแห้งได้รวดเร็วกว่าชิ้นมะละกอและมะม่วง ผลไม้สุกจะทำได้รวดเร็วกว่าผลไม้ดิบ

แต่ถ้าผลไม้สุกเกินไปเนื้อผลไม้จะเละทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำลง ซึ่งผลการทดลองในแอปเปิลจะชัดเจนกว่าการทดลองในเมลอนและมะม่วง (Pazz *et al.,* 1999) เนื่องจากมีความแตกต่างกันในด้านโครงสร้างของเนื้อเยื่อ นอกจากนั้นรูปร่างและขนาดของผลไม้จะมีผลต่ออัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร หากอัตราส่วนนี้สูงน้ำจะซึมออกได้เร็ว และผลไม้ที่มีรูปร่างกลมน้ำน่าจะซึมออกได้น้อยกว่ารูปร่างแท่ง (Cohen and Yang, 1999)

**จ. การศึกษาผลของชนิดของตัวถูกละลายที่ใช้**

ชนิดของตัวถูกละลายที่ใช้เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีการศึกษาเพื่อปรับปรุง และเพิ่มประสิทธิภาพของการทำแห้งผลไม้โดยอาศัยหลักการออสโมซิส การใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสจะช่วยดูดน้ำออกได้ดีกว่าสารละลายน้ำตาลฟรุคโตสและน้ำตาลกลูโคส การศึกษา capillary infiltration ของตัวถูกละลายในการทำแห้งในแครอทโดยใช้สารละลาย NaCl-Sucrose ที่อัตราส่วน 0:1, 1:1, 1:0 เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่าการใช้น้ำตาลซูโครส (0:1) จะช่วยในการดูดน้ำออกเป็นหลัก (WL<75.4, SG<6.56) ในขณะที่ NaCl (1:0) จะเพิ่มการแทรกซึมของตัวถูกละลาย (WL<27.3, NaCl gain<16.4) (Delvalle and Valenzuela, 1999) ผลการศึกษาบางรายงานยังพบว่ามีการเกิด synergistic effect ระหว่างตัวถูกละลายที่ใช้ร่วมกัน เช่น การใช้สารละลาย salt-sorbitol ในการทดลองกับพริกหวาน พบว่า ปริมาณ salt uptake จะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซอร์บิทอล (sorbitol) (Ozaslan *et al.,* 1999)

การศึกษาความแตกต่างของการใช้น้ำตาลซูโครส และ 38 DE corn syrup solid (CSS) ซึ่งเตรียมเป็นสารละลายความเข้มข้น 55 องศาบริกซ์ เพื่อใช้ในการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศปกติ เปรียบเทียบกับการทำ vacuum dehydration ในแอปเปิล (Lazarides *et al.,* 1995) พบว่าการใช้สารละลาย CSS ทำให้สูญเสียน้ำตาลซูโครสที่มีอยู่เดิมในผลไม้เป็นจำนวนมาก แต่มีการสูญเสียน้ำตาลฟรุกโตสและน้ำตาลกลูโคสไม่มากนัก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณน้ำตาลลดลงเหลือประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณเริ่มต้น ขณะที่การใช้น้ำตาลซูโครสเป็นตัวถูกละลายจะมีการสูญเสียน้ำตาลฟรุกโตสและน้ำตาลกลูโคสออกไปบ้าง แต่จะมีปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย ทำให้ยังคงรักษาสมดุลของปริมาณน้ำตาลในผลไม้เอาไว้ได้

**ฉ. การศึกษาด้านอื่น ๆ**

ผลงานวิจัยที่ศึกษาถึง Mathematic model ของกระบวนการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการทำแห้งโดยใช้หลักการออสโมซิสเท่าที่มีรายงาน เช่น Garcia *et al.,* (1999) พบว่าการทำ osmotic dehydration ในชิ้นสับปะรดที่ออกแบบการทดลองให้เหมาะสมกับการสร้าง Mathematic model แบบ Exponential และ Polynomial โดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 50, 60 และ 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พีเอช 6, 7 และ 8 ได้ค่า Diffusivity ของน้ำ = $1.11 \times 10^{-5}$ ถึง $2.7 \times 10^{-5}$ ตารางเซนติเมตรต่อวินาที โดยน้ำตาลซูโครสมีค่า Diffusivity = $1.49 \times 10^{-6}$ ถึง $3.15 \times 10^{-5}$ ตารางเซนติเมตรต่อวินาที จาก Mathematic model ที่ได้มีค่า $R^2 = 0.94$

Garcia *et al.,* (1999) จึงสรุปว่ากระบวนการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นระหว่างการทำแห้งโดยใช้หลักการออสโมซิสจะให้ค่า Diffusivity ของน้ำมากกว่าของน้ำตาลซูโครส เช่นเดียวกับการศึกษาในผล cranberries (Grabowski and Morcotte, 1999) และการศึกษาในกล้วย (Sanket *et al.,* 1997)

Fito *et al.,* (1999) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างเนื้อเยื่อแอปเปิลขณะทำแห้งโดยใช้หลักการออสโมซิส พบว่าเนื้อเยื่อและปริมาตรของแอปเปิลมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยในช่วงแรกๆ ที่แรงขับยังสูงอยู่ จะมีการไหลออกของน้ำเป็นจำนวนมาก ทำให้ช่องว่างระหว่างเซลล์ลดลง และในช่วงหลังพบว่าอากาศที่แทรกตามช่องว่างของเนื้อเยื่อจะน้อยลง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดการหดตัวและมีปริมาตรลดลง

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในด้านอื่นๆ เช่น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของกล้วย แอปเปิล และเมลอน ที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 39 และ 48 องศาบริกซ์ ที่เติมซอร์เบท 1,000 ส่วนต่อล้านส่วน ไบซัลไฟต์ 150 ส่วนต่อล้านส่วน และปรับค่าพีเอชเป็น 4.3 ด้วยกรดซิตริก และบรรจุในกระป๋องดีบุกเคลือบด้วยแลกเกอร์ชนิด Epoxy-phenolic และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าความเข้มข้นของสารละลายและอุณหภูมิ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพระหว่างการเก็บรักษาอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ปริมาณน้ำลดลงและการเปลี่ยนแปลงด้านสีเพิ่มมากขึ้นใน 2 สัปดาห์แรก ลักษณะเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น 40% ในเวลา 8 สัปดาห์ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Pinheiro *et al.,* 1999)

Cohen และ Yang (1999) ได้ศึกษาศักยภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งโดยอาศัยหลักการออสโมซิส ในแง่การเพิ่มคุณค่าทางอาหาร พร้อมกับได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักและปริมาตรลดลง ตลอดจนมีอายุการเก็บรักษาที่นานมากขึ้น โดยได้ศึกษาการแพร่ของสารอาหารเข้าไปในบลูเบอรี และแครอท โดยใช้คาเฟอีนเป็นตัวแทนของสารอาหารในการทดลอง ซึ่งผสมลงไปในสารละลายที่ใช้ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าคาเฟอีนแทรกซึมเข้าไปในบลูเบอรีได้ 85-100% และในแครอทประมาณ 86-92%

Ozaslan *et al.,* (1999) ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งพริกหวาน (green-pepper) ด้วยวิธีออสโมซิส โดยต้องการกระบวนการที่ทำให้มีการสูญเสียน้ำ (WL) สูงสุดและให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี โดยทดลองที่อุณหภูมิ 20 ถึง 40 องศา-เซลเซียส ใช้เวลา 15 ถึง 600 นาที ด้วยสารละลาย NaCl (0-10% W/V) และซอร์บิทอล (0.1% W/V) พบว่าสภาวะที่เหมาะสม คือการใช้ NaCl 7.5% และซอร์บิทอล 7.5% ที่อุณหภูมิ 30 องศา-เซลเซียสใช้เวลา 240 นาทีโดยให้ WL 26%, SG <5%, salt uptake <10% และ sorbitol uptake (3%)

Mata *et al.* (1999) ได้ศึกษาในมะละกอ โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 65 องศาบริกซ์ ปรับพีเอชให้เท่ากับ 2 ด้วยกรดฟอสฟอริก แล้วแช่ชิ้นมะละกอเป็นเวลานาน 10, 20 และ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบระหว่างการทำภายใต้ความดัน

บรรยากาศปกติและความดันสุญญากาศ (vacuum osmotic dehydration; VOD) พบว่าชิ้นมะละกอที่ได้จากการทำภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ให้ปริมาณ SG ต่ำที่สุดและได้คะแนนการทดสอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัสและด้านรสชาติสูงที่สุด ซึ่งถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสของมะละกอที่มีพันธุ์ ระยะความสุก ขนาด และรูปร่างตามที่เตรียมไว้

Paz *et al.,* (1999) ได้ศึกษาผลของการใช้ระดับของสุญญากาศ ตั้งแต่ 120 ถึง 659 มิลลิบาร์ ในการทำแห้ง 10 นาทีแรก หลังจากนั้นจะใช้ความดันบรรยากาศต่อไปอีก 10 นาที โดยศึกษาในแอปเปิล มะม่วง และเมลอน โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 40 และ 60 องศาบริกซ์ และอัตราส่วนของผลไม้ต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:10 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้สภาวะสุญญากาศจะลด water activity ($a_w$) ของผลไม้ลงได้มากกว่าการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสที่ความดันบรรยากาศ และการเพิ่มระดับของสุญญากาศจะลดค่า $a_w$ ได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การทำ Osmotic dehydration (OD) Vacuum osmotic dehydration (VOD) และ Pulse vacuum osmotic dehydration (PVOD) ในมะละกอและผักคื่นฉ่าย โดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้น 25, 40 และ 55 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 25, 40 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ระดับสุญญากาศที่ใช้ใน VOD และ PVOD เท่ากับ 0, 253 และ 506 มิลลิเมตรปรอท โดยในการทำ PVOD จะลดความดันเป็นจังหวะๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 ครั้งต่อนาที จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าทั้ง VOD และ PVOD สามารถเพิ่ม dehydration rate และค่า SG ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และการทำ PVOD จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับวัตถุดิบเริ่มต้น ดังนั้น PVOD จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าและใช้พลังงานน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ VOD (Wang *et al.,* 1999)

Lazarides *et al.,* (1995) ได้ศึกษาการใช้กระบวนการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้ชิ้นแอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสมาระยะหนึ่งแล้ว คือผ่านการแช่ในสารละลาย CSS ความเข้มข้น 55 องศาบริกซ์ มาแล้ว เป็นเวลา 30 นาที 1 ชั่วโมง และ 1.5 ชั่วโมง) หลังจากนั้นนำชิ้นแอปเปิลที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง แล้วนำมาหลอมละลาย (thawing) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำชิ้นแอปเปิลที่ได้มาแช่ในสารละลายต่อจนครบ 5 ชั่วโมง พบว่าการ freeze/thawing ไม่มีผลใดๆ ต่อการเพิ่มอัตราของ WL แต่กลับเพิ่มอัตราของ SG อย่างมาก ดังนั้น Lazarides *et al.,* (1995) จึงสรุปว่า การทำ freeze/thawing ไม่สามารถใช้เป็น intermediate step ในการเพิ่มอัตราการสูญเสียน้ำ หรือช่วยชะลอการลดลงของอัตราการสูญเสียน้ำได้ อย่างไรก็ตามผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาของการทำแห้งโดยหลักการออสโมซิสในชิ้นสับปะรดก่อนการแช่เยือกแข็งยิ่งมากจะช่วยลดการสูญเสียของเหลวออกจากชิ้นสับปะรด

ภายหลังการหลอมละลายได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งมีประโยชน์ในกระบวนการแช่เยือกแข็งผลไม้ที่มีปริมาณน้ำสูง

Robbers *et al.,* (1997) ได้เปรียบเทียบผลของการทำแห้งผลกีวีโดยวิธีออสโมซิส การทำแห้งโดยใช้ลมร้อน และการทำแห้งแบบผสม โดยลดปริมาณน้ำออกบางส่วนก่อนการใช้ลมร้อน หลังจากนั้นจึงใช้การทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสลดปริมาณน้ำจนถึงระดับที่ต้องการ พบว่าการทำแห้งแบบผสมให้อัตราของ WL สูงที่สุด และลดการสูญเสียของวิตามินซีและน้ำตาลในผลไม้ได้ดีกว่าการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส และการทำแห้งโดยใช้ลมร้อน และจะใช้ระยะเวลาการอบแห้งน้อยที่สุด รองลงมาคือการทำแห้งแบบผสม ส่วนการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสจะใช้เวลานานที่สุดที่ความชื้นสุดท้ายของผลกีวีเท่ากัน ค่าความแน่นเนื้อของผลกีวีที่ทำแห้งโดยใช้ลมร้อน และการทำแห้งแบบผสมมีค่าสูงกว่าการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส อย่างไรก็ตาม ผลกีวีแห้งที่ได้จากการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนมีการสูญเสียวิตามินซีค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มที่จะมีสีคล้ำขึ้นในขณะที่การทำแห้งแบบผสม และการทำแห้งโดยวิธีออสโมซิสมีแนวโน้มเพิ่มสีเหลืองและเขียวในผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย

ผลการศึกษาของ Sanket *et al.,* (1997) พบว่าเมื่อลดความชื้นในชิ้นกล้วยลงส่วนหนึ่งด้วยวิธีออสโมซิสแล้วทำให้แห้งถึงความชื้นที่ต้องการด้วยลมร้อน จะได้ชิ้นกล้วยที่มีสี เนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏที่ดีมากกว่าชิ้นกล้วยที่ผ่านการทำให้แห้งโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว

## 2.6 วิธีการเก็บรักษาอาหารอบแห้งและอายุการเก็บรักษา

การผลิตอาหารที่มีความชื้นต่ำหรืออาหารอบแห้งนั้นมีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อต้องการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ ซึ่งการที่จะวิเคราะห์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำน้อยมากๆ นั้นค่อนข้างยากมาก เพราะว่าปฏิกิริยาบางอย่างอาจเกิดขึ้นได้ในผลิตภัณฑ์อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นผลิตภัณฑ์จะต้องมีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา ทั้งทางด้านจุลินทรีย์ เคมี และกายภาพ เพราะการเปลี่ยนแปลงลักษณะดังกล่าวจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่จะช่วยควบคุมและมีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารโดยทั่วไปมี 3 ปัจจัยหลัก คือ ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ สภาวะแวดล้อมในระหว่างการเก็บรักษาหรือรอการจำหน่าย และคุณสมบัติของภาชนะบรรจุ หากมีการควบคุมปัจจัยทั้ง 3 ดังกล่าวให้มีความเหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาแล้ว จะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวและมีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้นได้ ปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ได้แก่

***ก. ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์***

ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูงจะมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่จัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูงนั้น จะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถเก็บรักษาไว้

ได้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ได้รับความเสียหายเนื่องจากจุลินทรีย์ ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูง เนื่องจากมีปริมาณความชื้นต่ำ เช่น ผลไม้อบแห้งจะมีปริมาณความชื้นอยู่ประมาณ 15-30 % และมีค่า $a_w$ อยู่ในช่วง 0.6-0.65 (Gordon, 1993) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญได้ที่ค่า $a_w$ ต่ำกว่าค่าวิกฤต (ไพบูลย์, 2532) ค่า $a_w$ มีอิทธิพลต่ออัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหาร เนื่องจากแบคทีเรียไม่สามารถเจริญได้เมื่อค่า $a_w$ ต่ำกว่า 0.9 ส่วนการเจริญของยีสต์และราจะถูกยับยั้งที่ค่า $a_w$ ต่ำกว่า 0.7 (Somogyi and Luh, 1986) ดังนั้นอาหารที่นำมาเก็บรักษาควรมีค่า $a_w$ ต่ำกว่า 0.7 ผลิตภัณฑ์จะปลอดภัยจากจุลินทรีย์ได้ จึงเป็นเหตุผลให้อาหารอบแห้งถูกจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูง แต่ทั้งนี้จะต้องมีการรักษาค่า $a_w$ ของอาหารไม่ให้เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (จิตธนา และคณะ, 2539) เพราะอาหารที่มีปริมาณน้ำต่ำนั้น หากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ก็จะมีผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาทันที แต่ในบางครั้งการยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า $a_w$ ของผลิตภัณฑ์ให้เพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อยก็สามารถทำได้ หากมีปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ค่าพีเอช เกลือ สารป้องกันจุลินทรีย์ และอุณหภูมิ (ไพบูลย์, 2532) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งจะมีความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์สูง แต่ปฏิกิริยาทางเคมีก็ยังสามารถดำเนินต่อไปได้เรื่อยๆ ในอาหารแห้งระหว่างการเก็บรักษา เช่น ปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน และปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีปัจจัยที่ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยา การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวก็สามารถเกิดขึ้นได้รวดเร็วและนำไปสู่ความไม่คงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งได้ (Gordon, 1993)

***ข. สภาวะแวดล้อมในการเก็บรักษาหรือการรอจำหน่าย***

สภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บรักษา หรือการรอจำหน่ายเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่มีผลต่ออายุในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะต้องพิจารณาและจัดสภาวะในการเก็บรักษาให้เหมาะสมเพื่อควบคุมหรือหลีกเลี่ยงสภาวะที่เป็นปัจจัยที่นำไปสู่ความไม่คงตัวของอาหารอบแห้ง ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้ง จะจัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์ แต่ก็ยังมีอีกหลายสาเหตุที่มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งเสื่อมคุณภาพลงได้ในระหว่างการเก็บรักษา เช่น แสง อุณหภูมิ ออกซิเจน และความชื้น ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมเหล่านี้หากไม่มีการควบคุมจะเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความไม่คงตัวทั้งทางเคมีและทางกายภาพเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เพราะปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น แสงและออกซิเจนจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน โดยเฉพาะปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้กับส่วนประกอบของอาหารหลายชนิด เช่น ถ้าเกิดกับไขมันจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดกลิ่นหืน และหากเกิดขึ้นกับวิตามินและรงควัตถุก็จะมีผลให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียคุณค่าทางอาหารและมีสีเปลี่ยนไป นอกจากนี้การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งไว้ จะต้องพิจารณาถึงปริมาณความชื้นสมดุลของอากาศในระหว่างการเก็บรักษาด้วย เพราะผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งที่มีความชื้นต่ำกว่าความชื้นสมดุลกับบรรยากาศเฉลี่ย อาหาร

จะดูดความชื้นจากอากาศ จึงควรป้องกันโดยการเก็บรักษาในภาชนะที่ปิดสนิท แต่ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความชื้นสูงกว่าความชื้นสมดุลของอากาศ เช่น หอม และกระเทียม จะต้องเก็บรักษาในภาชนะโปร่งที่มีการระบายอากาศได้ดี เพราะจะมีการระเหยน้ำออกจากหอมและกระเทียม ถ้าเก็บรักษาในภาชนะปิดสนิทน้ำที่ระเหยจะควบแน่นเป็นหยดน้ำเปียกที่ผิว ทำให้เชื้อราจะเจริญได้ง่าย (จิตธนาและคณะ, 2539)

***ค. ภาชนะบรรจุ***

ปัจจุบันการพัฒนาเกี่ยวกับการผลิตภาชนะบรรจุมีความก้าวหน้ามากขึ้น ได้มีการนำวัสดุต่างๆ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตภาชนะบรรจุ ทั้งขวดแก้ว กระดาษ โลหะ และพลาสติก เพื่อต้องการให้ได้ภาชนะบรรจุที่มีความเหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์อาหารให้มากที่สุด ในการเลือกใช้ภาชนะบรรจุชนิดใด จำเป็นต้องคิดถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ต้นทุน ความสะดวกในการขนย้าย การขนส่ง และต้องช่วยป้องกันการบุบสลายของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี และที่สำคัญภาชนะบรรจุต้องมีความเหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์อาหาร นอกจากนั้นการเลือกภาชนะบรรจุจำเป็นต้องยอมรับความเป็นจริงที่ว่า ไม่มีภาชนะบรรจุชนิดใดที่มีคุณสมบัติสามารถป้องกันการสูญเสียได้ 100% ดังนั้นจะต้องมีความเข้าใจถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารว่าเป็นชนิดใดและมีความไวต่อปัจจัยใดที่เป็นสาเหตุนำไปสู่การเสื่อมเสีย เพื่อเป็นพื้นฐานการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันได้อย่างเหมาะสม (John, 1993) ตัวอย่างเช่น ผักและผลไม้อบแห้ง ปัจจัยหลักที่นำไปสู่ความไม่คงตัวของผลิตภัณฑ์ คือ ออกซิเจน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำลง เช่น ในแครอทอบแห้งสีจะซีดลงเนื่องจากสารสีถูกทำลาย มันฝรั่งอบแห้งจะมีการพัฒนากลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติเกิดขึ้น นอกจากนี้ผลไม้อบแห้งยังมีความไวต่อความชื้น ซึ่งหากไม่ควบคุมความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาให้มีความชื้นคงที่ ก็จะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาทันที ดังนั้นภาชนะบรรจุที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้ง จึงควรมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านเข้า-ออกของทั้งออกซิเจนและความชื้นได้เป็นอย่างดี โดยวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุสำหรับผลไม้อบแห้ง คือโพลีเมอร์ฟิล์ม (Gordon, 1993) โพลีเมอร์ที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการป้องกัน และมีอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของสารต่างๆ ได้แตกต่างกันดังตาราง 2.3 ที่แสดงถึงคุณสมบัติของโพลีเมอร์แต่ละชนิด แสดงให้เห็นว่าโพลีเมอร์ที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติและลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้โพลิเมอร์ชนิดใด จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นสำคัญ

**ตาราง 2.3 คุณสมบัติบางอย่างของโพลิเมอร์ที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุ**

| ชนิดของโพลิเมอร์ | อัตราการซึมผ่านของก๊าซ (มิลลิลิตร ต่อ 100 ตารางนิ้ว) | | | อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (มิลลิกรัม ต่อ 100 ตารางนิ้ว) |
|---|---|---|---|---|
| | $O_2$ | $CO_2$ | $N_2$ | |
| **Polyolefins** | | | | |
| - Low Density Polyethylene (LDPE) | 500 | 2700 | 180 | 1.0-1.5 |
| - Medium Density Polyethylene (MDPE) | 250-535 | 1000-2500 | 85-315 | 0.7 |
| - High Density Polyethylene (HDPE) | 185 | 580 | 42 | 0.3 |
| - Polypropylene (PP) | 150-240 | 500-800 | 40-48 | 0.7 |
| - Biaxially Oriented Polypropylene (OPP) | 100-160 | 540 | 20 | 0.25-0.4 |
| **Ionomers** | | | | |
| **Ethylene-Vinyl Copolymers** | | | | |
| - Ethylene Vinyl Acetate Copolymer (EVAc) | 300-400 | 600-1000 | 50-100 | 1.5-2.0 |
| - Ethylene Vinyl Alcohol (EVOH) | 840 | 6000 | 400 | 2.0-2.3 |
| (Dry) | 0.01-0.09 | - | - | - |
| (Wet) | 0.65-2.03 | - | - | 1.4-3.8 |
| **Vinyl Plastics** | | | | |
| - Polyvinyl Chloride (PVC) | | | | |
| (Nonplasticized) | 4-30 | 4.50 | 1-1.0 | 0.9-5.0 |
| (plasticized) | 100-1400 | 20-12000 | - | 5-4.0 |
| - Polyvinylidene Chloride (PVDC) | | | | |
| (Homopolymer) | 0.1 | - | - | 0.044 |
| (Copolymer) | 0.08-0.25 | 0.38-6.0 | 0.012-0.16 | 0.05-0.2 |

ที่มา : John (1993)

การพัฒนาทางด้านภาชนะบรรจุ นอกจากจะมีการพัฒนาทางด้านวัสดุที่นำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุให้มีคุณสมบัติที่ดีทั้งทางด้านทนทานต่อความร้อน อากาศ การผ่านเข้า-ออกของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนแล้ว ยังได้มีการพัฒนาสารเพื่อใช้ร่วมกับภาชนะบรรจุเหล่านี้ด้วย เช่น สารดูดออกซิเจน และสารดูดความชื้น ซึ่งสารเหล่านี้สามารถใช้ควบคู่กับวิธีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารที่รู้จักและใช้โดยทั่วไป โดยผลที่ได้จากการใช้สารเหล่านี้สามารถเก็บรักษาอาหารให้มีคุณภาพและอายุการเก็บรักษาได้ดีกว่าในอดีตที่ผ่านมา

***ง. สารดูดความชื้น***

ความชื้นนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญมากสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้ง เพราะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ในระหว่างการเก็บรักษาอาหารอบแห้งต้องมีการควบคุมความชื้นไม่ให้เพิ่มสูงขึ้น เพราะความชื้นเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญของแบคทีเรียและปฏิกิริยาเคมี สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความไวต่อความชื้น ปัจจุบันนอกจากจะมีการนำภาชนะบรรจุเข้ามามีบทบาทในการรักษาคุณภาพ โดยเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่มีคุณสมบัติป้องกันการซึมผ่านเข้า-ออกของความชื้นได้เป็นอย่างดีแล้ว ยังได้มีการพัฒนานำสารดูดความชื้นมาใช้ร่วมกับภาชนะบรรจุด้วย สารดูดความชื้นที่นิยมใช้ คือ ซิลิกาเจล ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้สูง สามารถดูดความชื้นได้ประมาณ 40% ของน้ำหนักตัว และยังมีลักษณะพิเศษ คือเมื่อดูดความชื้นเข้าไปแล้วยังคงมีลักษณะแห้งไม่จับตัวกันเป็นก้อน ซิลิกาเจลจึงเป็นสารที่นิยมนำมาใช้ในการป้องกันความชื้นของผลิต-ภัณฑ์ภายในภาชนะบรรจุไม่ให้เพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา

***จ. สารดูดออกซิเจน***

เนื่องจากออกซิเจนในภาชนะบรรจุมีบทบาทมากต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหารทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ดังนั้นการกำจัดออกซิเจนออกจากภาชนะบรรจุจึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยถนอมรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารให้คงอยู่ได้นาน การใช้ก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการบรรจุอาหารในสภาวะสุญญากาศก็เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ต่อมาได้มีการพัฒนาสารดูดออกซิเจนขึ้นในประเทศญี่ปุ่นและใช้กันอย่างแพร่หลาย สารดูดออกซิเจนที่พัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่นนั้นมีหลายชนิด เช่น การใช้ผงเหล็กหรือกรดแอสคอร์บิกซึ่งมีคุณสมบัติเป็น deoxidizer สารที่นิยมใช้ในการผลิตและจำหน่ายกันมากในปัจจุบันได้แก่ ผงเหล็กซึ่งทำหน้าที่ดูดออกซิเจนโดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมีดังนี้

$$Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2e$$

$$1/2O_2 + H_2O + 2e \rightarrow 2\,OH^-$$

$$Fe^{+2} + 2\,(OH) \rightarrow Fe\,(OH)_2$$

$$Fe\,(OH)_2 + 1/4\,O_2 + 1/2\,H_2O \rightarrow Fe\,(OH)_3$$

$$\text{หรือ } Fe + 1/2O_2 + H_2O \rightarrow Fe\,(OH)_2$$

$$Fe\,(OH)_2 + CO_2 \rightarrow Fe\,CO_3 + H_2O$$

หากมีการเลือกใช้ภาชนะบรรจุที่ถูกต้องเหมาะสม ร่วมกับการใช้สารดูดออกซิเจนในภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์อาหาร จะสามารถลดปริมาณออกซิเจนในภาชนะบรรจุให้เหลือน้อยกว่า 0.1% ได้ และสามารถรักษาสภาวะภายในภาชนะบรรจุให้อยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนได้เป็นเวลาหลายเดือน หรืออาจได้นานเป็นปี (จิตธนา และคณะ, 2539)

## 2.7 โปรแอนโทไซยานิดิน (Proanthocyanidin)

โปรแอนโทไซยานิดินเป็นรงควัตุที่ไม่มีสี จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) สามารถเปลี่ยนเป็น แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสี เมื่อถูก treatment ด้วยกรด (Zapsalis and Beck, 1985) สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ ลิวโคแอนโทไซยานิดิน (leucoanthocyanidins) หรือ ลิวโค-แอนโทไซยานิน (leucoanthocyanins) ซึ่งเป็นสารที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็น monomeric หรือ flavon-3,4-diol สารนี้อาจรวมตัวกันเป็น dimer, trimer หรือ polymer โดยเชื่อมต่อพันธะกันที่ตำแหน่ง 4⟶8 หรือ 4⟶6 ถ้าลิวโคแอนโทไซยานินเชื่อมต่อกันหลายๆ monomer จะเรียกว่าเป็น condensed tannin (flavolan)

โปรแอนโทไซยานิดินมีความสำคัญกับอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากสามารถเปลี่ยนจากสารที่ไม่มีสีเป็นสารที่มีสี เมื่อโปรแอนโทไซยานิดินได้รับความร้อนจากกระบวนการแปรรูปจะถูกย่อยสลายกลายเป็นไซยานิดิน (cyanidin) และอิพิแคทีชิน (epicatechin) ในสภาวะที่เป็นกรด โครงสร้างของโปรแอนโทไซยานิดินที่พบในแอปเปิล สาลี่ และผลไม้อื่นๆ เป็นโครงสร้างแบบ dimeric ซึ่งประกอบด้วย flavon-3,4-diol 2 กลุ่ม พืชที่มีโครงสร้างแบบนี้จะสลายตัวเมื่อสัมผัสกับอากาศหรือถูกแสงจะกลายเป็นสารสีน้ำตาล-แดงที่มีความคงตัว ซึ่งมีผลอย่างมากต่อสีของน้ำแอปเปิลและน้ำผลไม้อื่นๆ นอกจากนี้ยังทำให้อาหารบางชนิดมีรสขมเพราะโปรแอนโทไซยานิดินที่มีโพลีเมอร์จำนวน 2-8 หน่วยรวมตัวกับโปรตีน โปรแอนโทไซยานิดินที่ถูกย่อยสลายปกติจะให้สารพีลาร์โกนิดิน (pelargonidin) พีทูนิดิน (petunidin) หรือเดลฟินิดิน (delphinidin) (Fennama, 1995)

## 2.8 สาเหตุการเกิดสีชมพูในผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่

ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่กระป๋อง จะพบปัญหาการเกิดสีชมพูขึ้นที่เนื้อลิ้นจี่ภายหลังการได้รับความร้อน Wu (1970) ยืนยันว่าอุณหภูมิที่ใช้ฆ่าเชื้อและพีเอช เป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาไปสู่กระบวนการเกิดสีชมพูในเนื้อลิ้นจี่กระป๋อง กลไกของปฏิกิริยาเกิดจากสารพวก condensed tannin ที่มีอยู่ในเนื้อลิ้นจี่ ถูกไฮโดรไลซ์เมื่อได้รับความร้อนสูงได้เป็นสารพวกแคทีชีนและลิวโค-แอนโทไซยานิน ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดถูกลดขนาดโมเลกุลจนกลายเป็นแอนโทไซยานินในสภาวะที่เป็นกรดจึงให้สีชมพู เช่นเดียวกับ Davidek *et al.,* (1992) รายงานว่าสีชมพูซึ่งเป็นลักษณะด้อยของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่กระป๋อง มีสาเหตุเกิดจากโปรแอนโทไซยานิดินรวมตัวกับโลหะซึ่งเป็นส่วนประกอบในผลไม้ หรือกระป๋องที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุ เมื่อโปรแอนโทไซยานิดิน (สารไม่มีสี) ได้รับความร้อนจะถูกย่อยสลายจนกลายเป็นแอนโทไซยานิน (สารมีสี) ในสภาวะที่เป็นกรด พบมากในผลไม้พวก สาลี่ ท้อ และลิ้นจี่ ซึ่งสอดคล้องกับ Macrae *et al.,* (1993) ที่รายงานว่าการเปลี่ยนเป็นสีชมพู (pink discolouration) เกิดจากลิวโคแอนโทไซยานิดิน และลิวโคแอนโทไซยานิน รวม

ตัวกับโลหะพวกดีบุกและเหล็ก ซึ่งเป็นส่วนผสมของโลหะที่ใช้ทำกระป๋อง ในปี 1992 Wu พบว่าเอนไซม์ flavanone-3-hydroxylase และ dihydroquercetin-4-reductase เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดเป็นสีชมพู กลไกของปฏิกิริยาเริ่มจากสารในกลุ่มฟลาโวนอลซึ่งเป็นส่วนประกอบในผลลิ้นจี่สดถูกเปลี่ยนเป็น eriodictyol ในขั้นตอนการปอกเปลือกและเจาะแกน ต่อมาถูกเอนไซม์ flavanone-3-hydroxylase ย่อยสลาย กลายเป็น dihydroquercetin จากนั้นถูกย่อยสลายทำให้ขนาดโมเลกุลเล็กลง ด้วยเอนไซม์ dihydroquercetin-4-reductase กลายเป็นลิวโคไซยานิดิน (สารไม่มีสี) เมื่อเริ่มสู่กระบวนการฆ่าเชื้อลิวโคไซยานิดินจะกลายเป็นไซยานิดิน (สารมีสี) ในที่สุด ส่วนสายพันธุ์และความแก่-อ่อนของผลลิ้นจี่เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดสีชมพู (Hwang and Cheng, 1986) การเติมน้ำเชื่อมความเข้มข้น 30% และการใช้กรดซิตริกปรับพีเอชให้ต่ำลง รวมทั้งการเติมสารโพลีฟอสเฟต 0.2% ล้วนเป็นปัจจัยที่เร่งการเกิดสีชมพูในลิ้นจี่บรรจุกระป๋อง (Wu and Fang, 1993) ส่วนสาเหตุการเกิดสีชมพูในน้ำลิ้นจี่ Wu (1992) ยืนยันว่าสาเหตุสำคัญเกิดจากปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและพีเอชซึ่งมีผลต่ออัตราการเกิดสีชมพู โดยเฉพาะที่พีเอชต่ำมีอัตราการเกิดสีชมพูมากกว่าที่พีเอชสูง

## 2.9 วิธีลดและป้องกันการเกิดสีชมพูในผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่

ผลการศึกษาวิธีลดและป้องกันการเกิดสีชมพูในผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ Chakraborty *et al., (*1974) รายงานว่าสีของเนื้อลิ้นจี่ที่บรรจุกระป๋องขนาด 301 X 411 ไม่เปลี่ยนแปลงในสภาวะที่มีการเติมน้ำเชื่อมความเข้มข้น 30% กรดซิตริก 0.1-0.15% พีเอช 4.4-4.5 และใช้เวลาฆ่าเชื้อในน้ำเดือดไม่เกิน 10 นาที รวมทั้งการใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ความเข้มข้น 300 ส่วนต่อล้านส่วน ก็มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดสีชมพูได้ แต่มีข้อเสียคือผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีกลิ่นซัลไฟต์ ขณะเดียวกันการลดระยะเวลาระหว่างการสกัดน้ำลิ้นจี่กับการฆ่าเชื้อให้สั้นที่สุด และการนำลิ้นจี่สดไปแช่สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ก่อนการฆ่าเชื้อ สามารถลดการเกิดสีชมพูในผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ได้ (Hwang and Cheng, 1986) การเติมน้ำเชื่อมความเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ เป็นปัจจัยสำคัญที่เร่งการเปลี่ยนเป็นสีชมพู แต่สามารถลดการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวได้ หากปรับความหวานของน้ำเชื่อมให้อยู่ในระดับเดียวกับในวัตถุดิบ (Wu and Fang, 1993) ต่อมา Wu ได้นำวิธีการกรองแบบ Ultra filtraion และการใช้เครื่องเหวี่ยง (centrifuge) แยกปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำลิ้นจี่ เพื่อช่วยลดการเกิดสีชมพูของน้ำลิ้นจี่ลงได้

## 2.10 ความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์

จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความทนทานต่อความร้อนไม่เท่ากันดังตาราง 2.3 โดยทั่วไปจุลินทรีย์ในรูปสปอร์จะทนทานความร้อนได้ดีกว่าในรูปเซลล์ (vegetative cell) ปกติเซลล์ยีสต์ถูกทำลายด้วยความร้อนชื้นที่อุณหภูมิ 50-58 องศาเซลเซียส นาน 10-15 นาที ส่วนสปอร์ของยีสต์

ส่วนใหญ่จะถูกทำลายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 10-15 นาที แต่มีบางชนิดสามารถทนทานต่อความร้อนได้สูงกว่านี้

เชื้อราและสปอร์ส่วนใหญ่ถูกทำลายด้วยความร้อนชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5-10 นาที แต่มีบางชนิดที่ทนต่อความร้อนได้สูงกว่านี้ เช่น *Aspergillus*, *Penicillium* และ *Mucor* บางชนิดทนความร้อนได้ดีกว่าเชื้อราชนิดอื่น (สุมาลี, 2542) ส่วนเชื้อราที่ทนทานต่อความร้อนได้สูงมากและพบอยู่ในผลไม้ ได้แก่ *Byssochlamys fulva (Paecillomyces)* สปอร์ของราทนต่อความร้อนแห้งได้ดี เช่น ความร้อนแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทียังไม่สามารถทำลายสปอร์ของราชนิดที่ทนต่อความร้อนได้ (Ramaswamy and Abbatemarco, 1996)

แบคทีเรียแต่ละชนิดทนทานต่อความร้อนได้แตกต่างกัน เช่นพวกเชื้อโรคจะถูกทำลายได้ง่าย แต่พวกที่ทนความร้อน (thermophiles) อาจต้องใช้ความร้อนสูงถึง 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลาหลายนาที เช่น *Clostridium botulinum* เชื้อบริสุทธิ์ถูกทำลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที แต่ถ้าอยู่ในอาหารจำเป็นต้องปรับสภาวะการฆ่าเชื้อให้เหมาะสม การทนทานต่อความร้อนของแบคทีเรียขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น เซลล์แบคทีเรียที่มีรูปร่างกลมจะทนต่อความร้อนได้ดีกว่ารูปร่างแท่ง แบคทีเรียชนิดที่ทนความร้อนซึ่งเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงทนทานต่อความร้อนได้ดีกว่าชนิดอื่น การเกาะกันเป็นกลุ่มหรือสร้างแคปซูล จะช่วยให้แบคทีเรียทนต่อความร้อนได้ดีขึ้น และเซลล์ที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบสูงทนต่อความร้อนได้ดีกว่าเซลล์ปกติ (สุมาลี, 2542) สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำลายจุลินทรีย์บางชนิดแสดงดังตาราง 2.4 และตาราง 2.5 แสดงความทนทานต่อความร้อนของแบคทีเรียในอาหารที่มีพีเอชต่างๆ ในรูปค่า D และ ค่า Z

## 2.11 การเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ของอาหารกระป๋องชนิดที่มีความเป็นกรด

ในการศึกษากระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนสำหรับอาหารที่เป็นกรด จำเป็นต้องจำแนกความเป็นกรดของอาหารออกเป็นประเภทตามค่าพีเอชของอาหาร ตลอดจนพิจารณาถึงชนิดของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง สำหรับอาหารในกลุ่มที่เป็นกรด (พีเอชน้อยกว่า 4.6) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. Acid foods หมายถึง อาหารที่มีความเป็นกรดตามธรรมชาติ พีเอชมีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า 4.6 ได้แก่ พวกผลไม้ต่างๆ ที่มีรสเปรี้ยวรวมทั้งมะเขือเทศ

2. Acidified foods หมายถึง อาหารที่โดยธรรมชาติมีพีเอชมากกว่าหรือเท่ากับ 4.6 แต่ได้รับการเติมพวก acid foods หรือเติมกรด เช่น กรดซิตริก หรือกรดอินทรีย์อื่นๆ ลงไป เพื่อลดค่าพีเอชให้ต่ำกว่า 4.6 ซึ่งได้แก่ อาหารหมักดองทั่วไป เช่น พริกโดยธรรมชาติ จะมีพีเอชประมาณ 5 แต่เมื่อทำเป็นพริกดองแล้วจะมีพีเอชอยู่ระหว่าง 3.0-3.5 (เมธินี, 2542)

**ตาราง 2.4 สภาวะที่เหมาะสมต่อการทำลายจุลินทรีย์บางชนิด**

| ชนิดของจุลินทรีย์ | สภาวะที่ใช้ในการทำลาย | |
|---|---|---|
| | เวลา (นาที) | อุณหภูมิ ($^{\circ}$ซ) |
| Vegetative cell | 10 | 80 |
| Yeast ascospores | 5 | 60 |
| Fungi | 30-60 | 88 |
| Thermophilic organism | | |
| *Bacillus stearothermophilus* | 4 | 121.1 |
| *Clostridium thermosaccharolyticum* | 3-4 | 121.1 |
| Mesophilic organisms | | |
| *Clostridium botulinum spores* | 3 | 121.1 |
| *Clostridium botulinum toxin* Types A&B | 0.1-1 | 121.1 |
| *Clostridium sporogenes* | 1.5 | 121.1 |
| *Bacillus subtilis* | 0.6 | 121.1 |

ที่มา : Holdsworth (1997)

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่ทนทานต่อความร้อนต่ำ ดังนั้นหากพบว่าทำให้อาหารเน่าเสีย น่าจะมีสาเหตุมาจากการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอ (underprocessing) หรือตะเข็บกระป๋องเกิดรูรั่ว โดยปกติเซลล์ยีสต์ส่วนใหญ่ถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 66 องศาเซลเซียส อาจมีบางสายพันธุ์ที่ทนทานต่อความร้อนและอยู่ในรูปแบบสปอร์ ต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ถ้าใช้ความร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะสามารถทำลายเซลล์และสปอร์ของยีสต์ได้ทุกชนิด Garg *et al.* (1997) ได้ศึกษาความทนทานต่อความร้อนของยีสต์ 2 สายพันธุ์ คือ *Saccharomyces bailii* และ *S. bisporus* ของผลิตภัณฑ์มะม่วงฝานเป็นชิ้นในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง โดยศึกษาความทนทานต่อความร้อนของสปอร์จุลินทรีย์ ซึ่งแสดงค่าในรูปของค่า D พบว่าสปอร์ของ *S. bailii* มีค่า $D_{65}$ = 10 นาที และสปอร์ของ *S. bisporus* มีค่า $D_{60}$ = 10 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าเซลล์ยีสต์ในรูปสปอร์สามารถทนทานต่อความร้อนได้สูงกว่าเซลล์ยีสต์ธรรมดา 4-8 เท่า สำหรับจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามวัตถุประสงค์ คือ

1. เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคจากจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งได้แก่ *Escherichia coli* 0157 : H7, *Listeria monocytogenes*
2. เพื่อเก็บรักษาได้นานโดยปราศจากการเน่าเสีย จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่

**ตาราง 2.5 ความทนทานต่อความร้อนของแบคทีเรียในอาหารที่มี พีเอช ต่างๆ**

| ชนิดของอาหารและแบคทีเรีย | ชนิดของอาหารและแบคทีเรีย | |
|---|---|---|
| **Low –acid และ medium acid (พีเอช > 4.5)** | | |
| Thermophiles (35-55 °C สร้างสปอร์ได้) | $D_{250}$ หรือ $D_{121}$ (min) | Z (°F) |
| Flat-sour (*B. stearothermophilus*) | 4.0-5.0 | 14-22 |
| Gaseous-spoilage (*C. thermosaccharolyticum*) | 3.0-4.0 | 16-22 |
| Sulfide stinkers (*C. nigrificans*) | 2.0-3.0 | 16-22 |
| Mesophiles (spore) | | |
| Putrefactive anaerobes | | |
| *C. botulinum* (type A&B) | 0.1-0.2 | 14-18 |
| *C. sporogenes* (PA3679) | 0.1-1.5 | 14-18 |
| **Acid-food (พีเอช 4.0-4.5)** | | |
| Thermophiles (spores) | | |
| *B. coagulans* (facultative mesophilic) | 0.01-0.07 | 14-18 |
| Mesophiles (spores) | $D_{212}$ หรือ $D_{100}$ (min) | Z (°F) |
| *B. polymyxa* และ *B.macerans* | 0.1-0.5 | 12-16 |
| Butyric anaerobes | | |
| *C. pasteurianum* | 0.1-0.5 | 12-16 |
| **High-acid food (พีเอช≤4.0)** | | |
| Mesophilic non-spore forming bearing bacteria | $D_{150}$ หรือ $D_{65}$(min) | Z (°F) |
| *Lactobacillus spp., Leuconostoc spp.,* ยีสต์และรา | 0.5-1.0 | 8-10 |

ที่มา : Laroussse and Brown (1997)

2.1 พวกสร้างสปอร์ ซึ่งได้แก่ *Bacillus coagulans*, *Clostridium butyrium, Cl. thermosaccharolyticum, Cl. pasteurianum, Alicyclobacillus* และเชื้อราชนิดทนความร้อน

2.2 พวกไม่สร้างสปอร์ ได้แก่ ยีสต์ รา และแบคทีเรียในกลุ่ม Lactobacillus

สำหรับ *B. coagulans* จัดอยู่ในกลุ่ม thermophilic aerobic sporeformer สามารถเจริญได้ในผลิตภัณฑ์ที่มีพีเอชมากกว่า 4.0 โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ โดยที่ *B. coagulans* มีค่า $D_{250}$ = 0.1 นาที (หรือ $D_{212}$ = 20 นาที) และมีค่า $F_0$ = 0.5 นาที (เมื่อฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อหรือกระบวนการฆ่าเชื้อแบบ HTST process) จึงเป็นจุลินทรีย์ที่คล้ายคลึงกับ *B. polymyxa*

สำหรับจุลินทรีย์ในกลุ่ม butyric anaerobes ได้แก่ *Cl. pasteurianum* และ *Cl. butyrium* ที่สามารถเจริญได้ในผลิตภัณฑ์ที่มีพีเอชสูงกว่า 3.8 โดยเฉพาะมะเขือเทศและผลไม้ปกติ *Cl. pasteurianum* และ *Cl. butyrium* มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ ดังนั้นที่พีเอชมากกว่า 4.3 จุลินทรีย์ในกลุ่มดังกล่าวจะถูกทำลายที่อุณหภูมิ 205 องศาฟาเรนไฮต์ และที่พีเอชต่ำกว่า 4.1 จะถูกทำลายที่อุณหภูมิ 184 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่ง Azizi and Ranganna (1993a) รายงานว่า *B. licheniformis* และ *Cl. sporogenes* เป็นจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุสำคัญทำให้กระป๋องบวมในผลิตภัณฑ์มะม่วงตีป่นพันธุ์ Alphonso ดังนั้นจึงทดลองเพื่อหาความสามารถในการทนทานต่อความร้อนของสปอร์ (D) ของจุลินทรีย์ดังกล่าว ผลการศึกษาพบว่าที่พีเอช 4.2 *B. licheniformis* มีค่า $D_{100}$ = 1.25 นาที และที่พีเอชเท่ากับ 7 มีค่า $D_{100}$ = 3.12 นาที ส่วน *Cl. sporogenes* ที่พีเอช 4.5 มีค่า $D_{100}$ = 6.8 นาที และที่พีเอช 7 มีค่า $D_{121.1}$ = 0.51 นาที จึงสรุปว่าความร้อนขั้นต่ำที่ใช้ในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ที่มีพีเอชน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.0 ต้องสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีพีเอชอยู่ในช่วง 4.0-4.5 ความร้อนขั้นต่ำที่ใช้ฆ่าเชื้อต้องสามารถทำลายสปอร์ของ *B. licheniformis* ได้เนื่องจาก *B. licheniformis* เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ในอาหารที่มีพีเอชอยู่ในช่วง 4.2-4.5 ยกเว้นในผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ เช่น *B. coagulans* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่พบในมะเขือเทศ

สำหรับ *Alicyclo bacillus* จัดเป็นจุลินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่ม aerobic sporeformer พบมากในน้ำผลไม้ เช่น น้ำแอปเปิล น้ำองุ่น น้ำมะเขือเทศ ที่มีพีเอชมากกว่า 3.0 มีความทนทานต่อความร้อนสูง โดยเฉพาะในน้ำผลไม้เข้มข้น และมีความทนทานต่อความเป็นกรดได้ดี มีค่า $D_{190}$ = 81 นาที, $D_{196}$ = 38 นาที และ $D_{212}$ = 0.8 นาที

เชื้อราชนิดทนร้อน ได้แก่ *Byssochlamy, Taiaromyces, Neosartorya* สปอร์ที่สร้างขึ้นเป็นชนิด ascospore สามารถเจริญได้ในผลิตภัณฑ์ที่มีพีเอชสูงกว่า 2.5 ได้แก่ น้ำผลไม้ ผลไม้กระป๋อง น้ำผลไม้เข้มข้น เครื่องดื่มเสริมสุขภาพ มีความทนทานต่อสารกันเสียและในสภาวะที่มีปริมาณออกซิเจนน้อย (Morton, 2000) นอกจากนี้เชื้อราในกลุ่มนี้ยังก่อให้เกิดการเสื่อมเสียในแยม เยลลี่ มาร์มาเลด และอาหารอื่นๆ แต่ถูกทำลายได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที เมื่อเปรียบเทียบชนิดของกรดที่เป็นส่วนประกอบในอาหาร พบว่าในอาหารที่มีกรดมาลิก กรดซิตริก และกรดทาร์ทาริก เป็นส่วนประกอบ *B. fulva* มีความทนทานต่อความร้อนได้ดีกว่าอาหารที่มีกรดแลกติกและกรดอะซิติกเป็นส่วนประกอบ ความร้อนที่ใช้เพื่อถนอมอาหารพวกผลไม้ไม่จำเป็นต้องทำลายสปอร์ของ *Cl. Botulinum* เพราะไม่เจริญในอาหารที่มีพีเอชต่ำกว่า 4.6 ความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์ในผลไม้ ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ปริมาณและชนิดของน้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบ พีเอช และชนิดของกรด กรดอินทรีย์มีผลต่อการสร้างสารพิษ โดยพบว่าที่พีเอชต่ำแบคทีเรียสร้างสารที่เป็นพิษมาก ดังนั้นจึงได้มีการเติมสารปรับกรดบางชนิดลงไป เพื่อปรับพีเอชอาหารให้สูงขึ้น ทำให้เวลาในการฆ่าเชื้อลดลง (Ramaswamy and Abbatemarco, 1996)

# บทที่ 3
# วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

## 1. วัตถุดิบ

ผลลิ้นจี่ที่ใช้ในการทดลองเป็นผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยที่ซื้อมาจากสวนแม่งอน อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และสวนในอำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2542 และ 2543 เป็นผลลิ้นจี่ที่เก็บเกี่ยวในระยะแก่ทางการค้า บรรจุใส่กล่องกระดาษกล่องละ 10 กิโลกรัม แล้วขนส่งมายังภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อได้รับผลลิ้นจี่มาแล้ว ใช้ทำการทดลองทันทีหรือนำไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นจนกว่าจะใช้ทดลอง โดยนำผลลิ้นจี่มาเด็ดก้านออกและคัดเลือกเอาเฉพาะผลที่มีขนาดสม่ำเสมอกัน ไม่ตำหนิ ไม่มีรอยแมลงกัด ไม่มีสีน้ำตาล และไม่เน่าเสีย นำผลลิ้นจี่ทั้งหมดมาทดลองตามแผนการทดลอง

## 2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (**$a_w$ meter** “Novasina” model RS232, Swiss)

2.2 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิสำหรับหาความชื้น (“Kottermann” model 271, Hanigsen, Germany)

2.3 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสอาหาร (“**Instron**” model 5565, Universal Testing Machine Crop.)

