



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการผลิตผงบุกกลูโคแมนแนนคุณภาพสูงและการนำไปใช้
PRODUCTION OF HIGH QUALITY KONJAC GLUCOMANNAN POWDER
AND ITS UTILIZATION

โดย อาจารย์ ดร.ชาลีตา บรมพิชัยชาติกุล และคณะ

มกราคม 2556

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการผลิตผงบุกกลูโคแมนแนนคุณภาพสูงและการนำไปใช้
PRODUCTION OF HIGH QUALITY KONJAC GLUCOMANNAN POWDER
AND ITS UTILIZATION

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นักวิจัยผู้ร่วมโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

อาจารย์ ดร. ละมุล วิเศษ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

อาจารย์ ดร. รชา เทพพร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จ.สกลนคร

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. และ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
Executive Summary	ง
เนื้อหาทางวิจัย	
1. บทนำ.....	1
2. การศึกษากระบวนการทำแห้งบุงกลูโคแมนแนนที่สกัดแบบเปียกโดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบ ผสมผสาน.....	3
3. การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในผลิต microcapsules สารสกัดจากมะกรูดโดยใช้บุงเป็นสารเคลือบ โดย ใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยและทดสอบใช้ในการยืดอายุการเก็บปลาสตบด	20
4. การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบุงบริโกลได้ผสมสารต้านจุลินทรีย์จากชาและประยุกต์ใช้ ในการยืดอายุการเก็บมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อส่งออก.....	65
Output จากโครงการวิจัย.....	102
ภาคผนวก	103

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตผงบุกกลูโคแมนแนนคุณภาพสูง โดยใช้เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน และศึกษาการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่แตกต่างจากการใช้ที่มีอยู่ เพื่อเพิ่มความหลากหลายในการนำไปใช้ โดยแบ่งการศึกษาวีจยออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ (1) ศึกษากระบวนการทำแห้งบุกกลูโคแมนแนนที่สกัดแบบเปียกโดยใช้เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน (2) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิต microcapsules สารสกัดจากมะกรูดโดยใช้บุกเป็นสารเคลือบ โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย และทดสอบใช้ในการยืดอายุการเก็บพลาสติกบด (3) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบุกบรีโกลได้ผสมสารต้านจุลินทรีย์จากชา และประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อส่งออก ผลการวิจัยพบว่ากระบวนการอบแห้งผงบุกกลูโคแมนแนนที่สกัดแบบเปียกด้วยการใช้เทคนิคไมโครเวฟสุญญากาศสามารถรักษาคุณภาพและส่งผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ในเชิงบวกได้ โดยผงบุกกลูโคแมนแนนที่ได้จากกระบวนการทำแห้งไมโครเวฟสุญญากาศที่กำลัง 2400W เวลาในการอบแห้ง 15 นาทีให้ค่า Whiteness index มากกว่า 80 และค่าความหนืดสูงกว่า 14,000 cP ซึ่งมากกว่าตัวอย่างเกรด A จากทางการค้า เมื่อนำผงบุกมาประยุกต์ใช้ในรูปของสารเคลือบและกักเก็บสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยกระบวนการ encapsulation ในรูปของ microcapsules และฟิล์มบรีโกลได้พบว่า ผงบุกมีความสามารถในการขึ้นรูปเป็นสารเคลือบได้ดี แต่เนื่องจากกลูโคแมนแนนสามารถดูดซึมน้ำได้ดีจึงมีปัญหาเรื่องของความหนืดของสารละลาย พบว่าปริมาณกลูโคแมนแนนที่ใช้ได้สูงสุดคือ 9 %w/w จึงต้องเติมสารเคลือบตัวอื่นร่วมด้วย เช่น กัมอาระบิก เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บ หลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ (อุณหภูมิอากาศร้อนเข้า 180 องศาเซลเซียส) ฤทธิ์การต้านจุลินทรีย์ของน้ำมันมะกรูดลดลง แต่ยังมีฤทธิ์ต้าน *Vibrio cholerae* และผงไมโครแคปซูลที่ได้สามารถยืดอายุการเก็บพลาสติกบดออกไปได้อีกประมาณ 6-9 วัน สำหรับการนำผงบุกมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มบรีโกลได้พบว่าผงบุกสามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ดีและเมื่อผสมสารสกัดจากชาก็สามารถกักเก็บสารและปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระหว่างการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ ช่วยชะลอการเกิดโรคจุดสีน้ำตาลในมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยนำไปใช้ในลักษณะที่แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรงจะดีที่สุด ผู้บริโภคยอมรับมะม่วงที่บรรจุในกล่องที่ติดด้วยแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่ฝากล่องดีในทุกด้าน

คำสำคัญ; หัวบุก กลูโคแมนแนน การทำแห้งแบบผสมผสาน ไมโครแคปซูล ฟิล์มบรีโกลได้ มะกรูด มะม่วง

Abstract

This research is aimed at studying a suitable drying process to produce high quality Konjac glucomannan powder by using hybrid drying technology and applications of Konjac powder in food industries. The study is divided into 3 parts as follows; (1) study a suitable drying process of Konjac glucomannan powder by using hybrid drying process; (2) study a suitable process of production microcapsule of kaffir lime oil by using Konjac glucomannan as coating material via spray drying and testing the microcapsule performance on shelf-life extension of fresh fish paste; (3) study a suitable condition of fabrication Konjac glucomannan film incorporated with antimicrobial extract from galangal to extend shelf-life of mango for export market. The results of the research showed that drying process of wet extracted Konjac glucomannan by using microwave-vacuum dryer at 2400w for 15 minutes can lead to high quality glucomannan powder which has high whiteness index (> 80) and high viscosity solution ($> 14,000$ cP) when compared with a commercial glucomannan sample grade A. For application of Konjac glucomannan as coating material to produce microcapsule of kaffir lime oil via suitable spray drying process (inlet temperature of 180°C), it is found that antimicrobial activity of the microcapsule is reduced but still has an inhibiting activity on *Vibrio cholera* and can extend shelf-life of fresh fish paste over a control sample 6-9 days. Konjac glucomannan showed good film forming ability and when incorporating galangal extract, the Konjac glucomannan edible film can encapsulate and release bioactive compound to control and retard anthracnose disease on Num Dok Mai mango during storage for 30 days providing that the film should not contact the mango. Panelists also accepted mango that has been packed into the box that had antimicrobial film attached on the inside of the box.