2.4 เครื่องวัดสี Minolta chromameter model CR-300 (Minolta Camera Co., Ltd., Japan)

2.5 เครื่องมือวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (**Hand Refractometer** “ATAGO” model N1 วัดค่าระหว่าง 0-32% และ 28-62%)

2.6 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV/VIS **Spectrometer “Jasco”** model v-530, Japan)

2.7 เครื่องอบแห้งแบบถาด (รุ่น PE 555 บริษัทนาวาลอยจำกัด)

2.8 ตู้อบลมร้อน (รุ่น BE 200 บริษัทเคเอสเอลเอ็นจิเนียริงจำกัด)

2.9 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, DFL : Model D 1004, Germany)

2.10 เครื่องเขย่า (Shaker, Octogen 200 Test sieve shaker)

2.11 เครื่องวัดความหนืด (Viscometer, Brookfield Model RVDV-II)

2.12 ตู้เพาะเชื้อ (Incubator, Haraeus : model D-6450 Hanau, Germany)

2.13 เครื่องวัดค่าเป็นกรดด่าง (pH meter “Orion” model 520A Orion Research Inc., USA)

2.14 หม้อนึ่งความดัน (Autoclave, Gallenkamp : model AUX-700-010, England)

2.15 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง (Analytical balance, Sartorius, Germany)

2.16 เครื่องปั่น (Blender “ Imarflex”, model IF-308, Thailand)

2.17 เครื่องบันทึกอุณหภูมิและเวลา (Time-temperature data logger, Ellab, model CMC 821, Denmark)

2.18 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อ (Retort, model RT-6/Ft, Thailand)

2.19 เครื่องปิดฝากระป๋อง (Double seamer, Varin, model VFM20, Thailand)

2.20 สายเทอร์โมคับเปิล (Thermocouple, Ellab, Denmark)

## 3. สารเคมี

3.1 กรดซิตริก (Citric acid, GR Grade, E. Merck, Germany)

3.2 กรดอะซิติก (Acetic acid, glacial GR Grade, E. Merck, Germany)

3.3 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, GR Grade, E. Merck, Germany)

3.4 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate, GR Grade, J.T. Baker, USA)

3.5 ซิงอะซิเตตไดไฮเดรท ( Zinc acetate dihydrate, GR Grade, J.T. Baker, USA)

3.6 โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite, GR Grade, E. Merck, Germany)

3.7 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, GR Grade, E. Merck, Germany)

3.8 โซเดียมโปแตสเซียมทาร์เตรท (Sodium potassium tartrate, GR Grade, J.T. Baker, USA)

3.9 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, Sodium hydroxide, GR Grade, E. Merck, Germany)

3.10 โบรโมฟีนอลบลู (Bromophenol blue, GR Grade, E. Merck, Germany)

3.11 โปแตสเซียมเฟอโรไซยาไนด์ (“Baker” Potassium ferrocyanide GR Grade, J.T. Baker, USA)

3.12 เมทิลีนบูล (Methylene blue, GR Grade, E. Merck, Germany)

3.13 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, GR Grade, E. Merck, Germany)

3.14 ฟีนอล์ฟทาลีน ( Phenolphthalene, Fluka , Germany)

3.15 กลีเซอรีน ( Glycerine B.P., USP. Glycerol, S.K. Trading, Thailand)

3.16 เมทิลเรด (Methyl red, Merck, Germany)

3.17 กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid, Cario Erba Reagebti, Germany)

3.18 เปปโตน (Becto® Peptone, Difco Laboratory, USA)

3.19 โพเตโต้เดกซ์โตรสอะการ์ (Potato dextrose agar, E. Merck, Germany)

3.20 เพลทเค้าท์อะการ์ (Plate count agar, E. Merck, Germany)

3.21 บริลเลียนต์กรีนอะการ์ (Brilliant green agar, E. Merck, Germany)

3.22 ทริพโตน (Tryptone, E. Merck, Germany)

3.23 ยีสต์เอกซ์แทรกต์ (Yeast extract, E. Merck, Germany)

3.24 เดกซ์โตรส (Dextrose, Fluka, Germany)

3.25 ไดโปตัสเซียมฟอสเฟต (Di-potassium hydrogen phosphate trihydrate, E. Merck, Germany)

3.26 กลูโครสไซรัป (Glucose syrup 85.6 °brix, Food grade, บริษัทนครหลวงกรุงเทพ จำกัด)

3.27 น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (บริษัทมิตรผลจำกัด)

3.28 สีผสมอาหารเออริโทรซิน (Erythrosine)

3.29 ก๊าซไนโตรเจนบริสุทธ์ 99.9%

3.30 สารดูดความชื้น (silica gel)

3.31 สารดูดออกซิเจน (oxygen scavengers “ Wonderkeep” Japan)

**4. ภาชนะบรรจุ**

4.1 ถุงแก้ว (Oriental polypropylene, OPP) ขนาด 8 X 12 นิ้ว หนา 0.5 มิลลิเมตร ผลิตโดยบริษัทยูนิคอุตสาหกรรมพลาสติค จำกัด

4.2 ถุงเย็น (High density polyethylene, HDPE) ขนาด 8 X 12 นิ้ว หนา 0.5 มิลลิเมตร ผลิตโดยบริษัทยูนิคอุตสาหกรรมพลาสติค จำกัด

4.3 ถุงสุญญากาศ (Nylon/PE) ขนาด 5.5 X 8 นิ้ว หนา 0.75 มิลลิเมตร ผลิตโดยบริษัทแพคมาร์ทจำกัด

4.4 ถุงอลูมิเนียม (OPP/Al/PE) ขนาด 6 X 7.5 นิ้ว หนา 1.0 มิลลิเมตร ผลิตโดยบริษัทแพคมาร์ทจำกัด

4.5 ถุงร้อน (Polypropylene, PP) ขนาด 7 X 9 นิ้ว หนา 0.5 มิลลิเมตร ผลิตโดยบริษัทยูนิคอุตสาหกรรมพลาสติค จำกัด

4.6 กระป๋องเคลือบดีบุก ฝาและก้นเคลือบแลคเกอร์ชนิดทนกรด ขนาด 300 X 407 และขนาด 603 X 700 บริษัทคาร์นอลเมตัลบ้อกซ์จำกัด ประเทศไทย

## 5. โปรแกรมที่ใช้ประมวลผลข้อมูลทางสถิติ

5.1 โปรแกรมสำเร็จรูป SX version 1.1 และ 4.0

4.2 โปรแกรมสำเร็จรูป Statistic version 4.1

4.3 โปรแกรม Excel

## 6. วิธีการวิจัย

### 6.1 การศึกษาพัฒนาลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกและอายุการเก็บรักษา

งานวิจัยเรื่องนี้วางแผนการทดลองแบ่งออกเป็น 7 ตอน ดังนี้

***ตอนที่ 1 การศึกษาเค้าโครงผลิตภัณฑ์เพื่อหาลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก***

ทำการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่วางจำหน่ายในตลาดวโรรส อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้วิธี ideal ratio profile และใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คน โดยให้พิจารณาว่าลักษณะใดของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก ที่เป็นลักษณะสำคัญที่ผู้บริโภคต้องการ และในแต่ละลักษณะที่สำคัญควรมีปริมาณมากหรือน้อยอยู่ในระดับใด ที่ผู้บริโภคคิดว่าเป็นจุดที่ดีที่สุด

การวิเคราะห์ข้อมูล ทำโดยนำลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ทดสอบชิมให้มานั้นมาจำแนกออกเป็นกลุ่มๆ เช่น ลักษณะปรากฏภายนอก กลิ่นและรสชาติ เป็นต้น แล้วพิจารณาว่าในแต่ละกลุ่มประกอบด้วยลักษณะใดบ้าง ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้คะแนน 80% ขึ้นไปจะถูกนำมาใช้เป็นลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ในการสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์ โดยวัดความยาวจากปลายสุดของเส้นถึงจุดตำแหน่งของตัวอย่าง (sample score) แล้วหารด้วยค่าความยาวจากปลายสุดของเส้นถึงจุดที่แสดงตำแหน่งจุดที่ดีเลิศของผลิตภัณฑ์ (ideal score) นำค่าสัดส่วนที่ได้ของผู้ชิมแต่ละคนในลักษณะที่เหมือนกันมารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ย (ratio mean) และหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าเฉลี่ยที่ได้จะนำมาสร้างเป็นเค้าโครงผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกในลักษณะต่างๆ ที่ผู้บริโภคต้องการ ตลอดจนสามารถบอกความต้องการของผู้บริโภคในเชิงปริมาณ เพื่อเป็นแนวทางว่าจะต้องปรับปรุงผลิตภัณฑ์ไปในทิศทางใด

ความหมายของค่าสัดส่วนมีดังนี้

ถ้าค่าสัดส่วนเท่ากับ 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้นไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลง เป็นลักษณะที่ดีเท่ากับลักษณะที่ต้องการของผู้บริโภคในอุดมคติ

ถ้าค่าสัดส่วนมากกว่า 1.00 หมายความว่า มีความจำเป็นต้องลดความเข้มหรือความแรงของลักษณะนั้น

ถ้าค่าสัดส่วนน้อยกว่า 1.00 หมายความว่า มีความจำเป็นต้องเพิ่มความเข้มหรือความแรงของลักษณะนั้น (ไพโรจน์, 2539)

สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถแสดงความหมายได้ดังนี้

ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0 หมายความว่า ผู้บริโภคมีความคิดเห็นตรงกัน

ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 หมายความว่า ผู้บริโภคมีความคิดเห็นแตกต่างกันไปบ้าง

ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่า 0.5 หมายความว่าผู้บริโภคมีความคิดเห็นแตกต่างกันมาก)

## *ตอนที่ 2 การศึกษารูปแบบการใช้อุณหภูมิเพื่อใช้เป็นแนวทางในการอบแห้ง*

รูปแบบอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาการอบแห้ง มี 3 รูปแบบ คือ

ก. อบที่อุณหภูมิ 60 °ซ นาน 6 ชั่วโมง เพิ่มเป็น 70 °ซ นาน 6 ชั่วโมง เพิ่มเป็น 80 °ซ นาน 15 ชั่วโมง ลดลงเหลือ 70 °ซ นาน 12 ชั่วโมง และลดลงเหลือ 60 °ซ นาน 3 ชั่วโมง โดยใช้เวลาอบทั้งหมด รวม 42 ชั่วโมง ความเร็วลม 53.67 เมตร/วินาที

ข. อบที่อุณหภูมิ 60 °ซ นาน 6 ชั่วโมง เพิ่มเป็น 70 °ซ นาน 6 ชั่วโมง เพิ่มเป็น 80 °ซ นาน 24 ชั่วโมง และลดลงเหลือ 70 °ซ นาน 3 ชั่วโมง โดยใช้เวลาอบทั้งหมดรวม 39 ชั่วโมง ความเร็วลม 53.67 เมตร/วินาที

ค. อบที่อุณหภูมิ 60 °ซ ติดต่อกันนาน 60 ชั่วโมง ความเร็วลม 53.67 เมตร/วินาที

แบ่งผลลิ้นจี่ออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 500 กรัม นำผลลิ้นจี่แต่ละกลุ่มไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนดังกล่าวข้างต้น โดยชั่งน้ำหนักผลลิ้นจี่ และหาค่า $a_w$ ขณะอบทุกๆ 10 นาทีและช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างการอบ

**การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี**

สุ่มตัวอย่างผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ มาวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีดังนี้คือ

- ปริมาณความชื้น โดยใช้ hot air oven ตามวิธีของ AOAC (1990)
- ค่า $a_w$ โดยใช้ $a_w$ meter

**การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส**

ทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสที่มีต่อผลลิ้นจี่อบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คน เป็นการทดสอบเชิงพรรณนาแบบ Structured scaling ซึ่งเป็นการใช้เส้นสเกลที่ระบุระดับของลักษณะที่สำคัญไว้บนเส้นสเกล แล้วให้ผู้ทดสอบชิมประเมินตัวอย่างลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกจำนวน 3 ตัวอย่าง ที่ใส่รหัสทางสถิติเรียบร้อยแล้วว่าลักษณะของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งแต่ละลักษณะเป็นอย่างไร แล้วทำเครื่องหมายบนเส้นสเกลที่คิดว่าเหมาะสมต่อการอธิบายลักษณะนั้นๆ

## *ตอนที่ 3 การคัดเลือกระยะความแก่-อ่อนของผลลิ้นจี่ที่เหมาะสม และวิธีการรักษาสีเปลือกให้มีสีแดงภายหลังการอบ*

**3.1 ศึกษาคุณภาพของผลลิ้นจี่ที่มีระยะความแก่-อ่อนแตกต่างกัน**

**วัตถุดิบ**

ผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย ซื้อมาจากสวนที่ปลูกเป็นการค้าในอำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา เมื่อวันที่ 8 และ 13 พฤษภาคม 2543 เป็นผลลิ้นจี่ที่ทราบระยะความแก่-อ่อนที่แน่นอน คือ เป็นผลลิ้นจี่ที่มีอายุประมาณ 64 และ 74 วัน การนับอายุนับภายหลังจากวันที่ผลลิ้นจี่วัดขนาดได้ความกว้าง × ยาว 0.29 × 0.61 เซนติเมตร และผลลิ้นจี่มีน้ำหนัก 0.05 กรัม นำผลลิ้นจี่ที่เก็บเกี่ยวได้ตามอายุที่กำหนดแบ่งผลลิ้นจี่ออกเป็น 2 กลุ่มตามอายุการเก็บเกี่ยวดังนี้คือ

ก. ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ (Full ripe, FR) คือผลลิ้นจี่ที่มีอายุ 74 วัน

ข. ผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ (Partial ripe, PR) คือ ผลลิ้นจี่ที่มีอายุ 64 วัน

**การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ**

- วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกและเนื้อลิ้นจี่โดยใช้เครื่อง Instron
- วัดสีเปลือกผลลิ้นจี่โดยใช้ เครื่องวัดสี Minolta chromameter

**การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี**

- ปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อและเปลือกลิ้นจี่ในรูปของกรดมาลิกตามวิธี AOAC (1990)
- วัดค่าพีเอชเปลือกและเนื้อลิ้นจี่โดยใช้ pH meter
- ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำโดยใช้ Hand refractometer
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธี Lane and Eynon
- ปริมาณแอนโธไซยานินในเปลือกผลลิ้นจี่โดยวิธี Raganna (1985)
- ความชื้นและค่า $a_w$ เช่นเดียวกับตอนที่ 2

### 3.2 การศึกษาเพื่อหาระยะความแก่-อ่อนของผลลิ้นจี่ที่เหมาะสมและวิธีการรักษาสีเปลือกของผลลิ้นจี่ให้มีสีแดงภายหลังการอบแห้ง

ผลลิ้นจี่ที่ใช้ในการทดลองเป็นผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย ที่ซื้อมาจากสวนที่ปลูกเป็นการค้าในอำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา เมื่อวันที่ 8 และ 13 พฤษภาคม 2543 ผลลิ้นจี่ที่ใช้เป็นผลลิ้นจี่ที่ทราบระยะความแก่อ่อนที่แน่นอน คือ ผลลิ้นจี่ที่มีอายุประมาณ 64 และ 74 วัน นับหลังจากวันที่ผลมีขนาดกว้างสุด × ยาวสุดเท่ากับ 0.29 × 0.61 เซนติเมตร และ มีน้ำหนัก 0.05 กรัมต่อผล

**การวางแผนการทดลอง**

วางแผนการทดลองแบบ 2 × 4 factorial ปัจจัยที่ศึกษามี 2 ปัจจัย คือ ระยะความแก่-อ่อน 2 ระยะ และวิธีการรักษาสีผลเปลือกลิ้นจี่ให้คงสีแดงภายหลังการอบแห้งรวมเป็น 4 วิธี ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ระยะความแก่ - อ่อนของผลลิ้นจี่

ก. ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ (FR) คือผลลิ้นจี่ที่มีอายุ 74 วัน

ข. ผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ (PR) คือผลลิ้นจี่ที่มีอายุ 64 วัน

ปัจจัยที่ 2 วิธีการรักษาสีเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงสีแดงภายหลังการอบแห้ง

ก. ไม่แช่สารละลาย (control)

ข. แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล เป็นเวลา 15 นาที (Ray, 1998)

ค. แช่ในสารละลายสีผสมอาหารสีแดงเออริโธรซิน ความเข้มข้น 1% เป็นเวลา 15 นาที

ง. แช่ในสารละลายผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 2% โซเดียมคลอไรด์ 2 % และกรดซิตริก 10% เป็นเวลา 5 นาที

รวมวิธีการทดลองทั้งหมดเป็น 8 วิธี รายละเอียดดังตาราง 3.1

**ตาราง 3.1 แผนการทดลองโดยใช้ปัจจัยของระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีเปลือก**

| วิธีการทดลอง | ระยะความแก่-อ่อน | วิธีการรักษาสีเปลือก |
|---|---|---|
| 1 | FR | ไม่แช่สารละลาย |
| 2 | FR | 0.5 N HCl |
| 3 | FR | สีผสมอาหาร 1% |
| 4 | FR | 2 % sod. metabisulfite + 2% NaCl + 10% citric acid |
| 5 | PR | ไม่แช่สารละลาย |
| 6 | PR | 0.5 N HCl |
| 7 | PR | สีผสมอาหาร 1% |
| 8 | PR | 2% sod. metabisulfite + 2% NaCl + 10% citric acid |

นำผลลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายต่างๆ มาวางเรียงบนตะแกรงโปร่ง นำเข้าอบแห้งในตู้อบลมร้อนตามกรรมวิธีอบแห้งดังนี้ คือ อบด้วยความเร็วลม 53.67 เมตร/วินาที ที่อุณหภูมิ 60 °ซ นาน 6 ชั่วโมง ปรับเป็น 70 °ซ นาน 6 ชั่วโมง ปรับเป็น 80 °ซ นาน 15 ชั่วโมง ปรับเป็น 70 °ซ นาน 12 ชั่วโมง และปรับเป็น 60 °ซ นาน 3 ชั่วโมง โดยใช้เวลาอบทั้งหมดรวม 42 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น บรรจุใส่ในถุงโพลีโพพิวลีนปิดปากถุงให้สนิท (ข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น)

**การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมี**

นำผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้มาวัดค่าสีเปลือก วิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมด ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาล เช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 3.1 วัดความชื้น และค่า $a_w$ เช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 2 และวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้วิธี AOAC (1990)

**การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส**

ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้นำไปทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการทดสอบแบบ ideal ratio profile โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คน เพื่อหาค่า mean ideal ratio score

## *ตอนที่ 4 การศึกษาเพื่อหาระดับความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่สารละลายที่เหมาะสมในการรักษาสีและคุณภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก*

นำผลลิ้นจี่ที่มีระยะความแก่-อ่อนที่เหมาะสม มาแช่ในสารละลายที่ได้ จากผลการทดลองในตอนที่ 3.2 เพื่อศึกษาหาระดับความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ผลลิ้นจี่ เพื่อการรักษาสีและคุณภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก

**แผนการทดลอง**

วางแผนการทดลองแบบ $3^2$ factorial กำหนดปัจจัยที่จะศึกษามี 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของสารละลาย 3 ระดับ และระยะเวลาในการแช่ 3 ระดับ

ปัจจัยที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลาย

ก. ความเข้มข้นระดับสูง

ข. ความเข้มข้นระดับกลาง

ค. ความเข้มข้นระดับต่ำ

ปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาในการแช่สารละลาย

ก. เวลาในการแช่ ระดับนาน

ข. เวลาในการแช่ ระดับปานกลาง

ค. เวลาในการแช่ ระดับสั้น

ได้วิธีการทดลองทั้งหมด 9 วิธี ดังตาราง 3.2 ผลลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่ในสารละลายทุกสิ่งทดลองนำไปอบแห้งตามกรรมวิธีอบแห้งในตอนที่ 3.2

**การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมี**

วัดค่าสีเปลือก วิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมด ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และปริมาณน้ำตาล เช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 3.1 วัดความชื้นและค่า $a_w$ เช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 2

**การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส**

วิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัส เช่นเดียวกับข้อ 3.2

**ตาราง 3.2 แผนการทดลองโดยใช้ปัจจัยของความเข้มข้นของสารละลายและระยะเวลาในการแช่ผลลิ้นจี่**

| วิธีการทดลอง | ความเข้มข้นของสารละลาย | ระยะเวลาในการแช่ (นาที) |
|---|---|---|
| 1 | สูง | นาน |
| 2 | สูง | ปานกลาง |
| 3 | สูง | สั้น |
| 4 | ปานกลาง | นาน |
| 5 | ปานกลาง | ปานกลาง |
| 6 | ปานกลาง | สั้น |
| 7 | ต่ำ | นาน |
| 8 | ต่ำ | ปานกลาง |
| 9 | ต่ำ | สั้น |

## *ตอนที่ 5 การศึกษาผลของการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็นก่อนอบที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง*

### 5.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลลิ้นจี่สดหลังการเก็บรักษาในห้องเย็น

นำผลลิ้นจี่ที่มีระยะความแก่-อ่อนที่เหมาะสม (จากตอนที่ 3) มาศึกษาผลของการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนนำไปอบแห้ง โดยมีวิธีการ treatment ผลลิ้นจี่ในห้องเย็น 2 วิธีคือ

ก. ไม่แช่ในสารละลายกรดก่อนเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น

ข. แช่ในสารละลายกรดที่มีความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่ที่เหมาะสม (จากการทดลองตอนที่ 4) ก่อนนำไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น

**การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี**

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับตอนที่ 3.1

**5.2 การศึกษาผลของการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็นก่อนอบที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง**

นำผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาไว้ในห้องเย็นทั้ง 2 ตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสม (จากตอนที่ 4) โดยมีตัวอย่างที่นำมาอบแห้งทั้งหมด 3 ตัวอย่างคือ

ก. ไม่แช่สารละลายก่อนเก็บในห้องเย็น

ข. แช่ในสารละลายกรดที่มีความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่ที่เหมาะสม (จากตอนที่ 4) ก่อนเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น

ค. ผลลิ้นจี่สดที่ไม่ได้เก็บรักษาในห้องเย็น

**การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมี**

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับตอนที่ 3.1

**ทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส**

ทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสเช่นเดียวกับข้อ 3.2

## *ตอนที่ 6 การศึกษาเพื่อหากรรมวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก*

นำผลลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่สารละลายที่เหมาะสม (จากข้อ 3.2) โดยใช้ความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสม (จากตอนที่ 4) มาศึกษาเปรียบเทียบกรรมวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน 3 วิธี วางแผนการทดลองแบบ CRD

ก. การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °ซ นาน 6 ชั่วโมง เพิ่มเป็น 70 °ซ นาน 6 ชั่วโมงเพิ่มเป็น 80 °ซ นาน 15 ชั่วโมง ลดลงเหลือ 70 °ซ นาน 12 ชั่วโมง และลดลงเหลือ 60 °ซ นาน 3 ชั่วโมง โดยใช้เวลาอบทั้งหมดรวม 42 ชั่วโมง ความเร็วลม 53.67 เมตร/วินาที

ข. การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °ซ นาน 12 ชั่วโมง เพิ่มเป็น 80 °ซ นาน 12 ชั่วโมง ลดลงเหลือ 70 °ซ นาน 12 ชั่วโมง และลดลงเหลือ 60 °ซ นาน 6 ชั่วโมง โดยใช้เวลาอบทั้งหมดรวม 42 ชั่วโมง ความเร็วลม 53.67 เมตร/วินาที

ค. การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °ซ ติดต่อกันรวม 60 ชั่วโมง ความเร็วลม 53.67 เมตร/วินาที

ชั่งน้ำหนักผลลิ้นจี่ที่ลดลงระหว่างการอบแห้งทุก 10 นาที ในช่วงระยะเวลาการอบแห้ง 6 ชั่วโมง แรกของเวลาการอบแห้งทั้งหมด และทุก 30 นาที จนสิ้นสุดระยะเวลาการอบแห้ง

**การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมี**

วัดค่าสีเปลือก วิเคราะห์หาค่าปริมาณกรดทั้งหมด ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาล เช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 3.1 วัดความชื้น และค่า $a_w$ เช่นเดียวกับตอนที่ 2

**การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส**

ทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คน ด้วยวิธี Hedonic scale scoring test เพื่อเป็นการทดสอบความชอบของผู้ทดสอบชิม ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยให้ผู้ทดสอบชิมประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งที่ใส่รหัสทางสถิติไว้แล้ว และพิจารณาให้ระดับความชอบและไม่ชอบต่อผลิตภัณฑ์แต่ละตัวอย่างบนเสกลที่ผู้บริโภคคิดว่าเหมาะสม

## *ตอนที่ 7 การศึกษาวิธีการเก็บรักษาลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่เหมาะสมและอายุการเก็บรักษา*

นำผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้รับการยอมรับจากตอนที่ 6 มาบรรจุในถุง HDPE และถุง OPP ถุงละ 15 ผล และใช้ถุง OPP ศึกษาภาวะการเก็บ 3 ลักษณะ คือ

1. ไม่มีสารใดๆในถุง
2. มีสารดูดความชื้น (silica gel) 1 กรัมต่อ 15 ผล
3. มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจน (ผงตะไบเหล็ก) อย่างละ 1 กรัมต่อ 15 ผล

แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 10 เดือน สุ่มตัวอย่างออกมาทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกเดือน และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีทุก 2 เดือน เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลลิ้นจี่อบแห้งที่บรรจุในถุง HDPE

**การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมี**

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 3.1

**การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส**

ทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิมจำนวน 70 คน โดยใช้วิธี multiple paired comparisons

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี multiple paired comparisons เป็นการทดสอบความแตกต่างโดยการเปรียบเทียบ ซึ่งการทดสอบวิธีนี้ ตัวอย่างมาตรฐาน (reference sample) จะถูกนำเสนอโดยการเขียนว่า “R” และเสนอพร้อมกับตัวอย่างที่ต้องการทดสอบอีกหลายตัวอย่าง ผู้ทดสอบชิมจะชิมตัวอย่างแล้วเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน

การเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งในถุง HDPE เป็นวิธีการเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งที่วางจำหน่ายในท้องตลาด การศึกษานี้เพื่อต้องการทดสอบว่าการเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่น คือ การเก็บรักษาในถุง OPP, ถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น และถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจน จะมีผลต่อคุณภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งแตกต่างจากการเก็บรักษาในถุง HDPE หรือไม่ ดังนั้นจึงกำหนดให้ตัวอย่างที่บรรจุในถุง HDPE เป็นตัวอย่างมาตรฐาน (R)

เสนอรวมกับตัวอย่าง 3 ตัวอย่างที่ใส่รหัสทางสถิติไว้แล้ว โดยให้ผู้ทดสอบชิมทำการชิมตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน

ข้อมูลที่ได้รับถูกนำมาเปลี่ยนเป็นตัวเลข 1 ถึง 9 โดยที่

คะแนน 9 = ดีกว่าตัวอย่างมาตรฐานที่สุด

คะแนน 5 = ไม่มีความแตกต่าง

คะแนน 1 = ด้อยกว่าตัวอย่างมาตรฐานที่สุด

## 6.2 การศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งและวิธีการเก็บรักษา

**1. การเตรียมเนื้อลิ้นจี่**

นำผลลิ้นจี่มาเด็ดก้านและใบออก ล้างน้ำก๊อก 1 ครั้งเพื่อทำความสะอาดล้างเอาเศษผงและสิ่งปนเปื้อนออก นำมาคว้านเอาแต่เมล็ดออกโดยคงเหลือเปลือกหุ้มเนื้อไว้ก่อน นำไปเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นจนกระทั่งการคว้านเอาเมล็ดออกจากผลลิ้นจี่ทั้งหมดครบตามปริมาณที่ต้องการ

นำผลลิ้นจี่ที่คว้านเอาเมล็ดออกแล้วมาแกะเอาเปลือกออกอย่างรวดเร็วแล้วนำไปทำการแช่อิ่มตามกระบวนการที่ศึกษาต่อไป

**2. การทดลอง**

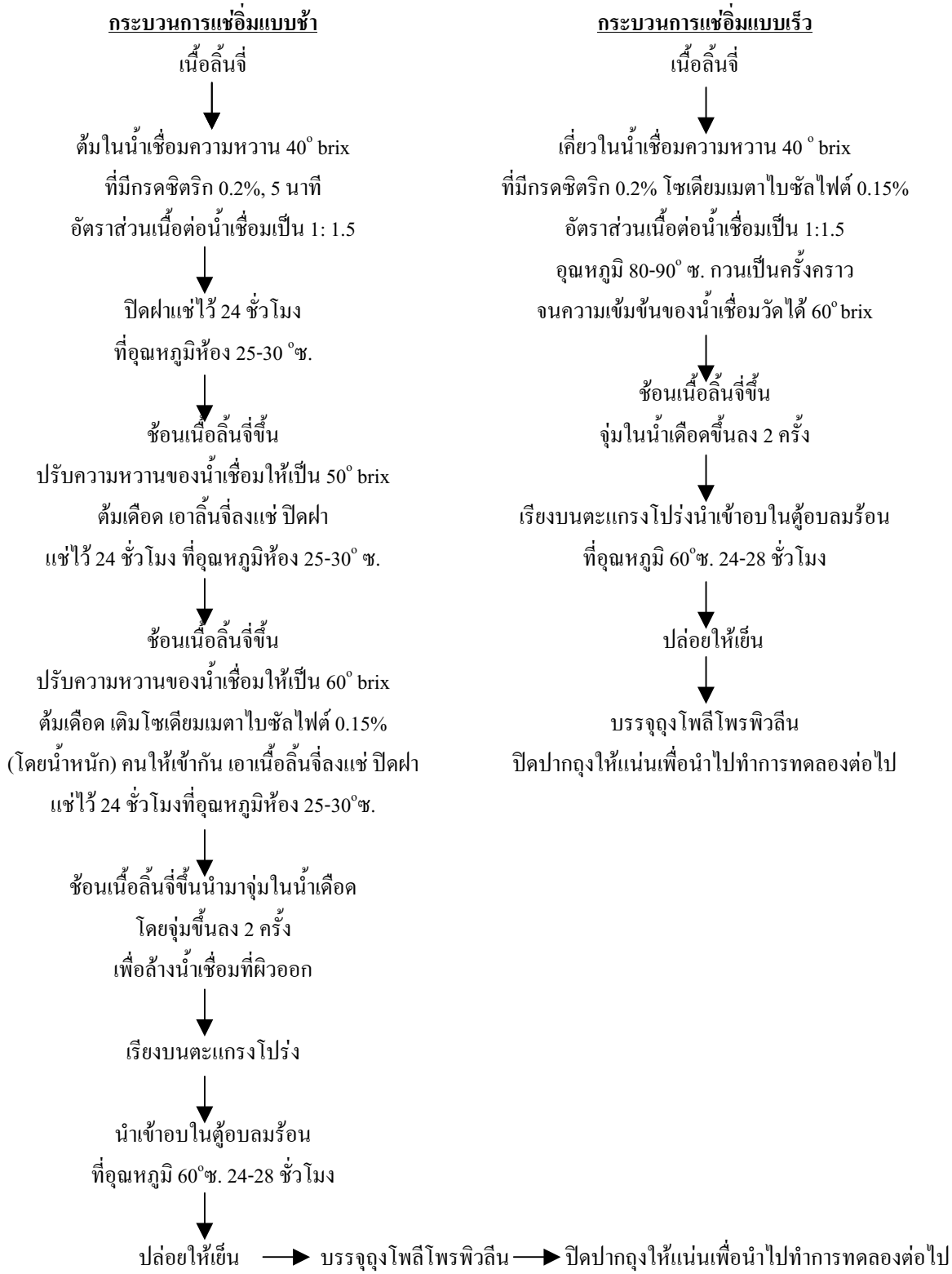
งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 8 ตอนดังนี้

### *ตอนที่ 1 การศึกษาเพื่อคัดเลือกวิธีการแช่อิ่ม*

**1.1 วิธีการแช่อิ่ม**

ผลลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการคัดแยกตามคุณสมบัติดังกล่าว ถูกนำมาคว้านเอาเมล็ดออกด้วยตุ๊ดตู่ จากนั้นทำการแกะเปลือกออก นำเนื้อลิ้นจี่ที่คว้านได้มาทำการแช่อิ่มและอบแห้งดังรายละเอียดตามขั้นตอนในแผนภูมิที่ 3.1

**แผนภูมิที่ 3.1 แสดงกระบวนการผลิตลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง**



**1.2 การทดสอบการยอมรับ**

เนื้อลิ้นจี่อบแห้งทั้ง 2 วิธี ถูกนำมาทดสอบความพอใจแบบ paired comparison ทั้งในด้านสี รสหวาน รสเปรี้ยว และลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 20 คน ผลการทดสอบที่ได้นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้วิธี chi-square เพื่อตัดสินว่าวิธีใดดีกว่า

## *ตอนที่ 2 การศึกษาเพื่อหาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่ผู้ทดสอบชิมต้องการ (Ideal sample)*

จากผลการศึกษาในข้อ 1.2 ลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่ได้รับความพอใจมากกว่าถูกนำมาให้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน ทดสอบโดยใช้ ideal ratio profile test เพื่อสอบถามลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการ ผลการทดสอบรายงานออกมาในรูปของตัวเลข (numerical product profile) และ ratio profile

## *ตอนที่ 3 การศึกษาเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง*

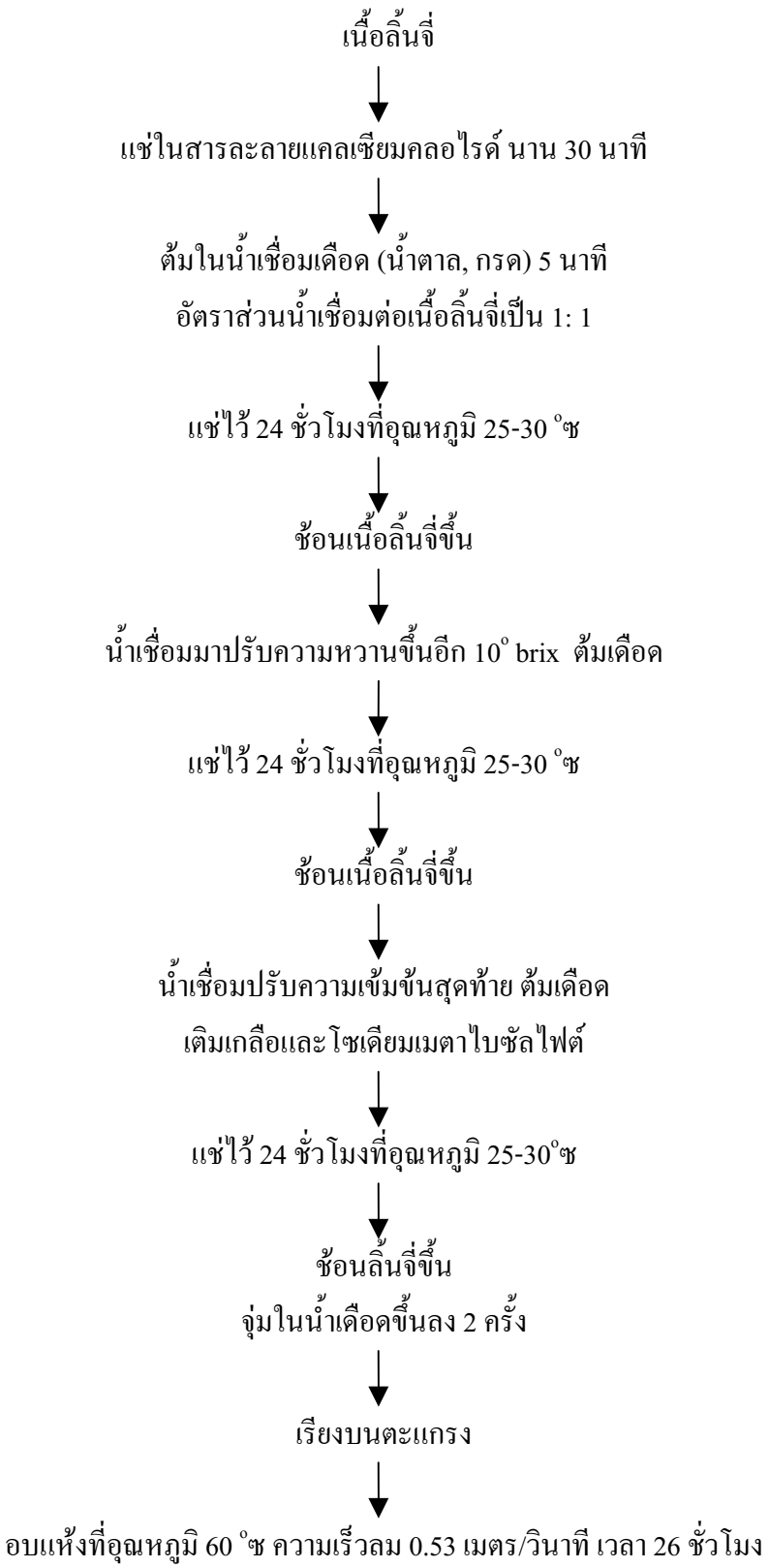
**3.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง**

จากผลการศึกษาในตอนที่ 2 ทำให้ทราบคุณลักษณะของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่ผู้ทดสอบชิมต้องการ จึงได้ทำการศึกษาเพื่อคัดเลือกปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณภาพ ด้วยการวางแผนการทดลองแบบ Plackette and Burman (ไพโรจน์, 2539) ซึ่งสามารถแบ่งสิ่งทดลองออกมาได้ 8 สิ่งทดลอง โดยกำหนดชนิดและปริมาณของสารต่างๆ ดังนี้

- ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสเริ่มต้น 35 และ 40 $^{o}$brix และสุดท้าย 45 และ 60 $^{o}$brix
- โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0 และ 1%
- กรดซิตริก 0.2 และ 0.7%
- โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1 และ 0.25%
- แคลเซียมคลอไรด์ 0 และ 1%

รายละเอียดแผนการทดลองดังตารางที่ 3.3 และวิธีการทำลิ้นจี่อบแห้งดังแผนภูมิที่ 3.2

**แผนภูมิที่ 3.2 : แสดงขั้นตอนการทำลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง**



**ตารางที่ 3.3 การวางแผนการทดลองแบบ Plackette and Burman Design**

| สิ่งทดลอง | ความเข้มข้นสุดท้ายของน้ำเชื่อม ($^{o}$Brix) | NaCl (%) | Citric acid (%) | $Na_2S_2O_5$ (%) | $CaCl_2$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 60 | 1 | 0.7 | 0.1 | 1 |
| 2 | 60 | 1 | 0.2 | 0.25 | 0 |
| 3 | 60 | 0 | 0.7 | 0.1 | 0 |
| 4 | 45 | 1 | 0.2 | 0.1 | 1 |
| 5 | 60 | 0 | 0.2 | 0.25 | 1 |
| 6 | 45 | 0 | 0.7 | 0.25 | 1 |
| 7 | 45 | 1 | 0.7 | 0.25 | 0 |
| 8 | 45 | 0 | 0.2 | 0.1 | 0 |

**3.2 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส**

นำเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งจากวิธีการทั้ง 8 สิ่งทดลอง มาทดสอบชิมแบบ ideal ratio profile test โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 12 คน

**3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ**

1. วัดสีของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งโดยใช้เครื่อง Hunter
2. วัด Texture ของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งโดยใช้เครื่อง Instron

**3.4 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี**

1. ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (AOAC, 1990)
2. ปริมาณน้ำตาล (Lane and Eynon)
3. ค่า $a_w$ ($a_w$ meter)
4. ความชื้น (hot air oven)

**3.5 การวิเคราะห์ผลของแต่ละปัจจัยต่อคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง**

วิธีการคำนวณผลของแต่ละปัจจัยในแผนการทดลองนี้สามารถทำได้โดยการนำผลการทดลองที่ได้ในระดับสูงและระดับต่ำมาหาค่าเฉลี่ย และนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาหาผลต่างระหว่างการใช้ปัจจัยในระดับสูงและระดับต่ำอีกครั้งหนึ่ง เช่น ผลของปัจจัย A (ความเข้มข้นของน้ำตาล) ต่อค่าสี L สามารถคำนวณได้ดังนี้

Effect A ต่อค่าสี L = [51.17 + 51.77 + 51.89 + 53.46] - [52.18 + 53.46 + 52.24 + 53.60 ]

4 4

= - 0.797

ซึ่งมีค่า t-test = Effect A ต่อค่าสี L

SE

เมื่อ SE หาได้ดังนี้ $SE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (dummy_i)^2 / n}$

ค่า t-test = - 0.797

0.2108

= -3.781

ส่วนปัจจัยอื่นๆ ก็สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกัน

## *ตอนที่ 4 การพัฒนาสูตรของน้ำเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง*

เมื่อทราบปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้ทดสอบชิมต่อเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งจากตอนที่ 4 จึงได้นำปัจจัยหลัก คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลและกรดซิตริกมาวางแผนการทดลองแบบ Factorial $2^2$+2cp แบ่งออกได้เป็น 6 สิ่งทดลอง ดังตารางที่ 3.4 แต่ละสิ่งทดลอง ทำการทดลอง 2 ซ้ำและใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเริ่มต้น 35 $^{o}$ brix เท่ากันทุกวิธีทดลอง

**ตารางที่ 3.4 ส่วนผสมของน้ำเชื่อม**

| สิ่งทดลอง | องศาบริกซ์สุดท้าย | กรดซิตริก (%) |
|---|---|---|
| 1 | 45 | 0.7 |
| 2 | 50 | 0.7 |
| 3 | 47.5 | 0.8 |
| 4 | 47.5 | 0.8 |
| 5 | 45 | 0.9 |
| 6 | 50 | 0.9 |

**4.1 กรรมวิธีการแช่อิ่มเนื้อลิ้นจี่แบบช้า**

กรรมวิธีการทำเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งมีดังนี้

ผลลิ้นจี่เด็ดก้านออก

↓

ล้างน้ำ

↓

คว้านเมล็ดออก

↓

ปอกเปลือก

↓

นำเนื้อลิ้นจี่มาแช่สารละลาย $CaCl_2$ 0.7% นาน 30 นาที

↓

ช้อนใส่ตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ
นำลงแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 35° brix
ที่มีกรดซิตริก 0.7, 0.8 และ 0.9% (โดยน้ำหนัก)
ต้มจนเดือด 5 นาทียกลง แช่ทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

↓

ช้อนเนื้อลิ้นจี่ออก
ปรับความเข้มข้นของน้ำเชื่อมให้เป็น 40° brix
ต้มให้เดือด ยกลง ใส่เนื้อลิ้นจี่ลงไปใหม่
แช่ทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

↓

ช้อนเนื้อลิ้นจี่ออก
ปรับความเข้มข้นของน้ำเชื่อมให้เป็น 45° brix
ต้มให้เดือด ใส่เนื้อลิ้นจี่ลงไปใหม่
ยกลง แช่ทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

↓

ช้อนเนื้อลิ้นจี่ออก ปรับความเข้มข้นของน้ำเชื่อมให้เป็น 45, 47.5 และ 50° brix
ต้มเดือดและเติม $Na_2S_2O_5$ 0.2% (โดยน้ำหนัก) ยกลง
ใส่เนื้อลิ้นจี่ลงไปใหม่แช่ทิ้งไว้นาน 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

ช้อนเนื้อลิ้นจี่ออก

↓

จุ่มในน้ำร้อนโดยจุ่มขึ้นลง 2 ครั้ง

↓

นำเนื้อลิ้นจี่ไปเรียงบนตะแกรงสำหรับอบ

อบในเตาอบชนิด tray dryer

ที่อุณหภูมิ 70 °ซ นาน 2 ชั่วโมง ปรับเป็น 65 °ซ นาน 6 ชั่วโมง

และ 60 °ซ จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (อีกประมาณ 6 ชั่วโมง)

↓

นำเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ได้ไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบเคมี

ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อมในระหว่างการแช่อิ่มทั้ง 6 สิ่งทดลอง ด้วยการสุ่มวัดทุกวันตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการแช่อิ่ม

**4.2 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค**

เมื่อได้เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งจากวิธีการทั้ง 6 สิ่งทดลอง ได้นำมาทดสอบชิมแบบ Scaling test โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 8 คน แต่ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถบอกความแตกต่างของคุณภาพเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแต่ละสิ่งทดลองได้ จึงทำการทดสอบชิมใหม่อีกครั้งโดยใช้วิธี Ranking test โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 24 คน วิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม SX versions 4.0 และตารางสำเร็จ Rank total

**4.3 การวิเคราะห์ทางกายภาพ**

1. วัดสีของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งโดยใช้เครื่อง Hunter
2. วัด Texture ของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งโดยใช้เครื่อง Instron

**4.4 การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี**

1. ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (AOAC, 1990)
2. ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Hand refractometer, Atago)
3. ปริมาณน้ำตาล (Lane and Eynon)
4. ค่า $a_w$ ($a_w$ meter)
5. ความชื้น (Hot air oven)
6. ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (AOAC, 1990)

**4.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ทางกายภาพ และทางเคมี ถูกนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SX version 4.0

## *ตอนที่ 5 การศึกษาเปรียบเทียบเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งระหว่างสูตรน้ำตาลอย่างเดียวกับสูตรที่ใช้แบะแซ*

จากผลการทดสอบตอนที่ 4 ทำให้ทราบสูตรน้ำเชื่อมที่ผู้บริโภคพอใจ เพื่อเป็นการลดปริมาณน้ำตาลให้ลดลง จึงได้นำสูตรดังกล่าวมาปรับลดปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นลง 50% ด้วยการใช้แบะแซใส่แทน เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งทั้งสองสูตรถูกนำมาทดสอบโดยวิธี ratio scaling ใช้ผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 16 คน และวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ ANOVA วิเคราะห์ผลทางกายภาพและทางเคมีเช่นเดียวกับตอนที่ 4

## *ตอนที่ 6 การศึกษาหาชนิดสารละลาย อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย และระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำออสโมติกดีไฮเดรชัน*

ได้ทำการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาในการทำออสโมซิส เพื่อใช้เป็นแนวทางวางแผนการทดลองในการศึกษาเปรียบเทียบชนิดสารละลาย อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย และระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่าเมื่อทำออสโมติกดีไฮเดรชันในสารละลายซูโครส 70% อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย 1 : 1.5 ใน 5 ชั่วโมงแรก มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่อย่างมากและรวดเร็ว หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่น้อยมากไปจนถึง 14 ชั่วโมง ดังตารางที่ 3.5 ในด้านกลิ่นพบว่ายิ่งแช่อิ่มนานกลิ่นหอมของเนื้อลิ้นจี่ยิ่งน้อยลง ดังนั้นจึงคัดเลือกระยะเวลาแช่นาน 5 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาใช้ในการศึกษาต่อไป ในการศึกษาได้วางแผนการทดลอง 8 สิ่งทดลอง เปรียบเทียบชนิดของสารละลาย คือ สารละลายซูโครส 70% และสารละลายผสมระหว่างสารละลายซูโครส 60% กับกลีเซอรอล 15% อัตราส่วนของน้ำหนักของเนื้อลิ้นจี่ต่อน้ำหนักของสารละลาย และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ ดังตารางที่ 3.6

**ตารางที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในการทำออสโมติกดีไฮเดรชันโดยใช้สารละลายซูโครส 70% อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ : น้ำเชื่อม 1 : 1.5**

| เวลา (ชั่วโมง) | อุณหภูมิเริ่มต้นหลังใส่เนื้อลิ้นจี่ (°ซ) | ความหวานน้ำเชื่อม (องศาบริกซ์) | ความหวานลิ้นจี่ (องศาบริกซ์) | น้ำหนักลิ้นจี่ (กรัม) | น้ำหนักหายไป (กรัม) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 60.0 | 70.0 | 18.0 | 500.0 | 0.00 |
| 1 | 58.8 | 60.0 | 29.0 | 389.7 | 22.07 |
| 2 | 57.4 | 57.0 | 31.0 | 378.5 | 24.30 |
| 3 | 57.5 | 55.0 | 29.4 | 361.2 | 27.80 |
| 4 | 58.6 | 54.0 | 30.3 | 357.3 | 28.50 |
| 5 | 57.5 | 52.0 | 36.0 | 35 0.8 | 29.80 |
| 6 | 57.8 | 51.4 | 34.0 | 364.8 | 27.04 |
| 7 | 57.0 | 50.2 | 35.0 | 353.9 | 29.22 |
| 8 | 56.5 | 50.0 | 35.4 | 351.6 | 29.68 |
| 9 | 56.5 | 49.0 | 34.2 | 347.6 | 30.48 |
| 10 | 57.0 | 47.0 | 34.0 | 345.2 | 30.96 |
| 11 | 56.7 | 46.0 | 34.6 | 343.8 | 31.24 |
| 12 | 56.6 | 45.0 | 34.8 | 338.3 | 32.34 |
| 13 | 57.6 | 44.6 | 35.0 | 341.7 | 31.66 |
| 14 | 57.2 | 44.4 | 33.6 | 346.3 | 30.74 |

**ตารางที่ 3.6 ชนิดของสารละลาย อัตราส่วน และส่วนประกอบของสารละลายที่ใช้**

| สิ่งทดลอง | ชนิดของน้ำเชื่อม | อัตราส่วนของ เนื้อ : น้ำเชื่อม | ปริมาณ $Na_2S_2O_5$ (%) | เวลา (ชั่วโมง) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Sucrose 70% | 1 : 1 | 0 | 5 |
| 2 | Sucrose 70% | 1 : 1 | 0.4 | 5 |
| 3 | Sucrose 70% | 1 : 1.5 | 0.4 | 5 |
| 4 | Sucrose 70% | 1 : 2 | 0.4 | 5 |
| 5 | Glycerol 15% + Sucrose 60% | 1 : 1 | 0 | 5 |
| 6 | Glycerol 15% + Sucrose 60% | 1 : 1 | 0.4 | 5 |
| 7 | Glycerol 15% + Sucrose 60% | 1 : 1.5 | 0.4 | 5 |
| 8 | Glycerol 15% + Sucrose 60% | 1 : 2 | 0.4 | 5 |

**6.1 วิธีการเตรียมและการสุ่มตัวอย่าง**

นำผลลิ้นจี่มาเด็ดขั้ว ล้าง แล้วคว้านเมล็ดออก เมื่อได้จำนวนมากพอจึงทำการปอกเปลือกในคราวเดียวกัน ชั่งเนื้อลิ้นจี่แบ่งใส่ถุงตาข่ายพลาสติก บรรจุถุงๆ ละ 500 กรัม ใส่ถุงลงในบีกเกอร์ (beaker) แล้วเทน้ำเชื่อมที่เตรียมไว้ใหม่ๆ ลงไปขณะร้อนในอัตราส่วนน้ำหนักของเนื้อลิ้นจี่ต่อน้ำเชื่อมดังแสดงในตารางที่ 3.6 สุ่มตัวอย่างเนื้อลิ้นจี่ออกมาในทุกๆ 1 ชั่วโมง วัดอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้แช่ ณ ชั่วโมงที่ทำการตรวจสอบ นำถุงเนื้อลิ้นจี่ที่สุ่มออกมาไปล้างด้วยน้ำเดือดโดยการจุ่มขึ้นลง 2 ครั้ง ปล่อยให้สะเด็ดน้ำ 3 นาที นำมาชั่งหาน้ำหนักของเนื้อลิ้นจี่ และสุ่มเนื้อลิ้นจี่ออกมาจากถุง นำไปวัดค่าองศาบริกซ์ และค่า $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่ และน้ำเชื่อม

**6.2 การคัดเลือกชนิดสารละลาย อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ต่อน้ำเชื่อม และระยะเวลาที่มีผลต่ออัตราการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์**

นำผลการตรวจสอบจากข้อ 6.1 มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเนื้อลิ้นจี่ที่เปลี่ยนแปลงที่ชั่วโมงต่างๆ ในแต่ละวิธีทดลอง (% weight loss) การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารที่ละลายได้ในเนื้อลิ้นจี่ และนำเนื้อลิ้นจี่ไปอบแห้งเพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมี และทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

**6.3 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส**

เมื่อได้ผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งทั้ง 8 สิ่งทดลอง นำมาทดสอบชิมแบบ ideal ratio profile test โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 10 คน

**6.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี**

ตรวจวิเคราะห์ทั้งทางกายภาพและทางเคมี เหมือนที่กำหนดในข้อ 4.3 และ 4.4

**6.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

นำผลที่ได้จากข้อ 6.2-6.4 มาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SX version 4.0 เพื่อคัดเลือกวิธีการทำออสโมติกดีไฮเดรชันที่เหมาะสมที่สุด

## *ตอนที่ 7 การศึกษากรรมวิธีการอบแห้งเนื้อลิ้นจี่แบบแช่อิ่มและแบบออสโมติกดีไฮเดรชัน*

นำเนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่อิ่มในน้ำเชื่อมความเข้มข้นสุดท้าย 45 องศาบริกซ์ ปริมาณกรด 0.7% โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.2% และแคลเซียมคลอไรด์ 0.7% มาจุ่มในน้ำเดือด นำเข้าอบในตู้อบลมร้อน โดยเรียงบนตะแกรงโปร่งใช้ความเร็วลม 0.53 เมตรต่อวินาที ที่สภาวะการอบแห้ง 2 รูปแบบคือ

รูปแบบที่ 1 อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °ซ ติดต่อกัน 26 ชั่วโมง

รูปแบบที่ 2 อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °ซ 2 ชั่วโมง อบต่อที่อุณหภูมิ 65 °ซ 6 ชั่วโมง และอบต่อที่อุณหภูมิ 60 °ซ อีก 6 ชั่วโมง

ทำการชั่งน้ำหนักและบันทึกผลทุกๆ 2 ชั่วโมง นำผลที่ได้มาสร้างกราฟการอบแห้ง คัดเลือกกรรมวิธีที่ดีมาทดลองกับเนื้อลิ้นจี่แบบออสโมติกดีไฮเดรชันด้วย

## *ตอนที่ 8 การศึกษาวิธีการเก็บรักษาลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งและลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชัน*

เนื้อลิ้นจี่อบแห้งทั้งที่ทำโดยวิธีแช่อิ่มและออสโมติกดีไฮเดรชันวิธีที่ดีที่สุด ถูกนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 25-30 °ซ และในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 8 °ซ โดยบรรจุในถุง 3 ชนิด สำหรับเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งใช้ถุงโพลีโพรพีวลีนที่มีสารดูดความชื้นกับสารดูดออกซิเจน ถุงอะลูมิเนียม และถุงสุญญากาศ ส่วนเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชัน ใช้ถุงโพลีโพรพิวลีนที่มีสารดูดความชื้นกับสารดูดออกซิเจน ถุงอะลูมิเนียม และถุงอัดแก๊สไนโตรเจน

การตรวจวิเคราะห์จะทำการสุ่มตัวอย่างลิ้นจี่อบแห้งทั้งสองประเภทออกมาตรวจทุกๆ 2 เดือนจนครบ 10 เดือน สำหรับที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และสำหรับตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 8 °ซ ทำการสุ่มตัวอย่างออกมาตรวจสอบภายหลังเก็บรักษาครบ 6 เดือนแล้ว และทำการตรวจสอบทุกๆ 2 เดือนจนครบ 12 เดือน