Keywords; *Amorphophallus sp*, glucomannan, hybrid drying, edible film, kaffir lime, mango

Executive Summary

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตผงบุกกลูโคแมนคุณภาพสูง โดยใช้เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน และศึกษาการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่แตกต่างจากการใช้ที่มีอยู่ เพื่อเพิ่มความหลากหลายในการนำไปใช้ โดยแบ่งการศึกษาวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ (1) ศึกษากระบวนการทำแห้งบุกกลูโคแมนแบบที่สกัดแบบเปียกโดยใช้เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน (2) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิต microcapsules สกัดจากมะกรูดโดยใช้บุกเป็นสารเคลือบ โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย และทดสอบโดยนำมาใช้ในการยืดอายุการเก็บพลาสติก (3) ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบุกบริโภคได้ผสมสารต้านจุลินทรีย์จากชาและประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อส่งออก ผลการวิจัยที่ได้มีดังนี้

การศึกษาและออกแบบกระบวนการทำแห้งบุกกลูโคแมนแบบที่สกัดแบบเปียกที่เหมาะสมโดยใช้เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน (Hybrid drying technology) ในการศึกษาเบื้องต้นพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของหัวบุกสดที่ใช้ในการทดลองพบว่ามีค่าความชื้นร้อยละ 82.83 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดร้อยละ 15.13 โปรตีนร้อยละ 0.36 ไขมันร้อยละ 0.05 เถ้าร้อยละ 1.22 และมีปริมาณกลูโคแมนแห้ง ประมาณร้อยละ 7.22 ของน้ำหนักสด

จากการศึกษากระบวนการทำแห้งบุกกลูโคแมนโดยใช้เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน พบว่าการทำแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสูญญากาศที่กำลัง 2400W เวลาในการอบแห้ง 15 นาทีให้ค่า Whiteness index มากกว่า 80 และค่าความหนืดสูงกว่า 14,000 cP ซึ่งมากกว่าตัวอย่างเกรด A จากทางการค้า ซึ่งมีแนวโน้มที่สามารถปรับปรุงคุณภาพของผงบุกกลูโคแมนแห้งได้เป็นอย่างดี ซึ่งอาจนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตผงบุกกลูโคแมนแห้งในประเทศไทยในอนาคต โดยมีข้อดีคือสามารถลดระยะเวลาในการทำแห้งลงได้มาก และทำให้ได้ผงบุกกลูโคแมนแห้งที่มีสีขาวในระดับที่ยอมรับได้ และได้สารละลายที่มีความหนืดสูง กว่าวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน หรือเครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงร่วมกับฟลูอิดไชน์เบด

การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิต microcapsules สกัดจากมะกรูดโดยใช้บุกเป็นสารเคลือบ โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย และทดสอบใช้ในการยืดอายุการเก็บพลาสติก พบว่าน้ำมันมะกรูดมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดที่ใช้ทดลอง โดยมีฤทธิ์ยับยั้ง *Vibrio cholerae* ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella Typhimurium* และ *Pseudomonas fluorescens* ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยมะกรูดในเชิงปริมาณด้วยเทคนิค GC-MS และ GC-FID พบว่ามีสารที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ limonene 38.78% และ β -pinene 36.62% นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ยังพบองค์ประกอบสารชนิดอื่นซึ่งมีปริมาณตามลำดับดังนี้คือ sabinene, terpinene-4-ol, α -terpineol, α -pinene, γ -terpinene, α -terpinene, terpinolene, δ -cadinene, copaene, myrcene, Isopulegol และ citronella และสารอื่นๆอีกหลายชนิดในปริมาณเล็กน้อย เมื่อนำน้ำมันมะกรูดมาทำให้อยู่ในรูปของไมโครแคปซูลด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักเหลืออยู่ลดลงจากเริ่มต้น โดยมีปริมาณสารจากมากไปน้อยตามลำดับดังนี้ได้แก่ limonene, β -pinene α -terpineol, terpinene-4-ol, *p*-cymene, sabinene และ α -pinene และสารชนิดอื่นๆเหลืออยู่ในปริมาณเล็กน้อย ความร้อนจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยส่งผลทำให้สารสำคัญของน้ำมันมะกรูดเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือสูญเสียไปบางส่วน ภาวะที่เหมาะสมในการทำไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูดคือ การใช้สารเคลือบผงบุกกลูโคแมนแห้งผสมกับมะระบิก (KGM-GA) อบแห้งแบบพ่นฝอย อุณหภูมิอากาศเข้าที่ 180 องศาเซลเซียส ให้ค่า % total oil และ % inner oil สูง และมีฤทธิ์การยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าภาวะอื่นที่ใช้ในการทดลอง อนาคตของไมโครแคปซูลที่ได้มีลักษณะทรงกลมมีรอยยุบบุลงไป

แต่ไม่แตกออก บางอนุภาคมีอนุภาคเล็กถูกห่อหุ้มอยู่ในอนุภาคใหญ่อีกชั้น เมื่อนำผงไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูดไปใช้ร่วมกับเนื้อปลาสด โดยใช้ไมโครแคปซูลให้มีปริมาณน้ำมันมะกรูดเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1 โดยน้ำหนัก พบว่าความเข้มข้นทั้งสองภาวะส่งผลต่อทางด้านเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ของเนื้อปลาสดไม่แตกต่างกัน แต่ให้ผลต่างจากตัวอย่างควบคุม สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเนื้อปลาสดได้มากกว่า 6 วัน แต่ไม่เกิน 9 วัน มากกว่าตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามเนื้อปลาสดคลุกผงไมโครแคปซูลมีลักษณะปรากฏที่ค่อนข้างแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม คณะแนวความชอบด้านสีของผู้บริโภคที่มีต่อเนื้อปลาสดคลุกผงไมโครแคปซูลมีแนวโน้มต่ำกว่าเนื้อปลาสดที่ไม่ได้คลุกผงไมโครแคปซูล แต่ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีแนวโน้มความชอบด้านกลิ่นของเนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูล เนื่องจากกลิ่นของน้ำมันมะกรูดช่วยดับกลิ่นคาวปลาได้

การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบุกบริโภคได้ผสมสารต้านจุลินทรีย์จากชาเพื่อใช้ในการเคลือบมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อส่งออก พบว่าสารสกัดจากกระชายหรือชาที่สกัดด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ดีที่สุด โดยทั้งสองสารสกัดมีค่า MIC และ MFC เท่ากับ 2,500 µg/ml ผลการยับยั้งเชื้อราของสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายและชา พบว่าความเข้มข้น 10,000 µg/ml เป็นความเข้มข้นต่ำที่สุดที่เกิดบริเวณยับยั้ง ส่วนความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราของฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดจากชาคือที่ความเข้มข้น 10,000 µg/ml ในขณะที่ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากกระชายความเข้มข้น 20,000 µg/ml เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ เมื่อนำฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากกระชายหรือชามาวัดสมบัติเชิงกลของฟิล์ม พบว่ามีค่าความต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัว และค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำน้อยกว่าฟิล์มบุกที่ไม่ผสมสารสกัด เมื่อนำฟิล์มบริโภคได้จากสารละลายบุกความเข้มข้น 1% w/v ผสมสารสกัดจากชาความเข้มข้น 30,000 µg/ml ไปใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C พบว่า สารเคลือบผิวจากสารละลายบุกช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงได้ โดยสารเคลือบผิวจากสารละลายบุก และสารเคลือบผิวจากสารละลายบุกผสมสารสกัดชาสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรด และช่วยลดความรุนแรงของโรคแอนแทรกโนสได้ แต่สารเคลือบผิวส่งผลให้มะม่วงเกิดกลิ่นหมัก ส่วนแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาสามารถลดความรุนแรงในการเกิดโรคได้ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน ผลการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดชา พบว่ามีการยอมรับที่ดีในด้านสีของเนื้อ และเนื้อสัมผัส แต่มีการยอมรับที่ต่ำในด้านสีของเปลือก กลิ่น และการยอมรับโดยรวม ในขณะที่มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดด้วยแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) มีการยอมรับที่ดีในทุกด้านจากผู้บริโภค ดังนั้นการใช้ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรจึงน่าจะเป็นแนวทางที่เลือกนำมาใช้ในการรักษาคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้พันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ได้ แต่ต้องไม่ให้ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง เพราะจะเกิดลักษณะปรากฏที่ไม่พึงประสงค์ขึ้นที่ผิวเปลือกของมะม่วง ทำให้การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงลดลง

จากผลการวิจัยทั้งหมดสรุปได้ว่ากระบวนการอบแห้งบุกกลูโคแมนแนนที่สกัดแบบเปียกด้วยกระบวนการทำแห้งแบบไมโครเวฟสูญญากาศสามารถรักษาและส่งผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์ในเชิงบวกได้ โดยผงบุกกลูโคแมนแนนที่ได้จากกระบวนการทำแห้งไมโครเวฟสูญญากาศที่ กำลัง 2400W เวลาในการอบแห้ง 15 นาทีให้ค่า Whiteness index มากกว่า 80 และค่าความหนืดสูงกว่า 14,000 cP ซึ่งมากกว่าตัวอย่างเกรด A จากทางการค้า

เมื่อนำผงบุกมาประยุกต์ใช้ในรูปของสารเคลือบและกักเก็บสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยกระบวนการ encapsulation ในรูปของ microcapsules และฟิล์มบริโภคได้พบว่า ผงบุกมีความสามารถในการขึ้นรูปเป็นสารเคลือบได้ดี แต่เนื่องจากกลูโคแมนแนนสามารถดูดซับน้ำได้ดีจึงมีปัญหาระง่อนของผิวของสารละลาย ปริมาณกลูโคแมนแนนที่ใช้ได้สูงสุด

คือ 9 %w/w จึงต้องเติมสารเคลือบตัวอื่นร่วมด้วย เช่น กัมอาระบิก เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บ แต่หลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย (อุณหภูมิอากาศร้อนเข้า 180 °C) ฤทธิ์การต้านจุลินทรีย์ของน้ำมันมะกูดลดลง แต่ยังมีฤทธิ์ต้าน *Vibrio cholerae* และผงไมโครแคปซูลที่ได้สามารถยืดอายุการเก็บพลาสติกออกไปได้อีกประมาณ 6-9 วัน สำหรับการนำผงบุกมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มบรีโอกได้ พบว่าผงบุกสามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ดีและเมื่อผสมสารสกัดจากข่าก็สามารถกักเก็บสารและปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระหว่างการเก็บรักษามะม่วงน้ำดอกไม้ ช่วยชะลอการเกิดโรคจุดสีน้ำตาลในมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยนำไปใช้ในลักษณะที่แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรงจะดีที่สุด ผู้บริโภคยอมรับมะม่วงที่บรรจุในกล่องที่ติดด้วยแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ฝากกล่องดีในทุกด้าน

ผลงานจากงานวิจัยนี้ได้นำไปตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติจำนวน 1 เรื่อง วารสารระดับชาติอีก 1 เรื่อง นำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติที่มี peer review อีก 1 เรื่อง และผลิตบัณฑิตในระดับปริญญาโทจำนวน 2 คน

บทที่ 1 บทนำ

บุก (*Amorphophallus sp*) เป็นพืชที่มีความสำคัญ เนื่องจากสามารถนำมาผลิตผงบุกหรือกลูโคแมนแนน (glucomannan) ซึ่งเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ที่มีประโยชน์ทางอาหารและการแพทย์ในการช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล ไขมันในเส้นเลือด บำบัดอาการท้องผูก ใช้เป็นอาหารควบคุมน้ำหนัก โดยไม่มีผลข้างเคียงต่ออวัยวะอื่นๆ ในร่างกาย และในอุตสาหกรรมอาหารนำผงบุกกลูโคแมนแนนมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่ ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชัน รวมถึงการนำไปใช้เพื่อทดแทนไขมันและเพิ่มเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์