**8.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี**

ทุกๆ 2 เดือน สุ่มตัวอย่างออกมาตรวจวิเคราะห์ ดังนี้

- สี (เครื่องวัดสี Hunter)

- ลักษณะเนื้อสัมผัส (Instron)
- ค่า $a_w$ ($a_w$ meter)/ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (AOAC, 1990)
- ปริมาณน้ำตาล (Lane and Eynon)
- ความชื้น (hot air oven)

**8.2 การประเมินทางประสาทสัมผัส**

ทำการทดสอบเปรียบเทียบคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่เก็บรักษาในแต่ละวิธี เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา ทดสอบชิมเปรียบเทียบด้วยวิธี Ratio scaling โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 16 คน

**8.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ**

ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SX version 4.0 เพื่อให้ได้วิธีการเก็บรักษาที่เหมาะสม

## 6.3 การศึกษาเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องและอายุการเก็บรักษา

งานวิจันนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ตอนดังนี้

### *ตอนที่ 1 ศึกษาเพื่อหาขนาดของชิ้นเนื้อลิ้นจี่*

**1.1 ศึกษาระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่ต่อคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย**

วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี ได้แก่ การวัดค่าพีเอช และหาปริมาณกรดทั้งหมดของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยที่ใช้เป็นวัตถุดิบในช่วงเริ่มต้นและปลายฤดูการเก็บเกี่ยว เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับพีเอชด้วยกรดซิตริก

**1.2 ศึกษาเพื่อหาขนาดของชิ้นเนื้อลิ้นจี่**

**1.2.1 ศึกษาเพื่อหาขนาดของเนื้อลิ้นจี่ตีป่น**

แผนการทดลองเป็นแบบ Completely randomized design (CRD)

ปัจจัยที่ศึกษา คือ เวลาที่ใช้ในการตีป่น (วินาที)

นำผลลิ้นจี่มาปอกเปลือกแกะเมล็ดออก แช่เนื้อลิ้นจี่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.03% ช้อนขึ้นให้สะเด็ดน้ำ ชั่งเนื้อลิ้นจี่มา 800 กรัม ใส่ในเครื่องปั่น ปิดฝา ปั่นด้วยความเร็ว liquify โดยแปรผันเวลาการปั่นตัวอย่างให้อยู่ในช่วง 5-20 วินาที ดังตาราง 3.7 จากนั้นจึงนำ ตัวอย่างไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ส่วนประกอบทางเคมี และออกแบบสอบถามไปยังผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อสอบถามความต้องการเกี่ยวกับขนาดของเนื้อลิ้นจี่ที่ต้องการนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์

**ตารางที่ 3.7 แผนการทดลองแบบ CRD โดยผันแปรระยะเวลาที่ใช้ในการตีป่น**

| สิ่งทดลอง | เวลาที่ใช้ตีป่นลิ้นจี่ (วินาที) |
|---|---|
| 1 | 5 |
| 2 | 10 |
| 3 | 15 |
| 4 | 20 |

**1.2.2 ศึกษาเพื่อหาขนาดของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตก**

สุ่มตัวอย่างเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกจากที่บรรจุในกระป๋อง โดยสุ่มออกมากระป๋องละ 300 กรัม จำนวน 3 กระป๋อง เนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกที่สุ่มได้แต่ละครั้งให้นำมาแยกออกเป็น 4 กลุ่มตามขนาดของชิ้น คือ ขนาดครึ่งผล เศษหนึ่งส่วนสามผล เศษหนึ่งส่วนสี่ผล และเล็กกว่าเศษหนึ่งส่วนสี่ผล

**1.3 การวิเคราะห์คุณภาพ**

*1.3.1 สมบัติทางกายภาพ*

- วัดขนาดลิ้นจี่ตีป่น โดยการกรองผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ
- ค่าสี L, a*, b* ด้วยเครื่อง Color Quest II (Hunter Lab, 1997)

***1.3.2 ส่วนประกอบทางเคมี***

- ความเป็นกรด-ด่าง ตามวิธี AOAC (1990)
- ปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไตเตรทได้ ตามวิธี AOAC (1990)
- ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ทั้งหมด ตามวิธี AOAC (1990)
- ปริมาณน้ำตาลซูโครสและปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ตามวิธี Lane and Eynon (AOAC, 1990)

***1.3.3 การทดสอบทางประสาทสัมผัส***

ส่งแบบสอบถามไปยังกลุ่มผู้ประกอบการเพื่อสอบถามขนาดของลิ้นจี่ตีป่นที่ต้องการสำหรับใช้ทำผลิตภัณฑ์

**1.4 การวิเคราะห์และประเมินผลทางสถิติ**

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Statistic version 4.10

## *ตอนที่ 2 ศึกษาเพื่อหาปริมาณกรดซิตริกที่เหมาะสมในการปรับพีเอชโดยไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีชมพูในผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่*

### 2.1 การหาปริมาณกรดซิตริกที่เหมาะสมในการปรับพีเอช

วางแผนการทดลองแบบ Complete randomized design (CRD)

ปัจจัยที่ศึกษา ปริมาณกรดซิตริกที่เหมาะสม (%)

นำผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยมาล้างน้ำให้สะอาด ผึ่งให้สะเด็ดน้ำ คว้านเอาเมล็ดออก แกะเปลือกแช่เนื้อลิ้นจี่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.03% แล้วช้อนตัวอย่างขึ้นมาชั่งเนื้อลิ้นจี่จำนวน 800 กรัม เติมกรดซิตริกในปริมาณที่กำหนด ดังตาราง 3.8 แล้วคลุกเนื้อลิ้นจี่กับกรดซิตริกให้เข้ากัน นำมาตีป่นด้วยเครื่องปั่น ที่ความเร็ว liquify นาน 5 วินาที จากนั้นนำมาให้ความร้อนจนกระทั่งวัดอุณหภูมิได้ 80 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างส่วนหนึ่งไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าสี L, a*, b* บรรจุตัวอย่างขณะร้อนลงในขวดแก้วที่ผ่านการลวก ปิดฝาขวดทันที ฆ่าเชื้อในน้ำเดือดนาน 25 นาที ทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว นำตัวอย่างไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี

### 2.2 การวิเคราะห์คุณภาพ

#### *2.2.1 สมบัติทางกายภาพ*

- ความหนืดโดยใช้เครื่อง Brookfield Viscometer
- ค่าสี L, a*, b* ด้วยเครื่อง Color Quest II (Hunter Lab, 1997)

**ตารางที่ 3.8 แผนการทดลองแบบ CRD โดยผันแปรปริมาณกรดซิตริกที่เติมลงในเนื้อลิ้นจี่ตีป่น**

| สิ่งทดลอง | ปริมาณกรดซิตริก (%) |
|---|---|
| 1 | ไม่เติม |
| 2 | 0.05 |
| 3 | 0.10 |
| 4 | 0.15 |
| 5 | 0.20 |
| 6 | 0.30 |

#### *2.2.2 ส่วนประกอบทางเคมี*

- ความเป็นกรด-ด่าง ตามวิธี AOAC (1990)
- ปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไตเตรทได้ ตามวิธี AOAC (1990)
- ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ทั้งหมด ตามวิธี AOAC (1990)
- ปริมาณน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลทั้งหมดตามวิธี Lane and Eynon (AOAC, 1990)

**2.3 การวิเคราะห์และประเมินผลทางสถิติ**

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมีไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Statistic version 4.1

## *ตอนที่ 3 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน*

การทดลองในขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกและเนื้อลิ้นจี่ตีป่นที่บรรจุในกระป๋องขนาด A1 (300 X 407) และ A10 (603 X 700)

**3.1 การแปรผันเวลาการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ในน้ำเดือดเพื่อศึกษา Incubation test**

โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นการฆ่าเชื้อเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาฆ่าเชื้อลิ้นจี่ในน้ำเดือด แสดงดังตาราง 3.9

***3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋อง*** นำผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยมาล้างน้ำให้สะอาด แล้วคว้านเมล็ดออก หลังจากนั้นแกะเปลือกออก แช่เนื้อในสารละลายกรดซิตริก ความเข้มข้น 0.03% (แช่ไม่เกิน 30 นาที) ช้อนเนื้อลิ้นจี่ขึ้นมา ปล่อยให้สะเด็ดน้ำ นำเนื้อลิ้นจี่มาฉีกด้วยมือ โดยฉีกให้มีขนาดประมาณ เศษหนึ่งส่วนสี่ของผลขึ้นไป บรรจุเนื้อลิ้นจี่ขณะร้อนลงกระป๋อง 2 ขนาด คือ กระป๋องขนาด A1 และ A10 มีน้ำหนักเนื้อ (drained weight) เท่ากับ 300 กรัม และ 2,700 กรัม ตามลำดับ จากนั้นเติมสารละลายกรดซิตริกเพื่อปรับพีเอชให้เท่ากับ 4 ± 0.2 จำนวน 120 และ 300 มิลลิลิตร ตามลำดับ นำไปไล่อากาศจนกระทั่งวัดอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางกระป๋องได้เท่ากับ 80-85 องศาเซลเซียส จึงปิดฝาทันที จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อในน้ำเดือด (98 องศาเซลเซียส) โดยแปรผันระยะเวลาการฆ่าเชื้อดังตาราง 3.9

**ตาราง 3.9 แผนการทดลองแบบ CRD โดยแปรผันเวลาฆ่าเชื้อในน้ำเดือดของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกและเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋องขนาด A1 และ A10**

| สิ่งทดลอง | เวลาที่ใช้ ฆ่าเชื้อ (นาที) | |
|---|---|---|
| | กระป๋องขนาด A1 | กระป๋องขนาด A10 |
| 1 | 12 | 25 |
| 2 | 15 | 30 |
| 3 | 18 | 35 |
| 4 | 21 | - |

***3.1.2 ขั้นตอนการเตรียมเนื้อลิ้นจี่ตีป่นบรรจุกระป๋อง*** นำผลลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยมาล้างน้ำให้สะอาด แล้วคว้านเอาเมล็ดออก หลังจากนั้นแกะเปลือกออก แช่เนื้อในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.03% (แช่ไม่เกิน 30 นาที) ช้อนตัวอย่างขึ้นมา ปล่อยให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นต้องเติมกรดซิตริกลงไปเพื่อปรับพีเอชให้เท่ากับ 4 ± 0.2 โดยคลุกเนื้อลิ้นจี่กับกรดซิตริกให้เข้ากัน แล้วนำมาตีป่นด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็ว liquify นาน 5 วินาที จากนั้นนำไปให้ความร้อน จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 80-85 องศาเซลเซียส จึงบรรจุตัวอย่างขณะร้อนลงในกระป๋องทันที โดยที่กระป๋องขนาด A1 และ A10 ให้บรรจุน้ำหนักเนื้อ 420 และ 3,000 กรัม ตามลำดับ จากนั้นนำไปไปฆ่าเชื้อในน้ำเดือดโดยผันแปรระยะเวลาการฆ่าเชื้อดังตาราง 3.9

***3.1.3 การทำ Incubation test*** เพื่อทดสอบว่าเวลาฆ่าเชื้อดังกล่าวเพียงพอที่จะรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่ให้เน่าเสียภายหลัง จึงนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อตามระยะเวลาที่กำหนด ดังตาราง 3.9 ไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 14 วัน เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามวิธีการทำ incubation test (มอก. 335 เล่ม 1, 2523) สำหรับอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรด (ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.7-4.5) โดยนำผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ เพื่อตรวจหาจุลินทรีย์ในกระป๋อง นำตัวอย่างที่เหลือไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี เพื่อกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อ

**3.2 การศึกษาการแทรกผ่านความร้อนเพื่อหาตำแหน่งร้อนช้าที่สุดภายในกระป๋อง**

***3.2.1 การเตรียมกระป๋อง***

นำกระป๋อง 2 ขนาด คือ A1 และ A10 สำหรับใช้ในการบรรจุผลิตภัณฑ์มาเจาะรูด้วยเครื่องเจาะรู ในตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

1) กระป๋องขนาด A1 ตำแหน่งที่เจาะกระป๋องคือ วัดจากขอบล่างของกระป๋องขึ้นมา 1.9, 3.5 และ 5.1 เซนติเมตร
2) กระป๋องขนาด A10 ตำแหน่งที่เจาะกระป๋องคือ วัดจากขอบล่างของกระป๋องขึ้นมา 3.8, 6.5 และ 9.2 เซนติเมตร

จากนั้นนำกระป๋องที่เจาะเสร็จแล้วมาเสียบหัวเข็ม แล้วหมุนน็อตให้แน่น กระป๋องที่เจาะเสร็จแล้วนำมาใช้บรรจุตัวอย่างตามวิธีการเตรียมตัวอย่างในขั้นตอนที่ 3.1.1 สำหรับเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตก และในขั้นตอนที่ 3.1.2 สำหรับเนื้อลิ้นจี่ตีป่น

***3.2.2. การศึกษาการแทรกผ่านความร้อนในน้ำเดือดเพื่อหาตำแหน่งร้อนช้าที่สุดภายในกระป๋อง***

นำลิ้นจี่บรรจุกระป๋องตามขั้นตอนที่ 3.1 มาเสียบสายเทอร์โมคัปเปิล โดยสอดเข้าทาง space bar หมุนสายให้ติดแน่นกับ space bar สายละ 1 กระป๋อง จากนั้นรวบรวมสายเทอร์โมคัปเปิลทั้งหมดต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ นำกระป๋องฆ่าเชื้อในน้ำเดือด (98 องศาเซลเซียส) ทำการ

บันทึกข้อมูลทุกๆ 1 นาที ตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่ทดลองจนกระทั่งอุณหภูมิ ณ จุดร้อนช้าที่สุด สูงกว่า 95 องศาเซลเซียส จึงเริ่มทำการ cooling จนกระทั่งอุณหภูมิภายในกระป๋องลดลงต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส นำผลการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและเวลาที่ได้ไปสร้าง heating curve เพื่อหาตำแหน่งร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด

### 3.3 การศึกษาเพื่อหาค่า Sterilization value ($F^{8.9}_{100}$) ของผลิตภัณฑ์ในน้ำเดือด

การทดลองในขั้นตอนที่ 3.1.3 จะสามารถกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกและเนื้อลิ้นจี่ตีป่น ขณะเดียวกันในการทดลองที่ 3.2.2 จะทราบตำแหน่งของ จุดร้อนช้าที่สุดของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด ดังนั้นจึงใช้ตำแหน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งศึกษาเพื่อหาค่า sterilization value โดยเตรียมกระป๋องตามขั้นตอน 3.2.1 จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อในน้ำเดือด ซึ่งระยะเวลาฆ่าเชื้อเป็นไปตามข้อ 3.1.3 กำหนดให้อุณหภูมิเริ่มต้นของการฆ่าเชื้อเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส บันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ตามระยะเวลาและอุณหภูมิที่ทดลอง เมื่อครบกำหนดเวลาจึงเริ่ม cooling จนกระทั่งอุณหภูมิภายในกระป๋องลดลงต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส ทำการทดลองทั้งหมด 2 ครั้งๆ ละ 6 กระป๋อง

นำผลการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและเวลาไปคำนวณหาค่า sterilization value โดยใช้วิธี general กำหนดจุลินทรีย์เป้าหมายที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ *Clostridium pasteurianum* เพราะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในอาหารกระป๋องที่ได้รับความร้อนต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ซึ่งวิธีการฆ่าเชื้อแบบนี้ ใช้กับอาหารที่มีความเป็นกรดและเป็นกรดสูง ทั้งนี้ *Cl. pasteurianum* เป็นแบคทีเรียชนิดสร้างสปอร์ ที่จัดอยู่ในกลุ่มมีโซฟิลิก ซึ่งสามารถสลายน้ำตาลในอาหารที่เป็นกรดและเป็นกรดปานกลางแล้วให้กรดบิวทิริก และยังทำให้กระป๋องบวมเนื่องจากการผลิตก๊าซ-คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน (สุมาลี, 2542) สำหรับผลการศึกษาความทนทานต่อความร้อน พบว่า *Cl. pasteurianum* มีค่า $D_{100}$ = 0.1-0.5 นาที ที่พีเอช 4.2-4.5 และ z = 6.7-8.9 องศาเซลเซียส (Stumbo, 1965) ดังนั้นการทดลองนี้จึงยึดงานวิจัยของ National Canners Association (NCA, 1973) ที่ระบุว่า sterilization ของอาหารที่มีพีเอช 3.9 มีค่า $F^{8.9}_{93.3}$ = 0.1 นาที และงานวิจัยของ Azizi and Ranganna (1993b) ที่ระบุว่าผลิตภัณฑ์ผัก ควรปรับกรดให้มีพีเอชน้อยกว่า 4.0 มีค่า $F^{8.9}_{100}$ = 3.5 นาที

นำข้อมูลดังกล่าวไปพล๊อตเพื่อสร้าง heating curve และ cooling curve บนกระดาษ semi-log ซึ่งจากกราฟจะทราบค่า $f_h$, $j_{ch}$, $f_c$ และ $j_{cc}$ และสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาระยะเวลาการฆ่าเชื้อด้วยวิธี Ball formula ในกรณีที่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเริ่มต้น และขนาดกระป๋อง ผลิตภัณฑ์หลังการฆ่าเชื้อต้องนำไปตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี

**3.4 การวิเคราะห์คุณภาพ**

***3.4.1 สมบัติทางกายภาพ***

- ค่าสี L a* b* ด้วยเครื่อง Color Quest II (Hunter Lab, 1997)
- น้ำหนักสุทธิและน้ำหนักเนื้ออาหาร
- ปริมาตรช่องว่างเหนืออาหารในกระป๋อง
- ความเป็นสุญญากาศในกระป๋อง โดยใช้ Vacuum gauge

***3.4.2 ส่วนประกอบทางเคมี***

- พีเอช ตามวิธี AOAC (1995)
- ปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไตเตรทได้ ตามวิธี AOAC (1995)
- ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ตามวิธี AOAC (1995)
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง ปริมาณน้ำตาลซูโครส และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ตามวิธี Lane and Eynon (AOAC, 1995)

***3.4.3 การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์***

- จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (มอก. 335 เล่ม)
- ยีสต์และรา (มอก. 335 เล่ม 1)
- โคลิฟอร์ม (มอก. 335 เล่ม 1)
- แฟตซาวร์ (มอก. 335 เล่ม 1)
- อะซิดูริกสปอยเลจบักเตรี (มอก. 335 เล่ม 1)

**3.5 การวิเคราะห์และประเมินผลทางสถิติ**

ข้อมูลที่ได้จากศึกษาการแทรกผ่านความร้อนนำมาคำนวณหาเวลาฆ่าเชื้อโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel ส่วนการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมีวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Statistic version 4.10

## *ตอนที่ 4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส และอายุการเก็บรักษา*

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกและเนื้อลิ้นจี่ตีป่นที่บรรจุกระป๋อง 2 ขนาด คือ A1 และ A10 รวมทั้งอายุการเก็บรักษา โดยตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตาม มอก. ลิ้นจี่บรรจุกระป๋อง (มอก. 67, 2539) เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) นาน 1 วัน และทุกๆ 2 เดือน เป็นเวลานาน 12 เดือน ติดต่อกัน นอกจากนี้ยังตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านประสาทสัมผัส เพื่อทดสอบความพอใจของ

ผู้บริโภค เมื่อนำเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แยม และนำเนื้อลิ้นจี่ตีป่นมาแปรรูปเป็นน้ำลิ้นจี่พร้อมดื่ม โดยใช้แบบทดสอบ Hedonic structural scale ภายหลังการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 0, 4, 8 และ 12 เดือน ตามลำดับ

**4.1 การวิเคราะห์คุณภาพ**

***4.1.1 สมบัติทางกายภาพ***

- ค่าสี L a* b* ด้วยเครื่อง Color Quest II (Hunter Lab, 1997)
- น้ำหนักสุทธิและน้ำหนักเนื้ออาหาร
- ปริมาตรช่องว่างเหนืออาหารในกระป๋อง
- ความเป็นสุญญากาศในกระป๋อง โดยใช้ Vacuum gauge

***4.1.2 ส่วนประกอบทางเคมี***

- พีเอช ตามวิธี AOAC (1995)
- ปริมาณกรดทั้งหมดที่สามารถไตเตรทได้ ตามวิธี AOAC (1995)
- ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ตามวิธี AOAC (1995)
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง ปริมาณน้ำตาลซูโครส และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ตามวิธี Lane and Eynon (AOAC, 1995)

***4.1.3 การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์***

- จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (มอก. 335 เล่ม 1)
- ยีสต์และรา (มอก. 335 เล่ม 1)
- โคลิฟอร์ม (มอก. 335 เล่ม 1)
- แฟตซาวร์(มอก. 335 เล่ม 1)
- อะซิดูริกสปอยเลจบักเตรี (มอก. 335 เล่ม 1)

***4.1.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส***

ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน ทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการนำเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกที่อายุการเก็บรักษาต่างๆ มาทำเป็นแยมลิ้นจี่ และนำเนื้อลิ้นจี่ตีป่นมาทำเป็นน้ำลิ้นจี่ (รัตนา, 2543) โดยใช้แบบทดสอบ Hedonic structural scale สำหรับรายละเอียดวิธีการเตรียมแยมจากเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกและน้ำลิ้นจี่จากเนื้อลิ้นจี่ตีป่น อยู่ในภาคผนวก

**4.2 การวิเคราะห์และประเมินผลทางสถิติ**

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมีไปวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Statistic version 4.10

# บทที่ 4
# ผลการทดลองและวิจารณ์
# การศึกษาพัฒนาลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกและอายุการเก็บรักษา

## 4.1 การสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์เพื่อหาลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์

การสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์ เพื่อหาลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ตามความคิดของผู้บริโภค เป็นวิธีการสร้างแนวความคิดผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์ที่จะพัฒนาควรมีลักษณะอย่างไร และควรมีทิศทางการพัฒนาไปในทิศทางใด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคมากที่สุด ซึ่งการสร้างแนวความคิดผลิตภัณฑ์ในครั้งนี้ได้ใช้วิธี ideal ratio profile ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์ด้วยค่าสัดส่วน โดยให้ผู้บริโภคแสดงความเข้มหรือความมากน้อยของลักษณะคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภคจะเป็นผู้กำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์เอง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่กำลังพัฒนามีเค้าโครงลักษณะที่เหมือน หรือคล้ายกับความต้องการของผู้บริโภค (ไพโรจน์, 2539) ผลการสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก พบว่า ลักษณะผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่ผู้บริโภคคิดว่าสำคัญจำแนกออกได้เป็น 3 กลุ่มคือ

1. ลักษณะที่ปรากฏภายนอก ลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ สีเปลือกของผลลิ้นจี่อบแห้ง
2. กลิ่น และรสชาติ ลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ กลิ่นลิ้นจี่ รสหวาน และรสเปรี้ยว
3. การยอมรับโดยรวม

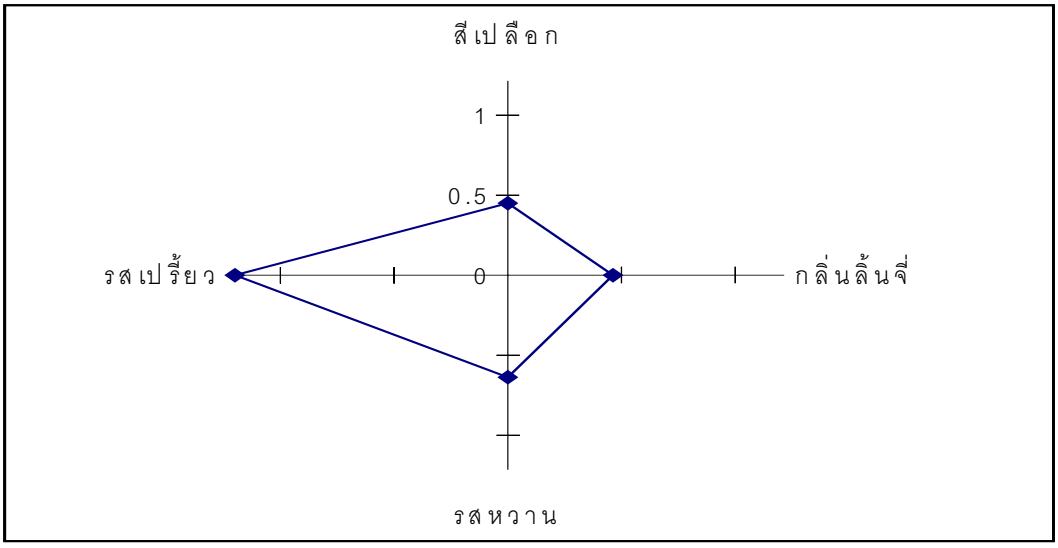
ผลการศึกษาเพื่อหาลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่ผู้บริโภคต้องการแสดงดังตาราง 4.1 จากตารางแสดงให้เห็นว่าลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ทั้ง 5 คุณลักษณะดังกล่าว มีค่าสัดส่วน (ideal ratio score) เท่ากับ $0.45 \pm 0.12$, $0.46 \pm 0.12$, $0.63 \pm 0.19$, $1.19 \pm 0.15$ และ $0.52 \pm 0.13$ ตามลำดับ ผลการสอบถามถึงลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการ พบว่า ทุกลักษณะที่สำคัญ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าผู้บริโภคมีความคิดเห็นแตกต่างกันบ้างในการคัดเลือกลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ แต่ยังมีความต้องการลักษณะของผลิตภัณฑ์ไปในทิศทางเดียวกัน จึงสามารถนำมากำหนดเป็นลักษณะที่สำคัญในการพัฒนาลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก โดยค่าสัดส่วนของแต่ละลักษณะสามารถนำมาสร้างเป็นเค้าโครงผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกได้ดังรูป 4.1

**ตาราง 4.1 ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคต้องการและค่าสัดส่วน Ideal ratio profile**

| ลักษณะผลิตภัณฑ์ | Ideal score (I; ซม.) | Sample score (S; ซม.) | Ideal ratio score (S/I) |
|---|---|---|---|
| 1. ลักษณะปรากฏ | | | |
| - สีเปลือก | 7.01 | 3.15 | 0.45**±0.12** |
| 2. กลิ่นและรสชาติ | | | |
| - กลิ่นลิ้นจี่ | 6.50 | 2.99 | 0.46*±0.12 |
| - รสหวาน | 7.09 | 4.47 | 0.63*±0.19 |
| - รสเปรี้ยว | 6.91 | 8.22 | 1.19*±0.15 |
| 3. การยอมรับโดยรวม | 10.00 | 5.20 | 0.52*±0.13 |

หมายเหตุ : * ที่กำกับแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกับค่า Ideal score อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

** ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



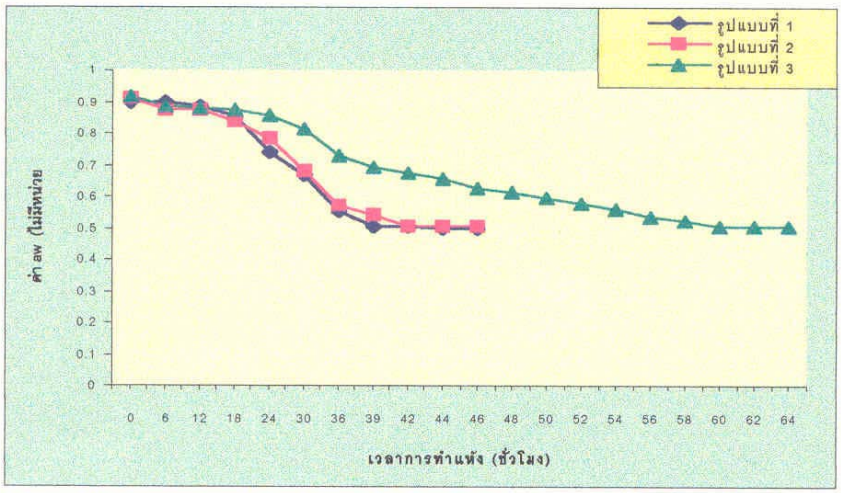

รูปที่ 4.1 ลักษณะเค้าโครงผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก

ในรูป 4.1 แสดงให้เห็นว่า ค่าสัดส่วนของสีเปลือกลิ้นจี่อบแห้ง กลิ่นลิ้นจี่ รสหวาน และการยอมรับโดยรวม มีค่าสัดส่วนน้อยกว่า 1 และค่าสัดส่วนของแต่ละลักษณะมีความแตกต่างจากจุดที่ผู้บริโภคคิดว่าดีที่สุด (ideal) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีสีเปลือก กลิ่นลิ้นจี่ รสหวาน และการยอมรับโดยรวมต่ำกว่าจุดที่ผู้บริโภคคิดว่าดีที่สุด ดังนั้นจึงควรพัฒนาคุณลักษณะดังกล่าวไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้น ส่วนลักษณะทางด้านรสเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์ พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าสัดส่วนมากกว่า 1 และมีความแตกต่างจากจุดที่ผู้บริโภคคิดว่าดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) แสดงว่าผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่จำหน่ายในท้องตลาดมีรสเปรี้ยวมากเกินไป ดังนั้นจึงควรพัฒนาคุณลักษณะดังกล่าวไปในทิศทางที่ลดลง การที่ผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีคุณภาพไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคนั้น อาจเนื่องจากในการผลิตลิ้นจี่อบแห้งในประเทศไทย ผู้ผลิตมักใช้ผลลิ้นจี่ที่มีคุณภาพต่ำ เช่น ลิ้นจี่ผลเล็ก ลิ้นจี่ผลร่วง และลิ้นจี่ผลแตก มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตจึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ เช่น มีรสเปรี้ยวมากเกินไป สีผิวเปลือกไม่สวย เป็นต้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

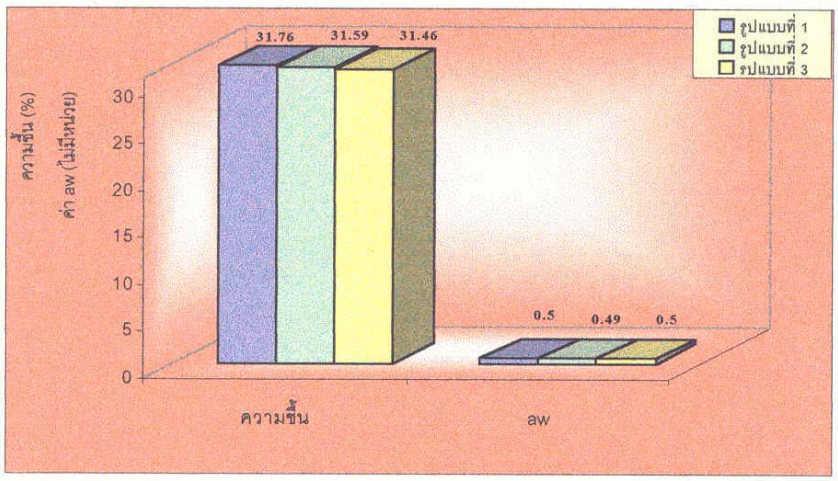
## 4.2 ผลการศึกษารูปแบบอุณหภูมิเพื่อใช้เป็นแนวทางในการอบแห้ง

การศึกษาเพื่อหารูปแบบอุณหภูมิและเวลาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการอบแห้งผลลิ้นจี่ทั้งเปลือกได้ศึกษารูปแบบอุณหภูมิการอบแห้งมาแล้ว 6 รูปแบบ พบว่ามีรูปแบบอุณหภูมิ 3 รูปแบบที่มีแนวโน้มเหมาะสำหรับนำมาใช้ในการอบแห้งผลลิ้นจี่ทั้งเปลือก ดังนั้นจึงศึกษารูปแบบอุณหภูมิทั้ง 3 รูปแบบ โดยการวัดค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่ที่ลดลงระหว่างการอบแห้ง ผลการศึกษาแสดงดังรูป 4.2-4.3

การศึกษาแนวทางในการอบแห้งผลลิ้นจี่ทั้งเปลือกโดยใช้รูปแบบการอบแห้ง 3 รูปแบบที่มีผลต่อการลดลงของค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่ระหว่างการอบแห้ง ซึ่งค่า $a_w$ เป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของอาหารแห้ง โดยทั่วไปผลไม้แห้งจะมีค่า $a_w$ อยู่ระหว่าง 0.5-0.65 ซึ่งจะมีความคงตัวมากที่สุด (Gordon, 1993) ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบการอบแห้งที่แตกต่างกันมีผลต่อการลดลงของค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่ระหว่างการอบแห้งแตกต่างกัน จากรูป 4.2 แสดงให้เห็นว่าในช่วง 18 ชั่วโมงแรกของระยะเวลาการอบแห้ง การอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบมีผลให้ผลลิ้นจี่มีค่า $a_w$ ลดลงใกล้เคียงกัน จนถึง ชั่งโมงที่ 24 ของการอบแห้งพบว่า การอบแห้งรูปแบบที่ 1 และ 2 เริ่มมีผลให้ผลลิ้นจี่มีค่า $a_w$ ลดลงมากกว่าการอบแห้งรูปแบบที่ 3 โดยมีค่า $a_w$ เท่ากับ 0.74, 0.78 และ 0.85 ตามลำดับ จากค่า $a_w$ แสดงให้เห็นว่าน้ำที่ลดลงในช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นน้ำอิสระที่อยู่ในผลลิ้นจี่ การที่รูปแบบการอบแห้งที่ 1 และ 2 มีการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งให้สูงขึ้น จะมีผลช่วยเร่งให้น้ำอิสระระเหยออกไปได้มากขึ้น จึงเป็นผลให้การอบแห้งรูปแบบที่ 1 และ 2 มีค่า $a_w$ ลดลงมากกว่าการอบแห้งรูปแบบที่ 3 นอกจากนี้พบว่า การอบแห้งรูปแบบที่ 1 และ 2 ยังคงมีผลให้ผลลิ้นจี่




รูปที่ 4.2 ค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่ที่ลดลงระหว่างการอบแห้ง โดยวิธีการอบแห้ง 3 รูปแบบ




รูปที่ 4.3 ปริมาณความชื้นและค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ

หมายเหตุ : รูปแบบที่ 1 : อบที่อุณหภูมิ 60 °ซ นาน 6 ชม. เพิ่มเป็น 70 °ซ อบนาน 6 ชม. เพิ่มเป็น80 °ซ อบนาน 15 ชม.ลดลงเหลือ 70 °ซ นาน 12 ชม. และลดลงเหลือ 60 °ซ

รูปแบบที่ 2 : อบที่อุณหภูมิ 60 °ซ นาน 6 ชม. เพิ่มเป็น 70 °ซ อบนาน 6 ชม. เพิ่ม เป็น 80 °ซ อบนาน 24 ชม. ลดลงเหลือ 70 °ซ

รูปแบบที่ 3 : อบที่อุณหภูมิ 60 °ซ

การอบแห้งทุกรูปแบบทำการอบแห้งจนกว่าผลลิ้นจี่จะมีค่า $a_w$ ลดลงเท่ากับ 0.5

มีค่า $a_w$ ลดลงอย่างรวดเร็วและใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาการอบแห้ง จนถึงชั่วโมงที่ 39 พบว่าผลลิ้นจี่จากการอบแห้งรูปแบบที่ 2 มีค่า $a_w$ ลดลงเท่ากับ 0.51 ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้ผลลิ้นจี่มีความคงตัวเพิ่มมากขึ้น และเมื่อระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้นเป็น 42 ชั่งโมงพบว่าไม่มีผลทำให้ผลลิ้นจี่มีค่า $a_w$ ลดลง เช่นเดียวกับการอบแห้งรูปแบบที่ 1 ที่มีผลให้ผลลิ้นจี่มีค่า $a_w$ ลดลงเท่ากับ 0.50 เมื่ออบแห้งนาน 42 ชั่วโมง และเมื่อระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้นถึง 46 ชั่วโมงก็ไม่มีผลให้ผลลิ้นจี่มีค่า $a_w$ ลดลง ส่วนการอบแห้งรูปแบบที่ 3 พบว่าต้องใช้เวลาการอบแห้งนานถึง 60 ชั่วโมงจึงจะมีผลให้ผลลิ้นจี่มีค่า $a_w$ เท่ากับ 0.51 และเมื่ออบแห้งนานถึง 64 ชั่วโมงพบว่า ผลลิ้นจี่มีค่า $a_w$ ลดลงเท่ากับ 0.50 ซึ่งไม่มีความแตกต่างจากการอบแห้งที่ 60 ชั่วโมง

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งรูปแบบที่ 1 และ 2 ใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 42 และ 39 ชั่วโมง ตามลำดับ ก็เพียงพอให้ผลลิ้นจี่มีค่า $a_w$ ลดลงประมาณ 0.5 แต่การอบแห้งรูปแบบที่ 3 ต้องใช้เวลานานถึง 60 ชั่วโมง เนื่องจากในการอบแห้งน้ำที่ถูกกำจัดออกไปในตอนแรกคือน้ำอิสระ หลังจากนั้นเมื่อค่า $a_w$ ลดลงถึง 0.75 น้ำที่ถูกกำจัดออกไปจะเป็นน้ำประเภทที่ยึดเกาะอยู่ในผลลิ้นจี่ด้วยพันธะไอออนิก การที่รูปแบบการอบแห้งรูปแบบที่ 1 และ 2 มีการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น จะช่วยเร่งน้ำอิสระให้ออกไปมากขึ้น และยังมีผลช่วยเร่งการระเหยของน้ำที่ยึดเกาะด้วยพันธะไอออนิก ซึ่งต้องใช้พลังงานสูงกว่าการกำจัดน้ำอิสระออกไป (รุ่งนภา, 2535) จึงเป็นผลให้การอบแห้งรูปแบบที่ 1 และ 2 ใช้เวลาการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งรูปแบบที่ 3

เมื่อวัดปริมาณความชื้นและค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้งพบว่า ผลลิ้นจี่อบแห้งจากการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ มีความชื้นและค่า $a_w$ ไม่แตกต่างกัน (รูป 4.3) โดยมีความชื้นเท่ากับ 31.76, 31.59 และ 31.46 % มีค่า $a_w$ เท่ากับ 0.50, 0.49 และ 0.50 เมื่อใช้ระยะเวลาอบแห้ง 42, 39 และ 60 ชั่วโมง ตามลำดับ

ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยวิธี Structured scaling test พบว่า ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถบ่งชี้ความแตกต่างของลักษณะทางด้านสีเปลือกของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ โดยผู้ทดสอบชิมให้ลักษณะทางด้านสีเปลือกของผลลิ้นจี่อบแห้งว่าเป็นสีน้ำตาล ส่วนลักษณะทางด้านกลิ่นและรสชาติ ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนกลิ่นและรสชาติของผลลิ้นจี่อบแห้งรูปแบบที่ 1 และ 3 แตกต่างจากผลลิ้นจี่อบแห้งรูปแบบที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) (ตาราง 4.2) โดยผู้ทดสอบชิมให้ลักษณะทางด้านกลิ่นและรสชาติของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ ว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากวิธีการอบแห้งรูปแบบที่ 1 และ 3 ยังคงมีกลิ่นของลิ้นจี่เหลืออยู่ในระดับที่สามารถรับกลิ่นได้ และมีรสชาติเปรี้ยว ส่วนผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากวิธีการอบแห้งรูปแบบที่ 2 มีกลิ่นลิ้นจี่เหลืออยู่น้อยและมีรสขม การที่ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากการอบแห้งรูปแบบที่ 2 มีกลิ่นลิ้นจี่เหลืออยู่น้อยและมีรสขมนั้นอาจเนื่องมากจาก การอบแห้งรูปแบบที่ 2 มีการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นานถึง 24 ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าการอบแห้งรูปแบบที่ 1 ถึง 9 ชั่วโมง ซึ่งการอบแห้งช่วงที่ปริมณน้ำในผลลิ้นจี่ถูกระเหยออกไปมากทำให้น้ำตาลในผลลิ้นจี่เพิ่มสูงขึ้นประกอบกับ

อุณหภูมิสูงถึง 80 องศาเซลเซียส ทำให้เกิด caramelization (Gustavo and Humberto, 1996) เป็นเหตุให้ผลลิ้นจี่อบแห้งจากการอบแห้งรูปแบบที่ 2 มีรสขม

**ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผลลิ้นจี่อบแห้งที่มีรูปแบบอุณหภูมิอบแห้งแตกต่างกันโดยวิธี Structure scaling test**

| รูปแบบอุณหภูมิ | ลักษณะของผลลิ้นจี่อบแห้ง | | |
|---|---|---|---|
| | สีเปลือก | กลิ่นลิ้นจี่ | รสชาติ |
| 1 | 3.99±0.07 | 5.97±0.22 | 14.29±0.14 |
| 2 | 4.15±0.03 | 13.68±0.45 | 17.57±0.42 |
| 3 | 4.02±0.16 | 5.79±0.30 | 14.93±0.56 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

คะแนนที่ปรากฏแสดงลักษณะต่างๆ ของผลลิ้นจี่ดังนี้

| สีเปลือก | | | กลิ่นลิ้นจี่ | | | รสชาติ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | = | สีน้ำตาลเข้ม | 1 | = | เด่นชัด | 1 | = | หวานมาก |
| 5 | = | สีน้ำตาล | 5 | = | สามารถรับได้ | 5 | = | หวาน |
| 10 | = | สีน้ำตาลแดง | 10 | = | สามารถรับได้เล็กน้อย | 10 | = | เปรี้ยว |
| 15 | = | สีแดง | 15 | = | ไม่สามารถรับได้ | 15 | = | เปรี้ยวมาก |
| 20 | = | สีแดงเข้ม | 20 | = | มีกลิ่นอื่นเจือปน | 20 | = | มีรสอื่นเจือปน |

## 4.3 ผลการศึกษาระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้ง

### 4.3.1 ผลการศึกษาระยะความแก่-อ่อนของผลลิ้นจี่

#### 4.3.1.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ แสดงดังรูป 4.4 -4.5

**น้ำหนักและปริมาณส่วนประกอบของผลลิ้นจี่ :** ผลลิ้นจี่ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนคือ เปลือก เนื้อ และเมล็ด ขณะที่ผลลิ้นจี่มีการเจริญเติบโตจะมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีการพัฒนาของส่วนประกอบภายในของผลลิ้นจี่เพิ่มมากขึ้นตามระยะความแก่ของผลลิ้นจี่ (Holcroft and Mitcham, 1996) ผลการศึกษาพบว่า ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ มีน้ำหนัก และปริมาณเนื้อลิ้นจี่มากกว่าผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่มีปริมาณเปลือก และเมล็ดไม่แตกต่างกัน (รูป 4.4) ขณะที่ผลลิ้นจี่เจริญเติบโตจะมีการสร้างส่วนที่เป็นเปลือก และเมล็ดก่อนแล้วจึงสร้างส่วนเนื้อที่บริโภคได้ (Holcroft and Mitcham, 1996) หลังจากนั้นผลลิ้นจี่จะมีการเพิ่มขนาดของผลให้ใหญ่ขึ้น จึงทำให้มีน้ำหนักผล ปริมาณเปลือก เนื้อ และเมล็ด เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งผลลิ้นจี่เข้าสู่ระยะแก่ เปลือกและเมล็ดของผลลิ้นจี่มีปริมาณเริ่มคงที่ แต่ผลลิ้นจี่ยังคงมีน้ำหนักทั้งผลและปริมาณเนื้อเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งผลลิ้นจี่เริ่มเข้าสู่ระยะการสุกเต็มที่ (Javier *et al.*, 1999) จึงเป็นสาเหตุให้ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ มีน้ำหนักทั้งผล และปริมาณเนื้อลิ้นจี่มากกว่าผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ ดังนั้นการเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่ในระยะที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลลิ้นจี่ที่มีน้ำหนักน้อย และมีปริมาณเนื้อน้อย อย่างไรก็ตามการใช้ขนาดของผลเป็นดัชนีสำหรับการบ่งชี้ความบริบูรณ์ของผลลิ้นจี่นั้นไม่ค่อยถูกต้องนัก เพราะน้ำหนักของผลขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้น และปริมาณการติดผล และไม่ว่าผลลิ้นจี่จะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ต่างก็ใช้ระยะเวลาการเจริญเติบโตจนถึงวัยบริบูรณ์ใกล้เคียงกัน (จริงแท้, 2538)

**ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกและเนื้อลิ้นจี่ :** การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารนิยมวัดในรูปหน่วยของแรงสูงสุดที่ใช้ไป มีหน่วยเป็นนิวตัน และพลังงานที่มีหน่วยเป็นมิลลิจูล โดยใช้เครื่อง Instron ซึ่งส่วนใหญ่มักแสดงในรูปแรงเค้น (stress) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของแรงที่กระทำต่อวัตถุในรูปของแรงต่อพื้นที่ และแรงเครียด (strain) คือผลของการเปลี่ยนแปลงในด้านรูปร่างหรือขนาด อันเนื่องมาจากแรงที่กระทำต่อวัตถุนั้นๆ (Giese, 1995) สำหรับชนิดของแรงที่ใช้วัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกลิ้นจี่ คือ แรงกด (compressive) ซึ่งเป็นแรงที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อวัตถุ และวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่ โดยใช้แรงเฉือน (shear) ซึ่งเป็นแรงที่สัมผัสโดย

ตรงกับวัตถุและเป็นแรงที่ทำให้วัตถุสูญเสียรูปร่างที่แน่นอน (Raganna, 1985) ผลการศึกษาพบว่าเปลือกผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่และไม่แก่เต็มที่มีค่าแรงกดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าแรงกดเท่ากับ 14.76 และ 15.44 นิวตัน ตามลำดับ แสดงว่าเปลือกของผลลิ้นจี่ทั้ง 2 ระยะมีลักษณะความแข็งไม่แตกต่างกัน ส่วนผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่ พบว่า ค่าแรงเฉือน ของเนื้อลิ้นจี่จากผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ และเนื้อลิ้นจี่จากผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ มีค่าเท่ากับ 13.96 และ 14.14 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงว่าเนื้อลิ้นจี่มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกัน

**ค่าสีของเปลือกลิ้นจี่ :** ผลการวัดค่าสีเปลือกผลลิ้นจี่พบว่า ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่เปลือกจะมีค่าสี L และ $b^*$ น้อยกว่าผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่เปลือกมีค่าสี L และ $b^*$ เท่ากับ 36.02 และ 20.16 ตามลำดับ ส่วนผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ เปลือกมีค่าสี L และ $b^*$ เท่ากับ 43.27 และ 26.23 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ เปลือกมีค่าสี $a^*$ มากกว่าผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (รูป 4.5) คือมีค่าเท่ากับ 23.63 และ 19.19 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่เปลือกจะมีสีแดงมากกว่าผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ สาเหตุที่ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่มีลักษณะสีเปลือกเป็นสีแดงมากกว่าผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ เนื่องจากในเปลือกผลลิ้นจี่มีรงควัตถุที่สำคัญ 2 ชนิด คือคลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นสารที่ให้สีเขียวในเปลือกลิ้นจี่ จะมีมากในขณะที่ผลลิ้นจี่ยังไม่แก่ และแอนโทไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงในเปลือกผลลิ้นจี่ ขณะที่ผลลิ้นจี่มีการพัฒนาระยะความแก่-อ่อนเพิ่มมากขึ้นและเริ่มสุก ปริมาณคลอโรฟิลล์ในเปลือกผลลิ้นจี่จะค่อยๆลดลง พร้อมกับมีการสังเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้สามารถมองเห็นผลลิ้นจี่เป็นสีแดงเพิ่มมากขึ้นเมื่อผลลิ้นจี่มีระยะการสุกเพิ่มมากขึ้น (Holcroft and Mitcham, 1996)

**4.3.1.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี**

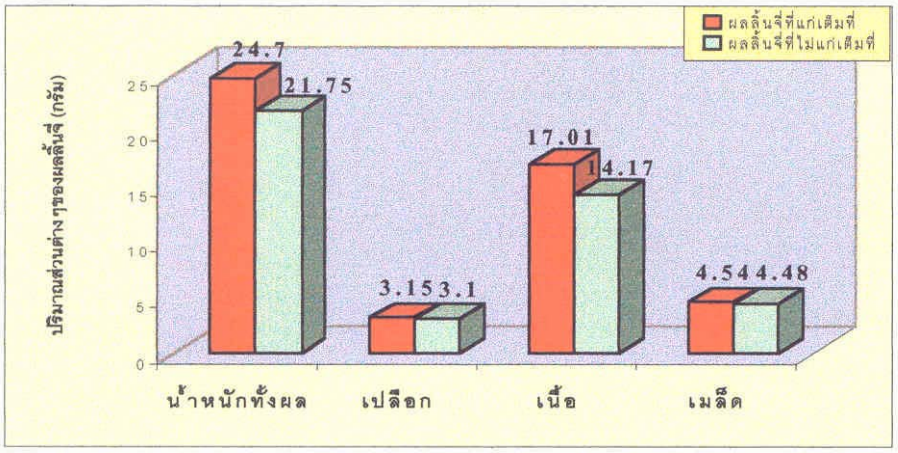
ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่แสดงดังรูป 4.5-4.6

**ปริมาณกรดทั้งหมดและค่าพีเอช :** ผลการศึกษาพบว่า ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ มีปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือก และค่าพีเอชในเปลือกและเนื้อลิ้นจี่ไม่มีความแตกต่างกัน (รูป 4.6 ) ซึ่งผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่ มีปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือกเท่ากับ 0.25 และ 0.28 กรัม ต่อ100 กรัม น้ำหนักเปลือกลิ้นจี่ ตามลำดับ มีค่าพีเอช เท่ากับ 4.73 และ 4.63 ตามลำดับ และเนื้อลิ้นจี่มีค่าพีเอช เท่ากับ 4.36 และ 4.22 ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่พบว่า เนื้อลิ้นจี่จากผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่มีปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรด

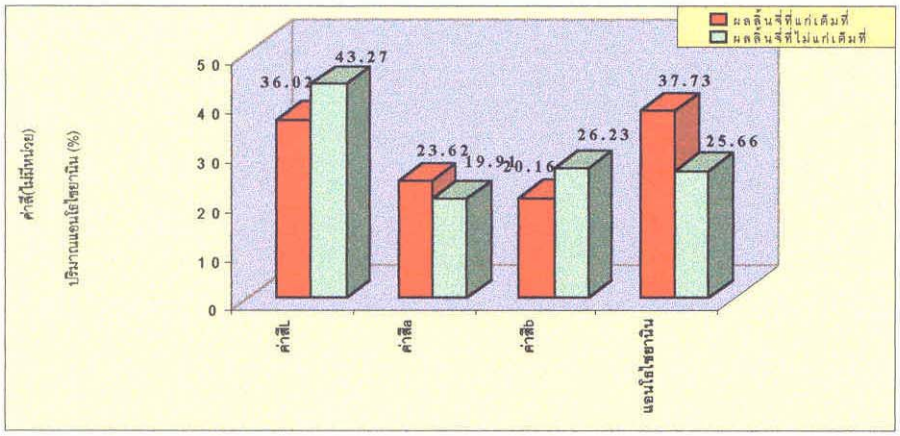
มาลิก น้อยกว่าผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) คือมีค่าเท่ากับ 0.48 และ 0.54 กรัม ต่อ100 กรัมน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่ ตามลำดับ ผลลิ้นจี่เมื่อมีระยะการสุกเพิ่มมากขึ้นปริมาณกรดในเนื้อลิ้นจี่จะลดลง (Holcroft and Mitcham, 1996) เนื่องจากขณะที่ผลลิ้นจี่มีการพัฒนาปริมาณกรดที่สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของเนื้อลิ้นจี่จะถูกนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหายใจ ซึ่งอัตราการหายใจของพืชในส่วนที่กำลังเจริญเติบโตจะสูงมาก และจะลดต่ำลงเรื่อยๆเมื่อเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ทางสรีระวิทยา (จริงแท้, 2538) ด้วยเหตุนี้ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่จึงมีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำกว่าผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่

**ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณน้ำตาล :** ผลการศึกษาพบว่า ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ น้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูป 4.6) ลิ้นจี่เป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ซึ่งผลไม้ประเภทนี้ความหวานหรือน้ำตาลจะได้จากการเคลื่อนย้ายจากใบเข้ามาสะสมในผลขณะที่ผลลิ้นจี่มีการเจริญเติบโต (สายชล, 2528) ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดระหว่างการเจริญเติบโต การสะสมน้ำตาลจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั้งผลลิ้นจี่แก่ การสะสมจะเกิดขึ้นน้อยมากเป็นผลให้ไม่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดหลังจากระยะนี้ (Javier *et.al*, 1999) จึงเป็นผลให้ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มมีปริมาณของแข็งทั้งหมด และปริมาณน้ำตาลไม่แตกต่างกัน