คุณภาพของผงบุกกลูโคแมนแนนที่ได้ขึ้นอยู่กับ พันธุ์ แหล่งที่ปลูก อายุของหัวบุก กระบวนการสกัดและการทำแห้ง กลูโคแมนแนนที่จัดอยู่ในเกรดเอ ต้องมีสีขาวบริสุทธิ์ ละเอียดยืดและให้ความหนืดสูงเมื่อนำไปละลายน้ำในประเทศไทยมีพันธุ์บุกที่นำมาบริโภคอยู่หลายพันธุ์ เช่น บุกไข่ บุกเขา บุกกาบโค้ง บุกเนื้อทราย เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่พบในทางตอนเหนือของประเทศไทยในแถบ จังหวัดตาก และ แม่ฮ่องสอน ซึ่งพบมากในป่า ชาวบ้านขุดหัวมาบริโภคและส่งให้กับโรงงานแปรรูปส่วนหนึ่ง เมื่อหัวบุกสดถูกส่งมายังโรงงานแปรรูป จะถูกนำมาหั่นเป็นแผ่นและอบแห้งด้วยลมร้อน จากนั้นสกัดกลูโคแมนแนนโดยวิธีการสกัดแบบแห้ง โดยการบด ร่อนสิ่งเจือปนออกและบรรจุขาย วิธีการนี้จะต้องผ่านกระบวนการทำแห้งซึ่งใช้ความร้อน ในขั้นตอนนี้พบว่าคุณภาพของผงบุกลดลงอย่างชัดเจน ผงมีสีคล้ำ และเมื่อนำไปละลายน้ำมีความหนืดต่ำ และมีสิ่งเจือปนอยู่สูง อีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจคือการใช้ความร้อนแบบเปียก คือ การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล หรือ เฮกเซน วิธีนี้สามารถสกัดกลูโคแมนแนนออกมาได้มาก สารที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง แต่มีข้อเสียคือสิ้นเปลืองตัวทำละลาย มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และค่าใช้จ่ายสูง เมื่อผ่านกระบวนการสกัดแล้ว สารสกัดที่ได้ต้องผ่านกระบวนการทำแห้งอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้ผงบุกกลูโคแมนแนน ดังนั้นกระบวนการทำแห้งจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญในทั้งสองวิธีการสกัด ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผงบุกกลูโคแมนแนน เนื่องจากการใช้ความร้อนในการทำแห้งอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของกลูโคแมนแนน

ดังนั้นหากมีการวิจัยศึกษาวิธีการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตผงบุกกลูโคแมนแนนที่มีคุณภาพสูง โดยใช้เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน และทดสอบประสิทธิภาพของผงบุกที่ผลิตได้ในด้านเคมีและกายภาพ รวมถึงการประยุกต์ใช้ผงบุกกลูโคแมนแนนในอุตสาหกรรมอาหารให้หลากหลายมากขึ้น เช่น เป็นสารเคลือบ กักเก็บสารสกัดจากสมุนไพรไทยเพื่อใช้ในการยืดอายุการเก็บของอาหาร ในรูปของ microcapsules หรือฟิล์มบริโภคได้ นอกเหนือจากการใช้ในลักษณะของสารให้ความข้นหนืดหรือขึ้นรูปอาหาร สามารถช่วยเพิ่มมูลค่าของบุกไทย ส่งเสริมการเพาะปลูก เป็นทางเลือกให้แก่เกษตรกรได้อีกทางหนึ่ง

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาวิธีการการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตผงบุกกลูโคแมนแนนคุณภาพสูง โดยใช้เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน และนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่แตกต่างจากการใช้ที่มีอยู่ เพื่อเพิ่มความหลากหลายในการนำไปใช้ ซึ่งการส่งเสริมการนำไปใช้จะส่งผลต่อคุณค่าทางเศรษฐกิจของบุกไทยและส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกเพื่อเสริมรายได้ อีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาและออกแบบกระบวนการทำแห้งบดกลูโคแมนแนนที่สกัดแบบเปียกที่เหมาะสมโดยใช้เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน (Hybrid drying technology)
- 1.2.2 ศึกษาการประยุกต์ใช้ผงบดกลูโคแมนแนนในรูปของสารเคลือบและกักเก็บสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยกระบวนการ encapsulation ในรูปของ microcapsules และฟิล์มบริโกลได้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

- 1.3.1 ศึกษากระบวนการทำแห้งบดกลูโคแมนแนนที่สกัดแบบเปียกโดยใช้เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน (บทที่ 2)
- 1.3.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิต microcapsules สารสกัดจากมะกรูดโดยใช้บุกเป็นสารเคลือบ โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย และทดสอบใช้ในการยืดอายุการเก็บปลาสดบด (บทที่ 3)
- 1.3.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบุกบริโกลได้ผสมสารต้านจุลินทรีย์จากชาเพื่อใช้ในการเคลือบมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อส่งออก (บทที่ 4)

บทที่ 2 การศึกษากระบวนการทำแห้งบุกกลูโคแมนแทนที่สกัดแบบเปียกโดยใช้เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน

บทนำ

กลูโคแมนแทนเป็นสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนสและกลูโคสในอัตราส่วน 3:2 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิกและมีหมู่อะซิทธิลกระจายอยู่บนสายโมเลกุลของกลูโคแมนแทนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 โดยพบหมู่อะซิทธิล 1 หมู่ ต่อน้ำตาล 19 หน่วย สมบัติทางลักษณะโครงสร้างที่สำคัญของกลูโคแมนแทน คือ สายโมเลกุลมีลักษณะยืดออกเป็นเส้นตรง ไม่มีกิ่ง สมบัติทางกายภาพและเคมีที่สำคัญของกลูโคแมนแทนคือ เป็นสารโพลีแซคคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากกว่า 300,000 ดาลตัน สามารถละลายน้ำได้ดี ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่มีขั้ว (non-ionic polysaccharide) เมื่อละลายน้ำจะเกิดการพองตัวได้เป็นสารละลายที่มีความข้นหนืด กลูโคแมนแทนสามารถแยกได้จากหัวบุกหลากหลายสายพันธุ์ แต่สายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารคือ บุกพันธุ์เนื้อทราย หรือ บุกไข่ (*Amorphophallus muelleri*) ซึ่งเป็นบุกที่พบมากในพื้นที่ภาคตะวันตกและภาคเหนือของประเทศไทย บุกสายพันธุ์นี้มีลักษณะเฉพาะคือ มีกลูโคแมนแทนอยู่ในปริมาณมาก อีกทั้งเป็นกลูโคแมนแทนที่ให้ความข้นหนืดสูงเมื่อนำไปละลายในน้ำ และมีความทนทานต่อโรคพืชที่มากับดินได้เป็นอย่างดี หัวบุกสดประกอบด้วยน้ำและคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีแป้ง เซลลูโลส โปรตีน ไขมัน และสารอื่นๆเช่น แคลเซียมออกซาลेट ในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งต้องกำจัดออกไปเพื่อความปลอดภัยในการบริโภค สำหรับการผลิตผงกลูโคแมนแทนในประเทศไทยนั้นพบว่ายังมีคุณภาพต่ำ กล่าวคือ มีสีคล้ำ มีสิ่งเจือปนเช่น แป้ง เซลลูโลส และสารออกซาลेटซึ่งไม่เป็นที่ต้องการอยู่ในปริมาณมาก เมื่อนำผงกลูโคแมนแทนมาละลายน้ำแล้วทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดต่ำและไม่คงตัว ส่งผลต่อคุณภาพและความปลอดภัยในการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ทำจากบุกไปเป็นส่วนประกอบ เช่น ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่ และการขึ้นรูปฟิล์มจากผงกลูโคแมนแทน เป็นต้น ดังนั้นกระบวนการผลิตผงกลูโคแมนแทนในประเทศไทยจึงควรได้รับการปรับปรุงเพื่อให้สามารถผลิตผงกลูโคแมนแทนที่มีคุณภาพดีขึ้น อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตผงกลูโคแมนแทนมีหลายขั้นตอนทั้งการอบแห้ง และการสกัดเอาสารเจือปนอื่นๆ ออกไปเพื่อให้ได้ผงกลูโคแมนแทนที่มีความบริสุทธิ์สูง แต่อย่างไรก็ตามขั้นตอนเหล่านั้นอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกลูโคแมนแทน โดยทำให้ผงกลูโคแมนแทนมีสีคล้ำจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล หรือมีความหนืดของสารละลายลดลง ซึ่งส่งผลต่อการนำกลูโคแมนแทนไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เยลลี่ และการขึ้นรูปฟิล์มจากผงบุก เป็นต้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของกลูโคแมนแทน และศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงกลูโคแมนแทนให้มีคุณภาพดี กล่าวคือ มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาว และให้สารละลายที่มีความข้นหนืดและความคงตัวสูงเมื่อนำไปละลายน้ำ

สมมุติฐานการวิจัย

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของกลูโคแมนแทน ได้แก่ กระบวนการในการจัดการกับวัตถุดิบเริ่มต้น วิธีการสกัด และเทคนิคการทำแห้งผงกลูโคแมนแทน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการทำแห้ง อุณหภูมิ และเวลาในการทำแห้ง ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกลูโคแมนแทน

วัตถุประสงค์

- ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหัวบุก เพื่อให้ทราบส่วนประกอบที่สำคัญและหาวิธีในการกำจัดสารที่ไม่ต้องการได้อย่างเหมาะสม
- ศึกษาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงบุกกลูโคแมนแนนที่มีคุณภาพดีโดยเปรียบเทียบระหว่าง ตู้อบลมร้อน เครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ และ เครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยง (ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งขึ้นมาเอง)

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษากระบวนการผลิตผงกลูโคแมนแนนจากหัวบุกพันธุ์เนื้อทราย (*Amorphophallus muelleri*) โดยการสกัดแบบเปียก และกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน เครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่สภาวะต่างๆ และ เครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยง รวมถึงศึกษาผลกระทบจากการทำแห้งต่อคุณภาพด้านกายภาพและเคมีของผงกลูโคแมนแนน

2.1 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

หัวบุกพันธุ์เนื้อทรายจากจังหวัดตาก นำมาปัดทำความสะอาดเบื้องต้นเพื่อกำจัดเศษดินที่อาจติดมากับหัวบุก โดยไม่ต้องล้างน้ำ เก็บหัวบุกไว้ที่อุณหภูมิห้องในที่ร่มที่มีอากาศถ่ายเท วิธีนี้สามารถเก็บรักษาหัวบุกได้นานหลายเดือน

2.1.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหัวบุก

หัวบุกพันธุ์เนื้อทรายจากจังหวัดตาก นำมาล้าง ทำความสะอาดและปอกเปลือก นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหัวบุกสด ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และใยอาหาร ตามวิธีของ AOAC (2006) และปริมาณกลูโคแมนแนน ตามวิธี 3, 5-dinitrosalicylic acid colorimetric assay method

2.1.2 การสกัดกลูโคแมนแนนจากหัวบุกสด

หัวบุกพันธุ์เนื้อทรายจากจังหวัดตาก นำมาล้าง ทำความสะอาด ปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้นให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นผสมกับ Washing solution (สารละลาย 0.3% sodium bisulphite ใน 70% ethanol) โดยใช้อัตราส่วนบุกต่อ Washing solution เท่ากับ 1 ต่อ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร บดด้วยเครื่องผสมอาหารความเร็วสูง (Hi-speed blender) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกรองด้วยตะแกรงที่มีขนาดรูเปิด 80 mesh (178 ไมครอน) เพื่อแยกกลูโคแมนแนนออกจากแป้งและสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่ออกไปกับสารละลายที่ใช้ในการสกัด จากนั้นนำกลูโคแมนแนนที่แยกได้มาผสมกับ Washing solution ใหม่ในอัตราส่วนเดิม บดด้วยเครื่องบดผสมอาหาร และกรองด้วยตะแกรง โดยทำซ้ำขั้นตอนดังกล่าวอีก 3 ครั้ง จะได้ผงกลูโคแมนแนนที่มีลักษณะเหมาะสม

2.1.3 การทำแห้งผงกลูโคแมนแนนสกัดด้วยตู้อบลมร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส และเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ

นำผงกลูโคแมนแนนที่สกัดได้ใส่ลงในถาดพลาสติกชนิด Polypropylene (PP) เกลี่ยให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร นำไปทำแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความชื้นของผงกลูโคแมนแนนลดลงเหลือ 7-8% (d.b.) ส่วนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ นำไปอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ ที่ระดับกำลังไมโครเวฟ 1440, 1920 และ 2400W ระดับสุญญากาศ -760 mmHg จนกระทั่งความชื้นของผงกลูโคแมนแนนลดลงเหลือ 7-8% d.b. จากนั้นนำผงกลูโคแมนแนนที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งทั้งสองวิธีมาบดและร่อนด้วยตะแกรงเพื่อแยกขนาด โดยผงกลูโคแมนแนนที่มีขนาดใหญ่กว่า 60 mesh (251 ไมครอน) จะนำไปบดใหม่อีกครั้ง ส่วนผงกลูโคแมนแนนที่มีขนาดเล็กกว่า 120 mesh (125 ไมครอน) จะแยกทิ้งไป เพื่อการจัดแบ่งและสารเจือปนอื่นๆ ผงกลูโคแมนแนนที่มีขนาดระหว่าง 60-120 mesh (251-125 ไมครอน) จะนำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่