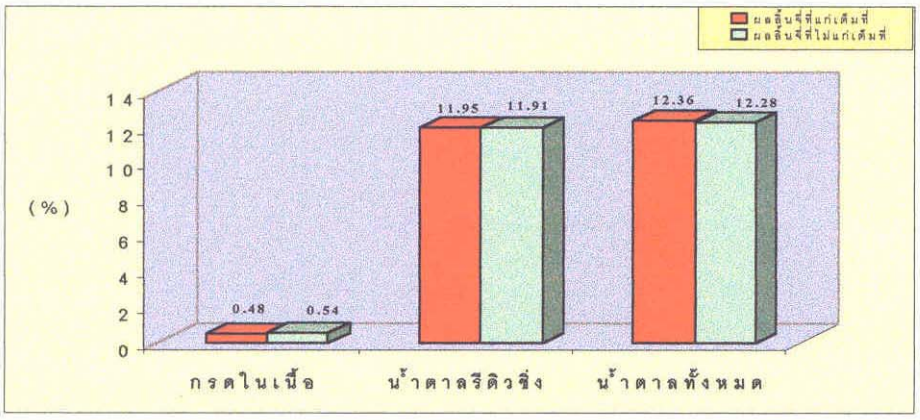
**ปริมาณแอนโทไซยานิน :** ผลการศึกษาพบว่า ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่มีปริมาณแอนโทไซยานินในเปลือกมากกว่าผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (รูป 4.5) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 37.73 และ 25.66 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าสี $a^*$ ที่วัดได้ การที่ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่มีปริมาณแอนโทไซยานินที่แตกต่างกัน เนื่องจากระหว่างที่ผลลิ้นจี่มีการพัฒนา ผลลิ้นจี่จะสังเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับมีการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ จึงสามารถมองเห็นผลลิ้นจี่เป็นสีแดงมากขึ้นเมื่อผลลิ้นจี่มีระยะการสุกเพิ่มขึ้น และปริมาณแอนโทไซยานินจะค่อยๆลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะการเสื่อมสภาพ (Holcroft and Mitcham, 1996) จากความสัมพันธ์ของปริมาณแอนโทไซยานินและระยะความแก่-อ่อนดังกล่าว ปริมาณแอนโทไซยานินจึงเป็นดัชนีบ่งชี้ระยะการสุกของผลลิ้นจี่ได้วิธีหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ปริมาณแอนโทไซยานินนอกจากจะขึ้นอยู่กับระยะความแก่-อ่อนของผลลิ้นจี่แล้ว ยังขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ การเพาะปลูก การได้รับแสงของผลระหว่างการเจริญเติบโต ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ที่ปรากฏ และปริมาณแอนโทไซยานินในเปลือกผลลิ้นจี่ด้วย (Mazza and Miniati, 1993)




รูปที่ 4.4 น้ำหนักผลลิ้นจี่ และปริมาณส่วนประกอบของผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่




รูปที่ 4.5 ค่าสีและปริมาณแอนโธไซยานินในเปลือกผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่




รูปที่ 4.6 ปริมาณกรด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่

**4.3.2 ระยะความแก่-อ่อน และวิธีการรักษาสีแดงของเปลือกลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้ง**

**4.3.2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ**

ผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของผลลิ้นจี่ที่มีระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีที่แตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังการอบแห้งแสดงดังตาราง 4.3-4.4 และรูป 4.7-4.8

**ค่าสีเปลือก :** ผลการศึกษาระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเปลือกผลลิ้นจี่พบว่า การแช่ผลลิ้นจี่ทั้ง 2 ระยะในสารละลายต่างๆ ก่อนการอบแห้งมีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสี สี L, $a^*$ และ $b^*$ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าภายหลังการแช่ผลลิ้นจี่ทั้ง 2 ระยะในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล นาน 15 นาที และสารละลายสีเออริโทซิน ความเข้มข้น 1% นาน 15 นาที ก่อนนำไปอบแห้งมีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่สดมีค่าสี $a^*$ เพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลลิ้นจี่สดที่ไม่แช่ในสารละลายใดๆ (control) ส่วนผลลิ้นจี่สดภายหลังการแช่ในสารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์และกรดซิตริก มีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่มีค่าสี L และ $b^*$ เพิ่มขึ้น แต่มีค่าสี $a^*$ ลดลง

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลลิ้นจี่สดภายหลังการแช่ในสารละลายต่างๆ แสดงดังรูป 4.7a-b จะเห็นได้ว่าผลลิ้นจี่ทั้ง 2 ระยะมีเปลือกเป็นสีแดงเพิ่มมากขึ้นภายหลังการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และสารละลายสีเออริโทซิน เนื่องจากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่สดมีค่าพีเอชลดลง ซึ่งในสภาวะที่ค่าพีเอชต่ำแอนโทไซยานินจะปรากฏเป็นสีแดงเพิ่มมากขึ้น (Dominic, 1989) และการที่ผลลิ้นจี่สดภายหลังการแช่ในสารละลายสีเออริโทซินแล้วมีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่มีสีแดงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสีเออริโทซินเป็นสีผสมอาหารชนิดหนึ่งที่ให้สีแดง มีลักษณะเป็นผงละลายน้ำได้ง่าย (ดวงพร, 2526) เมื่อแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายสีเออริโท-ซิน สีเออริโทซินจะเคลือบอยู่ที่ผิวของเปลือกผลลิ้นจี่ จึงทำให้มองเห็นเปลือกผลลิ้นจี่สดเป็นสีแดงเพิ่มมากขึ้น ส่วนผลลิ้นจี่สดที่แช่ในสารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์และกรดซิตริก แล้วมีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่สดมีลักษณะเป็นสีขาวครีม เนื่องจากโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์จะแตกตัวให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเข้าไปจับกับตำแหน่งที่ 4 ของโครงสร้างแอนโทไซยานิน เป็นผลให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแอนโทไซยานิน (anthocyanin-$SO_3H$ complex) ซึ่งไม่มีสี ผลลิ้นจี่ที่ได้จึงมีลักษณะเป็นสีขาวครีมภายหลังการแช่สารละลายดังกล่าว (Dominic, 1989)

**ตารางที่ 4.3 สมบัติทางกายภาพของผลลิ้นจี่สดภายหลังการแช่ในสารละลายตามวิธีการรักษาสีต่างๆ ก่อนนำไปอบแห้ง**

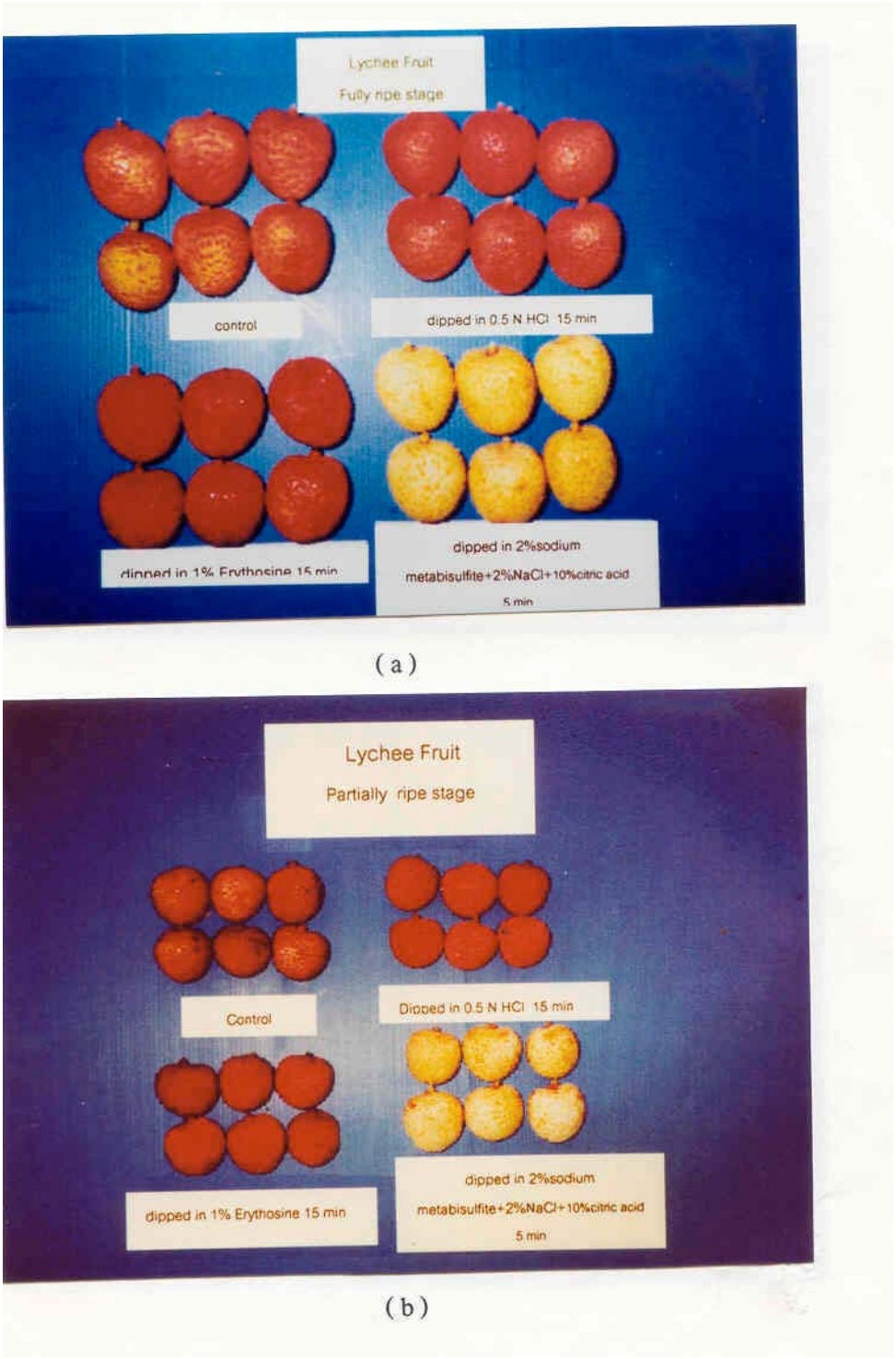
| ปัจจัย | ค่าสีของเปลือกลิ้นจี่สด | | | ลักษณะเนื้อสัมผัส | |
|---|---|---|---|---|---|
| | L | a* | b* | เปลือกลิ้นจี่ (แรงกด, นิวตัน) | เนื้อลิ้นจี่ (แรงเฉือน, นิวตัน) |
| **ระยะความแก่-อ่อน (A)** | | | | | |
| ⊙ ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ ($a_1$) | 45.38±0.61 | 24.58±0.33 | 25.59±0.49 | 14.04±1.48 | 17.25±0.33 |
| ⊙ ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ ($a_2$) | 42.69±0.52 | 23.24±0.17 | 25.75±0.22 | 15.49±1.01 | 17.57±0.41 |
| **วิธีการรักษาสี (B)** | | | | | |
| ⊙ ไม่แช่ในสารละลาย ($b_1$) | $37.60^{c}$±0.35 | $26.83^{b}$±0.67 | $19.76^{b}$±0.54 | $17.96^{a}$±0.76 | 17.45±0.49 |
| ⊙ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ($b_2$) | $41.44^{b}$±0.44 | $33.87^{a}$±0.22 | $22.77^{b}$±0.61 | $8.04^{b}$±0.92 | 17.26±1.12 |
| ⊙ สารละลายสีเออริโทซิน ($b_3$) | $32.78^{d}$±0.21 | $32.74^{a}$±0.37 | $22.25^{b}$±0.72 | $17.03^{a}$±0.88 | 17.33±0.83 |
| ⊙ สารละลายผสมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ + โซเดียมคลอไรด์ + กรดซิตริก ( $b_4$) | $64.62^{a}$±0.18 | $2.19^{c}$±0.11 | $37.90^{a}$±0.44 | $15.93^{a}$±0.66 | 17.60±0.72 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

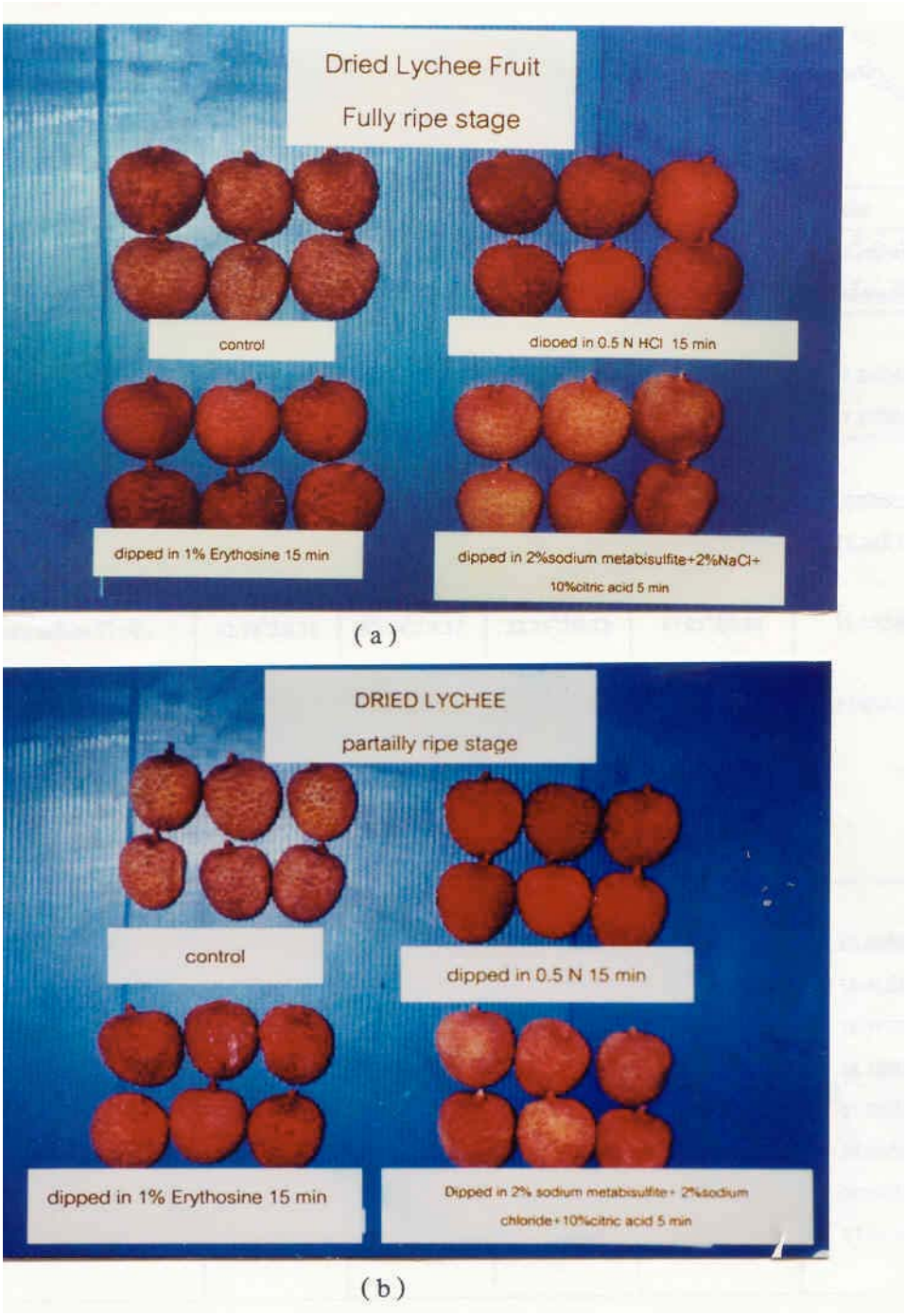
**ตารางที่ 4.4 สมบัติทางกายภาพของผลลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้งจากการใช้ระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีแดงที่แตกต่างกัน**

| ปัจจัย | ค่าสีของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้ง | | | ลักษณะเนื้อสัมผัส | |
|---|---|---|---|---|---|
| | L | a* | b* | เปลือกลิ้นจี่ (แรงกด, นิวตัน) | เนื้อลิ้นจี่ (แรงเฉือน, นิวตัน) |
| ระยะความแก่-อ่อน (A) | | | | | |
| ⊙ ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ ($a_1$) | 33.68±0.98 | 21.33±0.95 | 21.24±0.46 | 11.15±0.26 | 21.89±0.54 |
| ⊙ ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ ($a_2$) | 34.05±1.22 | 20.97±0.78 | 21.77±0.32 | 10.78±0.60 | 21.88±0.01 |
| วิธีการรักษาสี (B) | | | | | |
| ⊙ ไม่แช่ในสารละลาย ($b_1$) | $35.33^{a}$±1.86 | $11.79^{d}$±0.08 | $23.42^{a}$±0.09 | 10.91±0.61 | 21.36±0.18 |
| ⊙ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ($b_2$) | $33.97^{b}$±1.93 | $27.27^{a}$±2.58 | $20.60^{c}$±0.69 | 11.02±1.23 | 21.87±1.06 |
| ⊙ สารละลายสีเออริโธซิน ($b_3$) | $30.58^{c}$±1.14 | $23.61^{b}$±0.03 | $20.72^{c}$±0.03 | 10.61±0.83 | 22.02±0.09 |
| ⊙ สารละลายผสมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ + โซเดียมคลอไรด์ + กรดซิตริก ( $b_4$) | $35.57^{a}$±1.77 | $21.92^{c}$±0.79 | $21.29^{b}$±0.23 | 11.32±0.78 | 22.30±0.23 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$




**รูป 4.7 ลักษณะของผลลิ้นจี่สดภายหลังการแช่ในสารละลายก่อนนำไปอบแห้ง**
**(a) ผลลิ้นจี่สดที่แก่เต็มที่ภายหลังการแช่ในสารละลายก่อนนำไปอบแห้ง**
**(b) ผลลิ้นจี่สดที่แก่ไม่เต็มที่ภายหลังการแช่ในสารละลายก่อนนำไปอบแห้ง**




**รูป 4.8 ลักษณะของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก ที่มีระยะความแก่อ่อนและวิธีการรักษาสีแดงของเปลือกแตกต่างกัน**

**(a) ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่ได้จากผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่และรักษาสีแดงของเปลือกด้วยวิธีการต่างๆ**

**(b) ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่ได้จากผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่และรักษาสีแดงของเปลือกด้วยวิธีการต่างๆ**

เมื่อนำผลลิ้นจี่ทั้ง 2 ระยะที่ผ่านการรักษาสีด้วยวิธีการต่างๆ ไปทำการอบแห้ง เพื่อศึกษาถึงระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสี ที่มีผลต่อการคงอยู่ของสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้ง พบว่าระยะความแก่-อ่อนของผลลิ้นจี่ และวิธีการรักษาสีไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันต่อการรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้ง แต่การคงอยู่ของสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้งขึ้นอยู่กับวิธีการรักษาสีที่ใช้ ตาราง 4.4 แสดงให้เห็นว่าวิธีการรักษาสีที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าสี L, $a^*$ และ $b^*$ ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าการรักษาสีเปลือกผลลิ้นจี่ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล นาน 15 นาที มีผลทำให้เปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีค่าสี $a^*$ มากที่สุด รองลงมาคือการใช้สารละลายสีเออริโทซิน สารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์และกรดซิตริก และวิธีการไม่แช่สารละลายใดๆก่อนการอบแห้ง (control) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล นาน 15 นาที มีผลทำให้เปลือกของผลลิ้นจี่คงสีแดงภายหลังการอบแห้งมากที่สุด (รูป 4.8a-b) สาเหตุที่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล นาน 15 นาที สามารถรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้งได้มากที่สุดนั้น เนื่องจากแอนโทไซยานินเป็นสารที่ให้สีแดงในเปลือกผลลิ้นจี่ มีความคงตัวเพิ่มขึ้น ส่วนความไม่คงตัวของแอนโทไซยานินมีสาเหตุหลายประการ เช่น การทำงานของเอนไซม์ หรือความร้อน ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของแอนโทไซยานิน (Underhill, 1992) การที่จะรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้งนั้น ต้องสามารถเพิ่มความคงตัวให้กับแอนโทไซยานินได้ เพื่อไม่ให้แอนโทไซยานินเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้ง ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสีและความคงตัวของแอนโทไซยานิน คือ โครงสร้างของแอนโทไซยานินที่ปรากฏ เพราะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินขึ้นอยู่กับค่าพีเอชเป็นสำคัญ ที่ค่าพีเอชต่ำโครงสร้างของแอนโทไซยานินจะอยู่ในรูปของ flavylium cation ซึ่งเป็นรูปที่ให้สีแดงและมีความคงตัวมากที่สุด (Dominic, 1989) การแช่ผลลิ้นจี่สดในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจะทำให้เกิดการจับตัวกันระหว่างไฮโดรเจนอิออน ($H^+$) ที่แตกตัวมาจากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกกับโมเลกุลของแอนโทไซยานิน เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินมาอยู่ในรูปของ flavylium cation ที่มีความคงตัวสูง (Mazza and Miniati,1993) ในสภาวะดังกล่าวจึงไม่เกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานินในเปลือกผลลิ้นจี่ระหว่างการอบแห้ง จึงส่งผลให้สามารถรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้งไว้ได้

ส่วนการรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ด้วยวิธีการอื่น คือ การใช้สารละลายสีเออริโทซิน สารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์และกรดซิตริก และวิธีการไม่แช่สารละลายใดๆ ก่อนการอบแห้ง (control) นั้น พบว่าแต่ละวิธีมีผลต่อการคงอยู่ของสีแดงที่เปลือกผลลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้งแตกต่างกัน โดยการใช้สารละสายสีเออริโทซินมีผล

ต่อสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้ง เนื่องจากสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งที่ปรากฏไม่ใช่สีของแอนโทไซยานิน แต่เป็นสีแดงของสีเออริโทซินที่แห้งแล้วเกาะเคลือบอยู่ที่เปลือกผลลิ้นจี่ จึงทำให้เปลือกผลลิ้นจี่มีลักษณะเป็นสีแดง แต่มีข้อเสีย คือ เมื่อนำผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกมารับประทาน สีเออริโทซินจะติดเปื้อนมือผู้บริโภค จึงทำให้ไม่เป็นที่ต้องการ

วิธีการรักษาสีด้วยสารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โซเดียมคลอไรด์ และกรดซิตริก เป็นวิธีการรักษาสีที่มีผลต่อสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งรองลงมาจากวิธีการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก และสารละลายสีเออริโทซิน แต่พบว่าการใช้สารละลายผสมมีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีค่าสี L และ $b^*$ มากกว่าการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล นาน 15 นาที และสารละลายสีเออริโทซินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากการที่เปลือกผลลิ้นจี่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีขาวครีมภายหลังการแช่ในสารละลายผสม ซึ่งประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์และกรดซิตริก ถึงแม้ว่าสีแดงของแอนโทไซยานินสารมารถกลับคืนมาได้อีกครั้ง และมีความคงตัวสูงภายหลังที่มีการสลายตัวของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Yueming *et al.*, 1997) แต่พบว่าภายหลังการอบแห้งผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายที่มีส่วนผสมของโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ มีสีแดงกลับคืนมาบางส่วน และเปลือกผลลิ้นจี่บางส่วนกลายเป็นสีน้ำตาล จึงเป็นผลให้ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากการแช่สารละลายผสมมีค่าสี $a^*$ ต่ำและมีค่าสี $b^*$ มากกว่าการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายสีเออริโทซิน

ส่วนวิธีการไม่แช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายใดๆ ก่อนทำการอบแห้ง (control) พบว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้มีค่าสี $a^*$ น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการรักษาสีด้วยวิธีอื่น โดยผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้เปลือกจะกลายเป็นสีน้ำตาลทั้งผล เนื่องจากเกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานิน อันมีสาเหตุเนื่องมาจากความร้อน (Underhill and Critchley, 1993) การอบแห้งผลลิ้นจี่ทั้งเปลือกโดยไม่แช่สารละลายใดๆ ก่อนการอบแห้ง (control) จึงไม่สามารถรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้งไว้ได้

**ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกและเนื้อลิ้นจี่ :** ผลการศึกษาระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลลิ้นจี่สดพบว่า ภายหลังการแช่ผลลิ้นจี่สดในสารละลายต่างๆ มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่ไม่แตกต่างกัน แต่วิธีการรักษาสีมีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่มีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันภายหลังการแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายต่างๆ โดยพบว่าภายหลังการแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล นาน 15 นาที มีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่มีลักษณะอ่อนลงมากกว่าเปลือกผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายชนิดอื่นๆ เมื่อพิจารณาในรูปของค่าแรงกดที่กระทำต่อเปลือกผลลิ้นจี่ พบว่าเปลือกผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดร-คลอริกมีค่าแรงกดน้อยกว่าผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) คือมีค่าเท่ากับ 8.04 นิวตัน ขณะที่เปลือกผลลิ้นจี่สดที่แช่ในสารละลายชนิดอื่นๆ มีค่าแรงกดอยู่ในช่วง

15.93-17.96 นิวตัน (ตาราง 4.3) ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกผลลิ้นจี่สดประกอบไปด้วยเซลลูโลส ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเปลือกผลลิ้นจี่ และมีสารเคลือบผิวปกคลุมอยู่บริเวณผิว เมื่อแช่ผลลิ้นจี่สดในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เซลลูโลสซึ่งมีคุณสมบัติละลายได้ง่ายในสารละลายที่เป็นกรดจึงละลายได้ดีในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เป็นผลให้เปลือกผลลิ้นจี่อ่อนตัวลง (Somogyi and Luh, 1986)

ผลการศึกษาระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกและเนื้อลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้ง พบว่าระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือก และเนื้อลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้ง และไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะดังกล่าว ตาราง 4.4 แสดงสมบัติทางกายภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งที่มีวิธีการรักษาสีที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากผลลิ้นจี่ที่มีระยะความแก่-อ่อนทั้ง 2 ระยะ ที่ไม่ได้แช่ในสารละลายใดก่อนการอบแห้ง (control) มีค่าแรงกดที่เปลือกเท่ากับ 11.32 และ 10.51 นิวตัน ตามลำดับ และเนื้อลิ้นจี่อบแห้งมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 21.06 และ 21.67 นิวตัน ตามลำดับ ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัสของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากผลลิ้นจี่ที่รักษาสีด้วยวิธีการต่างๆ มีค่าแรงกดของเปลือกลิ้นจี่อยู่ในช่วง 10.89-11.72 นิวตัน และค่าแรงเฉือนของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งอยู่ในช่วง 21.32-23.09 นิวตัน แสดงให้เห็นว่าสารละลายต่างๆที่ใช้ในการรักษาสีแดงของเปลือกลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของผลลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้ง

**4.3.2.2 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี**

ผลการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่ที่มีระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีที่แตกต่างกัน ทั้งก่อนและหลังการอบแห้งแสดงดังตาราง 4.5-4.6

**ปริมาณกรดทั้งหมดและค่าพีเอช :** ผลการศึกษาพบว่าก่อนการแช่ผลลิ้นจี่สดในสารละลายต่างๆ เปลือกผลลิ้นจี่สดมีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.38 กรัม ต่อ 100 กรัม และมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.70 ภายหลังการแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายต่างๆ พบว่าการแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดไฮโดร-คลอริก และสารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์และกรดซิตริกมีผลให้ผลลิ้นจี่สดมีปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือกเพิ่มมากขึ้น และค่าพีเอชลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเปลือกผลลิ้นจี่สดภายหลังการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอ-ริก และสารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ มีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.66 และ 0.54 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ และมีค่าพีเอชเท่ากับ 3.25 และ 4.35 ตามลำดับ แต่ภายหลังการแช่สารละลายต่างๆ ตามวิธีการรักษาสี พบว่าวิธีการรักษาสีแต่ละวิธีไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดและค่าพีเอชในเนื้อลิ้นจี่ แต่ปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่ที่แตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขึ้นอยู่กับระยะความแก่-อ่อนของผลลิ้นจี่ที่แตกต่างกัน (ตาราง 4.5)

เมื่อนำผลลิ้นจี่ทั้งหมดไปอบแห้ง พบว่าปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้งยังขึ้นอยู่กับระยะความแก่-อ่อนเพียงอย่างเดียว โดยผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากการเลือกใช้ผลลิ้นจี่ที่มีความแก่เต็มที่ มีปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่อบแห้งน้อยกว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้พบว่าวิธีการรักษาสีเปลือกที่ใช้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดและค่าพีเอชในเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง แต่พบว่าวิธีการรักษาสียังคงมีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดและค่าพีเอชในเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล นาน 15 นาที ยังคงมีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีปริมาณกรดทั้งหมดมากที่สุด และมีค่าพีเอชต่ำที่สุด ซึ่งปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือกมีค่าเท่ากับ 0.64 กรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปลือกลิ้นจี่อบแห้ง และมีค่าพีเอชเท่ากับ 3.54 รองลงมาคือวิธีการรักษาสีเปลือกด้วยสารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โซเดียมคลอไรด์และกรดซิตริก มีผลให้เปลือกลิ้นจี่อบแห้งมีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.48 กรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปลือกลิ้นจี่อบแห้ง และมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.27 ส่วนวิธีการรักษาสีด้วยสารละลายสีเออริโทซิน พบว่ามีปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งน้อยที่สุด และมีค่าพีเอชมากที่สุด ซึ่งไม่มีความแตกต่างจากผลลิ้นจี่ที่ไม่แช่สารละลายใดก่อนการอบแห้ง (control) ผลลิ้นจี่อบแห้งที่รักษาสีด้วยสารละลายสีเออริโทซิน และไม่แช่สารละลายใดก่อนการอบแห้ง (control) มีปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือกเท่ากัน คือ 0.34 กรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปลือกลิ้นจี่อบแห้ง และมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.82 และ 4.86 ตามลำดับ การที่วิธีการรักษาสีด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีค่าพีเอชต่ำที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงสามารถรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้งมากที่สุด เนื่องจากสภาวะที่ค่าพีเอชต่ำจะมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินมากที่สุด (Dominic, 1989)

**ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณน้ำตาล :** ผลการศึกษาระยะความแก่-อ่อน และวิธีการรักษาสีที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดพบว่า ระยะความแก่-อ่อน และวิธีการรักษาสีไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในผลลิ้นจี่ทั้งภายหลังการแช่ในสารละลาย และภายหลังการอบแห้ง โดยผลลิ้นจี่ภายหลังการแช่ในสารละลายมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 16.4-16.6% มีน้ำตาลรีดิว-ซิง อยู่ในช่วง 9.58-10.15% และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่ในช่วง 11.89-12.69% แต่ภายหลังการอบแห้งผลลิ้นจี่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ น้ำตาลรีดิวซิง และน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มมากขึ้น โดยผลลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้ง มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง

55.50-57.50% น้ำตาลรีดิวซิงอยู่ในช่วง 55.36–55.78% และน้ำตาลทั้งหมดอยู่ในช่วง 55.62-56.40% เนื่องจากการการอบแห้งเป็นการดึงน้ำออกจากอาหาร เป็นผลทำให้เมื่อปริมาณน้ำลดลง สารต่างๆ ที่ละลายน้ำจะมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น (ไพบูลย์, 2532) ดังนั้นภายหลังการอบแห้งผลลิ้นจี่จึงปริมาณสารต่างๆ เพิ่มากขึ้น

**ความชื้นและค่า $a_w$ :** ผลการศึกษาพบว่าก่อนการอบแห้ง ผลลิ้นจี่สดมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 80.42-81.73% และค่า $a_w$ เท่ากับ 0.89-0.91 (ตาราง 4.5) โดยวิธีการรักษาสีไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่า $a_w$ ของเนื้อผลลิ้นจี่สดภายหลังการแช่ในสารละลาย แต่ภายหลังการอบแห้งพบว่าวิธีการรักษาสีมีผลต่อปริมาณความชื้นและค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่อบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก มีผลทำให้ผลลิ้นจี่อบแห้งมีความชื้นและค่า $a_w$ น้อยกว่าผลลิ้นจี่อบแห้งจากการใช้วิธีการรักษาสีวิธีการอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากการแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมีความชื้นเท่ากับ 30.48% และมีค่า $a_w$ เท่ากับ 0.54 ส่วนเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากการแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายสีเออริโทซิน สารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โซเดียมคลอไรด์และกรดซิตริก และวิธีการไม่แช่สารละลายใดก่อนการอบแห้ง (control) มีความชื้นเท่ากับ 31.44, 31.51 และ 31.51 % ตามลำดับ และมีค่า $a_w$ เท่ากับ 0.57, 0.56 และ 0.57 ตามลำดับ สาเหตุที่การรักษาสีด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก มีผลทำให้ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้มีความชื้นต่ำ เนื่องจากโดยปกติแล้วในการเตรียมการอบแห้งผักและผลไม้บางชนิดจะมีการนำผักและผลไม้แช่ในสารละลายที่มีความเป็นกรดหรือด่างที่มีความเข้มข้นต่ำ เพื่อช่วยให้การระเหยน้ำเกิดได้รวดเร็วขึ้น เพราะสารละลายดังกล่าวจะไปช่วยละลายสารเคลือบผิวที่อยู่บนผิวของผักและผลไม้ ตลอดจนสลายเซลลูโลสบริเวณเปลือกออกไปบ้าง ซึ่งจะทำให้เกิดรอยแยกเล็กๆ ที่ผิว จึงช่วยให้การระเหยน้ำเกิดได้ง่ายขึ้น (Somogyi and Luh, 1986) ดังนั้นการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกจึงช่วยให้เกิดรอยแยกเล็กๆ ที่ผิวเปลือกผลลิ้นจี่ เป็นผลให้เกิดการระเหยน้ำได้เร็วขึ้น ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จึงมีความชื้นและค่า $a_w$ ต่ำกว่าการใช้วิธีการรักษาสีวิธีอื่น

**ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ :** ผลการศึกษาการรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้ง โดยใช้ระยะความแก่-อ่อนของผลลิ้นจี่ร่วมกับการใช้สารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โซเดียมคลอไรด์ และกรดซิตริก พบว่าภายหลังการแช่ในสารละลายผลลิ้นจี่ทั้ง 2 ระยะมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเปลือกและเนื้อลิ้นจี่ไม่แตกต่างกัน คือมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเปลือกเท่ากับ 652.70 และ 619.14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในเนื้อเท่ากับ 3.20 และ 4.00 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ภายหลังการอบแห้งพบว่าเปลือกและเนื้อลิ้นจี่อบแห้งมีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลง คือผลลิ้นจี่ที่

แก่เต็มที่มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหลืออยู่ในเปลือก และเนื้อลิ้นจี่อบแห้งเท่ากับ 68.15 และ 1.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และผลลิ้นจี่ที่ไม่แก่เต็มที่มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหลืออยู่ในเปลือกและเนื้อลิ้นจี่อบแห้งเท่ากับ 67.83 และ 1.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เหลืออยู่ในผลลิ้นจี่ทั้ง 2 ระยะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การที่ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เหลืออยู่ในเปลือกผลลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้ง เป็นผลให้เปลือกผลลิ้นจี่มีสีแดงกลับคืนมาหลังการอบแห้งเพียงเล็กน้อย เนื่องจากสีแดงของแอนโทไซยานินที่จับกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอนโทไซยานินที่ทำให้เปลือกผลลิ้นจี่เปลี่ยนเป็นสีขาวครีม สามารถกลับคืนมาได้อีกครั้งและมีความคงตัวเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการสลายตัวของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Yueming *et al.*, 1997) ซึ่งการที่ภายหลังการอบแห้งมีการสลายตัวของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกไปจากเปลือกผลลิ้นจี่บางส่วน จึงเป็นผลทำให้เปลือกผลลิ้นจี่มีสีแดงคงอยู่ภายหลังการอบแห้งเพียงบางส่วนเท่านั้น

#### 4.3.2.3 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสดังรูป 4.9 แสดงให้เห็นถึงลักษณะเค้าโครงผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่มีระยะความแก่-อ่อน และวิธีการรักษาสีที่แตกต่างกัน พบว่าผลลิ้นจี่ที่มีระยะความแก่-อ่อนทั้ง 2 ระยะ ที่รักษาสีโดยใช้สารลายกรดไฮโดรคลอริก และสารละลายสีเออริโทซิน ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้มีสีเปลือกไม่แตกต่างกับจุดที่ผู้บริโภคคิดว่าดีที่สุด แต่การรักษาสีด้วยสารละลายผสมที่ประกอบด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โซเดียมคลอไรด์ และกรดซิตริก และวิธีที่ไม่แช่สารละลายใดๆ นั้น (control) ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้ยังมีสีเปลือกแตกต่างจากจุดที่ผู้บริโภคคิดว่าดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนลักษณะทางด้านกลิ่นลิ้นจี่และรสชาติของผลลิ้นจี่อบแห้งนั้น พบว่าผลลิ้นจี่อบแห้งทุกตัวอย่างยังคงมีกลิ่นลิ้นจี่ไม่แตกต่างกับจุดที่ผู้บริโภคคิดว่าดีที่สุด แต่ผลลิ้นจี่อบแห้งทุกตัวอย่างยังมีรสเปรี้ยวมากเกินไป ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้ทดสอบชิม เมื่อพิจารณาลักษณะการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่าผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่มีการรักษาสีโดยใช้สารลายกรดไฮโดรคลอริกมากที่สุด อย่างไรก็ตามจากลักษณะเค้าโครงของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก แสดงให้เห็นว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่รักษาสีโดยใช้สารลายกรดไฮโดรคลอริกมีลักษณะผลิตภัณฑ์ทางด้านสีตรงกับความต้องการของผู้บริโภค และผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับโดยรวมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงมีรสชาติที่เปรี้ยวมากเกินไป ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในทิศทางที่ลดความเปรี้ยวให้น้อยลง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคมากที่สุด

**ตาราง 4.5 ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่สดภายหลังการแช่ในสารละลายตามวิธีการรักษาสีต่างๆ**

| ปัจจัย | ปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือก** (กรัม/100 กรัม) | ปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อ** (กรัม/100กรัม) | ค่าพีเอชในเปลือก | ค่าพีเอชในเนื้อ | ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (%) | น้ำตาลทั้งหมด (%) | น้ำตาลรีดิวซิง (%) | ความชื้นของเนื้อลิ้นจี่สด (%น.น.แห้ง) | ค่า $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่สด | ปริมาณ $SO_2$ ในเปลือก (ppm) | ปริมาณ $SO_2$ ในเปลือก (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ระยะความแก่-อ่อน (A) | | | | | | | | | | | |
| ⊙ ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ ($a_1$) | 0.51±0.07 | 0.49b±0.04 | 4.41±0.12 | 4.70±0.21 | 16.50±0.02 | 12.35±0.14 | 9.88±0.36 | 80.62±0.01 | 0.90±0.01 | - | - |
| ⊙ ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ ($a_2$) | 0.49±0.05 | 0.55a±0.05 | 4.32±0.04 | 4.28±0.54 | 16.50±0.03 | 12.06±0.27 | 9.71±0.27 | 81.01±0.09 | 0.90±0.01 | - | - |
| วิธีการรักษาสี (B) | | | | | | | | | | | |
| ⊙ ไม่แช่ในสารละลาย ($b_1$) | 0.38c±0.14 | 0.52±0.04 | 4.70a±0.21 | 4.64±0.22 | 16.40±0.04 | 12.38±0.47 | 9.90±0.35 | 81.25±0.04 | 0.90±0.02 | - | - |
| ⊙ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ($b_2$) | 0.66a±0.03 | 0.52±0.10 | 3.25c±0.31 | 4.50±0.27 | 16.50±0.07 | 12.08±0.33 | 9.79±0.24 | 81.06±0.07 | 0.89±0.01 | - | - |
| ⊙ สารละลายสีเออริโทซิน ($b_3$) | 0.37c±0.05 | 0.53±0.02 | 5.15a±0.21 | 4.53±0.57 | 16.50±0.01 | 12.30±0.71 | 9.84±0.51 | 80.43±0.07 | 0.90±0.01 | - | - |
| ⊙ สารละลายผสมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ + โซเดียมคลอไรด์ + กรดซิตริก ( $b_4$) | 0.54b±0.02 | 0.52±0.14 | 4.35b±0.36 | 4.29±0.33 | 16.50±0.03 | 12.05±0.44 | 9.63±0.11 | 80.52±0.17 | 0.91±0.02 | 633.35±0.31 | 3.51±0.97 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p< 0.05$

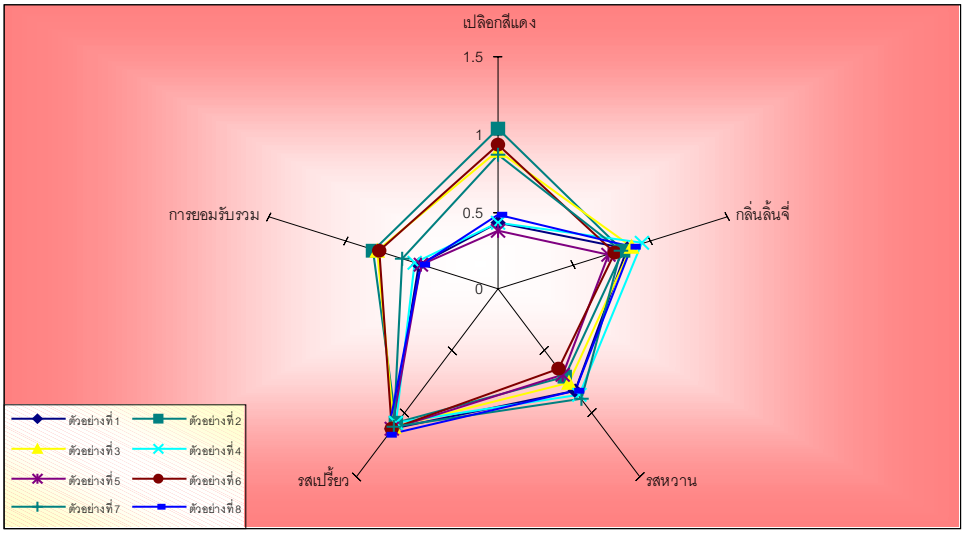
** ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก

**ตารางที่ 4.6 ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่ภายหลังการแห้งเมื่อใช้ระยะความแก่-อ่อนและวิธีการรักษาสีแดงแตกต่างกัน**

| ปัจจัย | ปริมาณกรดทั้งหมดใน เปลือก** (กรัม/100 กรัม) | ปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อ** (กรัม/100กรัม) | ค่าพีเอชในเปลือก | ค่าพีเอชในเนื้อ | ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (%) | น้ำตาลรีดิวซิง (%) | น้ำตาลทั้งหมด (%) | ความชื้นของเนื้อลิ้นจี่สด (%น.น.แห้ง) | ค่า $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่สด | ปริมาณ $SO_2$ ในเปลือก (ppm) | ปริมาณ $SO_2$ ในเปลือก (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ระยะความแก่-อ่อน (A) | | | | | | | | | | | |
| ⊙ ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ ($a_1$) | 0.44±0.01 | 1.80b±0.00 | 4.33±0.14 | 4.31±0.14 | 56.00±0.00 | 55.59±0.36 | 56.17±0.37 | 80.62±0.01 | 31.27±0.10 | - | - |
| ⊙ ผลลิ้นจี่ที่แก่เต็มที่ ($a_2$) | 0.46±0.04 | 1.85a±0.00 | 4.41±0.09 | 4.18±0.08 | 56.37±0.17 | 55.51±0.39 | 56.03±0.34 | 81.01±0.09 | 31.21±0.49 | - | - |
| วิธีการรักษาสี (B) | | | | | | | | | | | |
| ⊙ ไม่แช่ในสารละลาย ($b_1$) | 0.34c±0.06 | 1.82±0.02 | 4.86a±0.17 | 4.31±0.15 | 57.25±0.35 | 55.39±0.71 | 56.01±0.70 | 81.25±0.04 | 31.51a±0.84 | - | - |
| ⊙ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ($b_2$) | 0.64a±0.03 | 1.84±0.03 | 3.54c±0.06 | 4.17±0.00 | 56.00±1.41 | 55.57±0.61 | 56.00±0.79 | 81.06±0.07 | 30.48b±1.38 | - | - |
| ⊙ สารละลายสีเออริโธซิน ($b_3$) | 0.34c±0.02 | 1.81±0.00 | 4.82a±0.27 | 4.32±0.08 | 55.50±0.00 | 55.62±0.28 | 56.19±0.78 | 80.43±0.07 | 31.44±1.26 | - | - |
| ⊙ สารละลายผสมโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ + โซเดียมคลอไรด์ + กรดซิตริก ( $b_4$) | 0.48b±0.02 | 1.80±0.01 | 4.27b±0.03 | 4.22±0.18 | 56.75±0.35 | 55.62±0.34 | 56.19±0.56 | 80.52±0.17 | 31.51±0.24 | 68.15±1.26 | 1.09±0.32 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p< 0.05$

** ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก




**รูป 4.9 ลักษณะเค้าโครงผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่มีระยะความแก่-อ่อน และวิธีการรักษาสีที่แตกต่างกัน**

## 4.3 ผลการศึกษาเพื่อหาระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการแช่ในสารละลายที่เหมาะสม

ผลการศึกษาเพื่อหาวิธีการรักษาสีแดงของเปลือกลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้งพบว่าการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการรักษาสีแดงของเปลือกลิ้นจี่อบแห้ง ดังนั้นการทดลองนี้จึงมุ่งศึกษาเพื่อหาระดับความเข้มข้น และระยะเวลาการแช่ผลลิ้นจี่สดในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมและไม่มีผลต่อคุณภาพของผลลิ้นจี่อบแห้ง โดยได้ศึกษาระดับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 3 ระดับ คือ 0.1, 0.3 และ 0.5 นอร์มัล และระยะเวลาการแช่ในสารละลายกรด 3 ระยะ คือ 15, 20 และ 25 นาที ผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

### 4.4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ แสดงดังตาราง 4.7 และรูป 4.10-4.11

จากตาราง 4.7 ที่แสดงผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของผลลิ้นจี่อบแห้ง เนื่องจากการรักษาสีโดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น และระยะเวลาการแช่ในสารละลายที่แตกต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก และระยะเวลาการแช่ในสารละลายไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกและเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง แต่ระดับ

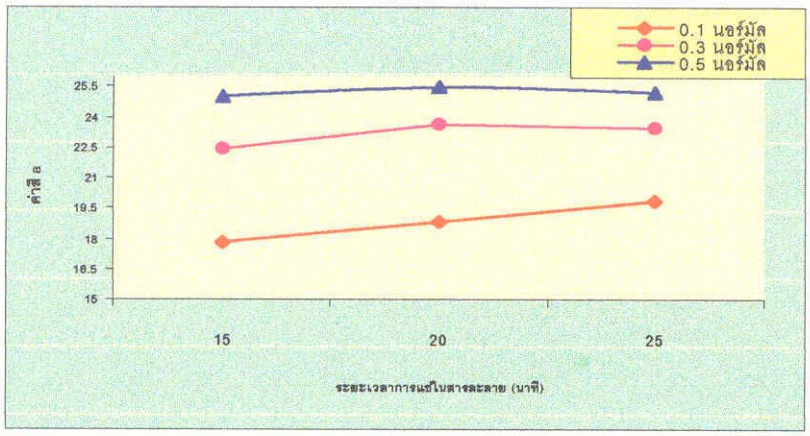
ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกมีผลต่อค่าสี L ของผลลิ้นจี่อบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ก่อนการอบแห้ง มีผลทำให้ผลลิ้นจี่อบแห้งมีค่าสี L สูงกว่าการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 และ 0.3 นอร์มัล คือมีค่าสี L เท่ากับ 34.70, 33.30 และ 33.74 ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการศึกษาปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น และระยะเวลาการแช่ในสารละลายกรด พบว่าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกและระยะเวลาการแช่ในสารละลายมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี $a^*$ และ $b^*$ ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้ง (รูป 4.10 และ 4.11) การแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล นาน 15 นาที มีผลให้ผลลิ้นจี่อบแห้งมีค่าสี $a^*$ มากกว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.3 และ 0.1 นอร์มัล และมีค่าสี $b^*$ ต่ำกว่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาการแช่สารละลายจาก 15 นาที เป็น 20 และ 25 นาที พบว่าการแช่ที่ใช้เวลานานขึ้นมีผลต่อค่าสี $a^*$ และ $b^*$ ของผลลิ้นจี่อบแห้งเฉพาะผลลิ้นจี่อบแห้งที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.3 และ 0.1 นอร์มัลเท่านั้น แต่ไม่มีผลต่อผลลิ้นจี่อบแห้งที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล การเพิ่มระยะเวลาการแช่ในสารละลายกรดความเข้มข้น 0.3 และ 0.1 นอร์มัลที่นานขึ้น มีผลทำให้เปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีค่าสี $a^*$ เพิ่มขึ้น และมีค่าสี $b^*$ ลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ความเข้มข้น 0.3 นอร์มัล เวลาแช่นาน 15 นาที ผลลิ้นจี่อบแห้งมีค่าสี $a^*$ เท่ากับ 22.37 เมื่อเพิ่มเวลาการแช่เป็น 20 นาที ผลลิ้นจี่อบแห้งมีค่าสี $a^*$ เพิ่มขึ้นเป็น 23.57 แต่การเพิ่มเวลาการแช่นานเป็น 25 นาที พบว่าค่าสี $a^*$ ที่ได้ไม่มีความแตกต่างจากการแช่นาน 20 นาที และค่าสี $b^*$ ลดลงจาก 20.30 เป็น 19.13 เมื่อเพิ่มเวลาการแช่จากนาน 15 นาที เป็น 20 นาที ส่วนการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ต้องใช้ระยะเวลาการแช่นานถึง 25 นาที จึงมีผลให้ทำผลลิ้นจี่อบแห้งมีค่าสี $a^*$ เพิ่มขึ้น และมีค่าสี $b^*$ ลดลง โดยที่ระยะเวลาการแช่ 15 นาที มีค่าสี $a^*$ เท่ากับ 17.78 และเพิ่มขึ้นเป็น 19.81 เมื่อแช่นาน 25 นาที และมีค่าสี $b^*$ ลดลงจาก 20.60 เป็น 20.32

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.3 และ 0.1 นอร์มัล ร่วมกับการเพิ่มระยะเวลาการแช่ในสารละลายกรดที่นานขึ้น สามารถช่วยเพิ่มค่าสี $a^*$ ของผลลิ้นจี่อบแห้งให้มากขึ้นได้ แต่ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้ยังคงมีค่าสี $a^*$ ต่ำกว่าการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล และแช่นาน 15 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าคุณภาพทางด้านสีเปลือกของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกในความเข้มข้นระดับกลางและระดับต่ำ ถึงแม้จะมีการเพิ่มระยะเวลาการแช่สารละลายให้นานขึ้น ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้ยังคงมีคุณภาพทางด้านสีแดงของเปลือกต่ำกว่าการรักษาสีโดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นสูง แต่ใช้ระยะเวลาการแช่สารละลายที่สั้น

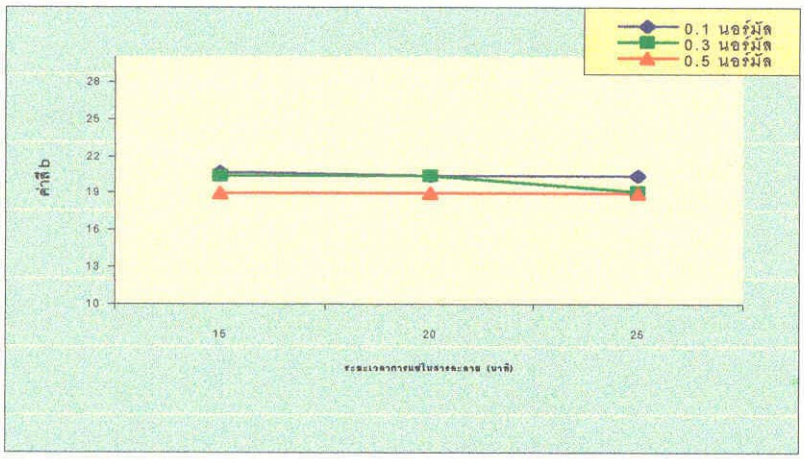
**ตารางที่ 4.7 สมบัติทางกายภาพของเปลือกและเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดร-คลอริกที่ความเข้มข้นและระยะเวลาการแช่แตกต่างกัน**

| ปัจจัย | ค่าสีของเปลือกลิ้นจี่อบแห้ง | | | ลักษณะเนื้อสัมผัส | |
|---|---|---|---|---|---|
| | L | a* | b* | เปลือกลิ้นจี่ (แรงกด,นิวตัน) | เนื้อลิ้นจี่ (แรงเฉือน,นิวตัน) |
| ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล) (A) | | | | | |
| ⊙ 0.1 ($a_1$) | 33.31b±0.03 | 18.80c±0.58 | 20.44a±0.25 | 11.32±0.13 | 22.64±0.65 |
| ⊙ 0.3 ($a_2$) | 33.74b±0.21 | 23.10b±0.27 | 19.94a±1.64 | 11.41±0.39 | 22.26±1.31 |
| ⊙ 0.5 ($a_3$) | 34.70a±0.45 | 25.23a±1.98 | 18.89b±1.60 | 11.11±0.80 | 22.20±0.64 |
| ระยะเวลาในการแช่ (นาที) (B) | | | | | |
| ⊙ 15 ($b_1$) | 33.77±0.13 | 21.71b±0.16 | 19.94±0.59 | 11.23±1.00 | 21.92±0.15 |
| ⊙ 20 ($b_2$) | 33.97±1.00 | 22.65a±0.03 | 19.88±0.36 | 11.07±0.08 | 22.24±1.12 |
| ⊙ 25 ($b_3$) | 34.01±0.48 | 22.78a±0.30 | 19.45±1.25 | 11.54±0.25 | 22.94±0.20 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับที่แตกต่างกันแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$




รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้น และเวลาการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่มีผลต่อค่าสี $a^*$ ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้ง




รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้น และเวลาการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่มีผลต่อค่าสี $b^*$ ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้ง

**4.4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี**

ผลการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีแสดงดังตาราง 4.8 และรูป 4.12-4.14