- ความชื้น (AOAC, 2006)
- ค่า a_w (เครื่องวัดกิจกรรมของน้ำอิสระ, Aqua Lab)
- Whiteness index โดยใช้เครื่อง CR-300 Chromameter (Minolta, Japan) แสดงค่าสีออกมาเป็นค่า L^* , a^* , b^* จากนั้นนำค่าดังกล่าวมาคำนวณเป็นค่า Whiteness index ดังสมการที่ 1 (Albanese *et al.*, 2007)

$$\text{Whiteness Index} = 100 - [(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad \text{----- (1)}$$

- Viscosity (C-VOR Bohlin Rheometer, UK) โดยใช้หัววัดแบบ cone and plate ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm, ทำมุมเอียง 4° และมีระยะห่าง 150 μm gap ที่ shear rate 0.1-100 s^{-1} ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2.1.4 การศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงสำหรับทำแห้งบุกกลูโคแมนแนน

ในขั้นตอนนี้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงสำหรับทำแห้งบุกกลูโคแมนแนนที่สกัดจากหัวสด เมื่อได้บุกกลูโคแมนแนนแห้งแล้วนำมาวิเคราะห์ ความชื้น a_w และสมบัติทางเคมีและกายภาพตามข้อ

2.1.3

2.2 ผลการทดลอง

2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของหัวบุกสด

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหัวบุกสดพบว่าหัวบุกสดประกอบด้วยความชื้นประมาณ 82.83% และมีส่วนที่เป็นของแข็งประมาณ 17.17% โดยพบว่าในส่วนที่เป็นของแข็งนั้นมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต ซึ่งในปริมาณเกือบครึ่งหนึ่งของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดเป็นกลูโคแมนแนน ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ โยอาหาร โปรตีน ไขมัน และเถ้ามีในปริมาณเล็กน้อย ดังแสดงค่าองค์ประกอบต่างๆ ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1. องค์ประกอบทางเคมีของหัวบุกสดพันธุ์เนื้อทราย

องค์ประกอบทางเคมีของหัวบุกสดพันธุ์เนื้อทราย	ปริมาณขององค์ประกอบ* (กรัม /100 กรัม)
ความชื้น	82.83 $\pm$ 0.29
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	15.13 $\pm$ 0.00
กลูโคแมนแนน	7.22 $\pm$ 0.29
คาร์โบไฮเดรตอื่นๆ	7.91 $\pm$ 0.29
โยอาหาร	0.41 $\pm$ 0.00
โปรตีน	0.36 $\pm$ 0.16
ไขมัน	0.05 $\pm$ 0.02
เถ้า	1.22 $\pm$ 0.01

* ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ $\pm$ SD.

2.2.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของผงกลูโคแมนแนนที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และการทำแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ

เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำแห้งและคุณภาพของผงกลูโคแมนแนนที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และการทำแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศที่ระดับกำลังไมโครเวฟต่างๆ กัน พบว่า การทำแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศสามารถปรับปรุงคุณภาพของผงกลูโคแมนแนนได้เป็นอย่างดี ทั้งในแง่ของการลดเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง สีของผงกลูโคแมนแนนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (มากกว่า 80) แม้ว่าจะยังต่ำกว่าตัวอย่างทางการค้า รวมทั้งทำให้สารละลายกลูโคแมนแนนมีความข้นหนืดสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงค่าในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของผงกลูโคแมนแนนที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ

วิธีการทำแห้ง	ระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง (นาทีก)	ความชื้นเริ่มต้น (% d.b.)	ความชื้นสุดท้าย (% d.b.)	a_w	Whiteness index	ความหนืด* (cP)
ลมร้อนที่ 50°C	330	316.88	8.79	0.4510	81.67	3,248.45
ไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1440 W	21	318.41	7.04	0.2562	78.53	9,463.16
ไมโครเวฟสุญญากาศที่ 1920 W	18	318.41	7.77	0.2116	79.43	11,914.80
ไมโครเวฟสุญญากาศที่ 2400 W	15	318.41	5.49	0.2343	81.23	14,518.00
ตัวอย่างทางการค้าเกรด A จากประเทศจีน	-	-	7.94	0.3080	88.25	7,737.33

* สารละลาย 1% กลูโคแมนแนนเตรียมโดยใช้ผงกลูโคแมนแนน 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มล.

จากผลการทดลองข้างต้นยังสังเกตเห็นได้ว่าการใช้กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้น มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากผงกลูโคแมนแนนเพิ่มมากขึ้น ทำอัตราการทำแห้งเร็วขึ้น จึงสามารถลดระยะเวลาในการทำแห้งลง และส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของกลูโคแมนแนนน้อยลง ทำให้สารละลายกลูโคแมนแนนมีความหนืดสูงขึ้นได้ โดยพบว่าตัวอย่างที่ได้จากการทดลองมีความหนืดสูงกว่าตัวอย่างทางการค้าอย่างเห็นได้ชัด

2.2.3 การศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงสำหรับทำแห้งบุกกลูโคแมนแมน

ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงสำหรับทำแห้งบุกกลูโคแมนแมนที่สกัดจากหัวบุก มีขอบเขตของการออกแบบเบื้องต้นดังนี้

1. สามารถใส่ผลิตภัณฑ์เปียกได้ครั้งละ 1 กิโลกรัม
2. อุณหภูมิที่ในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 40-80 องศาเซลเซียส

ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงที่พัฒนาขึ้นแสดงดังในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแบบหมุนเหวี่ยงแยกน้ำและอบแห้งด้วยลมร้อน

หมายเลข 1 คือ ชุดติดตั้งฮีตเตอร์

หมายเลข 2 คือ ชุดถังหมุนเหวี่ยง

หมายเลข 3 คือ พัดลม

หมายเลข 4 คือ กล่องควบคุม

หมายเลข 5 คือ มอเตอร์ไฟฟ้า

หมายเลข 6 คือ เฟลาส่งกำลัง



ภาพที่ 2.2 เครื่องที่ยังไม่มีการใส่ระบบส่งอากาศร้อน



ภาพที่ 2.3 ถังหมัภายนอกและช่องเติมผลิตภัณฑ์

เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะเป็นถังปั่นเหวี่ยงในแนวดิ่ง และเพื่อให้สามารถใส่ผลิตภัณฑ์เปียกได้ครั้งละ 1 กิโลกรัม ถังหมุนเหวี่ยงจึงออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ถังทำจาก stainless เเจาะรูขนาด 2 mm โดยรอบดังแสดงในรูป 2.2 ตัวถังยึดติดกลับเพลลา และออกแบบให้เคลื่อนที่ได้เล็กน้อยรองรับการสั่นสะเทือนจากการหมุน