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่อบแห้ง พบว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่รักษาสีโดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น และระยะเวลาการแช่ในสารละลายที่แตกต่างกันก่อนการอบแห้ง ไม่มีผลทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ความชื้น และค่า $a_w$ แต่มีความแตกต่างด้านปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือก ปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อ ค่าพีเอชเปลือก และค่าพีเอชเนื้อของผลลิ้นจี่อบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตาราง 4.8 แสดงให้เห็นว่าทั้งความเข้มข้นและระยะเวลาที่ใช้แช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เพิ่มขึ้น มีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีค่าพีเอชลดลง โดยที่ความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.5 นอร์มัล ผลลิ้นจี่อบแห้งมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.08, 3.59 และ 3.26 ตามลำดับ และที่ระยะเวลาการแช่สารละลาย 15, 20 และ 25 นาที ผลลิ้นจี่อบแห้งมีค่าพีเอชเท่ากับ 3.76, 3.65 และ 3.52 ตามลำดับ ค่าพีเอชของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งที่ลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้น และระยะเวลาการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่นานขึ้น มีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.52 กรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปลือก และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.57 และ 0.62 กรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปลือก เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็น 0.3 และ 0.5 นอร์มัล ตามลำดับ นอกจากนี้ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาการแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกยังมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดและค่าพีเอชในเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง ดังแสดงในรูป 4.12 และ 4.13 ที่แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นระดับกลางและต่ำ คือ 0.1 และ 0.3 นอร์มัล การเพิ่มระยะเวลาการแช่ในสารละลายกรดที่นานขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมด และค่าพีเอชในเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง แต่ที่ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล หากเพิ่มเวลาการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจาก 15 นาที เป็น 20 และ 25 นาที ตามลำดับ มีผลทำให้เนื้อลิ้นจี่อบแห้งมีปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้น และมีค่าพีเอชลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเวลาการแช่นาน 15 นาที เนื้อลิ้นจี่อบแห้งมีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 1.85 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง มีค่าพีเอชเท่ากับ 4.25 เมื่อเพิ่มเวลาการแช่ในสารละลายเพิ่มขึ้นเป็น 20 นาที เนื้อลิ้นจี่อบแห้งมีปริมาณกรดทั้งหมด เพิ่มขึ้นเป็น 1.94 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง และมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.02

จากผลการศึกษาจึงแสดงให้เห็นว่า การแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล นาน 15 นาที เป็นวิธีการที่สามารถรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการ อบแห้งได้ดีกว่าการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 และ 0.3 นอร์มัล และไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพทางด้านต่างๆของผลลิ้นจี่อบแห้ง แต่ที่ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล

หากมีการเพิ่มระยะเวลาการแช่ให้นานขึ้นจาก 15 นาที เป็น 20 และ 25 นาที ตามลำดับ การเพิ่มระยะเวลาดังกล่าวจะมีผลต่อคุณภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งทันที โดยจะมีผลทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่อบแห้งเพิ่มขึ้น

#### 4.4.3 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสแสดงดังรูป 4.15

ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากการรักษาสีโดยการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล มีสีเปลือกใกล้เคียงกับลักษณะที่ผู้บริโภคต้องการมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.3 และ 0.1 นอร์มัล ดังแสดงในรูป 4.14 แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ผลลิ้นจี่อบแห้งมีลักษณะของสีเปลือกไม่แตกต่างจากจุดที่ผู้บริโภคคิดว่าดีที่สุด แต่ที่ความเข้มข้น 0.3 และ 0.1 นอร์มัล สีเปลือกของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้ยังคงมีความแตกต่างจากจุดที่ผู้บริโภคคิดว่าดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) นอกจากนี้ผลการทดสอบลักษณะทางด้านกลิ่นและรสหวานพบว่าในทุกตัวอย่างของผลลิ้นจี่อบแห้งไม่มีความแตกต่างกับจุดที่ผู้บริโภคคิดว่าดีที่สุด แต่ผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทุกตัวอย่างมีรสชาติที่เปรี้ยวเกินกว่าจุดที่ผู้บริโภคต้องการ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาลักษณะของผลลิ้นจี่อบแห้งโดยรวมแล้ว พบว่าผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับผลลิ้นจี่อบแห้งที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล นาน 15 นาที มากที่สุด ส่วนที่ความเข้มข้น 0.3 และ 0.1 นอร์มัล พบว่าลักษณะโดยรวมของผลลิ้นจี่อบแห้งยังมีความแตกต่างจากจุดที่ผู้บริโภคคิดว่าดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

## 4.5 ผลการศึกษาการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็นก่อนนำไปอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก

### 4.5.1 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลลิ้นจี่สดภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็นเป็นเวลา 1 สัปดาห์

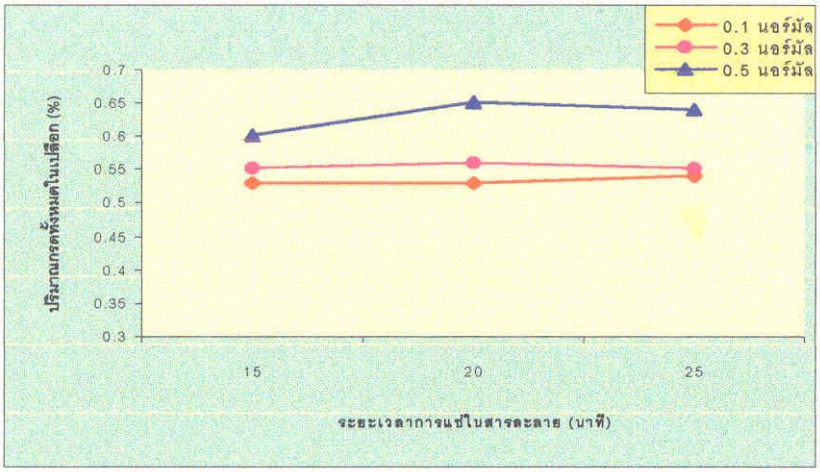
ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ $4 \pm 1$ องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ โดยเก็บรักษาผลลิ้นจี่ไว้ที่ 2 ลักษณะ คือ ผลลิ้นจี่ที่ยังไม่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล นาน 15 นาที ก่อนนำไปเก็บรักษาในห้องเย็น ผลการศึกษามีดังนี้

**ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นและระยะเวลาในการแช่ที่แตกต่างกัน**

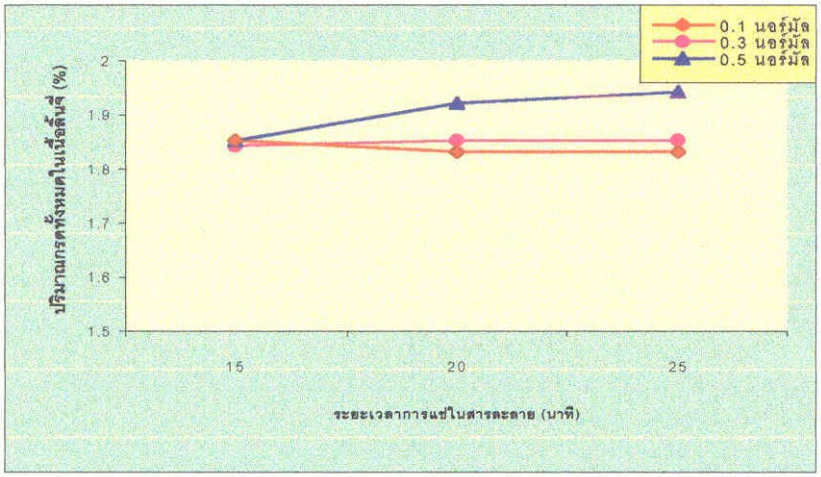
| ปัจจัย | ปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือก** (กรัม/100 กรัม) | ปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อ** (กรัม/100 กรัม) | ค่าพีเอชในเปลือก | ค่าพีเอชในเนื้อ | ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (%) | น้ำตาลรีดิวซิง (%) | น้ำตาลทั้งหมด (%) | ความชื้นของเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง (%น.น.แห้ง) | ค่า $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล) (A) | | | | | | | | | |
| ⊙ 0.1 ($a_1$) | 0.52±0.02 | 1.84b±0.05 | 4.08a±0.09 | 4.29a±0.12 | 56.85±1.63 | 55.75±0.44 | 56.15±0.54 | 30.90±0.35 | 0.53±0.01 |
| ⊙ 0.3 ($a_2$) | 0.57±0.01 | 1.84b±0.03 | 3.59b±0.21 | 4.27a±0.03 | 55.99±0.94 | 55.69±0.24 | 56.21±0.09 | 31.06±0.15 | 0.54±0.00 |
| ⊙ 0.5 ($a_3$) | 0.62±0.03 | 1.91a±0.00 | 3.26c±0.16 | 4.11b±0.13 | 55.83±0.71 | 55.87±0.76 | 56.40±1.82 | 30.91±0.23 | 0.53±0.00 |
| ระยะเวลาในการแช่ในสารละลาย (นาที) (B) | | | | | | | | | |
| ⊙ 15 ($b_1$) | 0.55b±0.01 | 1.84b±0.00 | 3.76±0.01 | 4.25±0.04 | 56.00±0.46 | 55.75±1.18 | 56.27±0.94 | 31.04±0.03 | 0.54±0.01 |
| ⊙ 20 ($b_2$) | 0.57a ±0.01 | 1.87a±0.03 | 3.65±0.08 | 4.20±0.03 | 56.33±0.47 | 55.99±0.07 | 56.38±0.18 | 30.85±0.19 | 0.53±0.01 |
| ⊙ 25 ($b_3$) | 0.60a±0.03 | 1.87a±0.05 | 3.52±0.15 | 4.23±0.19 | 56.33±0.00 | 55.57±0.70 | 56.11±1.12 | 30.99±0.23 | 0.53±0.00 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p< 0.05$

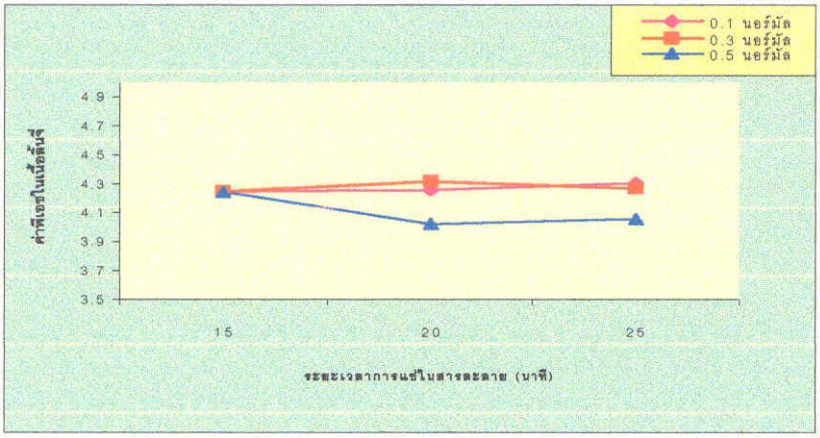
** ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก



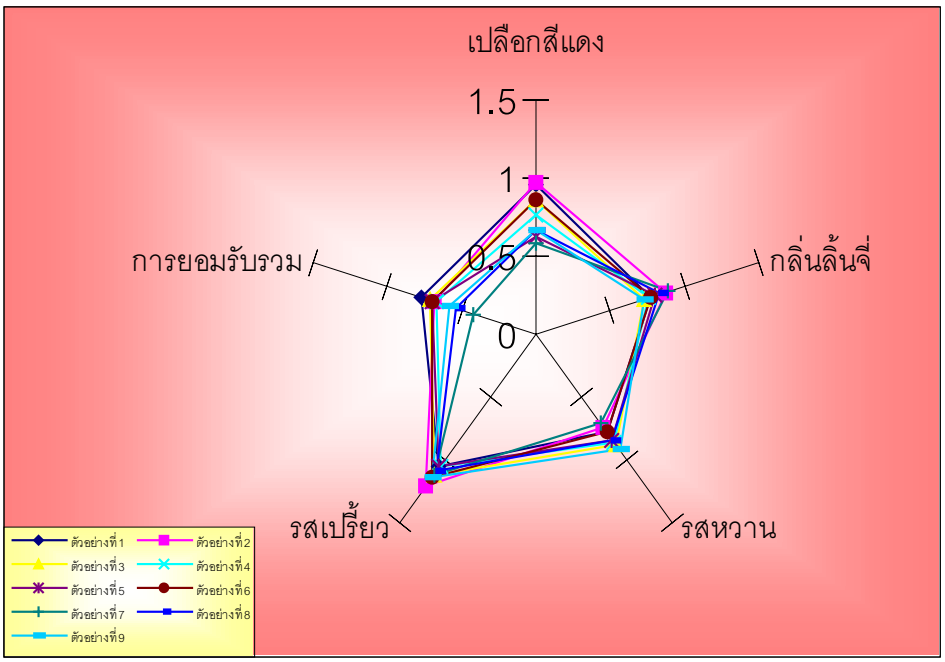

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้น และเวลาการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่มีผลต่อปริมาณกรดในเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก




รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้น และเวลาการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่มีผลต่อปริมาณกรดในเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง




รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้น และเวลาการแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่มีผลต่อค่าพีเอชในเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง

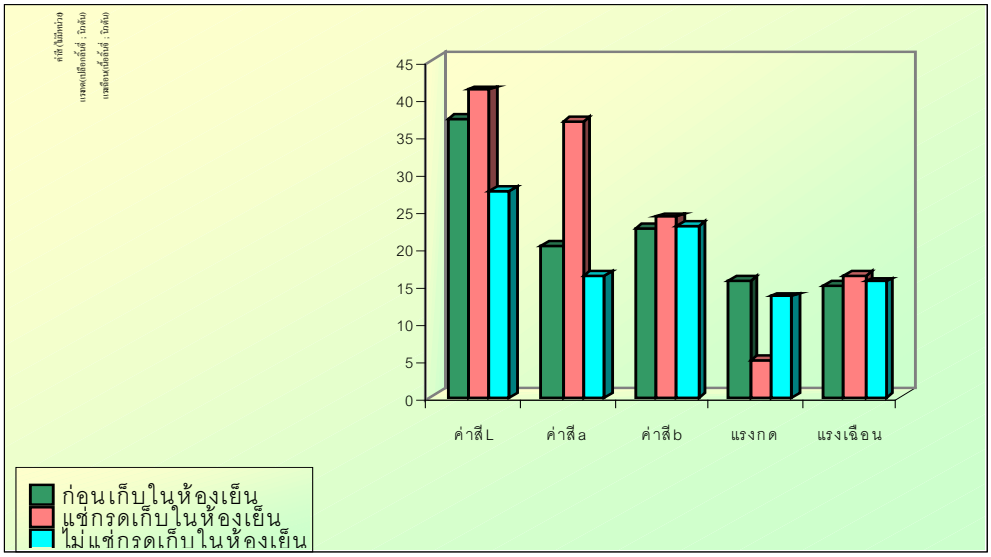



**รูป 4.15 ลักษณะเค้าโครงผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่รักษาสีโดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นและระยะเวลาการแช่ในสารละลายกรดแตกต่างกัน**

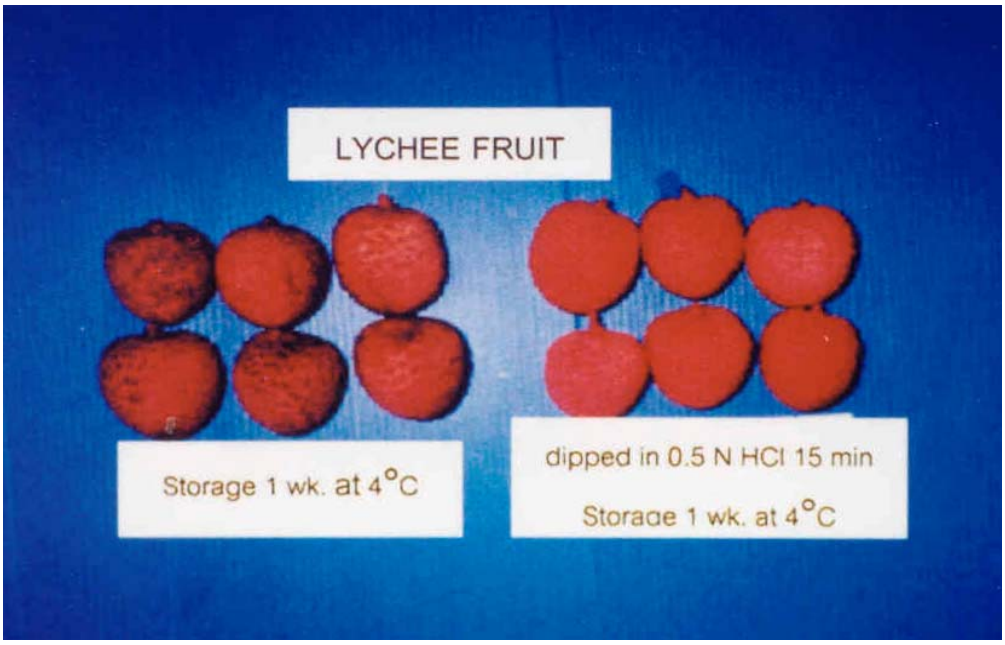
**4.5.1.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ**

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพแสดงดังรูป 4.16-4.17

**สีเปลือก :** ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น นาน 1 สัปดาห์ โดยเปรียบเทียบค่าสีของเปลือกผลลิ้นจี่ทั้งก่อนและภายหลังการเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น รูป 4.16 แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกไว้ในห้องเย็น เปลือกผลลิ้นจี่มีค่าสี L และ $a^*$ เพิ่มมากขึ้นและมีค่าสี $b^*$ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ก่อนการเก็บรักษา คือเปลือกผลลิ้นจี่มีค่าสี L, $a^*$ และ $b^*$ เท่ากับ 37.02, 20.21 และ 25.57 ตามลำดับ และภายหลังเก็บรักษาในห้องเย็น 1 สัปดาห์ เปลือกมีค่าสี L, $a^*$ และ $b^*$ เท่ากับ 40.97, 36.89 และ 18.98 ตามลำดับ ส่วนผลลิ้นจี่ที่ไม่ได้แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกก่อนนำมาเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น พบว่าเปลือกผลลิ้นจี่มีค่าสี L และ $a^*$ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 27.54 และ16.18 ตามลำดับ




**รูป 4.16** การเปลี่ยนแปลงค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์




**รูป 4.17** ลักษณะผลลิ้นจี่สดภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์

ก่อนนำไปเก็บรักษา จะมีผลให้ผลลิ้นจี่มีสีเปลือกที่คล้ำขึ้นและมีสีแดงลดลง ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแสดงดังรูป 4.17 ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีสีน้ำตาลเกิดขึ้นที่บริเวณผิวเปลือกของผลลิ้นจี่ที่ไม่ได้แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ส่วนผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเปลือกผลลิ้นจี่ยังคงมีสีแดงสด และเปลือกไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

การเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็น 1 สัปดาห์ มีสาเหตุเนื่องจากการสูญเสียความชื้นของเปลือกผลลิ้นจี่ และการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลลิ้นจี่สูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็ว การนำผลลิ้นจี่มาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ มีผลให้ผลลิ้นจี่สูญเสียความชื้นเพิ่มมากขึ้น (Underhill, 1992) การสูญเสียความชื้นของผลลิ้นจี่ทำให้เปลือกผลลิ้นจี่มีลักษณะแห้งแข็ง และทำให้เกิดลักษณะการฉีกขาดของเนื้อเยื่อเปลือกผลลิ้นจี่ (Underhill and Critchley, 1993) ส่งผลให้เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งมีอยู่ในเปลือกผลลิ้นจี่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินได้เร็วขึ้น (Underhill, 1992) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอนโทไซยานินไปอยู่ในรูปของ chalcone ซึ่งไม่มีสี (Ray, 1998) และเกิดสารสีน้ำตาลขึ้นที่เปลือกผลลิ้นจี่ (Underhill, 1992) การสูญเสียความชื้นนอกจากจะเป็นสาเหตุที่ช่วยเร่งให้เกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ได้เร็วขึ้นแล้ว ค่าพีเอชในเปลือกผลลิ้นจี่ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ให้มากขึ้นด้วย เนื่องจากเอนไซม์โพลี-ฟีนอลออกซิเดสสามารถทำงานได้ดีที่สุดเมื่ออยู่ในสภาวะที่ค่าพีเอชสูงคือประมาณ 6-7 ผลลิ้นจี่ที่มีความแก่บริบูรณ์ เปลือกผลลิ้นจี่จะมีค่าพีเอชประมาณ 4 และภายหลังการเก็บเกี่ยวค่าพีเอชในเปลือกผลลิ้นจี่จะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น จึงเป็นการส่งเสริมให้เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสสามารถทำงานได้ดีขึ้น แต่การทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสจะลดต่ำลงเมื่ออยู่ในสภาวะที่ค่าพีเอชต่ำ โดยเฉพาะที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 3 การจุ่มผลลิ้นจี่ในสารละลายที่มีความเป็นกรดสูงจะช่วยให้เปลือกผลลิ้นจี่มีค่าพีเอชลดต่ำลง ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอล-ออกซิเดสแล้ว ยังเป็นการเพิ่มความคงตัวให้กับโครงสร้างโมเลกุลของแอนโทไซยานินอีกด้วย จึงสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ได้ (Ray, 1998) ดังนั้นการแช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ก่อนการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ไว้ในห้องเย็น จึงสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาล และเพิ่มสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้มีสีแดงสดระหว่างการเก็บรักษาในห้องเย็นนาน 1 สัปดาห์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Underhill *et al.*, (1992) ที่ได้แช่ผลลิ้นจี่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มัล ก่อนนำผลลิ้นจี่ไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่โดยไม่มีสีน้ำตาลเกิดขึ้นได้นานถึง 12 สัปดาห์

**ลักษณะเนื้อสัมผัส :** ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกและเนื้อผลลิ้นจี่ พบว่าภายหลังการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เปลือกของผลลิ้นจี่

มีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างจากเปลือกผลลิ้นจี่สดที่ไม่แช่สารละลายทั้งก่อนและภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดร-คลอริกเปลือกมีลักษณะอ่อนนุ่ม เมื่อวัดลักษณะเนื้อสัมผัสในรูปของแรงกดที่กระทำต่อเปลือกผลลิ้นจี่พบว่ามีค่าเท่ากับ 4.73 นิวตัน ส่วนเปลือกผลลิ้นจี่ที่ไม่ได้แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกภายหลังเก็บรักษาในห้องเย็นมีค่าเท่ากับ 13.34 นิวตัน และผลลิ้นจี่ก่อนนำไปเก็บรักษาในห้องเย็นมีค่าแรงกดเท่ากับ 15.59 นิวตัน (รูป 4.16) การที่เปลือกผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอ-ริกมีลักษณะอ่อนตัวลง เนื่องจากสารละลายกรดจะช่วยละลายสารเคลือบผิวที่อยู่บนผิวผลลิ้นจี่ตลอดจนสลายเซลลูโลสบริเวณเปลือกออกไปบางส่วน เนื่องจากเซลลูโลสจะสลายตัวได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับกรด และสารละลายกรดจะมีผลให้สารประเภทคาร์โบไฮเดรตและเพกติน ที่อยู่บริเวณเปลือกผลไม้อ่อนตัวลง (Somogyi and Luh, 1986)

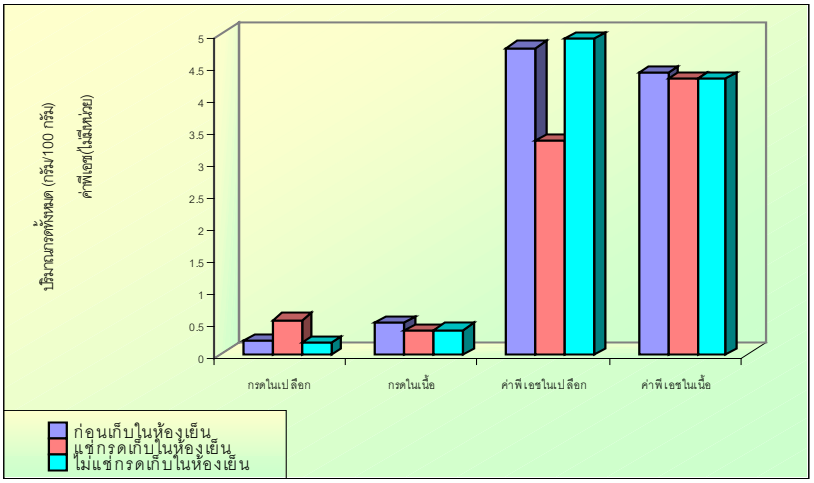
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่ภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็นนาน 1 สัปดาห์ พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการวัดค่าแรงเฉือนของเนื้อลิ้นจี่ภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็นทั้งที่แช่และไม่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ไม่มีความแตกต่างจากลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่ก่อนนำมาเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.18, 15.36 และ14.82 ตามลำดับ

#### 4.5.1.2 ผลการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี

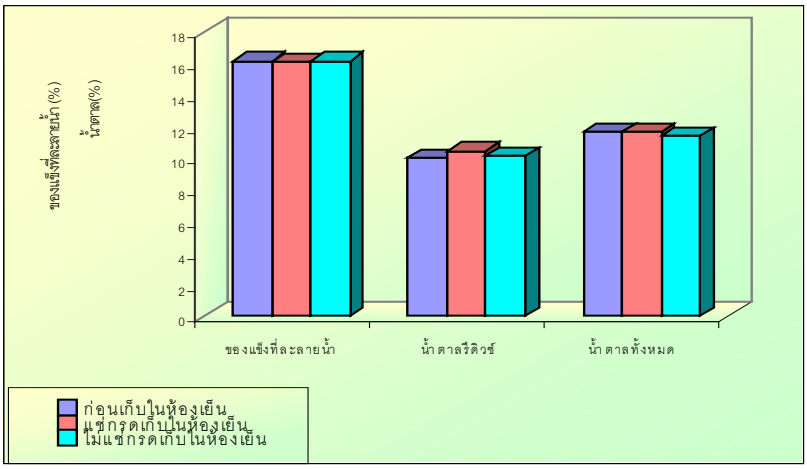
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีแสดงดังรูป 4.18-4.19

**ปริมาณกรดทั้งหมดและค่าพีเอช:** ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด และค่าพีเอชในเปลือกผลลิ้นจี่พบว่า ก่อนการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็นเปลือก และเนื้อลิ้นจี่มีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.22 และ0.49 กรัมต่อ 100 กรัม และมีค่าพีเอชเท่ากับ 4.77 และ 4.38 ตามลำดับ ภายหลังการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็นเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก มีผลทำให้เปลือกผลลิ้นจี่มีปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นและมีค่าพีเอชลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งเปลือกผลลิ้นจี่มีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 0.54 กรัมต่อ 100 กรัม มีค่าพีเอชเท่ากับ 3.32 ส่วนผลลิ้นจี่ที่ไม่แช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือกลดลงเท่ากับ 0.18 กรัมต่อ 100 กรัม และมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 4.91 (รูป 4.18)

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด ค่าพีเอช และการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็นโดยไม่ได้แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก แสดงให้เห็นว่าการลดลงของกรดในเปลือกผลลิ้นจี่มีผลทำให้ค่าพีเอชของเปลือกผลลิ้นจี่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลลิ้นจี่ระหว่างการเก็บรักษาในห้องเย็น เนื่องจากค่าพีเอชที่




**รูป 4.18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด และค่าพีเอชในผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์**




**รูป 4.19 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณน้ำตาลในผลลิ้นจี่ภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์**

เพิ่มขึ้นจะส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสให้สามารถทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินได้ดีขึ้น ทำให้เปลือกผลลิ้นจี่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลมากขึ้นภายหลังการเก็บรักษาในห้องเย็น

นอกจากนี้การเก็บรักษาผลลิ้นจี่ไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่ โดยพบว่าการเก็บผลลิ้นจี่ในห้องเย็นทั้งแบบที่แช่และไม่แช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก มีผลให้ปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่ลดลง และมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากระหว่าการเก็บรักษาปริมาณกรดในเนื้อลิ้นจี่จะถูกใช้เป็นซับสเตรทในการหายใจ ส่งผลให้มีการลดลงของปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่ (จริงแท้, 2538)

**ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ได้และปริมาณน้ำตาล :** ภายหลังการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ไว้ในห้องเย็นเป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่ (รูป 4.19) โดยก่อนการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็น ผลลิ้นจี่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 16.16% ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง 10.04% และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด 11.66% ภายหลังการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็น ผลลิ้นจี่ที่แช่และไม่ได้แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 16.10 และ 16.16% ตามลำดับ มีน้ำตาลรีดิวซิง 10.47 และ 10.11% และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 11.68 และ 11.42% ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลในผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจ และอัตราการสลายตัวของสารประกอบเชิงซ้อนที่ผนังเซลล์ (ธวัชชัย, 2541) ผลลิ้นจี่เป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ซึ่งอัตราการหายใจจะลดลงช้าๆภายหลังการเก็บเกี่ยว เป็นผลให้ผลไม้ประเภทนี้มีอัตราการหายใจต่ำภายหลังการเก็บเกี่ยว (Javier *et al.*, 1999) ด้วยเหตุนี้จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดภายหลังการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**ความชื้นและค่า $a_w$ :** ผลการศึกษาพบว่าการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ไว้ในห้องเย็นเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่ โดยผลลิ้นจี่มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงระหว่าง 80.79-81.82% และมีค่า $a_w$ อยู่ระหว่าง 0.94-0.90

### 4.5.2 ผลการศึกษาการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็นก่อนอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก

ผลการศึกษาการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็นก่อนนำไปอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก โดยเปรียบเทียบคุณภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่ได้จากผลลิ้นจี่สดที่แช่

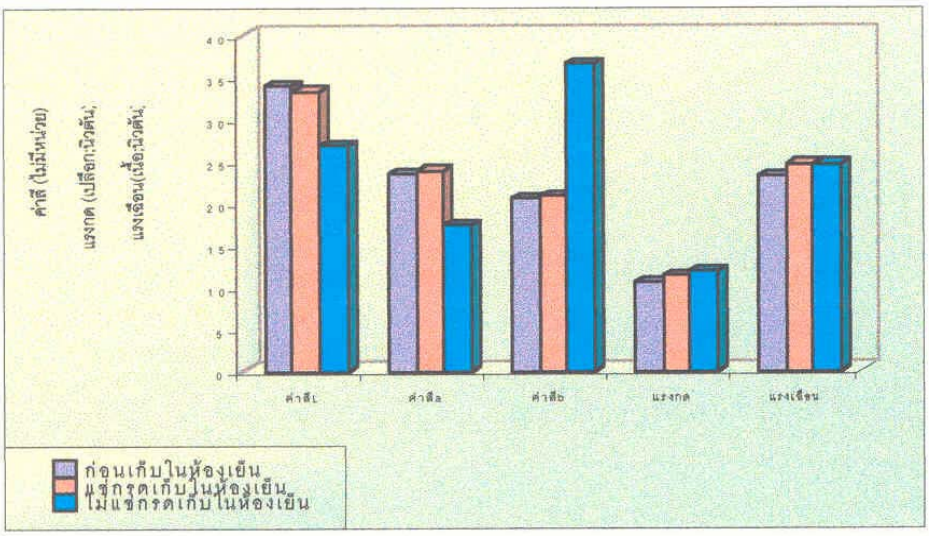
ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วนำไปอบแห้งทันที กับผลลิ้นจี่สดที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล นาน 15 นาที แล้วเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ และผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 สัปดาห์ แล้วจึงนำมาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล 15 นาที ก่อนการอบแห้ง ได้ผลการศึกษาดังนี้

***4.5.2.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ***

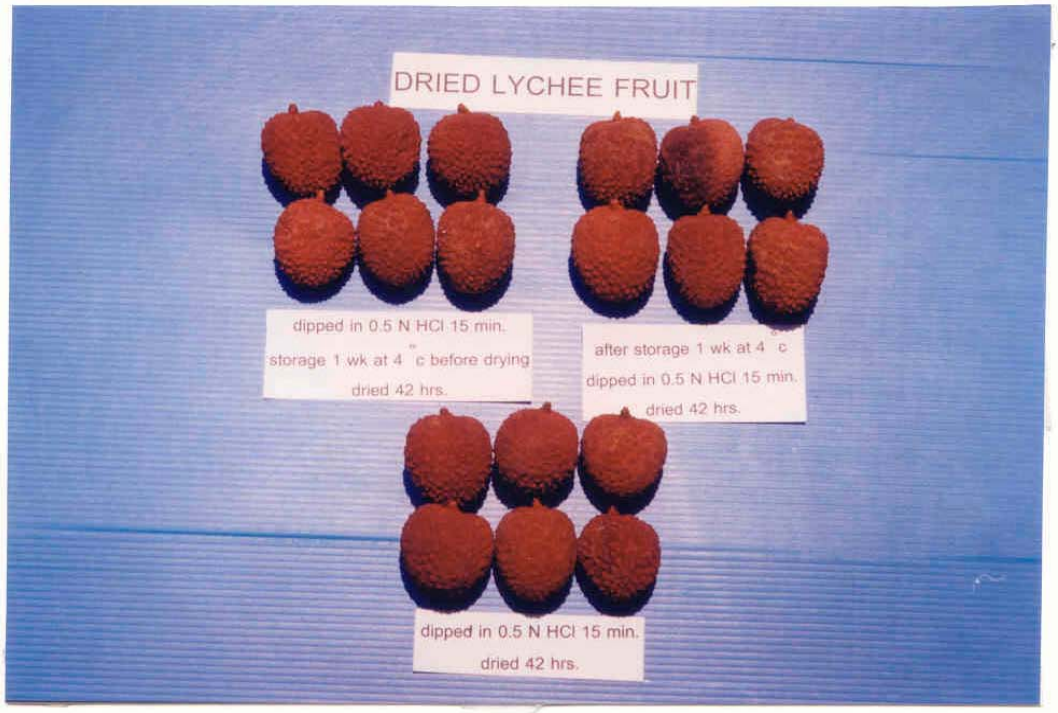
ผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพแสดงดังรูป 4.20-4.21

**สีเปลือก :** ผลการศึกษาพบว่าวิธีการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดไว้ในห้องเย็นก่อนนำมาอบแห้งมีผลต่อคุณภาพทางด้านสีเปลือกของผลลิ้นจี่ภายหลังการอบแห้ง โดยผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วอบแห้งทันที ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้มีค่าสี L, $a^*$ และ $b^*$ ไม่แตกต่างจากผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น 1 สัปดาห์ ก่อนนำไปอบแห้ง โดยผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากการแช่ในสารละลายกรดแล้วอบทันที่มีค่าสี L, $a^*$ และ $b^*$ เท่ากับ 33.90, 23.42 และ 20.50 ตามลำดับ ส่วนผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากผลลิ้นจี่ที่แช่กรดแล้วเก็บในห้องเย็นมีค่าสี L, $a^*$ และ $b^*$ เท่ากับ 33.18, 23.83 และ 20.72 ตามลำดับ แต่พบว่าผลลิ้นจี่อบแห้งจากทั้ง 2 ตัวอย่างมีค่าสี L, $a^*$ และ $b^*$ แตกต่างจากผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นนาน 1 สัปดาห์ แล้วจึงนำมาแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกก่อนอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (รูป 4.20) การเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็น 1 สัปดาห์ แล้วจึงนำผลลิ้นจี่มาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกก่อนนำไปอบแห้ง มีผลให้เปลือกของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้มีค่าสี L และ $a^*$ ต่ำ และมีค่าสี $b^*$ สูงกว่าผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดแล้วอบแห้งทันที และผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วเก็บรักษาในห้องเย็น 1 สัปดาห์

รูป 4.21 แสดงลักษณะของผลลิ้นจี่อบแห้งจากทั้ง 3 ตัวอย่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นโดยไม่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเมื่อครบ 1 สัปดาห์ แล้วนำผลลิ้นจี่มาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกก่อนนำไปอบแห้ง มีผลทำให้เปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีสีแดงน้อยกว่าผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดแล้วอบแห้งทันที และผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วจึงเก็บรักษาในห้องเย็น 1 สัปดาห์ นอกจากนั้นเปลือกของผลลิ้นจี่สดบางส่วนยังเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่ให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้งขึ้นอยู่กับปริมาณและความคงตัวของแอนโทไซยานิน การเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็น 1 สัปดาห์โดยไม่แช่ในสารละลายกรดไฮดรคลอริก มีผลทำให้เปลือกผลลิ้นจี่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากเกิดการสลายตัวของแอนโทไซยานิน อันมีสาเหตุมาจากการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Underhill, 1992) และเมื่อเปลือกผลลิ้นจี่เกิดสีน้ำตาล แสดงว่ามีการสูญเสีย




รูปที่ 4.20 การเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็นก่อนนำไปอบที่มีผลต่อค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลลิ้นจี่อบแห้ง




รูปที่ 4.21 ผลการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็นที่มีผลต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงของผลลิ้นจี่อบแห้ง

ปริมาณของแอนโทไซยานิน ดังนั้นเมื่อนำผลลิ้นจี่มาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วนำไปอบแห้งจึงไม่สามารถรักษาสีแดงของเปลือกผลลิ้นจี่บางส่วนให้คงอยู่ภายหลังการอบแห้งไว้ได้

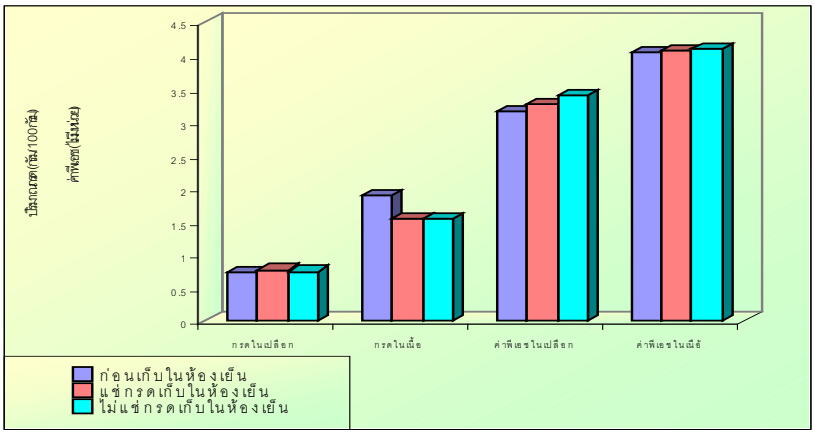
**ลักษณะเนื้อสัมผัส :** ผลการศึกษาการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็นก่อนการอบแห้งที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลลิ้นจี่อบแห้ง พบว่าการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็น 1 สัปดาห์ก่อนการอบแห้งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกและเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง เนื่องจากไม่มีความแตกต่างกันระหว่างลักษณะเนื้อสัมผัสของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากผลลิ้นจี่สดที่แช่ในสารละลายกรดแล้วอบแห้งทันที ผลลิ้นจี่สดที่แช่ในสารละลายกรดแล้วเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น 1 สัปดาห์ และผลลิ้นจี่สดที่ไม่ได้แช่ในสารละลายกรดและเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น 1 สัปดาห์ โดยผลลิ้นจี่อบแห้งมีลักษณะเนื้อสัมผัสเมื่อวัดในรูปของแรงกดที่กระทำต่อเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้ง ที่ได้จากผลลิ้นจี่สดที่เก็บรักษาในห้องเย็นทั้ง 2 วิธี โดยแช่และไม่แช่ในสารละลายกรดไฮโดคลอริกและผลลิ้นจี่ที่แช่สารละลายกรดไฮโดคลอริกแล้วอบแห้งทันที มีค่าเท่ากับ 11.38, 11.89 และ 10.54 นิวตัน และมีแรงเฉือนของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งเท่ากับ 24.59, 24.52 และ 23.20 นิวตัน ตามลำดับ

***4.5.2.2 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี***

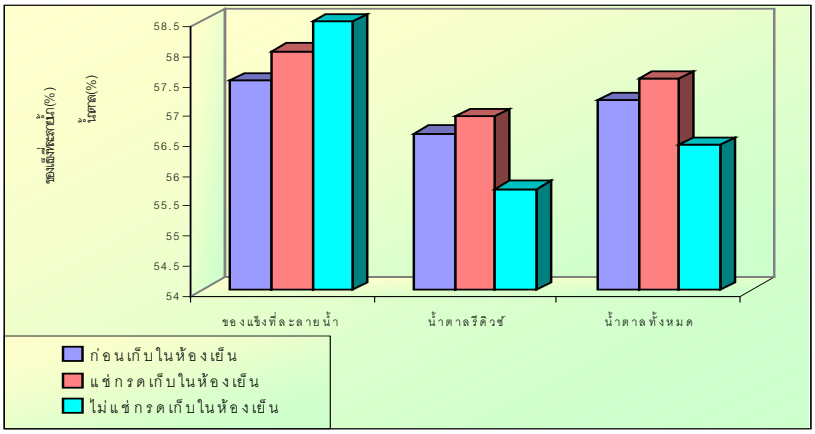
ผลการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีแสดงดังรูป 4.22-4.23

**ปริมาณกรดและค่าพีเอช :** ผลการศึกษาพบว่าการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ไว้ในห้องเย็น 1 สัปดาห์ก่อนนำไปอบแห้งไม่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมด และค่าพีเอชในเปลือกผลลิ้นจี่ แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) รูป 4.22 แสดงให้เห็นว่าผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นก่อนการอบแห้งทั้ง 2 วิธี มีผลให้ผลลิ้นจี่อบแห้งมีปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่น้อยกว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วอบทันที โดยผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดแล้วอบทันที เนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้มีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 1.89 กรัม ต่อ 100 กรัม และผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นก่อนนำไปอบแห้งมีปริมาณกรดทั้งหมดเท่ากับ 1.54 กรัม ต่อ 100 กรัม ทั้งนี้เนื่องจากภายหลังการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็น 1 สัปดาห์ พบว่าปริมาณกรดในเนื้อลิ้นจี่ได้ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดในเนื้อลิ้นจี่ก่อนนำไปเก็บรักษาในห้องเย็น การลดลงของปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่ดังกล่าวมีผลให้ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้มีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำกว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วอบทันทีโดยไม่มีการเก็บรักษาในห้องเย็น

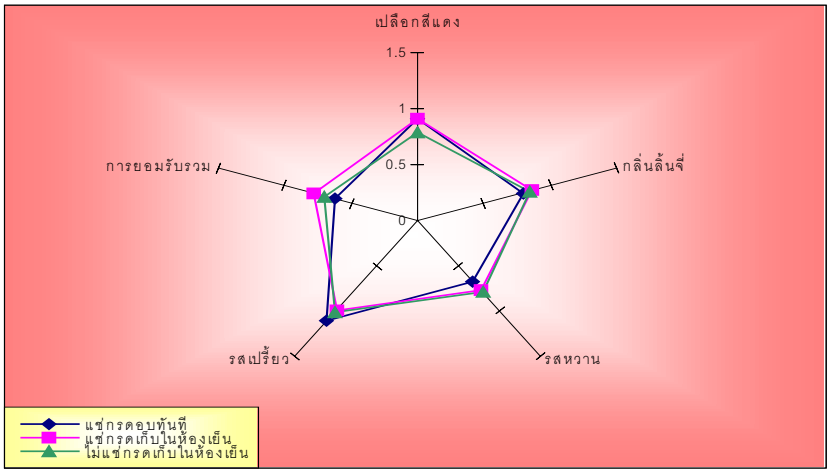
**ปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณน้ำตาล :** ผลการศึกษาพบว่าการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็นก่อนการอบแห้งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้




**รูป 4.22 การเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็นก่อนการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมดและค่าพีเอชของผลลิ้นจี่อบแห้ง**




**รูป 4.23 การเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็นก่อนการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณน้ำตาลของผลลิ้นจี่อบแห้ง**




**รูป 4.24 ผลของวิธีการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็น 1 สัปดาห์ ต่อลักษณะเค้าโครงผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก**

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในผลลิ้นจี่อบแห้ง (รูป 4.23) เนื่องจากภายหลังการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็น 1 สัปดาห์ ก่อนการอบแห้งไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ น้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในผลลิ้นจี่สด ดังนั้นเมื่อนำผลลิ้นจี่สดที่เก็บรักษาไว้ในห้องเย็นมาอบแห้ง จึงไม่มีผลทำให้ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดแตกต่างจากผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วอบแห้งทันที โดยผลลิ้นจี่อบแห้งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 57.50-58.50% ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงในช่วง 55.70-56.90% และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในช่วง 56.42-56.90%

**ความชื้นและค่า $a_w$ :** ผลการศึกษาการเก็บรักษาผลลิ้นจี่สดในห้องเย็นก่อนการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณความชื้นและค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่อบแห้ง พบว่าการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ในห้องเย็น นาน 1 สัปดาห์ก่อนการอบแห้ง ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น และค่า $a_w$ ของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้ง โดยผลลิ้นจี่อบแห้งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 31.06-31.29% และมีค่า $a_w$ เท่ากับ 0.51-0.53

***4.5.2.3 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส***

ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสแสดงดังรูป 4.24

ผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าการนำผลลิ้นจี่สดมาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และการนำผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นเป็นเวลา 1 สัปดาห์ มีผลให้ผลลิ้นจี่อบแห้งมีลักษณะของสีเปลือกไม่แตกต่างจากจุดที่ผู้ทดสอบชิมคิดว่าดีที่สุด แต่ผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาในห้องเย็นโดยไม่ได้แช่ในสารละลายกรดไฮโดร-คลอริกทำให้ผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้มีลักษณะสีเปลือกแตกต่างจากจุดที่ผู้ทดสอบชิมคิดว่าดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) รูป 4.24 แสดงลักษณะเค้าโครงผลิตภัณฑ์ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้ง 3 ตัวอย่าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการนำผลลิ้นจี่สดมาเก็บรักษาในห้องเย็น 1 สัปดาห์ก่อนนำไปอบแห้งทั้ง 2 วิธี มีผลทำให้ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกมีรสหวานขึ้น และมีรสชาติที่ไม่เปรี้ยวมากเกินไป ซึ่งเป็นรสชาติที่ใกล้เคียงกับความต้องการของผู้ทดสอบชิม แต่ผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดร-คลอริกแล้วอบแห้งทันที รสชาติของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้ยังมีรสชาติที่เปรี้ยวมากเกินไป ซึ่งมีความแตกต่างจากจุดที่ผู้ทดสอบชิมคิดว่าดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาคะแนนการยอมรับโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ พบว่าผลลิ้นจี่สดที่แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นเป็นเวลา 1 สัปดาห์ก่อนการอบแห้ง มีผลทำให้ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกมีลักษณะการยอมรับโดยรวมใกล้เคียงกับความต้องการของผู้ทดสอบชิมมากที่สุด

ผลการศึกษาการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อการยอมรับลักษณะโดยรวมของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกสามารถพิจารณาได้จากสมการ

**การยอมรับรวม = 0.637 + 0.45 (สีเปลือก) + 0.50 (รสหวาน) - 0.003 (รสเปรี้ยว)**

แสดงให้เห็นว่าลักษณะที่สำคัญของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่ผู้ทดสอบชิมใช้ในการตัดสินใจให้คะแนนการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ คือ สีเปลือก รสหวาน และรสเปรี้ยว โดยพบว่าการที่ผลิตภัณฑ์มีเปลือกสีแดงและรสหวานเพิ่มมากขึ้นแต่มีรสเปรี้ยวน้อยลง จึงมีผลให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับโดยรวมต่อผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกเพิ่มมากขึ้น จากผลการพิจารณาลักษณะดังกล่าว จึงสรุปได้ว่าการเก็บรักษาผลลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายกรดแล้วเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นนาน 1 สัปดาห์ แล้วนำไปอบแห้งจะทำให้ได้ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่ใกล้เคียงกับความต้องการของผู้บริโภคมากที่สุด

## 4.6 ผลการศึกษากรรมวิธีการอบแห้งผลลิ้นจี่ทั้งเปลือก

### 4.6.1 อัตราการอบแห้งของผลลิ้นจี่

อัตราการอบแห้งของผลลิ้นจี่ที่ใช้วิธีการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบแสดงดังรูป 4.25-4.27 และปริมาณความชื้นที่ลดลงแสดงดังรูป 4.28-4.30

อัตราการอบแห้งสามารถอธิบายได้ถึงสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นต่อเวลาในการอบแห้ง (Gustavo and Humberto, 1996) จากรูป 4.25-4.27 แสดงอัตราการอบแห้งของผลลิ้นจี่จากการใช้รูปแบบการอบแห้ง 3 รูปแบบ แสดงให้เห็นว่า การอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบมีผลทำให้ผลลิ้นจี่มีอัตราการอบแห้งแตกต่างกัน โดยพบว่าในช่วง 1 ชั่วโมงแรกของการอบแห้งจากทั้ง 3 รูปแบบ ผลลิ้นจี่ยังสามารถรักษาสภาวะอิ่มตัวบนผิวหน้าของผลลิ้นจี่ไว้ได้ การอบแห้งผลลิ้นจี่ในช่วงระยะเวลาดังกล่าวจึงเป็นช่วงที่ผลลิ้นจี่มีคาบอัตราการทำแห้งที่คงที่ (ไพบูลย์, 2532) หลังจากนั้นพบว่าน้ำภายในไม่สามารถเคลื่อนที่มาทดแทนน้ำที่ผิวหน้าของผลลิ้นจี่ได้ เป็นผลให้ผลลิ้นจี่จากการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ มีอัตราการอบแห้งที่ลดลง โดยการอบแห้งรูปแบบที่ 1 มีอัตราการอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ค่อยๆ ปรับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งเป็น 80 องศาเซลเซียส (รูป 4.25) เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งรูปแบบที่ 3 พบว่า อัตราการอบแห้งลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดระยะเวลาการอบแห้ง (รูป 4.27) แสดงให้เห็นว่าในระหว่างการอบแห้ง หากมีการปรับอุณหภูมิให้เพิ่มสูงขึ้น จะมีผลช่วยให้ผลลิ้นจี่มีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นได้ เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นที่ลดลงระหว่างการอบแห้ง (รูป 4.28 และ 4.30 ) จะเห็นได้ว่าการอบแห้งรูปแบบที่ 1 และ 3 ในช่วง 6 ชั่วโมงแรก มีความชื้นลดลงใกล้เคียงกัน เนื่องจากยังคงมีการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเท่ากัน คือ 60 องศาเซลเซียส แต่หลังจากนั้นพบว่าการอบแห้งรูปแบบที่ 1 มีการลดลงของความชื้นมากกว่าการอบแห้งรูปแบบที่ 3 ส่วนการอบแห้งรูปแบบที่ 2 มีอัตราการอบแห้งที่ค่อยๆ ลดลงซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากการอบแห้งรูปแบบที่ 1 และ 3 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการอบ

แห้งกับปริมาณความชื้นที่ลดลง (รูป 4.29) พบว่าการอบแห้งรูปแบบที่ 2 มีความชื้นลดลงรวดเร็วมากในช่วง 15 ชั่วโมงแรกของระยะเวลาการอบแห้ง เนื่องจากการอบแห้งรูปแบบที่ 2 มีการใช้อุณหภูมิเริ่มต้นสูงถึง 70 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง แล้วจึงเพิ่มขึ้นเป็น 80 องศาเซลเซียส อีก 6 ชั่วโมง จึงเป็นผลทำให้มีการลดลงของความชื้นอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้นพบว่าการลดลงของความชื้นเริ่มมีปริมาณที่คงที่ ขณะที่การอบแห้งรูปแบบที่ 1 และ 3 ผลลิ้นจี่มีความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการอบแห้ง 42 ชั่วโมง พบว่าผลลิ้นจี่จากการอบแห้งรูปแบบที่ 2 มีความชื้นลดลงน้อยกว่าการอบแห้งรูปแบบที่ 1

### *4.6.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ*

ผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ใช้กรรมวิธีการอบแห้ง 3 รูปแบบแสดงดังตาราง 4.9

ผลการศึกษากรรมวิธีการอบแห้งผลลิ้นจี่ทั้งเปลือกที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของผลลิ้นจี่อบแห้ง พบว่ารูปแบบของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L, $a^*$ และ $b^*$ ของผลลิ้นจี่อบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลลิ้นจี่อบแห้งทั้ง 3 รูปแบบมีค่าสี L อยู่ในช่วง 34.75-37.69 มีค่าสี $a^*$ อยู่ในช่วง 23.49-24.13 และมีค่าสี $b^*$ อยู่ในช่วง 20.16-21.86 นอกจากนั้นยังพบว่ารูปแบบของอุณหภูมิการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ ไม่มีผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกและเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ได้แตกต่างกัน โดยลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกลิ้นจี่อบแห้งเมื่อพิจารณาในรูปของแรงกดที่กระทำต่อเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีค่าแรงกดอยู่ในช่วง 13.73-14.62 นิวตัน และลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งมีค่าแรงเฉือนอยู่ในช่วง 23.25-23.73 นิวตัน

### *4.6.3 ผลการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี*

ผลการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ใช้กรรมวิธีการอบแห้ง 3 รูปแบบแสดงดังตาราง 4.10 และรูป 4.31

ผลการศึกษากรรมวิธีการอบแห้งผลลิ้นจี่ทั้งเปลือกที่มีผลต่อส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่อบแห้ง พบว่ากรรมวิธีการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือกและเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง ค่าพีเอชของเปลือกและเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่อบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กรรมวิธีการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่า $a_w$ ในเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังรูป 4.31 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การอบแห้งผลลิ้นจี่ทั้งเปลือกด้วยรูปแบบอุณหภูมิการอบแห้งรูปแบบที่ 2 มีผลทำให้ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกมีปริมาณความชื้นและค่า $a_w$ มากกว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากการอบแห้งรูป

แบบที่ 1 และ 3 เนื่องจากการอบแห้งรูปแบบที่ 2 มีการใช้อุณหภูมิสูงเมื่อเริ่มต้นการอบแห้ง จึงมีผลทำให้เกิดการระเหยของน้ำที่บริเวณผิวหน้าของเนื้อลิ้นจี่อย่างรวดเร็ว จนบริเวณผิวหน้าของเนื้อลิ้นจี่ไม่สามารถรักษาสภาวะอิ่มตัวไว้ได้ ผิวหน้าของเนื้อลิ้นจี่จึงแห้งอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำภายในผลลิ้นจี่ที่ยังเหลืออยู่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านผิวหน้าของเนื้อลิ้นจี่ออกไปได้ (รุ่งนภา, 2535) ส่งผลให้เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการอบแห้งผลลิ้นจี่ที่ได้จากการอบแห้งรูปแบบที่ 2 จึงมีปริมาณความชื้นและค่า $a_w$ สูงกว่า การอบแห้งรูปแบบที่ 1 และ 3

### *4.6.4 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส*

ผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสโดยการทดสอบความชอบ หรือการยอมรับของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้รูปแบบการ อบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ แสดงดังตาราง 4.11 ซึ่งพบว่าการอบแห้งผลลิ้นจี่โดยการใช้รูปแบบอุณหภูมิการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบ ไม่มีผลต่อความชอบของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก เนื่องจากผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่อบแห้งโดยใช้รูปแบบอุณหภูมิการอบแห้งทั้ง 3 รูปแบบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**ตาราง 4.9 สมบัติทางกายภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ใช้รูปแบบการอบแห้ง 3 รูปแบบ**

| วิธีการอบแห้ง | ค่าสี | | | ลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกลิ้นจี่ (แรงกด ; นิวตัน) | ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่ (แรงเฉือน ; นิวตัน) |
|---|---|---|---|---|---|
| | L | a* | b* | | |
| รูปแบบที่ 1 | 34.75±0.06 | 23.49±0.01 | 20.16±0.24 | 13.73±0.01 | 23.73±0.72 |
| รูปแบบที่ 2 | 37.69±1.91 | 24.13±0.41 | 21.86±2.23 | 14.62±0.47 | 23.25±1.58 |
| รูปแบบที่ 3 | 36.72±1.24 | 24.10±2.10 | 21.16±1.79 | 14.32±1.51 | 23.56±1.66 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$

รูปแบบที่ 1 อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ºซ 6 ชม. เพิ่มเป็น 70 ºซ 6 ชม. เพิ่มเป็น 80 ºซ 15 ชม. ลดลงเหลือ 70 ºซ 12 ชม. และลดลงเหลือ 60 ºซ 3 ชม. รวมเวลาอบแห้ง 42 ชม.

รูปแบบที่ 2 อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 ºซ 12 ชม. เพิ่มเป็น 80 ºซ 12 ชม. ลดลงเหลือ 70 ºซ 12 ชม. และลดลงเหลือ 60 ºซ 3 ชม. รวมเวลาอบแห้ง 42 ชม.

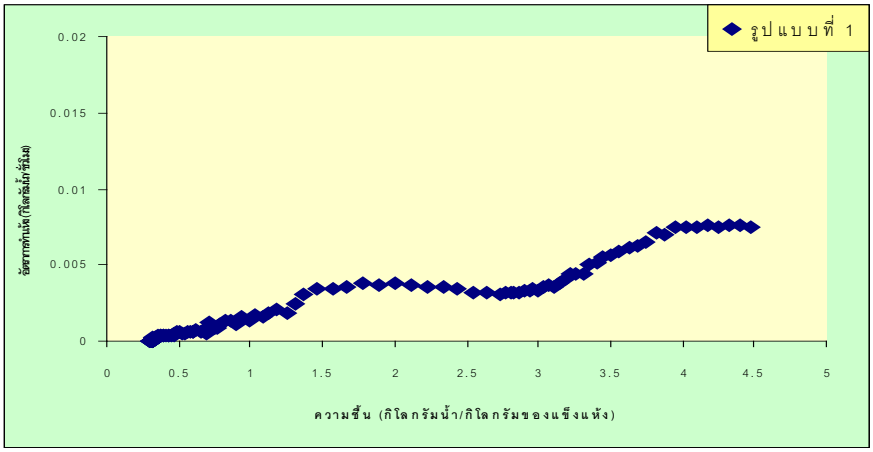
รูปแบบที่ 3 อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ºซ เป็นเวลา 60 ชม.

**ตาราง 4.10 ส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ใช้รูปแบบการอบแห้ง 3 รูปแบบ**

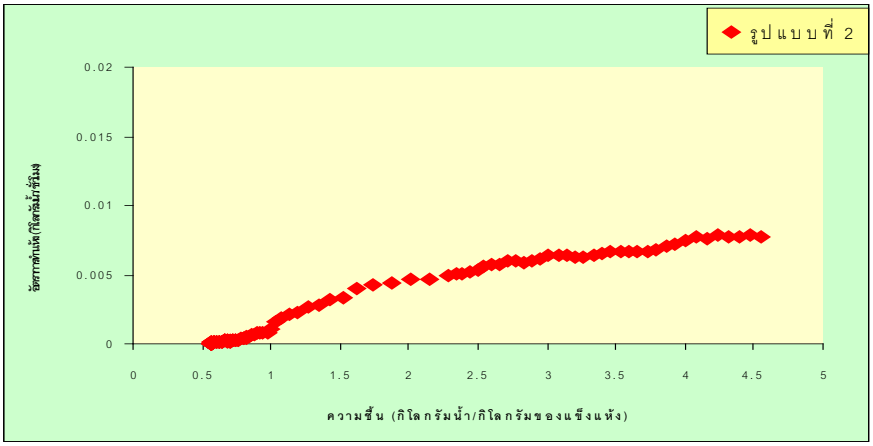
| วิธีการอบแห้ง | ปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือก (กรัม/100 กรัม) | ปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อ (กรัม/100 กรัม) | ค่าพีเอชในเปลือก | ค่าพีเอชในเนื้อ | ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (%) | น้ำตาลรีดิวซิง (%) | น้ำตาลทั้งหมด (%) | ความชื้นของเนื้อลิ้นจี่ (%) | ค่า $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| รูปแบบที่ 1 | 0.71±0.01 | 1.81±0.00 | 3.59±0.00 | 4.65±0.02 | 58.00±0.00 | 56.50±1.21 | 56.93±1.14 | 31.33±0.02 | 0.52±0.00 |
| รูปแบบที่ 2 | 0.72±0.07 | 1.83±0.02 | 3.46±0.06 | 4.73±0.14 | 58.00±0.00 | 56.56±0.22 | 57.01±0.05 | 32.53±0.00 | 0.55±0.00 |
| รูปแบบที่ 3 | 0.73±0.09 | 1.83±0.07 | 3.60±0.07 | 4.55±0.12 | 58.00±2.83 | 57.20±1.12 | 57.73±1.15 | 31.79±0.04 | 0.52±0.00 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ย
มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$
** ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปของกรดมาลิก

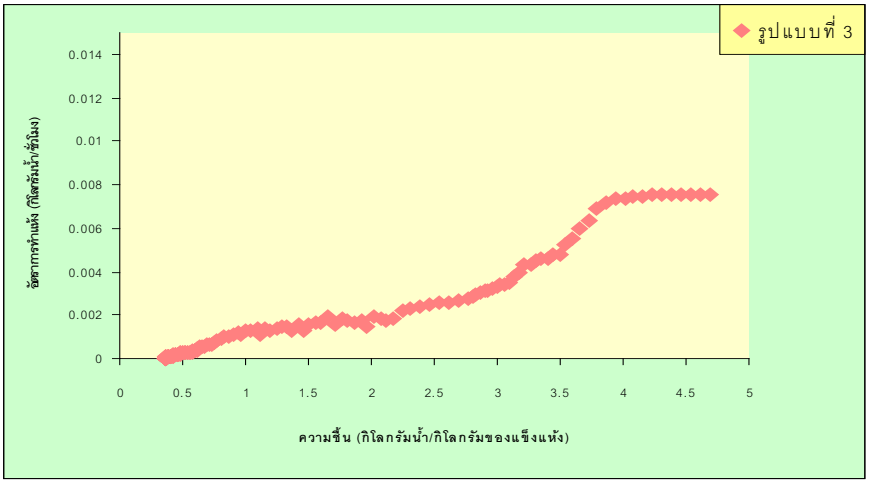
รูปแบบที่ 1 อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °ซ 6 ชม. เพิ่มเป็น 70 °ซ 6 ชม. เพิ่มเป็น 80 °ซ 15 ชม. ลดลงเหลือ 70 °ซ 12 ชม. และลดลงเหลือ 60 °ซ 3 ชม. รวมเวลาอบแห้ง 42 ชม.
รูปแบบที่ 2 อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °ซ 12 ชม. เพิ่มเป็น 80 °ซ 12 ชม. ลดลงเหลือ 70 °ซ 12 ชม. และลดลงเหลือ 60 °ซ 3 ชม. รวมเวลาอบแห้ง 42 ชม.
รูปแบบที่ 3 อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °ซ เป็นเวลา 60 ชม.



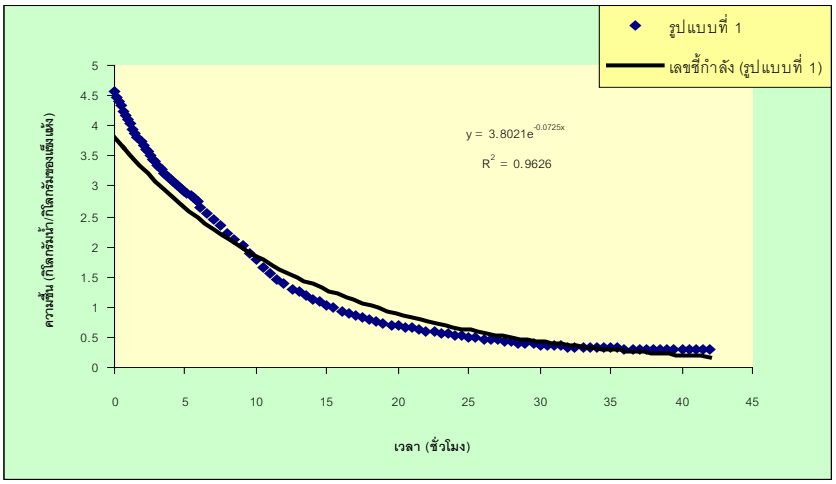

รูป 4.25 อัตราการอบแห้งผลลิ้นจี่จากการอบแห้งรูปแบบที่ 1



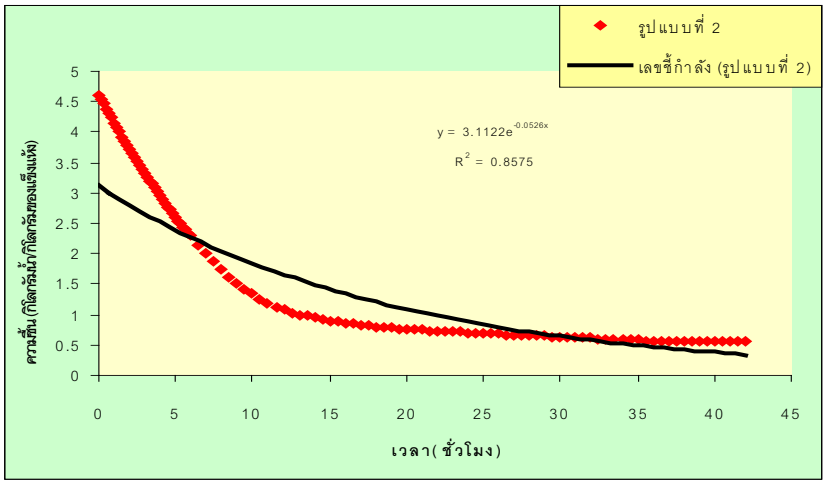

รูป 4.26 อัตราการอบแห้งผลลิ้นจี่จากการอบแห้งรูปแบบที่ 2



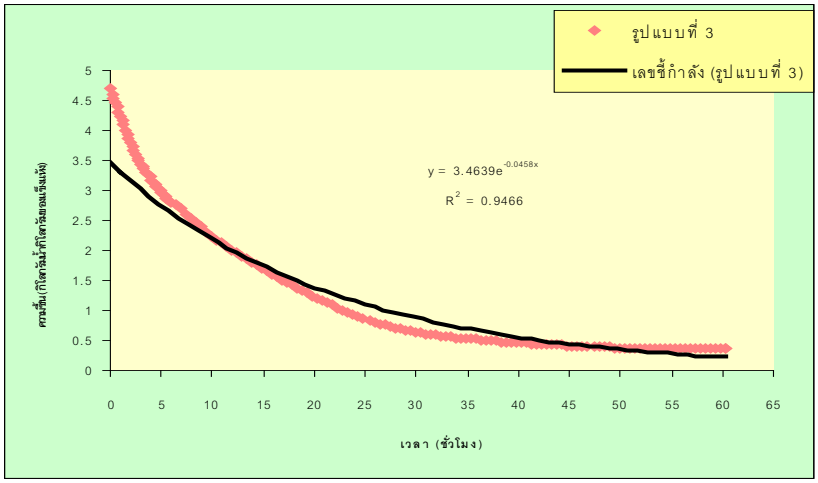

รูป 4.27 อัตราการอบแห้งผลลิ้นจี่จากการอบแห้งรูปแบบที่ 3



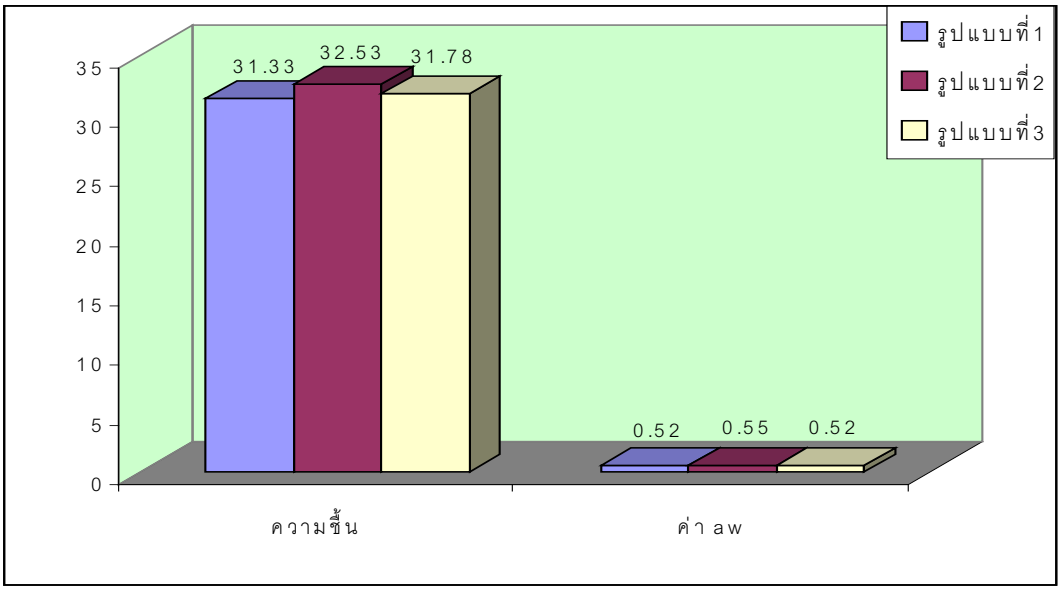

รูป 4.28 ปริมาณความชื้นที่ลดลงของผลลิ้นจี่ระหว่างการอบแห้งโดยใช้รูปแบบการอบแห้งที่ 1




รูป 4.29 ปริมาณความชื้นที่ลดลงของผลลิ้นจี่ระหว่างการอบแห้งโดยใช้รูปแบบการอบแห้งที่ 2




รูป 4.30 ปริมาณความชื้นที่ลดลงของผลลิ้นจี่ระหว่างการอบแห้งโดยใช้รูปแบบการอบแห้งที่ 3




**รูป 4.31 ปริมาณความชื้นและค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ใช้รูปแบบในการอบแห้ง 3 รูปแบบ**

**ตาราง 4.11 ผลการทดสอบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลลิ้นจี่อบแห้งที่ใช้รูปแบบในการอบแห้ง 3 รูปแบบ**

| รูปแบบอุณหภูมิ | สีเปลือก | กลิ่น | รสหวาน | รสเปรี้ยว | ยอมรับรวม |
|---|---|---|---|---|---|
| รูปแบบที่1 | 7.32$^{ns}$ | 6.08$^{ns}$ | 7.34$^{ns}$ | 6.35$^{ns}$ | 7.07$^{ns}$ |
| รูปแบบที่2 | 6.84$^{ns}$ | 6.47$^{ns}$ | 7.81$^{ns}$ | 6.11$^{ns}$ | 6.94$^{ns}$ |
| รูปแบบที่3 | 7.41$^{ns}$ | 5.92$^{ns}$ | 7.09$^{ns}$ | 6.06$^{ns}$ | 7.22$^{ns}$ |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันแต่ละแถวในแนวตั้งแสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$

ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$

คะแนนที่ปรากฏแสดงว่า

1 = ไม่ชอบมากที่สุด
2 = ไม่ชอบมาก
3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
5 = เฉยๆ
6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง
8 = ชอบมาก
9 = ชอบมากที่สุด

## 4.7 การศึกษาวิธีการเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกและอายุการเก็บรักษา

การศึกษาเพื่อหาวิธีการเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่เหมาะสมและอายุการเก็บรักษาของผลลิ้นจี่อบแห้ง โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางด้านประสาทสัมผัสของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่เก็บรักษาด้วยวิธีการเก็บรักษา 4 วิธี คือการบรรจุในถุง high density polyethylene (HDPE) ถุง oriental polypropylene (OPP) ถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น และ ถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจน (oxygen scavengers) ได้ผลการศึกษาดังนี้

### *4.7.1 ผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ*

ผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังตาราง 4.12-4.16 รูป 4.31-4.32 และรูปผนวก ก -1 ถึง ผนวก ก - 7

**ค่าสีเปลือก** : ผลการศึกษาวิธีการเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกตลอดระยะเวลา 10 เดือน พบว่าผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่เก็บรักษาด้วยวิธีการเก็บรักษาที่แตกต่างกันมีผลให้เปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L และ $a^*$ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (รูป4.31 และ 4.32) แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า สี $b^*$ โดยผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE เปลือกมีค่าสี L และ $a^*$ โดยเฉลี่ยลดลง และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาด้วยวิธีการอื่นมากที่สุด ขณะที่ผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจนมีความแตกต่างน้อยที่สุด และการลดลงของค่าสี $a^*$ ของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งที่เก็บรักษาในถุง OPP และถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสี L และ $a^*$ ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งในแต่ละเดือนของการเก็บรักษา พบว่าเมื่อมีอายุการเก็บรักษาครบ 6 เดือน ผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE เริ่มมีค่าสี L และ $a^*$ ลดลงมากที่สุด และมีความแตกต่างจากวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ขณะที่ถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจนมีการเปลี่ยนแปลงค่าสี L และ $a^*$ ลดลงน้อยที่สุด และมีความแตกต่างจากวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเก็บรักษาไว้ครบ 10 เดือน สำหรับผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP เริ่มมีค่าสี L ลดลงมากกว่าผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น และถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่ออายุการเก็บรักษาครบ 8 เดือน และเมื่อเก็บรักษาครบ 10 เดือน ค่าสี L ของเปลือกผลลิ้นจี่มีค่าแตกต่างจากที่เก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและถุง

OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจน แต่ไม่มีความแตกต่างกับที่เก็บรักษาในถุง HDPE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลการเปลี่ยนแปลงค่าสี L และ $a^*$ แสดงให้เห็นว่าระหว่างการเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งจะมีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือก โดยเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีสีคล้ำขึ้นและมีสีแดงลดลงเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น และปริมาณการเปลี่ยนแปลงจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บรักษา (รูปภาคผนวก ก-1 ถึง ภาคผนวก ก-7) โดยผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE มีผลทำให้ผลลิ้นจี่อบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันของสารสีแอนโทไซยานิน เป็นผลให้เปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งมีสีเปลี่ยนแปลงไประหว่างการเก็บรักษา ปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออโตออกซิเดชันของสารสีแอนโทไซยานินคือ ก๊าซออกซิเจน (Dominic, 1989) เมื่อเปรียบอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของก๊าซออกซิเจนในภาชนะบรรจุ พบว่าถุง HDPE มีอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของก๊าซออกซิเจนมากกว่าถุง OPP ซึ่งถุง HDPE มีอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของก๊าซออกซิเจน เท่ากับ 185 มิลลิลิตรต่อ 100 ตารางนิ้ว ส่วนถุง OPP มีอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 100-160 มิลลิลิตรต่อ 100 ตารางนิ้ว (James, 1993) จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้ผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP มีการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกระหว่างการเก็บรักษาน้อยกว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE

การที่ก๊าซออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดความไม่คงตัวระหว่างการเก็บรักษา การกำจัดก๊าซออกซิเจนออกจากภาชนะบรรจุจึงมีบทบาทสำคัญในการช่วยรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร (วารุณี และ Hirata, 2540) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าการใช้สารดูดออกซิเจนและสารดูดความชื้นสามารถช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงค่าสี L และค่าสี $a^*$ ของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกได้ดีที่สุด เนื่องจากสารดูดออกซิเจนที่ใช้ คือผงเหล็ก สามารถช่วยดูดก๊าซออกซิเจนออกจากภาชนะบรรจุให้ลดลงเหลือน้อยกว่า 0.01% ภายในเวลา 1-4 วันเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (Rooney, 1995) และสามารถรักษาสภาพภายในภาชนะบรรจุให้อยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนได้เป็นเวลาหลายเดือนและบางครั้งเป็นปี (วารุณี และ Hirata, 2540) การกำจัดก๊าซออกซิเจนจึงเป็นผลให้ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่เก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นร่วมกับสารดูดออกซิเจน มีการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งน้อยที่สุดเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา

**ลักษณะเนื้อสัมผัส :** ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกและเนื้อลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา พบว่าวิธีการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกและเนื้อลิ้นจี่อบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าเปลือกของผลลิ้นจี่อบแห้งทุกวิธีการเก็บรักษา มีลักษณะความกรอบของเปลือกเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมน้อยมาก ซึ่งมี

ค่าแรงกดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 11.94-12.12 นิวตัน โดยถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นมีค่าแรงกดเฉลี่ยทั้ง 10 เดือน เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด รองลงมาคือถุง OPP ถุง HDPE และถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจน เช่นเดียวกับเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง มีค่าแรงเฉือนเฉลี่ย 10 เดือนอยู่ในช่วง 22.01-22.68 นิวตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยการเก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจน มีค่าแรงเฉือนน้อยที่สุด รองลงมาคือ ถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น ถุง OPP และถุง HDPE ตามลำดับ

### *4.7.2 ผลการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมี*

ผลการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีแสดงดังตาราง 4.17-4.24 และรูป 4.34-4.36

**ปริมาณกรดทั้งหมดและค่าพีเอช :** ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดและค่าพีเอชในเปลือกและเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่และค่าพีเอชในเปลือกและเนื้อลิ้นจี่อบแห้งของทุกวิธีการเก็บรักษาในระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน แต่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งจากทุกวิธีการเก็บรักษา (รูป 4.34) โดยผลลิ้นจี่อบแห้งในถุง HDPE และถุง OPP มีปริมาณกรดทั้งหมดลดลงมากกว่าที่เก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น และถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาพบว่าในแต่ละเดือนการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดในเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งเกิดขึ้นชัดเจนในทุกวิธีการเก็บรักษาเมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน โดยผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE มีปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือกลดลงมากที่สุด และแตกต่างจากวิธีการอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเก็บรักษาครบ 8 เดือน พบว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP มีปริมาณกรดทั้งหมดในเปลือกลดลงไม่แตกต่างจากการเก็บรักษาในถุง HDPE แต่มีความแตกต่างจากผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น และถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเก็บรักษาครบ 10 เดือน ผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE และถุง OPP ยังคงมีปริมาณกรดทั้งหมดไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น เริ่มมีปริมาณกรดทั้งหมดลดลงแตกต่างจากการเก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

**ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้และปริมาณน้ำตาล :** ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา พบว่าวิธีการเก็บรักษาไม่มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็ง

ทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ประมาณ 56-57.75% มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงอยู่ในช่วง 54.9-56.28% และมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่ในช่วง 55.50-56.93%

**ความชื้นและค่า $a_w$** : ผลการศึกษาวิธีการเก็บรักษาที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นและค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่อบแห้ง พบว่าวิธีการเก็บรักษาที่แตกต่างกันมีผลให้ผลลิ้นจี่อบแห้งมีความชื้นและค่า $a_w$ เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (รูป 4.35-4.36) โดยผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจน และถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น ให้ค่าเฉลี่ยความชื้นและค่า $a_w$ ใกล้เคียงกับเมื่ออบแห้งเสร็จใหม่ๆ ผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE และถุง OPP มีความชื้นและค่า $a_w$ เพิ่มสูงขึ้นกว่าเมื่ออบเสร็จใหม่ๆ และแตกต่างจาก 2 วิธีแรกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความชื้นและค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาในแต่ละเดือน พบว่าเมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน ผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE และถุง OPP มีความชื้นและค่า $a_w$ เพิ่มขึ้นแตกต่างจากการเก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น และถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่เมื่อเก็บรักษาครบ 8 เดือน พบว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE มีความชื้นและค่า $a_w$ เพิ่มขึ้นมากกว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเก็บรักษาครบ 10 เดือน พบว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE ยังคงมีความชื้นและค่า $a_w$ เพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP ส่วนผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น และถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจนมีความชื้นและค่า $a_w$ เพิ่มขึ้นน้อยกว่าการเก็บรักษาในถุง HDPE และถุง OPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกในถุง HDPE และถุง OPP มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความชื้นและค่า $a_w$ โดยเฉลี่ย 10 เดือน แล้วไม่แตกต่างกัน แต่ระหว่างการเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE มีความชื้นและค่า $a_w$ เพิ่มขึ้นมากกว่าการเก็บรักษาในถุง OPP เมื่อครบระยะเวลาการเก็บรักษานาน 10 เดือน อาจเนื่องจาก ถุง HDPE มีอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของไอน้ำได้มากกว่าถุง OPP ซึ่งถุง HDPE มีอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของไอน้ำเท่ากับ 0.30 กรัมต่อ 100 ตารางนิ้ว ส่วนถุง OPP มีอัตราการผ่านเข้า-ออกของไอน้ำเท่ากับ 0.25 กรัมต่อ 100 ตารางนิ้ว (James, 1993) จึงเป็นสาเหตุให้ผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE มีความชื้นและค่า $a_w$ มากกว่าการเก็บรักษาในถุง OPP เมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนการเก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น และ ถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจน ผลลิ้นจี่อบแห้งมีความชื้นและค่า $a_w$ เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด เนื่องจากสารดูดความชื้นที่ใช้ร่วม

กับการใช้ถุง OPP มีคุณสมบัติในการดูดซับความชื้นได้สูงถึง 40% ของน้ำหนักตัว สารดูดความชื้นที่ใช้ คือ ซิลิกาเจล นอกจากจะช่วยดูดซับความชื้นได้ดีแล้ว ยังไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน จึงเป็นสารที่นิยมใช้สำหรับป้องกันการเพิ่มขึ้นความชื้นในระหว่างการเก็บรักษาผลไม้อบแห้ง (Somogy and Luh, 1986) ดังนั้นการเติมสารดูดความชื้นร่วมกับการใช้ถุง OPP จึงสามารถป้องกันไม่ให้ความชื้นและค่า $a_w$ เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาได้ดีสุด

### *4.7.3 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส*

ระหว่างการเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือก 4 วิธี ได้ทำการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี multiple comparisons test ผลการศึกษาแสดงดังตาราง 4.26-4.30

ในการทดสอบหาความแตกต่างแบบ multiple comparisons test เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่เก็บรักษาใน ถุง OPP ถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น และถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจน กับผลลิ้นจี่อบแห้งที่บรรจุในถุง HDPE ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นตัวอย่างเปรียบเทียบ (R) หรือตัวอย่างชิมมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่าผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่เก็บรักษาด้วยวิธีการเก็บรักษาทุกวิธีมีผลให้ผลลิ้นจี่อบแห้ง มีกลิ่นลิ้นจี่ รสหวาน และรสเปรี้ยวไม่แตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐานตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่ผู้บริโภคพบความแตกต่างของลักษณะทางด้านสีเปลือกของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา และให้การยอมรับผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกที่เก็บรักษาด้วยวิธีการเก็บรักษาต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าเมื่อเก็บรักษานาน 6 เดือน ผู้บริโภคให้การยอมรับสีของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาด้วยวิธีการเก็บรักษาต่างๆ แตกต่างกันโดยผู้บริโภคให้การยอมรับสีของเปลือกของผลลิ้นจี่อบแห้งที่บรรจุในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น และถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจนมากกว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่เป็นตัวอย่างมาตรฐาน และที่เก็บรักษาไว้ในถุง OPP อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อเก็บรักษาครบ 10 เดือน พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับสีของเปลือกของผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจนมากที่สุด รองลงมาคือผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาไว้ในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น ส่วนผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาในถุง OPP พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับลักษณะทางด้านสีของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งไม่แตกต่างจากผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE ซึ่งเป็นตัวอย่างมาตรฐาน

นอกจากนี้ พบว่าในการพิจารณาการยอมรับลักษณะของผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกโดยรวมของผู้บริโภคนั้น ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตัดสินใจให้การยอมรับลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยรวม คือ สีของเปลือกผลลิ้นจี่ โดยผลลิ้นจี่อบแห้งที่มีสีแดงลดลงมีผลให้การยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคลดลง จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลลิ้นจี่อบแห้งที่แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันของสีเปลือกผลลิ้นจี่เมื่อเก็บรักษาครบ 6 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ที่พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยรวม

แตกต่างกัน เมื่อผลลิ้นจี่อบแห้งมีอายุการเก็บรักษาครบ 6 เดือน ซึ่งผู้บริโภคให้การยอมรับผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจนมากที่สุด รองลงมาคือผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น ส่วนผลลิ้นจี่ที่เก็บรักษาในถุง OPP พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับไม่แตกต่างจากผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE และผู้บริโภคให้การยอมรับเช่นนี้จนเก็บรักษาครบ 10 เดือน

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ และส่วนประกอบทางเคมีของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลลิ้นจี่อบแห้งเป็นตัวชี้บ่งถึงความไม่คงตัวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของผลลิ้นจี่อบแห้ง จึงเป็นตัวกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาด้วยวิธีการเก็บรักษาที่แตกต่างกันได้ ซึ่งจากผลการทดลองในตาราง 4.31 แสดงให้เห็นว่าผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง HDPE มีอายุการเก็บรักษาที่สั้นที่สุด คือ 7.22 เดือน เนื่องจากผลลิ้นจี่อบแห้งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกระหว่างการเก็บรักษามากที่สุด ส่วนผลลิ้นจี่อบแห้งที่เก็บรักษาในถุง OPP ถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้น และถุง OPP ที่มีสารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจนมีอายุการเก็บรักษาได้นาน 9.68, 9.31 และ 10.95 เดือน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาผลลิ้นจี่อบแห้งในโดยถุง OPP มีผลให้ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกมีอายุการเก็บรักษาที่นานกว่าการใช้ถุง HDPE และนอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารดูดความชื้นและสารดูดออกซิเจนร่วมกับการใช้ถุง OPP ช่วยทำให้ผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกมีอายุการเก็บรักษานานที่สุดและมีคุณภาพเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคมากที่สุด

**ตาราง 4.12 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ค่าสี L ระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน | | | | | | ค่าเฉลี่ยของการเก็บรักษาแต่ละวิธี |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 34.91±1.18 | 34.31±0.62 | 34.31 ±0.56 | 32.77$^{b}$±0.64 | 30.76$^{c}$±0.37 | 29.84$^{c}$±1.03 | 32.82$^{b}$ |
| OPP | 34.91±1.18 | 34.54±0.79 | 34.38±0.23 | 33.65$^{a}$ ±0.17 | 33.59$^{b}$±0.76 | 32.28$^{c}$±0.61 | 33.89$^{a}$ |
| OPP +สารดูดความชื้น | 34.91±1.18 | 34.74±1.11 | 34.42 ±0.15 | 34.34$^{a}$±0.66 | 34.18$^{a}$ ±0.66 | 32.97$^{b}$±1.54 | 34.09$^{a}$ |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 34.91±1.18 | 34.83±1.85 | 34.71 ±1.01 | 34.55$^{a}$ ±0.34 | 34.22$^{a}$ ±0.0.71 | 33.56$^{a}$ ±0.49 | 34.46$^{a}$ |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.13 การเปลี่ยนแปลงค่าสี $a^*$ ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ค่าสี $a^*$ ระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน | | | | | | ค่าเฉลี่ยของแต่ละการเก็บรักษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 24.47±0.19 | 22.65±0.71 | 22.02±0.13 | $21.81^{b}$±1.00 | $20.62^{b}$±1.20 | $19.42^{c}$±2.33 | $21.83^{c}$ |
| OPP | 24.47±0.19 | 23.45±0.30 | 22.84±1.20 | $22.51^{a}$±0.42 | $21.44^{a}$±0.18 | $20.52^{b}$±1.48 | $22.54^{b}$ |
| OPP +สารดูดความชื้น | 24.47±0.19 | 23.24±0.71 | 22.63±0.95 | $22.63^{a}$±0.82 | $21.28^{a}$±0.19 | $20.46^{b}$±0.47 | $22.45^{b}$ |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 24.47±0.19 | 23.41±1.03 | 23.21±0.82 | $22.89^{a}$±1.33 | $22.53^{a}$±0.76 | $21.72^{a}$±0.94 | $23.04^{a}$ |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าสี $b^*$ ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ค่าสี $b^*$ ระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน | | | | | | ค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีการเก็บรักษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 19.97±2.19 | 19.65±0.61 | 17.98±0.94 | 17.13±0.35 | 16.73±0.55 | 16.56±0.42 | 18.00 |
| OPP | 19.97±2.19 | 19.27±0.46 | 18.16±0.69 | 17.72±0.44 | 16.42±0.83 | 16.42±0.76 | 17.99 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 19.97±2.19 | 19.64±1.09 | 17.74±0.39 | 17.49±0.71 | 16.42±0.61 | 16.66±0.88 | 17.98 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 19.97±2.19 | 19.78±0.49 | 18.55±1.75 | 18.25±0.28 | 17.02±0.80 | 16.74±1.06 | 18.38 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.15 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ค่าแรงกดต่อเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน (นิวตัน) | | | | | | ค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีการเก็บรักษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 11.94±0.66 | 11.61±1.65 | 12.77±0.76 | 12.28±1.36 | 11.87±0.31 | 11.96±0.11 | 12.07 |
| OPP | 11.94±0.66 | 12.75±0.72 | 12.05±1.92 | 11.91±0.20 | 11.56±0.16 | 11.82±1.12 | 12.01 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 11.94±0.66 | 12.50±1.67 | 11.98±0.27 | 11.64±0.27 | 11.94±0.08 | 11.69±1.28 | 11.94 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 11.94±0.66 | 12.85±1.56 | 12.20±0.67 | 11.77±0.20 | 12.08±0.93 | 11.91±0.91 | 12.12 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.16 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ค่าแรงเฉือนต่อเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน (นิวตัน) | | | | | | ค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีการเก็บรักษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 21.56±1.30 | 22.47±0.44 | 22.95±1.61 | 22.71±1.32 | 23.63±0.77 | 22.78±1.41 | 22.68 |
| OPP | 21.56±1.30 | 22.88±1.26 | 22.22±2.22 | 23.03±1.48 | 23.20±0.61 | 23.04±0.46 | 22.65 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 21.56±1.30 | 23.65±2.02 | 21.85±2.08 | 22.23±0.63 | 22.71±0.08 | 22.86±1.61 | 22.48 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 21.56±13.0 | 22.06±2.28 | 21.25±1.50 | 21.42±0.49 | 22.82±0.09 | 22.99±1.62 | 22.01 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ปริมาณกรดทั้งหมดของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน (%) | | | | | | ค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีการเก็บรักษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 0.58±0.02 | 0.58±0.02 | 0.56±0.02 | $0.50^{b}$ ±0.05 | $0.47^{b}$±0.04 | $0.40^{c}$±0.00 | $0.52^{b}$ |
| OPP | 0.58±0.02 | 0.57±0.04 | 0.57±0.04 | $0.52^{a}$±0.03 | $0.47^{b}$±0.07 | $0.42^{c}$±0.00 | $0.52^{b}$ |
| OPP +สารดูดความชื้น | 0.58±0.02 | 0.58±0.02 | 0.57±0.04 | $0.54^{a}$±.0.00 | $0.53^{a}$±0.07 | $0.48^{b}$±0.02 | $0.55^{a}$ |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 0.58±0.02 | 0.58±0.06 | 0.57±0.00 | $0.55^{a}$±0.00 | $0.55^{a}$±0.07 | $0.53^{a}$±0.00 | $0.56^{a}$ |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ปริมาณกรดทั้งหมดของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน (%) | | | | | | ค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีการเก็บรักษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 1.97±0.04 | 1.97±0.05 | 1.97±0.05 | 1.96±0.08 | 1.95±0.07 | 1.96±0.02 | 1.96 |
| OPP | 1.97±0.04 | 1.95±0.02 | 1.96±0.02 | 1.95±0.08 | 1.96±0.02 | 1.97±0.05 | 1.96 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 1.97±0.04 | 1.96±0.07 | 1.97±0.00 | 1.95±0.03 | 1.97±0.00 | 1.97±0.14 | 1.96 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 1.97±0.04 . | 1.97±0.04 | 1.97±0.00 | 1.97±0.00 | 1.96±0.05 | 1.96±0.14 | 1.97 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.19 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ค่าพีเอชของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน | | | | | | ค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีการเก็บรักษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 3.53±0.07 | 3.61±0.05 | 3.60±0.22 | 3.68±0.30 | 3.82±0.21 | 3.91±0.22 | 3.69 |
| OPP | 3.53±0.07 | 3.57±0.13 | 3.64±0.09 | 3.73±0.11 | 3.88±0.13 | 3.89±0.04 | 3.70 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 3.53±0.07 | 3.66±0.22 | 3.71±0.03 | 3.77±0.13 | 3.84±0.07 | 4.01±0.52 | 3.75 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 3.53±0.07 | 3.62±0.03 | 3.68±0.13 | 3.77±0.18 | 3.87±0.11 | 3.92±0.04 | 3.73 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ค่าพีเอชของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน | | | | | | ค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีการเก็บรักษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 4.49±0.39 | 4.45±0.11 | 4.50±0.31 | 4.53±0.13 | 4.56±0.44 | 4.52±0.07 | 4.51 |
| OPP | 4.49±0.39 | 4.43±0.25 | 4.46±0.10 | 4.50±0.24 | 4.50±0.08 | 4.52±0.20 | 4.48 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 4.49±0.39 | 4.42±0.08 | 4.43±0.20 | 4.53±0.31 | 4.49±0.25 | 4.56±0.01 | 4.49 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 4.49±0.39 | 4.460.21 | 4.52±0.04 | 4.49±0.18 | 4.69±0.25 | 4.50±0.04 | 4.52 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.21 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 10 เดือน (%) | | | | | | ค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีการเก็บรักษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 57.75±0.03 | 56.00±0.00 | 57.00±2.24 | 56.00±0.00 | 57.5±0.71 | 56.00±2.83 | 56.71 |
| OPP | 57.75±0.03 | 56.00±0.00 | 57.00±1.41 | 57.00±0.71 | 57.00±4.24 | 57.00±4.24 | 56.96 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 57.75±0.03 | 56.50±0.71 | 56.50±3.53 | 56.00±0.00 | 57.00±0.00 | 56.50±2.53 | 56.71 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 57.75±0.03 | 56.00±2.82 | 56.00±2.82 | 57.50±2.12 | 57.00±0.00 | 56.50±2.12 | 56.79 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน (%) | | | | | | ค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีการเก็บรักษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 56.28±1.53 | 54.90±0.84 | 55.69±0.54 | 55.62±0.42 | 55.81±0.83 | 55.23±1.69 | 55.59 |
| OPP | 56.28±1.53 | 55.82±1.37 | 54.85±0.64 | 55.57±1.29 | 54.93±0.42 | 55.28±0.54 | 55.45 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 56.28±1.53 | 55.28±0.08 | 55.27±1.46 | 55.19±1.25 | 55.57±0.35 | 55.27±0.66 | 55.48 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 56.28±1.53 | 55.32±1.19 | 55.71±0.60 | 55.04±1.05 | 55.27±0.03 | 54.90±0.38 | 55.42 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน (%) | | | | | | ค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีการเก็บรักษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 56.93±1.42 | 55.50±0.74 | 55.29±0.57 | 56.15±0.49 | 56.28±0.75 | 55.96±1.31 | 56.18 |
| OPP | 56.93±1.42 | 55.82±1.37 | 55.50±0.68 | 56.09±1.15 | 55.53±0.30 | 55.86±0.58 | 55.95 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 56.93±1.42 | 55.75±0.15 | 55.97±1.43 | 55.79±1.14 | 56.13±0.45 | 55.85±0.64 | 56.07 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 56.93±1.42 | 55.90±1.13 | 55.71±0.60 | 55.64±1.02 | 55.80±0.69 | 55.50±0.34 | 55.91 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่า $a_w$ ของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ค่า $a_w$ ของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งทั้งเปลือกระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน | | | | | | ค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีการเก็บรักษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 0.55±0.01 | 0.57±0.01 | 0.57±0.01 | $0.61^{a}$ ±0.00 | $0.63^{a}$±0.01 | $0.64^{a}$±0.03 | $0.60^{a}$ |
| OPP | 0.55±0.01 | 0.56±0.00 | 0.56±0.01 | $0.60^{a}$ ±0.00 | $0.61^{b}$±0.00 | $0.61^{a}$±0.00 | $0.58^{b}$ |
| OPP +สารดูดความชื้น | 0.55±0.01 | 0.56±0.00 | 0.56±0.00 | $0.56^{b}$ ±0.00 | $0.56^{c}$±0.00 | $0.57^{b}$±0.00 | $0.56^{c}$ |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 0.55±0.01 | 0.56±0.01 | 0.56±0..00 | $0.56^{b}$ ±0.00 | $0.56^{c}$±0.00 | $0.58^{b}$±0.01 | $0.56^{c}$ |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.25 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | ปริมาณความชื้นของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน (%) | | | | | | ค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีการเก็บรักษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | |
| HDPE | 31.51±0.32 | 31.77±0.17 | 31.99±0.25 | 32.61$^{a}$ ±0.06 | 33.08$^{a}$±0.41 | 33.24$^{c}$±0.13 | 32.37$^{a}$ |
| OPP | 31.51±0.32 | 31.78±0.06 | 31.85±0.18 | 32.33$^{a}$ ±0.71 | 32.65$^{b}$±0.76 | 32.87$^{b}$±0.47 | 32.16$^{a}$ |
| OPP +สารดูดความชื้น | 31.51±0.32 | 31.69±0.06 | 31.79±0.02 | 31.83$^{b}$ ±0.06 | 31.94$^{c}$±0.32 | 32.12$^{a}$±0.25 | 31.81$^{b}$ |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 31.51±0.32 | 31.59±0.09 | 31.70±0.06 | 31.76$^{b}$ ±0.18 | 31.88$^{c}$±0.57 | 32.21$^{a}$±0.55 | 31.77$^{b}$ |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

**ตาราง 4.26 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะทางด้านสีของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | คะแนนของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะสีของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0** | **2** | **4** | **6** | **8** | **10** |
| OPP | 5.19±0.64 | 5.78±1.21 | 5.19±0.86 | 7.21±1.11 | 7.10±0.64 | $6.49^{b}$±0.85 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 5.16±0.71 | 5.96±0.94 | 6.28±0.72 | 7.26±0.66 | 7.16±0.78 | $6.39^{b}$±0.79 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 5.22±0.88 | 5.74±0.73 | 6.34±1.05 | 7.39±0.91 | 7.57±0.82 | $7.44^{a}$±0.69 |

หมายเหตุ : หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

คะแนน 9 = ดีกว่าตัวอย่างมาตรฐานที่สุด

คะแนน 5 = ไม่มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน

คะแนน 1 = ด้อยกว่าตัวอย่างมาตรฐานที่สุด

**ตาราง 4.27 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะทางด้านกลิ่นของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | คะแนนของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะทางด้านกลิ่นของผลลิ้นจี่อบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0** | **2** | **4** | **6** | **8** | **10** |
| OPP | 5.94±0.51 | 5.48±0.67 | 5.76±0.62 | 5.79±0.66 | 6.13±0.77 | 5.65±1.01 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 6.13±0.64 | 5.72±0.29 | 6.23±0.81 | 5.61±0.59 | 5.92±0.72 | 6.06±0.54 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 6.04±0.38 | 5.96±0.31 | 6.17±0.70 | 6.08±0.38 | 6.16±0.61 | 5.84±0.58 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

คะแนน 9 = ดีกว่าตัวอย่างมาตรฐานที่สุด

คะแนน 5 = ไม่มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน

คะแนน 1 = ด้อยกว่าตัวอย่างมาตรฐานที่สุด

**ตาราง 4.28 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะทางด้านรสหวานของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | คะแนนของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะทางด้านรสหวานของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0** | **2** | **4** | **6** | **8** | **10** |
| OPP | 5.32±0.67 | 5.64±1.05 | 5.09±1.08 | 5.16±0.92 | 5.53±0.66 | 5.76±0.81 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 5.68±0.24 | 5.16±0.64 | 5.27±1.13 | 5.14±0.86 | 5.58±0.97 | 5.91±0.79 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 5.64±0.91 | 5.42±0.75 | 5.65±0.94 | 5.21±0.57 | 5.72±0.52 | 5.83±0.64 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

คะแนน 9 = ดีกว่าตัวอย่างมาตรฐานที่สุด

คะแนน 5 = ไม่มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน

คะแนน 1 = ด้อยกว่าตัวอย่างมาตรฐานที่สุด

**ตาราง 4.29 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะทางด้านรสเปรี้ยวของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | คะแนนของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะทางรสเปรี้ยวของเนื้อผลลิ้นจี่อบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0** | **2** | **4** | **6** | **8** | **10** |
| OPP | 5.98±0.75 | 5.65±0.94 | 5.26±0.75 | 5.66±0.43 | 5.48±0.88 | 5.71±0.51 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 5.72±0.63 | 5.32±0.91 | 5.37±0.64 | 5.42±0.67 | 5.33±0.83 | 5.42±0.76 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 5.86±0.41 | 5.78±0.88 | 5.59±0.72 | 5.55±0.75 | 5.59±0.72 | 5.51±0.31 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

คะแนน 9 = ดีกว่าตัวอย่างมาตรฐานที่สุด

คะแนน 5 = ไม่มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน

คะแนน 1 = ด้อยกว่าตัวอย่างมาตรฐานที่สุด

**ตาราง 4.30 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะโดยรวมของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา**

| วิธีการเก็บรักษา | คะแนนของผู้บริโภคที่มีต่อลักษณะโดยรวมของผลลิ้นจี่อบแห้ง ระหว่างการเก็บรักษานาน 10 เดือน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **0** | **2** | **4** | **6** | **8** | **10** |
| OPP | 5.12±0.61 | 5.16±0.54 | 6.44±0.92 | 6.84±0.67 | 7.07±0.95 | $6.64^{b}$±0.34 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 5.06±0.43 | 5.23±0.72 | 6.01±0.81 | 6.73±0.58 | 7.10±0.87 | $6.94^{b}$±0.58 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 5.06±0.28 | 5.19±0.39 | 5.56±0.66 | 6.91±0.47 | 7.34±0.80 | $7.31^{a}$±0.66 |

หมายเหตุ : ตัวเลขที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับแตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

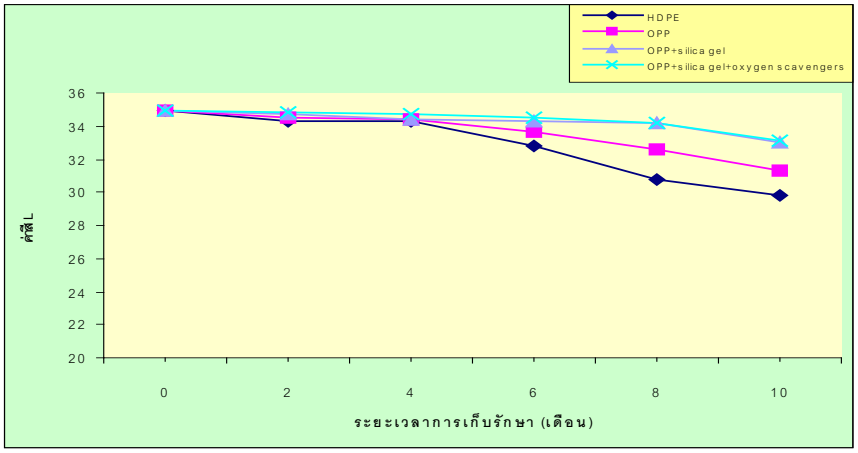
คะแนน 9 = ดีกว่าตัวอย่างมาตรฐานที่สุด

คะแนน 5 = ไม่มีความแตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน

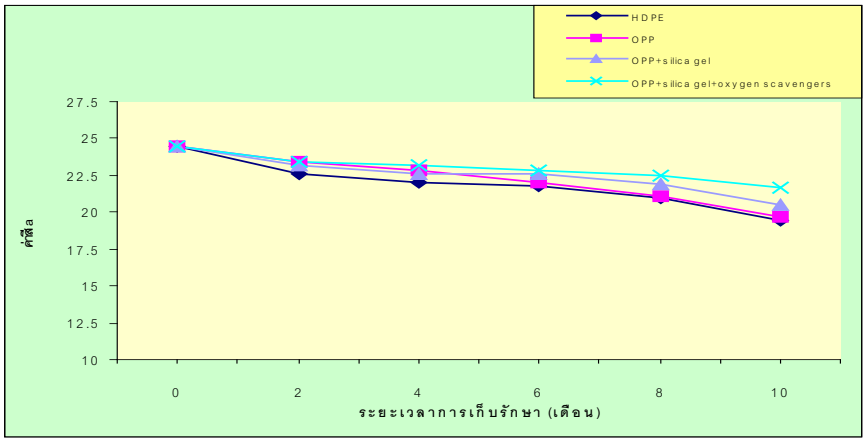
คะแนน 1 = ด้อยกว่าตัวอย่างมาตรฐานที่สุด

**ตาราง 4.31 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษา 10 เดือน ที่อุณหภูมิห้องและอายุการเก็บรักษาโดยวิธีการคำนวณ**

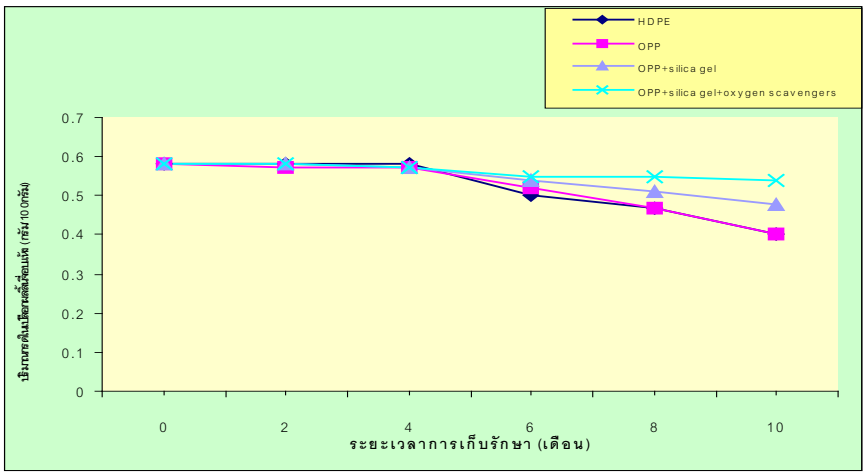
| วิธีการเก็บรักษา | อัตราเร็วคงที่ของการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้ง ( k; เดือน$^{-1}$) | อายุการเก็บรักษา (เดือน) | |
|---|---|---|---|
| | | สีเปลือก | การยอมรับ |
| HDPE | 0.050 | 6.34 | 7.22 |
| OPP | 0.040 | 9.52 | 9.68 |
| OPP +สารดูดความชื้น | 0.042 | 9.22 | 9.31 |
| OPP +สารดูดความชื้น +สารดูดออกซิเจน | 0.037 | 10.62 | 10.95 |