ภาพที่ 2.4 ถังหมุนเหวี่ยง และโครงสร้างการรับน้ำหนัก

ในการหมุนของกังหันกำหนดให้มีแรงเหวี่ยงมากกว่า 500 เท่าของน้ำหนัก ดังนั้นความเร็วรอบในการหมุนจึงออกแบบให้มีความเร็วรอบในการทำงาน 300 – 700 รอบต่อนาทีควบคุมโดยใช้ frequency Invertors โดยมีต้นกำลังคือมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 kw 3 เฟส ถ่ายทอดกำลังโดยใช้สายพาน

จากขอบเขตของการออกแบบที่กำหนดความเร็วของลมร้อนที่ผ่านกังหันเหวี่ยง 2 m/s และอุณหภูมิสูงสุด คือ 80 องศาเซลเซียส จึงใช้ ฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3kw เป็นตัวอุ่นอากาศ และใช้พัดลมแบบไล่ตามแนวแกนขนาด 8 นิ้วในการส่งอากาศ

ผลการทดสอบเบื้องต้น

การทดสอบการทำงานของเครื่องพบว่าสามารถอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ได้ และสามารถหมุนให้มีความเร็วรอบได้ถึง 800 รอบต่อนาที และเมื่อนำไปทดสอบการปั่นเพื่อแยกน้ำออกจากหัวบุกตะเอยัด ปริมาณ 1 kg ที่ความเร็วรอบ 300 500 และ 700 รอบต่อนาที โดยไม่มีการอุ่นอากาศพบว่า อัตราการลดลงของความชื้นของผงบุกจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในช่วงแรกของการปั่นเหวี่ยงโดยที่ความเร็วรอบสูงมีอัตราการลดลงของความชื้นมากกว่าที่ความเร็วรอบต่ำที่มากแต่จะไม่แตกต่างกันในท้ายๆ ของการปั่น และเมื่อทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 500 รอบต่อนาที อุณหภูมิของอากาศ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิของอากาศที่สูงมีอัตราการลดลงของความชื้นมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 2.3 ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนาจากขั้นตอนนี้

ปัญหาที่พบ	แนวทางการพัฒนา
การใส่ผลิตภัณฑ์ลงไปในเครื่องต้องให้มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ เพราะ จะเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงขณะที่ปั่น	ออกแบบอุปกรณ์สำหรับป้อนผลิตภัณฑ์ ให้ป้อนในขณะที่ถึงกำลังหมุนเพื่อให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ
พัดลมมีขนาดเล็กทำให้อัตราการไหลของอากาศลดลงเมื่อใส่ผลิตภัณฑ์	ปรับปรุงระบบส่งลมให้สามารถส่งลมได้ตามกำหนด เช่นการปรับมุมช่องอ หรือการเปลี่ยนพัดลมให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
มีผลิตภัณฑ์บางส่วนหลุดออกไปกับน้ำในช่วงแรกของการปั่น	ลดขนาดของรูของถังปั่นให้เล็กลงและมีจำนวนรูต่อพื้นที่มากขึ้น หรืออาจจะใส่เป็นถุงผ้าไว้ในถังปั่น เพื่อให้สามารถนำผลิตภัณฑ์ออกจากถังได้ง่ายขึ้น

จากการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงเบื้องต้น พบปัญหาตามที่แสดงในตารางที่ 2.3 จึงหาแนวทางการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพโดยเพิ่มห้องอบแห้งแบบฟลูอิดไรเซด

2.2.4 การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงโดยเพิ่มห้องอบแห้งแบบฟลูอิดไรเซชัน

การทดลองในขั้นตอนนี้ได้ปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยเพิ่มห้องอบแห้งแบบฟลูอิดไรเซชันเข้าสำหรับทำแห้งบุงกุญโคแมนแมนจากหัวบุง

เครื่องอบแห้งแบบเดิมที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะเป็นถังปั่นเหวี่ยงในแนวดิ่ง และเพื่อให้สามารถใส่ผลิตภัณฑ์เปียกได้ครั้งละ 1 กิโลกรัม ถังหมุนเหวี่ยงจึงออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ถังทำจาก stainless เจาะรูขนาด 2 mm ตัวถังยึดติดกับเพลลา และออกแบบให้เคลื่อนที่ได้เล็กน้อยรองรับการสั่นสะเทือนจากการหมุน ในการหมุนของถังกำหนดให้มีแรงเหวี่ยงมากกว่า 500 เท่าของน้ำหนัก ดังนั้นความเร็วรอบในการหมุนจึงออกแบบให้มีความเร็วรอบในการทำงาน 300 – 700 รอบต่อนาทีควบคุมโดยใช้ frequency Invertors โดยมีต้นกำลังคือมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 kw 3 เฟส ถ่ายทอดกำลังโดยใช้สายพาน การทดสอบการทำงานของเครื่องพบว่าสามารถอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ได้ และสามารถหมุนให้มีความเร็วรอบได้ถึง 800 รอบต่อนาที และเมื่อนำไปทดสอบการปั่นเพื่อแยกน้ำออกจากหัวบุงกุดละเอียด ปริมาณ 1 kg ที่ความเร็วรอบ 300 500 และ 700 รอบต่อนาที โดยไม่มีการอุ่นอากาศพบว่า อัตราการลดลงของความชื้นของผงบุงจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในช่วงแรกของการปั่นเหวี่ยงโดยที่ความเร็วรอบสูงมีอัตราการลดลงของความชื้นมากกว่าที่ความเร็วรอบต่ำที่มากแต่จะไม่แตกต่างกันในท้ายๆ ของการปั่น และเมื่อทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 500 รอบต่อนาที อุณหภูมิของอากาศ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิของอากาศที่สูงมีอัตราการลดลงของความชื้นมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งพบปัญหาต่างๆ ดังในตารางที่ 2.3 จากนั้นจึงปรับปรุงและพัฒนาาระบบห้องอบแห้งใหม่ขึ้นเป็นระบบเครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงร่วมกับการอบด้วยฟลูอิดไรเซชัน โดยการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องมือ แบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงสามารถทำงานได้ในช่วงความเร็วรอบสูง 100-500 G