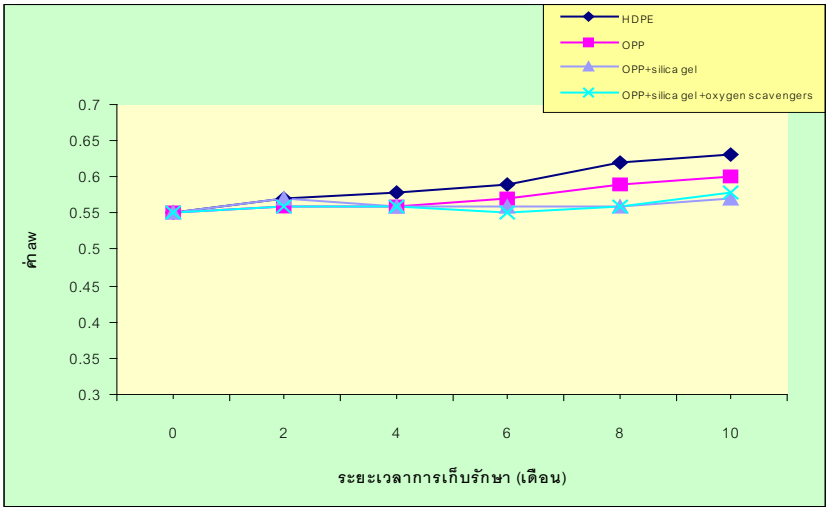

รูป 4.32 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างๆ



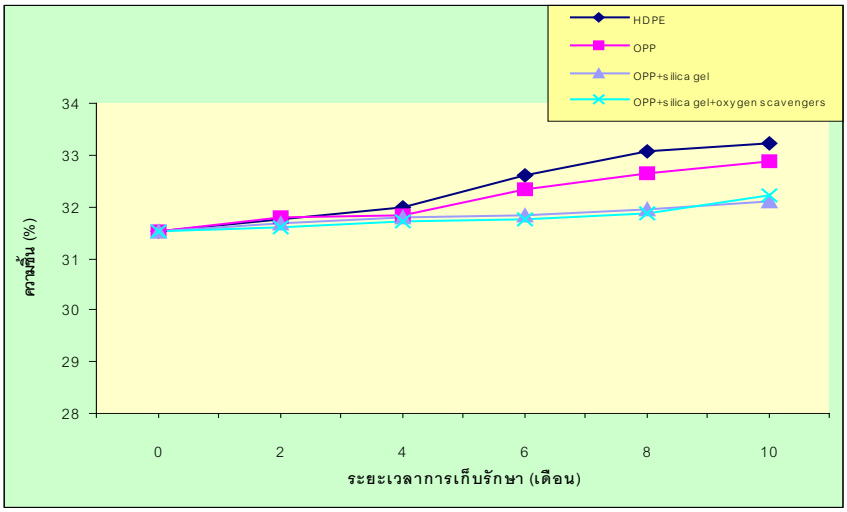

รูป 4.33 การเปลี่ยนแปลงค่าสี $a^*$ ของเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างๆ




รูป 4.34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดในเปลือกผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุต่างๆ




รูป 4.35 การเปลี่ยนแปลงค่า $a_w$ ของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุชนิดต่างๆ




รูป 4.36 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผลลิ้นจี่อบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในภาชนะบรรจุชนิดต่างๆ

# บทที่ 5
# ผลการทดลองและวิจารณ์ผล
# การศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งและวิธีการเก็บรักษา

## 5.1 ผลการทดสอบการยอมรับวิธีการแช่อิ่มแบบช้าและแบบเร็ว

ผลการทดสอบความพอใจของผู้ทดสอบชิม ที่มีผลต่อเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มแบบช้าและแบบเร็วด้วยวิธี paired comparison พบว่าผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 20 คน มีความพอใจในด้านสีและเนื้อสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบช้าเป็น 20 และ 19 คน และเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบเร็ว 0 และ 1 คน ตามลำดับ ดังตาราง 5.1 เมื่อนำผลการทดสอบที่ได้วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ Chi-square พบว่าผู้ทดสอบชิมมีความพอใจเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง โดยวิธีการแช่อิ่มแบบช้าในด้านสีและเนื้อสัมผัสมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ส่วนในด้านรสเปรี้ยว รสหวาน และความชอบรวม ไม่มีความแตกต่างของทั้งสองวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นจึงคัดเลือกวิธีการแช่อิ่มแบบช้าเป็นวิธีการที่จะศึกษาต่อไป

**ตาราง 5.1 ผลการทดสอบการยอมรับโดยผู้ทดสอบชิม**

| ลักษณะของเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง | ความพอใจ | |
|---|---|---|
| | แช่อิ่มแบบเร็ว | แช่อิ่มแบบช้า |
| สี | 0 | 20* |
| รสหวาน | 7 | 13 |
| รสเปรี้ยว | 8 | 12 |
| เนื้อสัมผัส | 1 | 19* |
| ความชอบรวม | 7 | 13 |

## 5.2 ผลการศึกษาเพื่อหาคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่ผู้ทดสอบชิมต้องการ

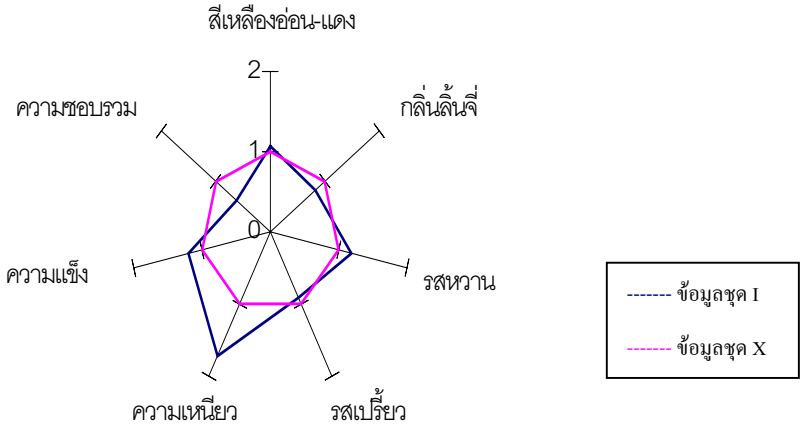
การศึกษาเพื่อหาลักษณะของผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่อบแห้ง ได้ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 12 คน ทดสอบชิมผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบช้า ผลการทดสอบชิมรายงานออกมาในรูปของตัวเลขที่เรียกว่า Numerical product profile ดังแสดงในตาราง 5.2 หรือแสดงเป็นรูปคล้ายใยแมงมุมซึ่งเรียกว่า Graphical product profile ดังรูป 5.1 จากรูป 5.1 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งด้วยวิธีการแช่อิ่มแบบช้าที่ทำการทดสอบมีลักษณะในด้านความเหนียวแตกต่างจากค่า

ในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และลักษณะอื่นๆ ที่พอสังเกตได้และมีค่าด้อยกว่าค่าในอุดมคติเล็กน้อย ได้แก่ กลิ่น รสเปรี้ยวและความชอบรวม ส่วนลักษณะด้านสี รสหวาน และความแข็ง พบว่ามีค่ามากกว่าค่าในอุดมคติ จึงจำเป็นที่จะต้องทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งด้วยกรรมวิธีแช่อิ่มแบบช้าต่อไป

**ตาราง 5.2 ผลการประเมินคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบช้าโดยวิธี Ideal Ratio Profile**

| จำนวน (คน) | Attributes | Numerical product profile | | | | Ratio profile = I/X | | t-test |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ideal (I) | | ลิ้นจี่อบแห้งแบบช้า (X) | | | | |
| | | เฉลี่ย | SD | เฉลี่ย | SD | เฉลี่ย | SD | |
| 12 | สีเหลืองอ่อน-แดง | 4.52 | 1.82 | 4.82 | 1.44 | 1.07 | 0.37 | 0.3058 |
| 11 | กลิ่นลิ้นจี่ | 6.36 | 0.99 | 5.24 | 1.16 | 0.82 | 0.16 | -1.0919 |
| 12 | รสหวาน | 5.40 | 1.39 | 6.42 | 1.71 | 1.19 | 0.31 | 0.6045 |
| 11 | รสเปรี้ยว | 4.21 | 0.91 | 3.84 | 1.37 | 0.91 | 0.46 | -0.1877 |
| 11 | ความเหนียว | 2.58 | 1.23 | 4.44 | 1.31 | 1.72 | 0.08 | 8.9074* |
| 7 | ความแข็ง | 3.91 | 1.21 | 4.70 | 1.76 | 1.21 | 0.55 | 0.3633 |
| 3 | ความชอบรวม | 10.0 | - | 6.25 | 3.75 | 0.62 | - | - |

**รูป 5.1 ภาพแสดงลักษณะผลิตภัณฑ์**



## 5.3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง

ทำการประเมินคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งในด้านความหวาน รสเปรี้ยว สี กลิ่น ความเหนียว ความแข็ง และการยอมรับรวมโดยวิธี ideal ratio profile ผลการวิเคราะห์ดังตาราง 5.3

**ตาราง 5.3 แสดงค่า ratio profile ของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง**

| สิ่งทดลอง | ความหวาน | รสเปรี้ยว | กลิ่น | สี | ความเหนียว | ความแข็ง | การยอมรับรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.16 | 0.82 | 0.46 | 1.11 | 1.47 | 1.23 | 0.63 |
| 2 | 1.10 | 0.58 | 0.52 | 1.21 | 1.20 | 1.17 | 0.64 |
| 3 | 1.02 | 0.80 | 0.55 | 1.26 | 1.26 | 1.12 | 0.66 |
| 4 | 0.98 | 0.60 | 0.54 | 0.91 | 1.13 | 1.28 | 0.68 |
| 5 | 1.11 | 0.65 | 044 | 0.97 | 1.18 | 1.08 | 0.69 |
| 6 | 1.11 | 0.84 | 0.55 | 1.07 | 1.36 | 1.21 | 0.77 |
| 7 | 0.99 | 0.93 | 0.53 | 1.01 | 1.27 | 1.11 | 0.71 |
| 8 | 0.95 | 0.74 | 0.52 | 0.88 | 1.26 | 1.16 | 0.73 |

## 5.4 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี ของลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งจากการทดลองทั้ง 8 สิ่งทดลอง ได้ผลดังแสดงในตาราง 5.4 และ 5.5 ตามลำดับ

**ตาราง 5.4 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งทั้ง 8 สิ่งทดลอง**

| สิ่งทดลอง | สี | | | Water Activity | Shear force |
|---|---|---|---|---|---|
| | L | a* | b* | ($a_w$) | (N) |
| 1 | 51.17 | 4.00 | 12.36 | 0.57 | 88.34 |
| 2 | 51.77 | 3.70 | 12.23 | 0.51 | 95.23 |
| 3 | 51.89 | 3.93 | 12.55 | 0.57 | 118.04 |
| 4 | 52.18 | 3.71 | 12.69 | 0.43 | 113.90 |
| 5 | 53.46 | 3.55 | 11.97 | 0.40 | 95.86 |
| 6 | 53.46 | 3.65 | 12.00 | 0.66 | 96.59 |
| 7 | 52.24 | 3.67 | 12.47 | 0.59 | 80.64 |
| 8 | 53.60 | 3.82 | 13.93 | 0.60 | 89.64 |

**ตาราง 5.5 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งทั้ง 8 สิ่งทดลอง**

| สิ่งทดลอง | Total acidity (%) | Total sugar (%) | Reducing Sugar (%) | ความชื้นก่อนอบ (%) | ความชื้นหลังอบ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.57 | 56.32 | 28.60 | 57.88 | 21.77 |
| 2 | 0.51 | 55.46 | 28.44 | 59.18 | 20.05 |
| 3 | 0.75 | 55.61 | 28.35 | 57.52 | 24.01 |
| 4 | 0.43 | 54.05 | 27.68 | 67.23 | 20.19 |
| 5 | 0.40 | 54.74 | 27.46 | 61.27 | 20.07 |
| 6 | 0.66 | 52.85 | 28.66 | 67.03 | 21.87 |
| 7 | 0.70 | 53.03 | 28.47 | 66.58 | 24.18 |
| 8 | 0.60 | 53.40 | 29.14 | 68.36 | 21.99 |

## 5.5 การวิเคราะห์ผลของแต่ละปัจจัยต่อคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง

ผลการคำนวณจากคะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบชิมต่อคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งเปรียบเทียบกับแต่ละปัจจัยในแผนการทดลอง (ตาราง 5.3) ทั้ง 8 สิ่งทดลอง สรุปผลได้ดังในตาราง 5.6, 5.7 และ 5.8

**ตาราง 5.6 ผลการคำนวณที่ได้จากผลวิเคราะห์ทางกายภาพ**

| Factor | Variable Name | L | | สถิติ | a* | | สถิติ | b* | | สถิติ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Effect | Calculated t | | Effect | Calculated t | | Effect | Calculated t | |
| A | Sucrose syrup | -0.797 | -3.783 | e | 0.083 | 1.486 | a | -0.495 | -1.849 | b |
| B | NaCl | -1.263 | -5.989 | e | 0.032 | 0.585 | | -0.175 | -.0654 | |
| C | Citric acid | -0.562 | -2.669 | d | 0.118 | 2.117 | c | -0.360 | -1.345 | |
| D | $Na_2S_2O_5$ | 0.523 | 2.479 | d | -0.223 | -4.008 | e | -0.715 | -2.671 | f |
| E | $CaCl_2$ | 0.193 | 0.913 | | -0.053 | -0.946 | | -0.540 | -2.017 | c |
| F | Dummy | -0.057 | -0.273 | | -0.077 | -1.396 | a | -0.210 | -0.784 | |
| G | Dummy | -0.292 | -1.388 | a | -0.012 | -0.225 | | -0.315 | -1.177 | |
| | | | 0.2108 | | | 0.0555 | | | 0.2677 | |

## ตาราง 5.7 ผลการคำนวณที่ได้จากการวิเคราะห์ทางเคมี

| Factor | Variable Name | % Total Acidity | | สถิติ | % Total Sugar | | สถิติ | % MC ก่อนอบ | | สถิติ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Effect | Calculated t | | Effect | Calculated t | | Effect | Calculated t | |
| A | Sucrose syrup | -0.040 | -2.263 | c | 2.200 | 16.197 | e | -8.337 | -15.051 | e |
| B | NaCl | -0.050 | -2.828 | d | 0.565 | 4.160 | e | -0.828 | -1.494 | a |
| C | Citric acid | 0.185 | 10.465 | e | 0.040 | 0.294 | | -1.758 | -3.173 | e |
| D | $Na_2S_2O_5$ | -0.020 | -1.131 | | -0.825 | -6.074 | e | 0.767 | 1.386 | |
| E | $CaCl_2$ | -0.125 | -7.071 | e | 0.115 | 0.847 | | 0.443 | 0.799 | |
| F | Dummy | -0.015 | -0.849 | | -0.150 | -1.104 | | 0.038 | 0.068 | |
| G | Dummy | 0.020 | 1.131 | | 0.120 | 0.883 | | -0.783 | -1.413 | a |
| | | | 0.0177 | | | 0.1358 | | | 0.5539 | |

| Factor | Variable Name | % MC หลังอบ | | สถิติ | Shear force (N) | | สถิติ | $a_w$ | | สถิติ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Effect | Calculated t | | Effect | Calculated t | | Effect | Calculated t | |
| A | Sucrose syrup | -0.583 | -0.983 | | 4.175 | 0.298 | | -0.058 | -0.929 | |
| B | NaCl | -0.438 | -0.738 | | -5.505 | -0.393 | | -0.033 | -0.525 | |
| C | Citric acid | 2.383 | 4.019 | e | -2.755 | -0.196 | | 0.113 | 1.818 | b |
| D | $Na_2S_2O_5$ | -0.447 | -0.755 | | -10.405 | -0.742 | | -0.002 | -0.040 | |
| E | $CaCl_2$ | -1.583 | -2.670 | d | 2.785 | 0.199 | | -0.053 | -0.848 | |
| F | Dummy | 0.693 | 1.168 | | 9.660 | 0.689 | | -0.088 | -1.414 | a |
| G | Dummy | -0.473 | -0.797 | | 17.320 | 1.235 | | 0.002 | 0.040 | |
| | | | 0.5928 | | | 14.0232 | | | 0.0619 | |

| Factor | Variable Name | Reducing sugar | | สถิติ |
|---|---|---|---|---|
| | | Effect | Calculated t | |
| A | Sucrose syrup | -0.275 | -0.531 | |
| B | NaCl | -0.105 | -0.203 | |
| C | Citric acid | 0.340 | 0.656 | |
| D | $Na_2S_2O_5$ | -0.185 | -0.357 | |
| E | $CaCl_2$ | -0.500 | -0.965 | |
| F | Dummy | -0.720 | -1.390 | a |
| G | Dummy | -0.135 | -0.261 | |
| | | | 0.5180 | |

**ตาราง 5.8 ผลการคำนวณที่ได้จากข้อมูลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส**

| Factor | Variable Name | ความหวาน | | สถิติ | รสเปรี้ยว | | สถิติ | กลิ่น | | สถิติ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Effect | Calculated t | | Effect | Calculated t | | Effect | Calculated t | |
| A | Sucrose syrup | 0.087 | 2.190 | | -0.076 | -1.193 | | -0.042 | -1.072 | |
| B | NaCl | 0.011 | 0.275 | | -0.033 | -0.518 | | 0.001 | 0.019 | |
| C | Citric acid | 0.035 | 0.864 | | 0.200 | 3.133 | e | 0.019 | 0.476 | |
| D | $Na_2S_2O_5$ | 0.048 | 1.201 | | 0.001 | 0.024 | | -0.007 | -0.184 | |
| E | $CaCl_2$ | 0.073 | 1.827 | b | -0.044 | -0.683 | | -0.030 | -0.767 | |
| F | Dummy | -0.057 | -1.414 | a | -0.010 | -0.157 | | 0.001 | 0.019 | |
| G | Dummy | -0.001 | -0.013 | | -0.090 | -1.405 | a | 0.056 | 1.414 | a |
| | | S.E. | 0.0400 | | | 0.0637 | | | 0.0394 | |

| Factor | Variable Name | สี | | สถิติ | ความเหนียว | | สถิติ | ความแข็ง | | สถิติ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Effect | Calculated t | | Effect | Calculated t | | Effect | Calculated t | |
| A | Sucrose syrup | 0.166 | 1.845 | b | 0.023 | 0.254 | | -0.041 | -0.899 | |
| B | NaCl | 0.013 | 0.147 | | 0.004 | 0.039 | | 0.055 | 1.180 | |
| C | Citric acid | 0.124 | 1.383 | | 0.146 | 1.606 | b | -0.001 | -0.032 | |
| D | $Na_2S_2O_5$ | 0.028 | 0.314 | | -0.030 | -0.331 | | -0.053 | -1.1148 | |
| E | $CaCl_2$ | -0.067 | -0.749 | | 0.035 | 0.386 | | 0.059 | 1.289 | |
| F | Dummy | -0.033 | -0.365 | | -0.114 | -1.258 | | -0.042 | -0.910 | |
| G | Dummy | 0.123 | 1.366 | | -0.059 | -0.646 | | 0.050 | 1.083 | |
| | | S.E. | 0.0898 | | | 0.0906 | | | 0.0462 | |

| Factor | Variable Name | การยอมรับรวม | | สถิติ |
|---|---|---|---|---|
| | | Effect | Calculated t | |
| A | Sucrose syrup | -0.064 | -13.816 | e |
| B | NaCl | -0.045 | -9.791 | e |
| C | Citric acid | 0.011 | 2.393 | d |
| D | $Na_2S_2O_5$ | 0.028 | 6.092 | e |
| E | $CaCl_2$ | 0.005 | 1.197 | |
| F | Dummy | -0.006 | -1.305 | |
| G | Dummy | -0.002 | -0.544 | |
| | | S.E. | 0.0046 | |

DEGREE OF FREEDOM = 2

| Confidence level (%) | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 |
|---|---|---|---|---|---|
| Significant marks | a | b | c | d | e |
| t-table | 1.386 | 1.604 | 1.886 | 2.282 | 2.920 |

ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสและผลการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพพบว่าปัจจัยที่มีระดับนัยสำคัญต่อสิ่งทดลองที่ทำการทดลองดังตาราง 5.9

**ตาราง 5.9 ปัจจัยที่มีระดับนัยสำคัญต่อสิ่งทดลองที่ทำการทดลอง**

| Attribute | น้ำตาลทราย | เกลือ | กรดซิตริก | $Na_2S_2O_5$ | $CaCl_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| L | - | - | - | + | |
| a* | + | | + | - | |
| b* | - | | | - | - |
| % ปริมาณกรดทั้งหมด | - | - | | | - |
| % น้ำตาลทั้งหมด | + | + | + | - | |
| % น้ำตาลรีดิวซิง | | | | | |
| $a_w$ | | | + | | |
| % ความชื้นก่อนอบ | | | | | + |
| % ความชื้นหลังอบ | | | + | | - |
| Shear force (N) | | | | | |
| ความหวาน | + | | | | + |
| รสเปรี้ยว | | | | | |
| กลิ่น | | | + | | |
| สี | + | | | | |
| ความเหนียว | | | + | | |
| ความแข็ง | | | | | |
| ความชอบรวม | - | - | + | + | |
| Credit total | 8 | 4 | 8 | 5 | 5 |
| Credit + | 4 | 1 | 7 | 2 | 2 |
| Credit - | 4 | 3 | 1 | 3 | 3 |

จะเห็นได้ว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง คือ ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสสุดท้ายที่ใช้ และปริมาณกรดซิตริกที่มีอยู่ในส่วนผสม โดยระดับความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสที่ใช้ในการทดลองนี้อยู่ที่ 45 และ 60 องศาบริกซ์ และมีระดับความเข้มข้นของกรดซิตริกที่ 0.2 และ 0.7% และผลการทดสอบชิมพบว่าผู้ทดสอบชิมให้ระดับอัตราส่วนในค่าเฉลี่ยระดับต่ำที่ใกล้เคียง 1 มากกว่าค่าเฉลี่ยในระดับสูง ถึงแม้ในระดับที่ความเข้มข้นต่ำพบว่าผู้ทดสอบชิมยังบอกว่ามีรสหวาน การพัฒนาในชั้นต่อไปจึงกำหนดระดับการใช้ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสอยู่ที่ 45 และ 50 องศาบริกซ์ ส่วนกรดซิตริกที่ทำให้เกิดรสชาติเปรี้ยวนั้น พบว่า

ผู้ทดสอบชิมยังให้คะแนนไม่เข้าใกล้ 1 แม้จะเป็นการใช้ในระดับสูง คือที่ความเข้มข้น 0.7 % จึงทำการศึกษาในขั้นต่อไปคือ 0.7 และ 0.9 %

ส่วนปัจจัยรองต่างๆ ได้ทำการกำหนดค่าที่ควรจะใช้ในการทดลองต่อไป คือ $Na_2S_2O_5$ ที่ความเข้มข้น 0.2 % และ $CaCl_2$ ที่ความเข้มข้น 0.7 % ส่วนเกลือนั้นไม่ใช้เป็นส่วนผสม

## 5.6 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการแช่อิ่มแบบช้า

ระหว่างการแช่อิ่มได้ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าองศาบริกซ์ในเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อมของทั้ง 6 สิ่งทดลอง ดังในตาราง 5.10 และ 5.11

**ตาราง 5.10 การเปลี่ยนแปลงองศาบริกซ์ของน้ำเชื่อมทั้ง 6 สิ่งทดลอง**

| สิ่งทดลอง | การเปลี่ยนแปลงองศาบริกซ์ของน้ำเชื่อมในระหว่างการแช่อิ่ม | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 |
| 1 | 35 | 23.75 | 35.20 | 43.15 | 45.15 | 45.40 |
| 2 | 35 | 23.85 | 35.50 | 42.90 | 49.20 | 49.55 |
| 3 | 35 | 24.80 | 36.90 | 42.70 | 45.80 | 46.30 |
| 4 | 35 | 26.45 | 33.90 | 43.00 | 45.50 | 45.50 |
| 5 | 35 | 24.40 | 35.60 | 42.80 | 45.30 | 45.40 |
| 6 | 35 | 26.10 | 33.00 | 42.80 | 48.25 | 49.00 |

**ตาราง 5.11 การเปลี่ยนแปลง องศาบริกซ์ของเนื้อลิ้นจี่ทั้ง 6 สิ่งทดลอง**

| สิ่งทดลอง | การเปลี่ยนแปลงองศาบริกซ์ของน้ำเชื่อมในระหว่างการแช่อิ่ม | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 |
| 1 | 15.2 | 18.75 | 25.15 | 32.4 | 39.25 | 44.6 |
| 2 | 15.2 | 18.4 | 24.7 | 36.9 | 37.95 | 47.0 |
| 3 | 15.2 | 19.25 | 24.5 | 36.5 | 37.45 | 43.8 |
| 4 | 15.2 | 18.2 | 25.9 | 36.85 | 37.5 | 42.5 |
| 5 | 15.2 | 18.5 | 26.55 | 36.55 | 39 | 43.4 |
| 6 | 15.2 | 18.8 | 25.05 | 36.9 | 39.8 | 47.35 |

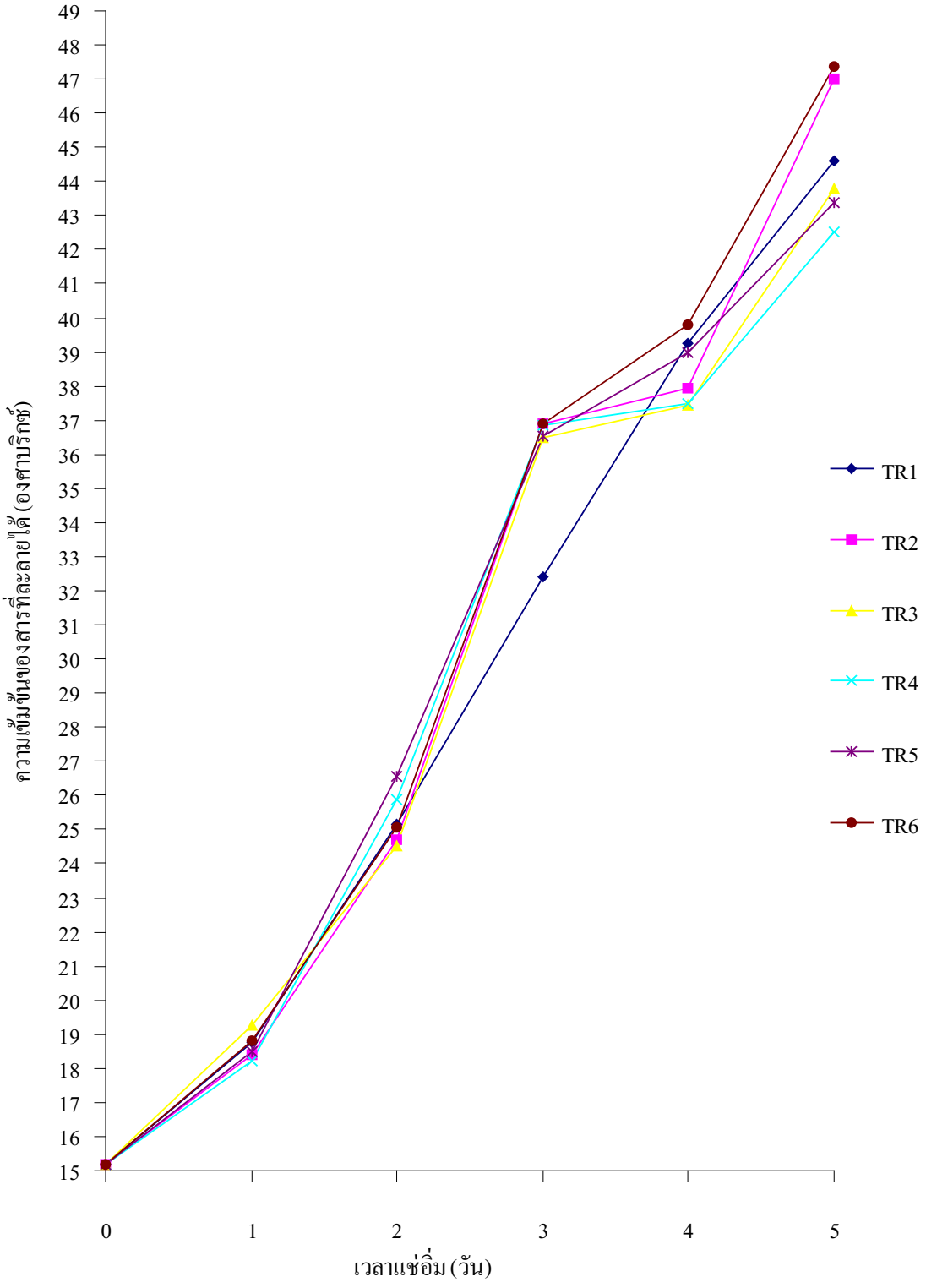
( องศาบริกซ์ของเนื้อลิ้นจี่สด (n = 5) = $15.18 \pm 0.5586$ )

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการแช่อิ่มแบบช้าทั้ง 6 สิ่งทดลอง พบว่าความเข้มข้นของน้ำเชื่อมลดลงอย่างรวดเร็วในวันแรกของการแช่อิ่ม โดยความเข้มข้นของน้ำเชื่อมลดลงจากเดิม 35 องศาบริกซ์มาเป็น 23.5-26.5 องศาบริกซ์ ซึ่งเท่ากับมีอัตราการลดลงเท่ากับ 8.5-11.25

องศาบริกซ์ต่อวัน ดังตาราง 5.10 หลังจากนั้นความเข้มข้นของน้ำเชื่อมลดช้าลงผันแปรตามระยะเวลาที่แช่ ถึงแม้จะมีการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเชื่อมในระหว่างการแช่อิ่มก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากในวันแรกนั้นน้ำเชื่อมมีผลต่างของความเข้มข้นมากกว่าเนื้อลิ้นจี่มาก ทำให้มีการออสโมซิสของน้ำออกจากเนื้อลิ้นจี่มาก เป็นเหตุให้น้ำเชื่อมเจือจางลงมาก

ในวันถัดมาถึงแม้มีการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเชื่อมมากขึ้นกว่าเดิมจาก 35 เป็น 40 องศาบริกซ์ แต่อัตราการลดลงของความหวานของน้ำเชื่อมจะช้าลง คือ จาก 8.5-11.25 องศาบริกซ์ต่อวันในวันแรก เหลือเป็น 3.0-7.0 องศาบริกซ์ในวันที่สอง, 1.8-2.3 องศาบริกซ์ในวันที่สาม, -0.3-2 องศาบริกซ์ในวันที่สี่และ -0.4 -1.2 องศาบริกซ์ในวันที่ห้า สำหรับสูตรที่ 1 และสูตรที่ 5 พบว่ามีการออสโมซิสสารที่ละลายได้ของเนื้อลิ้นจี่ออกมาในน้ำเชื่อม เป็นเหตุให้น้ำเชื่อมมีความหวานเพิ่มขึ้นจากเดิม 45 องศาบริกซ์มาเป็น 45.15 และ 45.3 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ถ้าพิจารณาวิธีการปรับความหวานของน้ำเชื่อมสูตรที่ 1 และสูตรที่ 5 เหมือนกัน คือเริ่มจาก 35 องศาบริกซ์เพิ่มเป็น 40 เพิ่มเป็น 45 และ 45 องศาบริกซ์ ตามลำดับ และไม่พบในสูตรที่มีการปรับความหวานของน้ำเชื่อมสูงกว่า 45 องศาบริกซ์

ถ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารที่ละลายได้ของเนื้อลิ้นจี่ระหว่างการแช่อิ่ม พบว่า เนื้อลิ้นจี่มีปริมาณสารที่ละลายได้เพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างช้าๆ ตั้งแต่วันแรกของการแช่อิ่ม ดังตาราง 5.11 โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นจากเดิม 15.20 องศาบริกซ์ มาเป็น 18.20-19.25 องศาบริกซ์ ในวันที่หนึ่ง, 24.5-25.9 องศาบริกซ์ในวันที่สอง, 32.4-36.9 องศาบริกซ์ในวันที่สาม, 37.45-39.80 องศาบริกซ์ในวันที่สี่ และ 42.5-47.4 องศาบริกซ์ในวันที่ห้า การที่เนื้อลิ้นจี่มีปริมาณสารที่ละลายได้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในวันแรกก็เนื่องจากน้ำเชื่อมมีความหวานมากกว่า จึงสามารถดึงน้ำที่อยู่ภายในเนื้อลิ้นจี่ออกไปได้มาก แต่เมื่อน้ำจากเนื้อลิ้นจี่ออกไปในน้ำเชื่อมมาก เป็นเหตุให้น้ำเชื่อมเจือจางลงจนอาจต่ำกว่าความเข้มข้นภายในเนื้อลิ้นจี่ได้ ทำให้เกิดการแพร่กระจายของน้ำเชื่อมเข้าไปในเนื้อลิ้นจี่ จึงเป็นเหตุให้ปริมาณสารที่ละลายได้ของเนื้อลิ้นจี่เพิ่มขึ้น ดังรูป 5.2 ความเข้มข้นของน้ำเชื่อมยิ่งสูง อัตราการซึมเข้ายิ่งเพิ่มขึ้นด้วย




รูปที่ 5.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่ละลายได้ในเนื้อลิ้นจี่ระหว่างการแช่อิ่ม

## 5.7 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของการพัฒนาสูตรเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบช้า

ทำการทดสอบชิมด้วยแบบทดสอบ Scaling test โดยที่ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คนได้ผลการทดสอบดังในตาราง 5.12 และ 5.13

จากตาราง 5.12 และ 5.13 พบว่า ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทั้งทางกายภาพและทางเคมี คือ เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งสิ่งทดลองที่ 1 มีค่าสี L เท่ากับ 43.56 และค่าสี a* เท่ากับ 2.56 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดใน 6 สิ่งทดลอง เช่นเดียวกันกับค่าแรงเฉือนที่วัดได้ต่ำสุดเท่ากับ 32.75 นิวตัน มีปริมาณน้ำเท่ากับ 23.12% และ $a_w$ สูงสุดเท่ากับ 0.48 ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าของคะแนนที่ผู้ทดสอบชิมให้วิธีการแช่อิ่มที่มีความหวานสุดท้าย 45 องศา-บริกซ์ + กรดซิตริก 0.7% (สิ่งทดลองที่ 1) สูงสุด ในด้านความมันวาว ความแข็ง และกลิ่นลิ้นจี่จะเห็นได้ว่ามีค่าสอดคล้องกัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่าของคะแนนที่ผู้ทดสอบชิมให้วิธีการแช่อิ่มที่มีความหวานสุดท้าย 47.5 องศาบริกซ์ + กรดซิตริก 0.8% (สิ่งทดลองที่ 4) สูงสุด ในด้านความเหนียวเท่ากับ 8.89 ซึ่งตรงกับค่าแรงเฉือนที่วัดได้สูงสุดเท่ากับ 60.52 นิวตัน และคะแนนรสเปรี้ยวสูงสุดในวิธีการแช่อิ่มที่ความหวานสุดท้าย 45 องศาบริกซ์ + กรดซิตริก 0.9% (สิ่งทดลองที่ 5) ซึ่งตรงกับค่าปริมาณกรดทั้งหมดสูงสุดเท่ากับ 0.51% อย่างไรก็ตามเมื่อนำผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Scaling มาวิเคราะห์หาความแตกต่างในทางสถิติ พบว่าไม่มีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสิ่งทดลองทั้ง 6 จึงได้เปลี่ยนวิธีการทดสอบเป็นวิธี Ranking และทำการทดสอบ 2 ครั้ง โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 24 คน ได้ผลดังตาราง 5.14

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้ตาราง Rank total ที่จำนวนผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 24 คน 6 สิ่ง-ทดลอง ต้องมีค่าความแตกต่างของค่า rank sum มากกว่า 37 ที่ $p < 0.05$ พบว่าในการทดสอบครั้งที่ 1 เฉพาะด้านสีของผลิตภัณฑ์เท่านั้นที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธีการแช่อิ่มที่ความหวานสุดท้าย 47.5 องศาบริกซ์ + กรดซิตริก 0.8% (สิ่งทดลองที่ 3) ผู้ทดสอบชิมมีความพอใจมากที่สุด และสิ่งทดลองที่ 1 ผู้ทดสอบชิมมีความพอใจน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ในการทดสอบครั้งที่ 2 ผลการทดสอบจากผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 24 คน พบว่า ด้านสีและด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบช้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยสิ่ง-ทดลองที่3ผู้ทดสอบชิมมีความพอใจมากที่สุดและวิธีการแช่อิ่มที่ความหวานสุดท้าย 50 องศาบริกซ์+ กรดซิตริก 0.9% (สิ่งทดลองที่ 6) ผู้ทดสอบชิมมีความพอใจน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับเนื้อสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งสิ่งทดลองที่ 1 ได้รับความพอใจมากที่สุดและสิ่งทดลองที่ 6 ได้รับความพอใจน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อนำผลรวมของผลการทดสอบทั้ง 2 ครั้งมาพิจารณาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าด้านสีสิ่งทดลองที่ 3 ได้รับความพอใจมากที่สุด และสิ่งทดลองที่ 1 ได้รับความพอใจน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับเนื้อสัมผัส สิ่งทดลองที่ 1 ได้รับความพอใจมากที่สุด และสิ่งทดลองที่ 3 ได้รับความพอใจน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาในด้านรสชาติและด้านความชอบรวม ถึงแม้จะไม่มีความแตกต่างกันของคะแนนที่ได้ในแต่ละสิ่งทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาค่า rank sum ที่ได้จะเห็นได้ว่าสิ่งทดลองที่ 1 ได้รับความพอใจมากกว่าสูตรอื่นๆ จึงคัดเลือกสิ่งทดลองที่ 1 ใช้ในการศึกษาทดลองต่อไป โดยสิ่งทดลองที่ 1 ประกอบด้วยการปรับความเข้มข้นของน้ำตาลจาก 35 องศาบริกซ์เพิ่มเป็น 40 เป็น 45 และเป็น 45 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ที่มีกรดซิตริก 0.7% โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.2% และแคลเซียมคลอไรด์ 0.7% ใช้เวลาแช่อิ่มทั้งหมด 5 วัน ซึ่งแตกต่างจากวิธีการแช่อิ่มสับปะรดและมะละกอ ที่ให้แช่ในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้น 30 องศาบริกซ์และเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 องศาบริกซ์จนมีความเข้มข้นสุดท้าย 70 องศาบริกซ์ (Soponronnarit *et al.* 1992, 1993) แต่คล้ายคลึงกับวิธีการแช่อิ่มลำไยย้อมสี ที่ปรับความเข้มข้นสุดท้ายของน้ำเชื่อมเท่ากับ 45 องศาบริกซ์ โดยใช้เวลาแช่อิ่มทั้งหมด 5 วัน (รัตนาและอัจฉรา, 2542)

## 5.8 ผลการศึกษาเปรียบเทียบเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งระหว่างสูตรน้ำตาลอย่างเดียวกับสูตรที่ใช้แบะแซ

ผลการทดลองนำเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งสูตรน้ำตาลอย่างเดียว และสูตรที่ผสมแบะแซมาทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี ratio scaling โดยใช้ผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 16 คน ได้ผลดังตาราง 5.15 และผลวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีดังตาราง 5.16 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งสูตรน้ำตาลอย่างเดียว ได้คะแนนความพอใจในด้านสี ความใส และความชอบรวมมากกว่าสูตรที่ผสมแบะแซอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในด้านความแข็ง ความเหนียว และรสหวาน สูตรน้ำตาลอย่างเดียวได้รับคะแนนมากกว่าสูตรที่ผสมแบะแซเช่นกัน แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการทดสอบที่ได้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งพบว่า สูตรที่ใช้น้ำตาลอย่างเดียว มีค่าสี a* และ b* น้อยกว่าสูตรที่ผสมแบะแซ คือ สูตรที่ใช้น้ำตาลอย่างเดียวมีสีน้ำตาลอ่อนกว่าสูตรที่ใช้แบะแซ จึงได้คะแนนสีมากกว่า ในด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสูตรที่ใช้น้ำตาลอย่างเดียว มีค่าแรงเฉือนต่ำกว่าและมีค่าความชื้นสูงกว่าสูตรที่ผสมแบะแซ นั่นคือสูตรที่ใช้น้ำตาลอย่างเดียว มีเนื้อสัมผัสนุ่มกว่า (แข็งน้อยกว่า) ทำให้ได้คะแนนความแข็งและความเหนียวมากกว่า ในด้านความหวานสูตรที่ใช้น้ำตาลอย่างเดียว มีค่า % น้ำตาลสูงกว่าสูตรที่ผสมแบะแซอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และมีปริมาณกรดต่ำกว่า

**ตาราง 5.12 แสดงค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ได้รับ**

| สิ่งทดลอง | สี | ความมันวาว | ความใส | ความแข็ง | ความเหนียว | กลิ่นลิ้นจี่ | รสเปรี้ยว | รสหวาน | การยอมรับรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6.24 | 7.21 | 4.75 | 8.28 | 7.10 | 7.58 | 4.45 | 4.43 | 6.48 |
| 2 | 6.46 | 6.05 | 5.51 | 7.29 | 7.98 | 6.48 | 4.09 | 4.10 | 7.48 |
| 3 | 8.78 | 7.11 | 4.90 | 5.50 | 7.49 | 6.96 | 4.45 | 5.00 | 7.09 |
| 4 | 5.93 | 6.39 | 5.26 | 4.20 | 8.89 | 7.39 | 4.49 | 4.69 | 7.35 |
| 5 | 5.26 | 6.16 | 5.73 | 6.36 | 8.08 | 7.25 | 5.08 | 4.66 | 7.74 |
| 6 | 5.54 | 5.66 | 5.49 | 6.80 | 7.91 | 6.21 | 3.78 | 4.73 | 7.58 |

**ตาราง 5.13 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของทั้ง 6 สิ่งทดลอง**

| สิ่งทดลอง | L | a* | b* | $a_w$ | TA (%) | TS (%) | Shear force (N) | $SO_2$ (%) | MC (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 43.56 | $2.56^{b}$ | 12.89 | $0.48^{a}$ | $0.35^{a}$ | 56.77 | $32.75^{a}$ | $563.83^{a}$ | 23.12 |
| 2 | 45.86 | $3.09^{b}$ | 14.27 | $0.47^{ab}$ | $0.37^{a}$ | 51.71 | $43.87^{ab}$ | $593.50^{ab}$ | 20.97 |
| 3 | 43.67 | $3.78^{ab}$ | 14.60 | $0.45^{b}$ | $0.45^{b}$ | 56.29 | $47.02^{b}$ | $492.28^{c}$ | 22.18 |
| 4 | 43.84 | $3.62^{ab}$ | 15.46 | $0.45^{b}$ | $0.38^{a}$ | 55.23 | $60.52^{c}$ | $450.38^{c}$ | 22.41 |
| 5 | 43.95 | $5.06^{a}$ | 16.15 | $0.46^{b}$ | $0.51^{b}$ | 57.27 | $41.85^{ab}$ | $452.80^{c}$ | 23.21 |
| 6 | 45.93 | $3.96^{ab}$ | 15.7 | $0.46^{b}$ | $0.53^{b}$ | 57.64 | $46.07^{b}$ | $544.30^{b}$ | 22.08 |

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ )

**ตาราง 5.14 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่มีต่อสูตรเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบช้า โดยวิธี Ranking test**

| ลักษณะ | ลำดับความชอบ | | |
|---|---|---|---|
| | Rep 1 | Rep 2 | รวม 2 ซ้ำ |
| สี | $3^{a} > 6^{ab} > 5^{ab} > 4^{ab} > 2^{ab} > 1^{c}$ | $3^{a} > 2^{a} > 4^{a} > 5^{ab} > 1^{ab} > 6^{b}$ | $3^{a} > 4^{ab} = 5^{ab} = 2^{ab} > 6^{b} > 1^{b}$ |
| รสชาติ | 5 > 6 > 3 > 1 > 2 > 4 | 1 > 4 > 2 > 3 = 5 > 6 | 1 = 5 > 3 > 2 = 4 = 6 |
| เนื้อสัมผัส | 1 > 2 > 6 > 4 > 5 > 3 | $1^{a} > 4^{ab} > 5^{abc} > 2^{bc} > 3^{bc} > 6^{c}$ | $1^{a} > 4^{ab} = 2^{ab} > 5^{bc} > 6^{bc} > 3^{c}$ |
| ความชอบรวม | 1 > 6 > 4 > 3 > 5 > 2 | 5 > 1 > 4 > 2 > 3 > 6 | 1 > 5 = 4 > 6 > 3 > 2 |

**หมายเหตุ** 1. ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละซ้ำแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.05)

2. การทดสอบชิมแบบ Ranking test กำหนดให้ลำดับคะแนน 1 คือลำดับความชอบมากที่สุด และ 6 คือลำดับความชอบน้อยที่สุด

**ตาราง 5.15 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งระหว่างสูตรที่ใช้น้ำตาลอย่างเดียวกับสูตรที่ผสมแบะแซ**

| สูตร | สี | ความใส | ความแข็ง | ความเหนียว | กลิ่นลิ้นจี่ | รสเปรี้ยว | รสหวาน | การยอมรับรวม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำตาลอย่างเดียว | 7.95[a] | 8.88[a] | 7.997 | 7.445 | 4.989 | 4.724 | 8.826 | 8.78[a] |
| น้ำตาล+แบะแซ | 6.23[b] | 6.88[b] | 7.521 | 6.819 | 5.295 | 5.132 | 8.478 | 7.63[b] |

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ )

**ตาราง 5.16 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี**

| สูตร | Attribute | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | MC (%) | $a_w$ | L | a* | b* | Shear force (N) | TA (%) | Total sugar (%) |
| น้ำตาลอย่างเดียว | 23.395[a] | 0.441 | 42.50 | 6.55 | 16.15[a] | 41.38 | 0.67 | 60.50[a] |
| น้ำตาล + แบะแซ | 19.013[b] | 0.395 | 44.93 | 7.52 | 19.12[b] | 48.63 | 0.62 | 55.58[b] |

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ )

## 5.9 ผลการศึกษาหาชนิดของสารละลาย อัตราส่วน และระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำเนื้อลิ้นจี่อบแห้งด้วยวิธีออสโมติกดีไฮเดรชัน

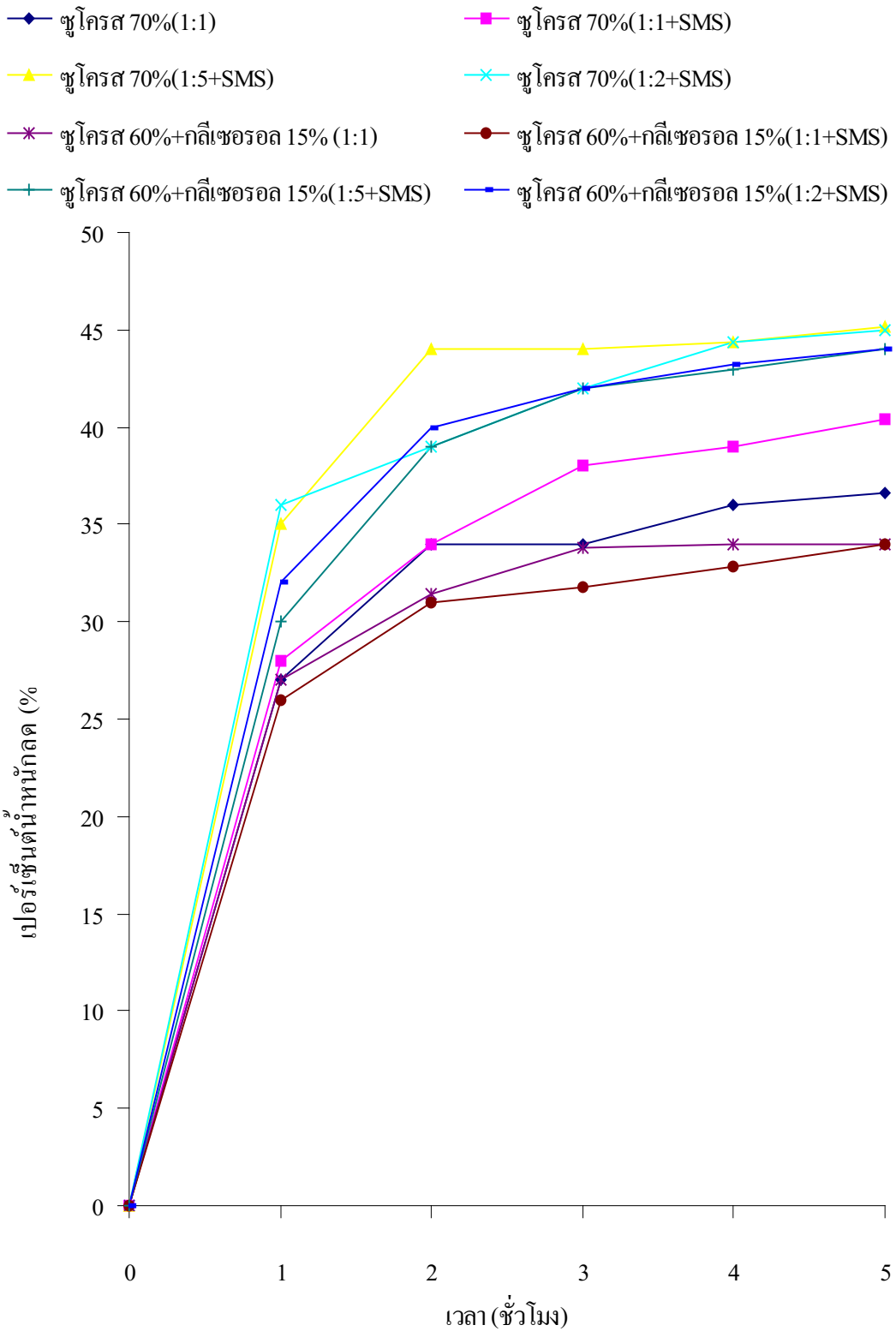
ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการแช่เนื้อลิ้นจี่ในชนิดและอัตราส่วนของสารละลายทั้ง 8 สิ่งทดลอง ได้ผลดังตาราง 5.17 และ 5.18 และเมื่อนำค่าจากตารางมาพล๊อตกราฟระหว่าง % น้ำหนักที่ลดลงกับระยะเวลาจะได้กราฟดังรูป 4.3

**ตาราง 5.17 ผลของสารละลายซูโครส 70 % ที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่**

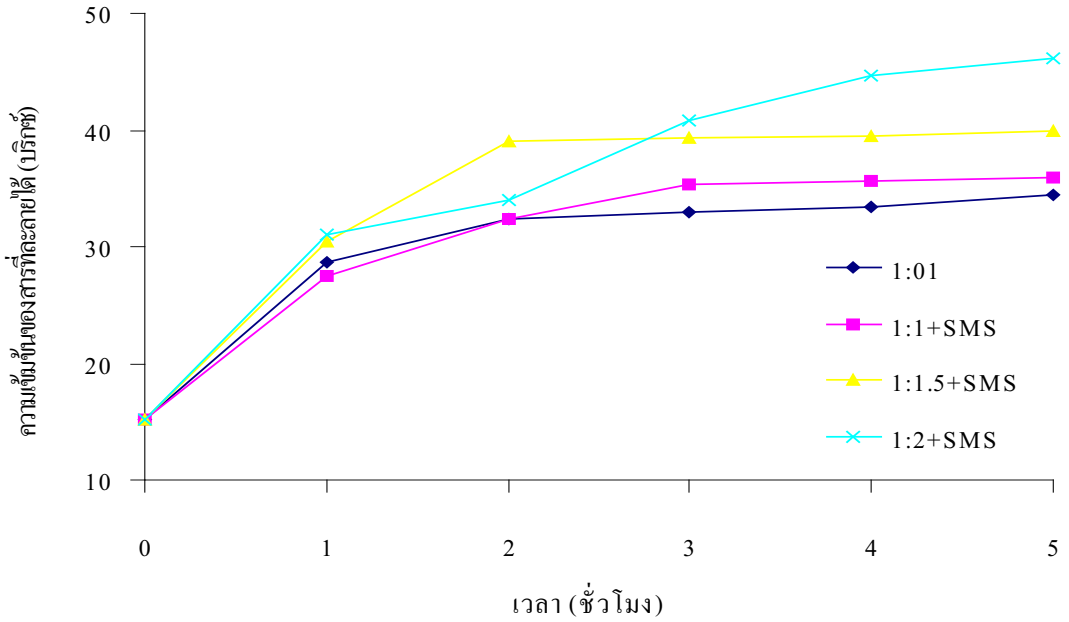
| In sucrose 70% Flesh : syrup | Time (hr) | Weight (g) | Temp ( $^{o}$C ) | Syrup | | flesh | | Weight loss (g) | Weight reduction (%) | Soluble solid gain (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Brix | $a_w$ | $^{o}$ Brix | $a_w$ | | | |
| 1 : 1 Control | 0 | 500 | 70 | 60 | 0.822 | 15.20 | 0.886 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 365 | 40 | 44.8 | 0.861 | 28.65 | 0.871 | 135 | 27.0 | 28.57 |
| | 2 | 330 | 35.5 | 42.7 | 0.863 | 32.35 | 0.873 | 170 | 34.0 | 30.76 |
| | 3 | 330 | 31 | 41.2 | 0.865 | 32.95 | 0.868 | 170 | 34.0 | 32.74 |
| | 4 | 320 | 32 | 40.6 | 0.872 | 33.40 | 0.865 | 180 | 36.0 | 30.88 |
| | 5 | 317 | 30 | 40.4 | 0.872 | 34.50 | 0.867 | 183 | 36.6 | 33.37 |
| 1 : 1 + 0.4% SMS | 0 | 500 | 68 | 62.5 | 0.821 | 15.20 | 0.886 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 360 | 41 | 45.0 | 0.862 | 27.50 | 0.877 | 140 | 28.0 | 23.09 |
| | 2 | 330 | 36 | 42.9 | 0.867 | 32.40 | 0.874 | 170 | 34.0 | 30.92 |
| | 3 | 310 | 31 | 41.0 | 0.867 | 35.40 | 0.865 | 190 | 38.0 | 33.74 |
| | 4 | 305 | 30 | 40.6 | 0.865 | 35.60 | 0.864 | 195 | 39.0 | 32.58 |
| | 5 | 298 | 29 | 40.2 | 0.871 | 36.00 | 0.860 | 202 | 40.4 | 31.28 |
| 1 : 1.5 + 0.4% SMS | 0 | 500 | 69 | 63.0 | 0.805 | 15.2 | 0.886 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 325 | 47 | 51.0 | 0.856 | 30.5 | 0.868 | 175 | 35.0 | 23.13 |
| | 2 | 280 | 37 | 48.5 | 0.861 | 39.1 | 0.856 | 220 | 44.0 | 33.48 |
| | 3 | 280 | 34 | 47.8 | 0.860 | 39.4 | 0.856 | 220 | 44.0 | 34.32 |
| | 4 | 278 | 31 | 47.2 | 0.861 | 39.5 | 0.855 | 222 | 44.4 | 33.81 |
| | 5 | 274 | 29.5 | 46.9 | 0.863 | 40.0 | 0.850 | 226 | 45.2 | 33.60 |
| 1 : 2 + 0.4% SMS | 0 | 500 | 68 | 63.0 | 0.791 | 15.2 | 0.886 | 0 | 0.0 | 0 |
| | 1 | 320 | 46 | 52.35 | 0.846 | 31.1 | 0.862 | 180 | 36.0 | 23.52 |
| | 2 | 305 | 38 | 50.3 | 0.848 | 34.07 | 0.867 | 195 | 39.0 | 27.91 |
| | 3 | 290 | 33 | 49.4 | 0.854 | 40.8 | 0.86 | 210 | 42.0 | 42.32 |
| | 4 | 278 | 32 | 49.2 | 0.855 | 44.7 | 0.843 | 222 | 44.4 | 48.27 |
| | 5 | 275 | 31 | 48.6 | 0.859 | 46.2 | 0.837 | 225 | 45.0 | 51.05 |

**ตาราง 5.18 ผลของสารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครส 60% กับกลีเซอรอล 15% ที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของเนื้อลิ้นจี่**

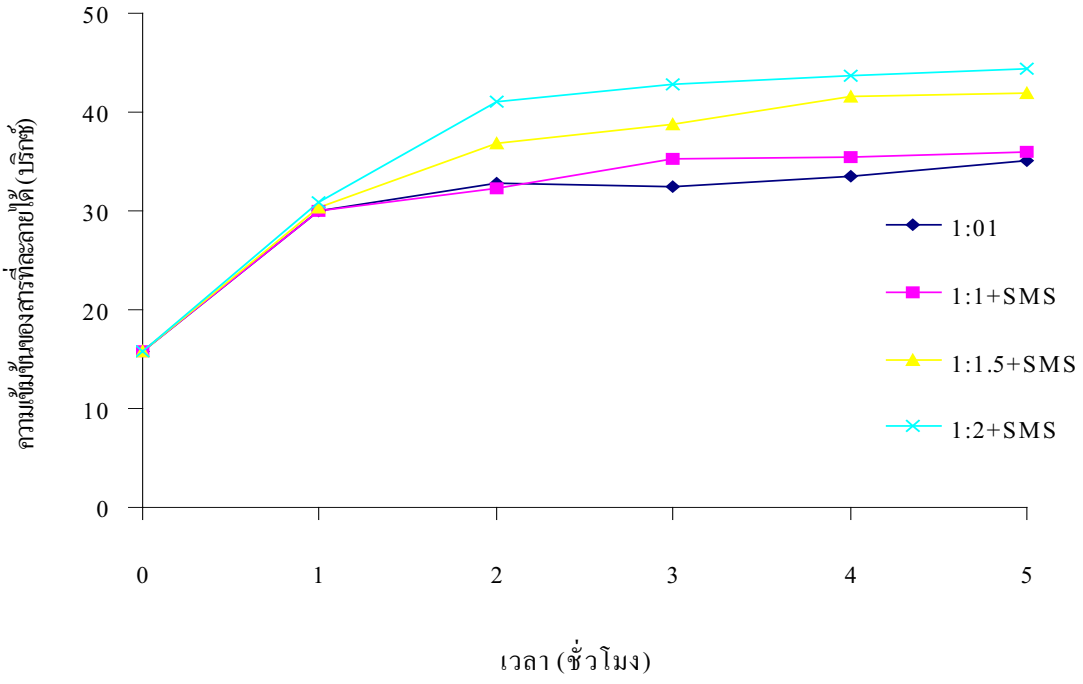
| S 60 % : G 15 % | Time | Weight | Temp | Syrup | | flesh | | Weight | Weight | Soluble solid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Flesh : syrup | (hr) | (g) | ( $^{o}$C ) | $^{o}$Brix | $a_w$ | $^{o}$Brix | $a_w$ | loss (g) | reduction (%) | gain (g) |
| 1 : 1 Control | 0 | 500 | 70 | 60.2 | 0.788 | 15.80 | 0.892 | 0 | 0 | 0 |
| | 1 | 365 | 43 | 45.6 | 0.837 | 30.00 | 0.878 | 135 | 27.0 | 30.50 |
| | 2 | 343 | 34.5 | 43 | 0.842 | 32.75 | 0.875 | 157 | 31.4 | 33.33 |
| | 3 | 331 | 31.5 | 41.7 | 0.859 | 32.40 | 0.872 | 169 | 33.8 | 28.24 |
| | 4 | 330 | 30 | 40.7 | 0.868 | 33.57 | 0.870 | 170 | 34.0 | 31.78 |
| | 5 | 330 | 29 | 40.2 | 0.872 | 35.02 | 0.861 | 170 | 34.0 | 36.57 |
| 1 : 1 + 0.4% SMS | 0 | 500 | 71 | 61.7 | 0.772 | 15.80 | 0.892 | 0 | 0.0 | 0 |
| | 1 | 370 | 45 | 43.9 | 0.843 | 30.00 | 0.876 | 130 | 26.0 | 32.00 |
| | 2 | 345 | 35.5 | 41.9 | 0.853 | 32.20 | 0.867 | 155 | 31.0 | 32.09 |
| | 3 | 341 | 31.5 | 41.3 | 0.86 | 35.35 | 0.857 | 159 | 31.8 | 41.54 |
| | 4 | 336 | 30 | 40 | 0.872 | 35.40 | 0.855 | 164 | 32.8 | 39.94 |
| | 5 | 330 | 29 | 39.8 | 0.871 | 36.00 | 0.853 | 170 | 34.0 | 39.80 |
| 1 : 1.5 + 0.4% SMS | 0 | 500 | 71 | 63 | 0.754 | 15.80 | 0.886 | 0 | 0.0 | 0 |
| | 1 | 350 | 44 | 48.7 | 0.828 | 30.40 | 0.875 | 150 | 30.0 | 27.40 |
| | 2 | 305 | 35 | 46.8 | 0.846 | 36.88 | 0.854 | 195 | 39.0 | 33.48 |
| | 3 | 290 | 31 | 45.8 | 0.841 | 38.75 | 0.852 | 210 | 42.0 | 33.38 |
| | 4 | 285 | 30 | 45.5 | 0.842 | 41.52 | 0.845 | 215 | 43.0 | 39.33 |
| | 5 | 280 | 30 | 45.4 | 0.844 | 41.9 | 0.851 | 220 | 44.0 | 38.32 |
| 1 : 2 + 0.4% SMS | 0 | 500 | 70 | 63.8 | 0.750 | 15.8 | 0.886 | 0 | 0.0 | 0 |
| | 1 | 340 | 45 | 52.6 | 0.849 | 30.9 | 0.867 | 160 | 32.0 | 26.06 |
| | 2 | 300 | 36 | 50.6 | 0.852 | 41.0 | 0.858 | 200 | 40.0 | 44.00 |
| | 3 | 290 | 31.5 | 50.1 | 0.878 | 42.9 | 0.852 | 210 | 42.0 | 45.27 |
| | 4 | 284 | 30 | 49.9 | 0.856 | 43.7 | 0.839 | 216 | 43.2 | 45.11 |
| | 5 | 280 | 29.5 | 49.7 | 0.857 | 44.3 | 0.848 | 220 | 44.0 | 45.04 |



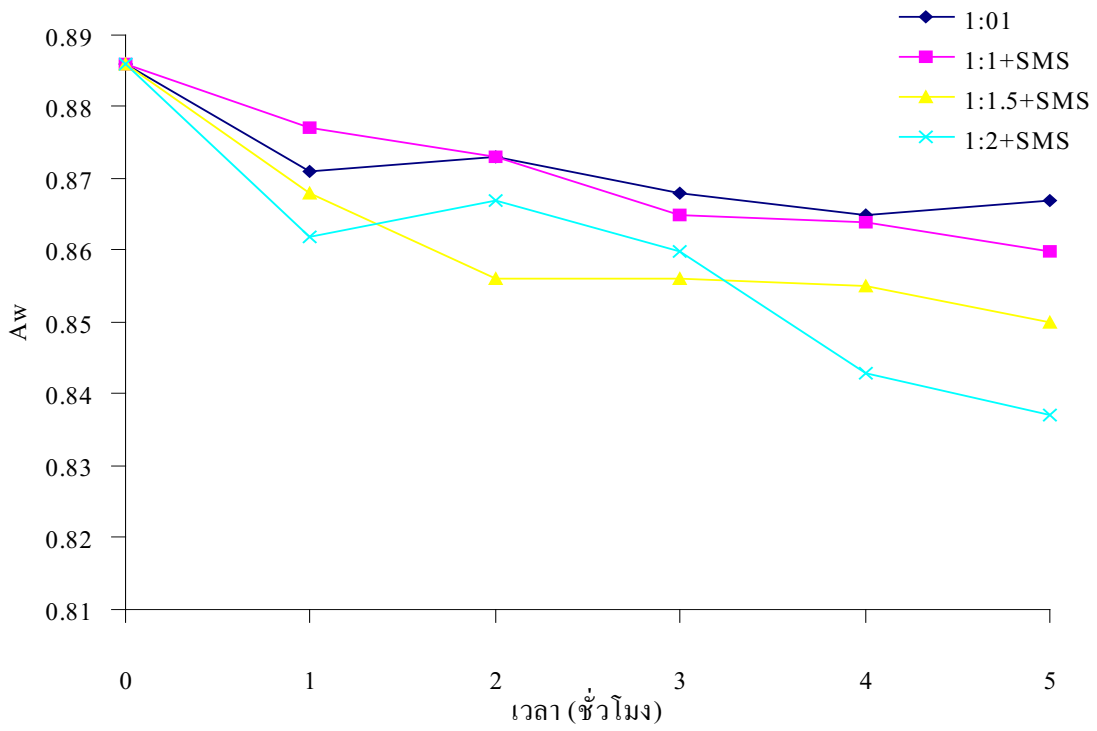

รูปที่ 5.3 อัตราส่วนของผลไม้ต่อน้ำเชื่อมที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักลดลองเนื้อลิ้นจี่



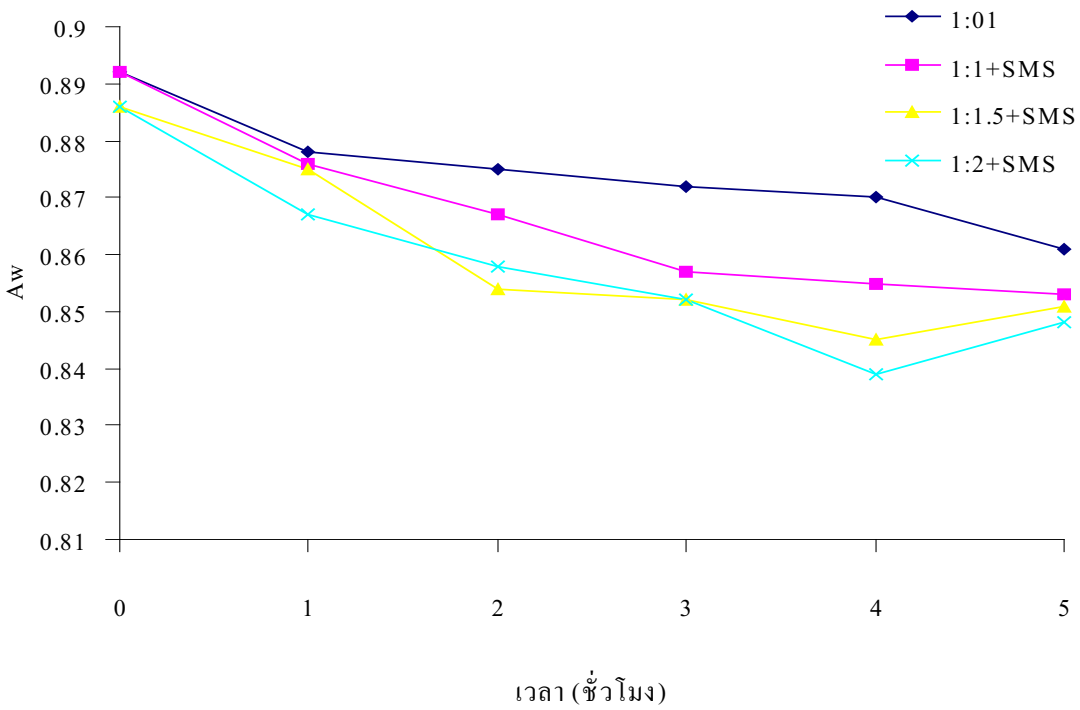

รูปที่ 5.4 อัตราส่วนผลไม้ต่อน้ำเชื่อมที่มีต่อความเข้มข้นของสารที่ละลายในเนื้อลิ้นจี่ (ซูโครส 70%)




รูปที่ 5.5 อัตราส่วนผลไม้ต่อสารละลายที่มีต่อความเข้มข้นของสารที่ละลายได้ในเนื้อลิ้นจี่ (ซูโครส 60% + กลีเซอรอล 15%)




รูปที่ 5.6 อัตราส่วนผลไม้ต่อน้ำเชื่อมที่มีต่อ $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่ (น้ำเชื่อม 70%)




รูปที่ 5.7 อัตราส่วนผลไม้ต่อสารละลายที่มีต่อ $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่ (ซูโครส 60% +กลีเซอรอล 15%)

ผลการศึกษาชนิดของสารละลาย อัตราส่วนของเนื้อลิ้นจี่ต่อสารละลาย และระยะเวลาที่ใช้ในการทำออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่าการเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) 0.4% ในสารละลายมีผลทำให้สารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากเดิม 60 องศาบริกซ์ เป็น 62-63 องศาบริกซ์ ดังตาราง 5.17 และ 5.18 ซึ่งความเข้มข้นดังกล่าวส่งผลให้ค่าปริมาณสารละลายที่ละลายได้ในเนื้อลิ้นจี่ % น้ำหนักสด และค่า $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่ที่แช่ในสารละลายซูโครส 70 % ที่ไม่เติมสารโซเดียมเมตา-ไบซัลไฟต์ที่มีค่าต่ำกว่าที่เติมสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

จากรูป 5.3 จะเห็นได้ว่า % น้ำหนักที่ลดลงของสารละลายซูโครส 70% มีค่ามากกว่าสารละลายซูโครส 60% ที่มีกลีเซอรอล 15% ในทุกอัตราส่วนของเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย และที่อัตราส่วนของเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย 1 : 2 มี % น้ำหนักที่ลดลงเท่ากับหรือใกล้เคียงกับที่ 1 : 1.5 และแตกต่างมากกว่า 1 : 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลง % น้ำหนักที่ลดลงกับระยะเวลาที่แช่จะเห็นได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลง % น้ำหนักที่ลดลงอย่างมากในชั่วโมงแรกของการแช่ จากนั้นการเปลี่ยนแปลงจะช้าลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาแช่ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในชั่วโมงที่ 4 และที่ 5 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังตาราง 5.17 และ 5.18

จากรูป 5.4 และ 5.5 จะเห็นได้ว่า เนื้อลิ้นจี่มีการดูดซึมสารที่ละลายได้จากสารละลายเข้าไปทำให้ปริมาณสารที่ละลายได้ในเนื้อลิ้นจี่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมากใน 3 ชั่วโมงแรกของการแช่ จากนั้นการดูดซึมสารที่ละลายได้ของเนื้อลิ้นจี่ช้าลงตามระยะเวลาแช่ที่เพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วนลิ้นจี่ : สารละลายที่สูงกว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณสารที่ละลายได้เพิ่มขึ้นมากกว่าที่อัตราส่วนลิ้นจี่ : สารละลายที่ต่ำกว่า ซึ่งจะเห็นได้จากเมื่อสิ้นสุดกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน (5 ชั่วโมง) ปริมาณสารที่ละลายได้ที่อัตราส่วนของเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย 1 : 2 > 1 : 1.5 > 1 : 1 ตามลำดับ และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณสารที่ละลายได้ที่เพิ่มขึ้นระหว่างสารละลายซูโครส 70% กับสารละลายซูโครส 60% + กลีเซอรอล 15%

จากรูป 5.6, 5.7 และตาราง 5.17, 5.18 จะเห็นได้ว่า ค่า $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่ และค่า $a_w$ สาร-ละลายมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาแช่ที่เพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงค่า $a_w$ ทั้งของเนื้อลิ้นจี่และสาร-ละลายเกิดขึ้นมากใน 2 ชั่วโมงแรก จากนั้นการเปลี่ยนแปลงจะช้าลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนที่อัตราส่วนของเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย 1 : 1 และ 1 : 1.5 แต่ที่อัตราส่วน 1 : 2 ยังมีการเปลี่ยนแปลงค่า $a_w$ ทั้งของเนื้อลิ้นจี่และสารละลายมากกว่าที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:1.5

ถ้าพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า $a_w$ ในแต่ละช่วงของเวลาแช่ พบว่าที่อัตราส่วนของเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย 1 : 1 + SMS ในชั่วโมงที่ 3 และ 4 มีค่า $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่และค่า $a_w$ ของสารละลายซูโครส 70 % ใกล้เคียงกันมาก คือค่า $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่ 0.865 และ 0.864 ขณะที่ค่า $a_w$ ของสารละลาย 0.867 และ 0.865 ตามลำดับโดยปริมาณสารที่ละลายได้ของเนื้อลิ้นจี่มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 35.4 และ

35.6 เช่นเดียวกับปริมาณสารที่ละลายได้ของสารละลายมีค่าเท่ากับ 41.0 และ 40.6 ตามลำดับ ขณะที่อัตราส่วนของเนื้อลิ้นจี่ : สารละลายอัตราส่วนอื่นๆ นั้นไม่พบว่ามีค่า $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่ และค่า $a_w$ ของสารละลายใกล้เคียงกัน ถึงแม้จะมีความแตกต่างของปริมาณสารที่ละลายได้ระหว่างช่วงเวลาน้อยมากก็ตาม

ผลการศึกษาอัตราส่วนของเนื้อลิ้นจี่ : สารละลายและระยะเวลาแช่ พบว่าการใช้อัตราส่วนของเนื้อลิ้นจี่ : สารละลายที่สูง (1 : 1.5 และ 1 : 2) ให้ % น้ำหนักที่ลดลงสูงกว่าอัตราส่วนอื่นๆ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Ponting *et al.* (1966) ที่พบว่าอัตราส่วนแอปเปิล : สารละลาย 1 : 2 ให้ % น้ำหนักที่ลดลงสูงกว่าอัตราส่วน 1 : 1 และ 1 : 4 เช่นเดียวกับ Bongirwar and Sreenivasan (1997) ที่พบว่าอัตราส่วนกล้วย : สารละลาย 1 : 2 ให้อัตราการสูญเสียน้ำได้ดีกว่าอัตราส่วน 1 : 1 และ 1 : 3 สำหรับการเปลี่ยนแปลง % น้ำหนักลดในแต่ละช่วงเวลาของการแช่ พบว่าการเปลี่ยนแปลง % น้ำหนักลดในทุกอัตราส่วน : สารละลายจะเกิดขึ้นอย่างมากเฉพาะชั่วโมงแรกของการแช่เท่านั้น หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงจะช้าลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในชั่วโมงที่ 4 ถึงชั่วโมงที่ 5 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Rahman (1995) ที่พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำออกจากวัตถุดิบและน้ำหนักที่ลดลงเกิดขึ้นสูงเฉพาะในช่วงต้นๆ ของการทำออสโมติกดี-ไฮเดรชันเท่านั้น หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการสูญเสียน้ำจะช้าลง

การที่อัตราการสูญเสียน้ำลดลงอาจเนื่องจากในช่วงต้นสารละลายถูกทำให้เจือจางอย่างรวดเร็ว ทำให้แรงถ่ายเทมวลสารลดน้อยลงด้วย ประกอบกับความเข้มข้นของสารละลายซูโครส 70% จะให้ค่าการสูญเสียน้ำและน้ำหนักที่ลดลงน้อยกว่าการแช่ในสารละลายซูโครส 50% และ 60% สาเหตุอาจเกิดจากในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงๆ เร่งให้เกิดชั้นของน้ำตาลรอบๆ ชิ้นผลไม้อย่างรวดเร็ว ทำให้แรงดันสำหรับการไหลของน้ำลดลง (Lazarides, 1994 และ Rahman, 1995) Waloszewseski *et al*. (1996) ได้ทดลองทำออสโมติกดีไฮเดรชันชิ้นมะละกอในสารละลายซูโครส 50-70 องศาบริกซ์ พีเอช 6-8 อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เมื่อนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.5-1.5 เมตรต่อวินาที พบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลและค่าพีเอชไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้

## 5.10 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันทั้ง 4 อัตราส่วนในสารละลาย 2 ชนิด

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส และผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชันในสารละลายซูโครส 70% และในสารละลายซูโครส 60% ที่มีกลีเซอรอล 15 % ดังในตาราง 5.19 และ 5.20

จากตาราง 5.19 จะเห็นได้ว่าเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดชันในสารละลายซูโครส 70 % ที่อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย 1:1, 1:1 + SMS; 1:1.5 + SMS และ 1:2 + SMS มีค่า ideal ratio สูงกว่าเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชันในสารละลายซูโครส 60% ที่มีกลีเซอรอล 15 % ทั้งในด้านความหวาน รสเปรี้ยว กลิ่นลิ้นจี่ สี ความเหนียว ความแข็งและการยอมรับรวม ยกเว้นที่อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย 1:2 + SMS เฉพาะด้านความหวาน รสเปรี้ยว และการยอมรับรวม ที่มีค่า ideal ratio ต่ำกว่า

จากตาราง 5.20 พบว่าเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชันแบบไม่เติมสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์จะให้ค่าสี L ต่ำกว่า และค่าสี a* สูงกว่าเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่มีการเติมสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ไม่เติมสารมีสีเหลืองอมน้ำตาลมากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบค่าสี a* ของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดี-ไฮเดรชันในสารละลายซูโครส 70 % กับสารละลายซูโครส 60 % ที่มีกลีเซอรอล 15 % พบว่าสาร-ละลายซูโครส 70 % ให้ค่าสี a* มากกว่าในทุกอัตราส่วนของเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย โดยมีสีเหลืองอมน้ำตาลเข้มกว่า แต่เป็นสีที่ผู้บริโภคมีความพอใจมากกว่า ซึ่งตรงกับค่า ideal ratio และสอดคล้องกับการทดลองของ Soleha *et al.* (1991) ที่พบว่าการใช้กลีเซอรอล 15-20% ผสมกับสารละลายน้ำตาล 60% ทำให้มะละกออบแห้งมีสีแดงสดมากกว่าที่ไม่เติมกลีเซอรอล

ในด้าน % ความชื้น ถ้าพิจารณา % ความชื้นของเนื้อลิ้นจี่ที่ได้ภายหลังการทำออสโมติกดี-ไฮเดรชันก่อนนำไปอบแห้ง จะเห็นได้ว่าการแช่ในสารละลายซูโครส 70 % สามารถดึงน้ำออกจากเนื้อลิ้นจี่ได้มากกว่า เป็นเหตุให้เนื้อลิ้นจี่มี % ความชื้นเหลืออยู่ต่ำกว่าการแช่ในสารละลายซูโครส 60% ที่มีกลีเซอรอล 15% และพบว่าอัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ : สารละลายสูงสามารถดึงน้ำออกได้มากกว่าที่มีอัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ : สารละลายต่ำ ถ้าพิจารณา % ความชื้นของเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง กับค่า ideal ratio ในด้านความแข็ง จะเห็นได้ว่าค่า ideal ratio ในด้านความแข็งแปรผกผันกับ % ความชื้นของเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง กล่าวคือ เนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่มี % ความชื้นต่ำจะมีค่า ideal ratio สูง จากผลการทดลอง พบว่า เนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ได้มีค่า ideal ratio สูงสุด คือ 1.049 รองลงมา คือ 1.005, 0.931, 0.913, 0.910, 0.851, 0.823 และ 0.785 ซึ่งมีค่า % ความชื้นเท่ากับ 29.85, 28.94, 30.11, 31.36, 31.46, 31.77, 31.67 และ 32.41 ตามลำดับ

สำหรับค่า $a_w$ พบว่า เนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชันในสารละลายซูโครส 70% มีค่า $a_w$ สูงกว่าในสารละลายซูโครส 60% ที่มีกลีเซอรอล 15% ทั้งที่มีค่าความชื้นต่ำกว่า ทั้งนี้เพราะกลีเซอรอลเป็นตัวทำให้ค่า $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งต่ำกว่า และให้ค่าปริมาณความชื้นที่สูงกว่า (Soleha *et al.,* 1991)

จากผลการศึกษาเพื่อหาชนิดของสารละลาย อัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย และระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำออสโมติกดีไฮเดรชัน เมื่อพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำออสโมติกดีไฮเดรชัน ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ผ่านการทำออสโมติกดีไฮเดรชัน สรุปได้ว่าสารละลายซูโครส 70% ที่มีการเติมสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.4% จะให้ % น้ำหนักที่ลดลง อัตราการ สูญเสียน้ำและผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการยอมรับมากกว่าการใช้สารละลายซูโครส 60% ที่มีกลีเซลรอล 15% และเติมสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.4%

**ตาราง 5.19 ค่า Ideal ratio profile ของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของลิ้นจี่แชิอิ่มอบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชัน**

| | ค่า Ideal ratio profile | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สิ่งทดลอง | ความหวาน | รสเปรี้ยว | กลิ่นลิ้นจี่ | สี | ความเหนียว | ความแข็ง | การยอมรับรวม |
| 1 | 1.011 | 0.962 | 0.767 | 1.100 | 1.092 | 0.910 | 0.783 |
| 2 | 1.111 | 0.936 | 0.748 | 0.878 | 1.208 | 1.049 | 0.800 |
| 3 | 1.152 | 0.829 | 0.798 | 0.927 | 1.131 | 0.931 | 0.788 |
| 4 | 1.065 | 0.786 | 0.753 | 0.989 | 1.350 | 1.005 | 0.729 |
| 5 | 1.072 | 0.879 | 0.780 | 1.211 | 1.338 | 0.851 | 0.777 |
| 6 | 1.059 | 0.795 | 0.739 | 0.816 | 1.127 | 0.913 | 0.762 |
| 7 | 1.057 | 0.950 | 0.775 | 0.764 | 1.112 | 0.785 | 0.748 |
| 8 | 1.120 | 0.821 | 0.708 | 0.756 | 1.135 | 0.823 | 0.764 |

หมายเหตุ : สิ่งทดลอง 1-4 แช่ในสารละลายซูโครส 70% และ 5-8 แช่ในสารละลายซูโครส 60 %+กลีเซอรอล 15%
สิ่งทดลอง 1, 5 = 1:1, สิ่งทดลอง 2, 6 = 1:1 + SMS; สิ่งทดลอง 3, 7 = 1:1.5 + SMS ;
สิ่งทดลอง 4, 8 = 1:2 + SMS

**ตาราง 5.20 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ได้ทั้ง 8 สิ่งทดลอง**

| สิ่งทดลอง | L | a* | b* | $SO_2$ | $a_w$ | % ความชื้นหลังอบ | % ความชื้นก่อนอบ | %TA | %TS | Shear force(N) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 50.37 | 3.64 | 12.21 | 0.0 | 0.38 | 31.46 | 72.49 | 0.96 | 41.24 | 59.39 |
| 2 | 53.07 | 2.50 | 13.14 | 718.0 | 0.37 | 29.85 | 63.25 | 0.52 | 53.93 | 44.63 |
| 3 | 52.94 | 2.64 | 13.33 | 969.8 | 0.37 | 30.11 | 60.96 | 0.61 | 59.49 | 60.87 |
| 4 | 53.29 | 1.74 | 12.15 | 1189.8 | 0.37 | 28.94 | 58.82 | 0.54 | 46.76 | 48.80 |
| 5 | 50.28 | 3.57 | 11.95 | 0.0 | 0.34 | 31.77 | 71.53 | 0.54 | 41.16 | 48.34 |
| 6 | 52.10 | 2.18 | 12.17 | 640.3 | 0.33 | 31.36 | 70.95 | 0.55 | 44.95 | 49.73 |
| 7 | 53.91 | 1.72 | 12.44 | 1115.0 | 0.34 | 32.41 | 63.78 | 0.31 | 49.54 | 54.00 |
| 8 | 53.80 | 2.37 | 12.52 | 1116.7 | 0.34 | 31.67 | 59.78 | 0.58 | 47.2 | 43.06 |

หมายเหตุ : สิ่งทดลอง 1-4 แช่ในสารละลายซูโครส 70% และ 5-8 แช่ในสารละลายซูโครส 60 %+กลีเซอรอล 15%

สิ่งทดลอง 1, 5 = 1:1, สิ่งทดลอง 2, 6 = 1:1 + SMS; สิ่งทดลอง 3, 7 = 1:1.5 + SMS ;

สิ่งทดลอง 4, 8 = 1:2 + SMS

TA = total acidity , TS = total soluble solid

สำหรับอัตราส่วนเนื้อลิ้นจี่ : สารละลาย พบว่าอัตราส่วน 1:2 ของสารละลายซูโครส 70% และอัตราส่วน 1:1.5 มี % น้ำหนักที่ลดลงใกล้เคียงกันมาก แต่ปริมาณของสารที่ละลายได้ในเนื้อลิ้นจี่ที่อัตราส่วน 1:2 มีมากกว่า ทำให้ % ความชื้นที่เหลืออยู่ในเนื้อลิ้นจี่ก่อนอบจากอัตราส่วน 1:2 เหลืออยู่ 58.82% ขณะที่อัตราส่วน 1:1.5 เหลืออยู่ 60.96% ในด้านความพอใจ พบว่าเนื้อลิ้นจี่อบแห้งที่ได้จากอัตราส่วน 1:1.5 ได้รับความพอใจในด้านความหวาน รสเปรี้ยว กลิ่นลิ้นจี่ การยอมรับ และความเหนียวมากกว่าอัตราส่วน 1:2 ยกเว้นความพอใจในด้านสีและความแข็งจะน้อยกว่า ส่วนในด้านต้นทุนการผลิตการเลือกใช้อัตราส่วน 1:1.5 ย่อมมีราคาต้นทุนต่ำกว่าการใช้อัตราส่วน 1:2

สำหรับระยะเวลาการแช่จะเห็นได้ว่าการแช่ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 3 ขึ้นไปจนถึงชั่วโมงที่ 5 นั้น มีการเปลี่ยนแปลง % น้ำหนักที่ลดลงน้อยมาก และการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารที่ละลายได้ในเนื้อลิ้นจี่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเช่นกัน ยกเว้นอัตราส่วน 1:2 เท่านั้นที่ยังมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารที่ละลายได้ในเนื้อลิ้นจี่มาก ถ้าพิจารณาค่า $a_w$ ทั้งของเนื้อลิ้นจี่และสารละลาย จะเห็นได้ว่ามีค่าค่อนข้างคงที่หรือใกล้เคียงกันระหว่างแต่ละชั่วโมง ประกอบกับการแช่ในสารละลายนานๆ มีผลทำให้กลิ่นลิ้นจี่จางลง ดังนั้นจึงเลือกใช้ระยะเวลาแช่นาน 3-4 ชั่วโมง

## 5.11 ผลการศึกษาเพื่อหาวิธีการอบเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มที่เหมาะสม

การนำเนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่อิ่มด้วยสารละลายน้ำตาลอย่างเดียว และปรับความหวานสุดท้ายเท่ากับ 45 องศาบริกซ์ มาทดลองอบแห้งโดยใช้สภาวะการอบแห้ง 2 สภาวะ คือ

***แบบที่ 1*** อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงลดลงเหลืออุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส อบนาน 6 ชั่วโมง และลดลงเหลืออุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อบนาน 6 ชั่วโมง

***แบบที่ 2*** อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส คงที่ตลอดระยะเวลา 26 ชั่วโมงติดต่อกัน

ระหว่างการอบแห้งทำการชั่งน้ำหนักคงเหลือของเนื้อลิ้นจี่ทุกๆ 2 ชั่วโมง ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการอบแห้งได้ผลดังในตาราง 5.21 และเมื่อนำค่าน้ำหนักที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับเวลาและความสัมพันธ์ของอัตราการทำแห้งกับเวลา ได้ผลดังรูป 5.8 และ 4.9 เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่ได้ทั้ง 2 รูปแบบของการอบแห้งถูกนำมาวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีได้ผลดังในตาราง 5.22

เมื่อพิจารณาวิธีการอบแห้งรูปแบบที่ 1 จะเห็นได้ว่า ตั้งแต่เริ่มต้นทำการอบแห้งจนครบ 4 ชั่วโมงแรกของการอบมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อลิ้นจี่ยังเปียกอยู่ น้ำที่อยู่บริเวณผิวนอกของเนื้อลิ้นจี่อยู่ในรูปน้ำอิสระ (unbound) จึงสามารถระเหยออกไปได้อย่างรวดเร็ว ประกอบกับอุณหภูมิที่ใช้สูงคือที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมงแรกและที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมงถัดมา หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักช้าลงและเริ่มคงที่เมื่ออบแห้งครบ 12 ชั่วโมงและคงที่เมื่อครบ 14 ชั่วโมง และลักษณะการเปลี่ยนแปลงทั้งน้ำหนักและอัตราการทำแห้งค่อนข้างสม่ำเสมอ

สำหรับวิธีการอบแห้งรูปแบบที่ 2 จะเห็นได้ว่า ตั้งแต่เริ่มต้นทำการอบในช่วง 4 ชั่วโมงแรกของการอบมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักมากเช่นกัน แต่อัตราการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 ทั้งนี้อาจเนื่องจากรูปแบบที่ 2 อุณหภูมิที่ใช้อบ คือ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่ารูปแบบที่ 1 ทำให้อัตราการระเหยน้ำออกไปได้ช้ากว่า จึงต้องใช้เวลาในการอบนาน ถ้าพิจารณาอัตราการทำแห้งจะเห็นได้ว่ามีค่าผันแปรมากโดยเฉพาะเมื่อทำการอบไปแล้ว 8 ชั่วโมง

**ตาราง 5.21 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง**

| เวลา (ชั่วโมง) | น้ำหนักเนื้อลิ้นจี่อบแห้ง (กรัม) | | | | | | อัตราการทำแห้ง (กรัม/ชั่วโมง) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | สภาวะการอบแห้งแบบที่ 1 | | | สภาวะการอบแห้งแบบที่ 2 | | | สภาวะการอบแห้งแบบที่ 1 | | | สภาวะการอบแห้งแบบที่ 2 | | |
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 |
| 0 | 2750 | 2790 | 2710 | 2320 | 2320 | 2300 | - | - | - | - | - | - |
| 2 | 2500 | 2500 | 2460 | 2200 | 2200 | 2170 | 0.125 | 0.145 | 0.125 | 0.060 | 0.060 | 0.065 |
| 4 | 2400 | 2380 | 2380 | 2150 | 2170 | 2130 | 0.050 | 0.060 | 0.040 | 0.025 | 0.015 | 0.020 |
| 6 | 2370 | 2340 | 2330 | 2140 | 2160 | 2100 | 0.015 | 0.020 | 0.025 | 0.005 | 0.005 | 0.015 |
| 8 | 2330 | 2320 | 2310 | 2130 | 2160 | 2100 | 0.020 | 0.010 | 0.010 | 0.005 | 0 | 0 |
| 10 | 2310 | 2310 | 2300 | 2110 | 2140 | 2080 | 0.010 | 0.005 | 0.005 | 0.01 | 0.010 | 0.010 |
| 12 | 2300 | 2300 | 2290 | 2090 | 2110 | 2050 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.01 | 0.015 | 0.015 |
| 14 | 2290 | 2300 | 2290 | 2090 | 2110 | 2050 | 0.005 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | | | | 2080 | 2110 | 2050 | | | | 0.005 | 0 | 0 |
| 18 | | | | 2080 | 2110 | 2040 | | | | 0 | 0 | 0.005 |
| 20 | | | | 2070 | 2100 | 2040 | | | | 0.005 | 0.005 | 0 |
| 22 | | | | 2070 | 2100 | 2040 | | | | 0 | 0 | 0 |
| 24 | | | | 2070 | 2100 | 2040 | | | | 0 | 0 | 0 |
| 26 | | | | 2060 | 2090 | 2040 | | | | 0 | 0.005 | 0 |

หมายเหตุ : 1. สภาวะการอบแห้งแบบที่ 1 ใช้อุณหภูมิ 70°ซ นาน 2 ชั่วโมง, อุณหภูมิ 65°ซ นาน 6 ชั่วโมง และลดลงเหลือ 60°ซ นาน 6 ชั่วโมง

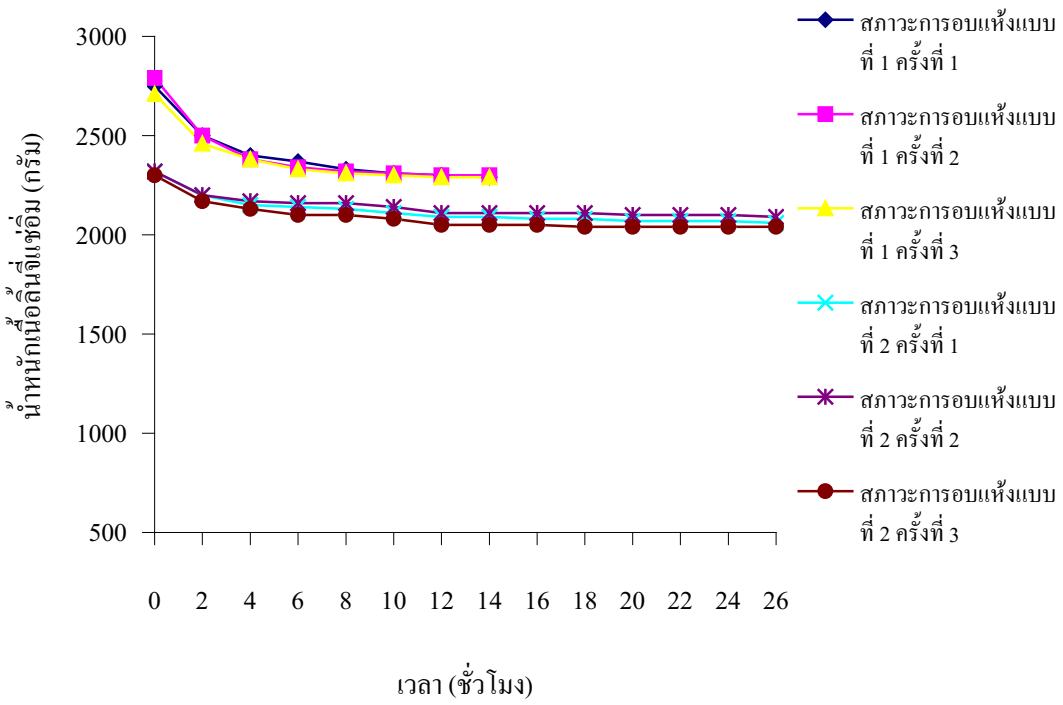
2. สภาวะการอบแห้งแบบที่ 2 ใช้อุณหภูมิ 60°ซ คงที่ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง

**ตาราง 5.22 ผลวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งทั้ง 2 รูปแบบการอบ**

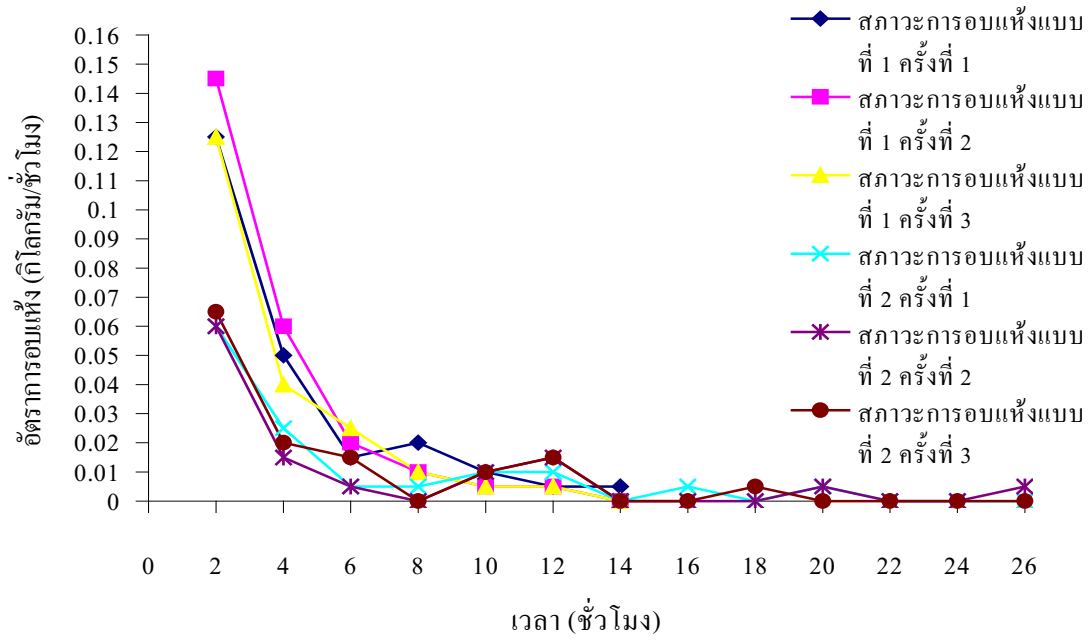
| สภาวะการอบที่ | L | a* | b* | Acidity | Shear force (N) | $a_w$ | TS (%) | MC (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 43.56[b] | 2.56 | 12.89 | 0.352[b] | 32.75[b] | 0.48[b] | 56.77[b] | 23.12 |
| 2 | 52.85[a] | 3.65 | 12.23 | 0.675[a] | 88.62[a] | 0.68[a] | 52.94[a] | 23.03 |

หมายเหตุ : 1. สภาวะการอบแห้งแบบที่ 1 ใช้อุณหภูมิ 70°ซ นาน 2 ชั่วโมง, อุณหภูมิ 65°ซ นาน 6 ชั่วโมง และลงเหลือ 60°ซ นาน 6 ชั่วโมง

2. สภาวะการอบแห้งแบบที่ 2 ใช้อุณหภูมิ 60°ซ คงที่ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง




รูป 5.8 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง




รูป 5.9 ความสัมพันธ์ของอัตราการทำแห้งกับเวลาในการอบแห้งเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่ม

เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพในด้านสีคือ ค่าสี L a* และ b* จะเห็นว่าเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งที่อบแห้งแบบที่ 2 มีค่าสี L เท่ากับ 52.85 ค่าสี a* เท่ากับ 3.65 และค่าสี b* เท่ากับ 12.23 ขณะที่อบแห้งแบบที่ 1 มีค่าสี L เท่ากับ 43.56 ค่าสี a* เท่ากับ 2.56 และค่าสี b* เท่ากับ 12.89 ทำให้แบบที่ 1 มีสีที่สวยกว่าแบบที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

สำหรับค่า $a_w$ พบว่าเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบที่ 2 มีค่า $a_w$ เท่ากับ 0.68 ซึ่งมากกว่าค่า $a_w$ ของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบที่ 1 ซึ่งเท่ากับ 0.482 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งแบบที่ 2 มีค่าแรงเฉือน 88.62 นิวตัน ซึ่งมากกว่าแบบที่ 1 เท่ากับ 32.75 นิวตัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งจากรูปแบบที่ 1 มีลักษณะเนื้อลิ้นจี่นิ่มและเหนียวน้อยกว่า

จากผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้งและผลการวิเคราะห์คุณภาพของเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง จึงคัดเลือกวิธีการอบแบบที่ 1 คือ อบที่ 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ลดลงเหลือ 65 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง และลดลงเหลือ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง เป็นวิธีการอบแห้งที่เหมาะสม

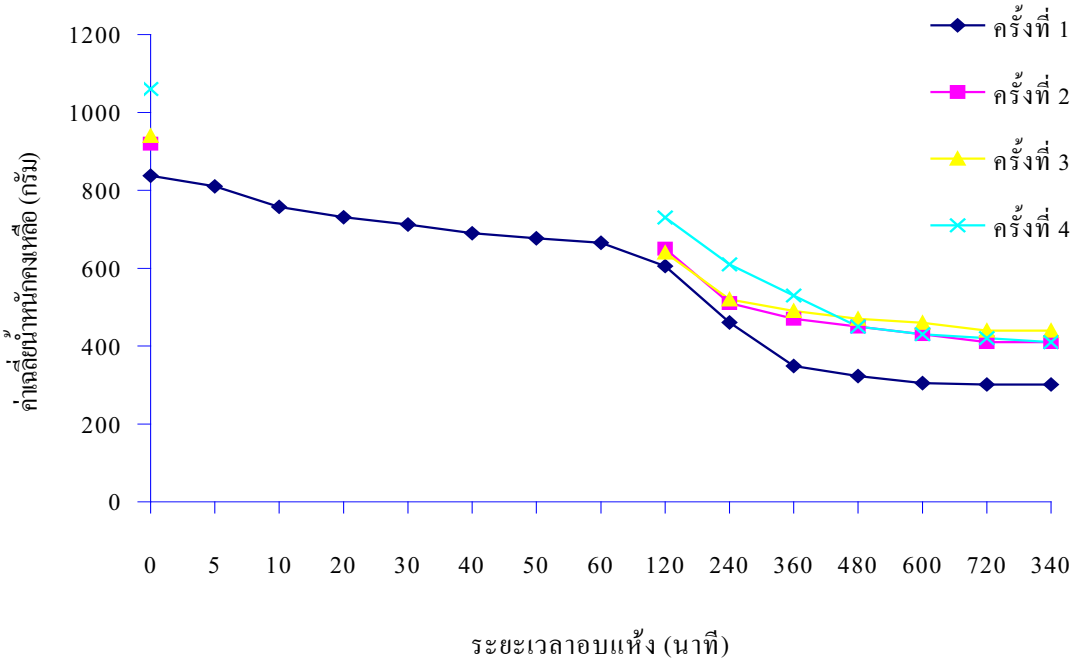
## 5.12 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในการอบเนื้อลิ้นจี่อบแห้งแบบออสโมติกดีไฮเดรชัน

ผลการศึกษาหาวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง พบว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างระดับให้ผลดีกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิเดียวกันตลอด ดังนั้นจึงได้นำอุณหภูมิและเวลาที่ได้มาทดลองอบแห้งเนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชัน ด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมงติดต่อกัน ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้งทุกๆ 10 นาที ด้วยการชั่งน้ำหนักและหาปริมาณน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างอบแห้งได้ผลการทดลองดังในตาราง 5.23 และนำมาสร้างกราฟดังรูป 5.10 และ 5.11 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงต้นของการอบแห้งประมาณ 4 ชั่วโมงแรก น้ำหนักเนื้อลิ้นจี่ลดลงอย่างรวดเร็ว อันเนื่องจากปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเนื้อลิ้นจี่อยู่ในรูปน้ำอิสระ จึงถูกระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นน้ำหนักการเปลี่ยนแปลงช้าลง เนื่องจากเป็นการระเหยน้ำส่วนที่อยู่ในรูป bound water เส้นกราฟจะเริ่มคงที่ จากการทดลองอบนาน

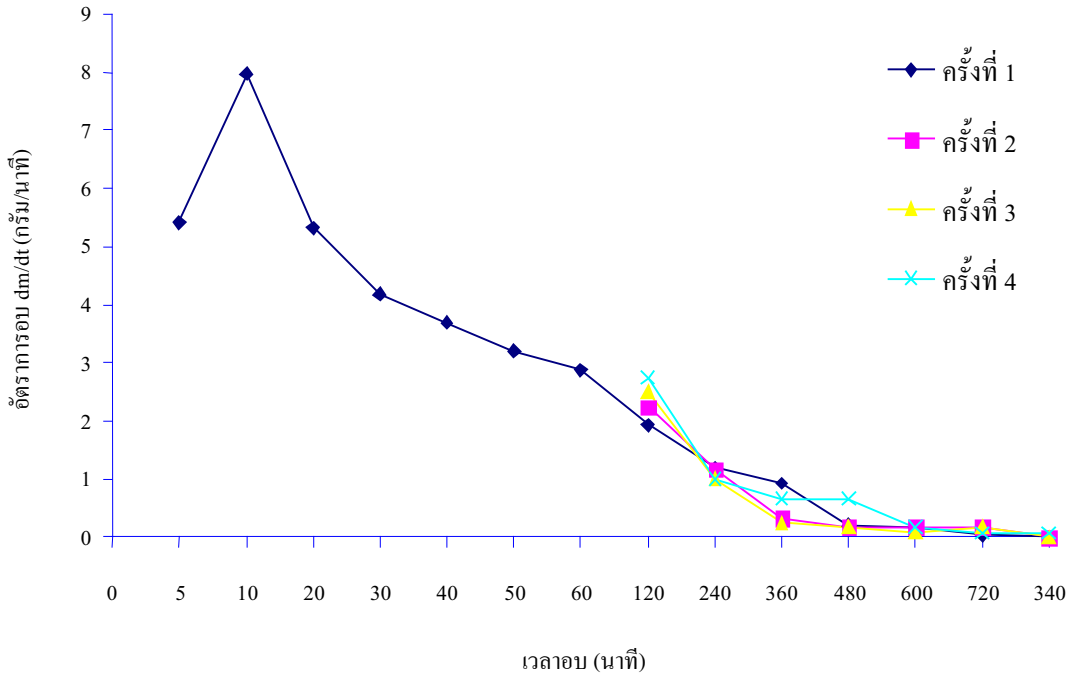
**ตาราง 5.23 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านการออสโมติกดีไฮเดรชันกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง**

| เวลา (นาที) | น้ำหนักที่ลดลงในแต่ละช่วงเวลาอบแห้ง | | | | เวลา (นาที) | อัตราการทำแห้ง (กรัม/นาที) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 | | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ครั้งที่ 4 |
| **0** | 837.25 | 920 | 940 | 1060 | **0** | 0 | | | |
| **5** | 810.2 | | | | **5** | 5.41 | | | |
| **10** | 757.58 | | | | **10** | 7.97 | | | |
| **20** | 730.93 | | | | **20** | 5.32 | | | |
| **30** | 711.73 | | | | **30** | 4.18 | | | |
| **40** | 689.71 | | | | **40** | 3.69 | | | |
| **50** | 677.09 | | | | **50** | 3.2 | | | |
| **60** | 665.34 | | | | **60** | 2.87 | | | |
| **120** | 605.27 | 650 | 640 | 730 | **120** | 1.93 | 2.25 | 2.5 | 2.75 |
| **240** | 460.31 | 510 | 520 | 610 | **240** | 1.21 | 1.17 | 1 | 1 |
| **360** | 348.58 | 470 | 490 | 530 | **360** | 0.93 | 0.33 | 0.25 | 0.67 |
| **480** | 323.24 | 450 | 470 | 450 | **480** | 0.21 | 0.17 | 0.17 | 0.67 |
| **600** | 305.16 | 430 | 460 | 430 | **600** | 0.15 | 0.17 | 0.08 | 0.17 |
| **720** | 301.37 | 410 | 440 | 420 | **720** | 0.03 | 0.17 | 0.17 | 0.08 |
| **840** | 301 | 410 | 440 | 410 | **840** | 0.003 | 0 | 0 | 0.08 |

หมายเหตุ : สภาวะการอบแห้งแบบที่ 1 ใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ลดลงเหลือ 65 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง แล้วลดลงเหลือ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง
การทดลองครั้งที่ 2-4 เก็บตัวอย่างทุก 2 ชั่วโมง




รูปที่ 5.10 ความสำคัญของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกับเวลาในการอบแห้งเนื้อลิ้นจี่แบบออสโมติกดี-ไฮเดรชัน




รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งกับเวลาในการอบแห้งเนื้อลิ้นจี่แบบออสโมติกดีไฮเดรชัน