ภาพที่ 2.5 ลักษณะเครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยง
ที่ปรับปรุงจากแบบเดิม

ส่วนที่ 2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบดที่ออกแบบช่วงอุณหภูมิการทำงานที่ 100-150 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2.6 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบดที่ออกแบบและสร้างเพิ่มเติม



ภาพที่ 2.7เครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงร่วมกับการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

เมื่อออกแบบเพิ่มเติมในส่วนเครื่องอบแห้งแล้ว จึงทดลองการทำแห้งบุกกลูโคแมนแบบสองขั้นตอน โดยใช้เทคนิคการปั่นเหวี่ยงและการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยมีวิธีการดำเนินการทดลองดังนี้

วิธีการทดลอง

การสกัดบุกกลูโคแมนแห้งด้วยวิธีการสกัดแบบเปียก

หัวบุกพันธุ์เนื้อทรายจากจังหวัดตาก นำมาล้าง ทำความสะอาด ปอกเปลือก และหั่นเป็นชิ้นให้มีขนาดเล็กประมาณ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นผสมกับ Washing solution (สารละลาย 0.3% sodium bisulphite ใน 70% ethanol) โดยใช้อัตราส่วนบุกต่อ Washing solution เท่ากับ 1 ต่อ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร บดด้วยเครื่องผสมอาหารความเร็วสูง (Hi-speed blender) เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกรองด้วยตะแกรงที่มีขนาดรูเปิด 80 mesh (178 ไมครอน) เพื่อแยกกลูโคแมนแห้งออกจากแป้งและสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่ออกไปกับสารละลายที่ใช้ในการสกัด จากนั้นนำกลูโคแมนแห้งที่แยกได้มาผสมกับ Washing solution ใหม่ในอัตราส่วนเดิม บดด้วยเครื่องบดผสมอาหาร และกรองด้วยตะแกรง โดยทำซ้ำขั้นตอนดังกล่าวอีก 3 ครั้ง จะได้ผงกลูโคแมนแห้งที่มีลักษณะเหมาะสม

ขั้นตอนการทดลองการปั่นเหวี่ยงบุกกลูโคแมนแห้งด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

- แบ่งตัวอย่างบุกกลูโคแมนแห้งที่ผ่านขั้นตอนการสกัดแล้ว ตัวอย่าง ๆ 100 g จำนวน 33 ตัวอย่าง โดยค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยที่ 72 % (d.b)
- นำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง 350, 550, 850 G-Force ระยะเวลาการทดลองและเก็บบันทึกผลการทดลองจาก 0 – 10 นาที โดยเก็บผลการทดลองที่ระยะเวลาแตกต่างกัน 1 นาที ต่อ 1 ตัวอย่าง
- ทำการทดลองโดยวิธีการสุ่มที่แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและระยะเวลาตามเงื่อนไขการทดลอง
- เก็บตัวอย่างในแต่ละตัวอย่างที่ทดลอง จำนวน 5 ตัวอย่าง ๆ 33 g เพื่อนำวิเคราะห์หาค่าความชื้น
- บันทึกผลการทดลองและทำการทดลองซ้ำในข้อ 1-5 จำนวน 3 ซ้ำ
- วิเคราะห์ข้อมูลหาช่วงเวลาในการปั่นเหวี่ยงและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการทดลองในขั้นตอนการทำแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด

ผลการทดลอง

ตารางที่ 2.4 ค่าความชื้นเฉลี่ยที่เวลาต่าง ๆ ที่แรงหนีศูนย์กลางที่ต่างกัน

G-Force (RPM)	% ความชื้นเฉลี่ย (d.b.)										
	เวลา (นาที่)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
350 (1445)	72.98	68.09	65.76	63.55	62.03	60.74	60.28	60.12	60.39	60.48	60.30
550 (1811)	72.53	67.74	64.64	62.48	61.01	60.67	60.32	60.23	60.27	60.29	60.22
850 (2252)	72.61	66.21	63.34	61.42	60.71	60.48	60.43	60.22	60.35	60.16	60.51

จากผลการทดลองพบว่า ช่วงเวลา 0 – 5 นาที เวลาในการปั่นเหวี่ยงและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของบุงกุลโคแมนแนและที่เวลามากกว่า 5 นาที ค่าแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของบุงกุลโคแมนแนไม่แตกต่างกัน จากข้อมูลทดสอบโดยใช้สถิติทดสอบ Response surface methodology ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่า เวลาในการปั่นเหวี่ยงและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของบุงกุลโคแมนแน ซึ่งให้ค่า R^2 (adj) = 85.83%

เมื่อทดลองประมาณค่าที่เหมาะสมของเวลาและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ความชื้นต่ำสุด 60 % (d.b) พบว่า ระยะเวลาในการปั่นเหวี่ยงอยู่ที่ 5.16431 นาที แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ 350 G-force

จากนั้นนำบุงกุลโคแมนแนที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมในการปั่นเหวี่ยงมาเข้าทดลองอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบด ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนการทำแห้งบุงกุลโคแมนแนด้วยเทคนิคฟลูอิดไรซ์เบด

- เตรียมบุงกุลโคแมนแนที่ได้จากขั้นตอนการปั่นเหวี่ยงโดยเลือกค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางค่าที่เหมาะสมหลังการปั่นเหวี่ยง น้ำหนัก 5,000 g แบ่งตัวอย่าง ๆ ละ 100 g จำนวน 45 ตัวอย่าง
- เปิดเครื่อง ทำการปรับตั้งอุณหภูมิตามเงื่อนไขการทดลอง คือ 100, 120, 140, ± 1 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลมคงที่ 3 ± 0.3 m/s ที่ความสูงเบด 10 mm
- ใช้ระยะเวลาของการทดลองและเก็บบันทึกผลการทดลองจาก 0 – 7 นาที โดยเก็บผลการทดลองที่ระยะเวลาแตกต่างกัน 0.5 นาที ต่อ 1 ตัวอย่าง
- ทำการทดลองโดยวิธีการสุ่มทำการทดลอง ที่อุณหภูมิและระยะเวลาตามเงื่อนไขการทดลอง
- เก็บตัวอย่าง จำนวน 5 ตัวอย่าง ๆ 20 g เพื่อนำวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ คือ ค่าความชื้น ค่าสี ค่าความหนืด และ ปริมาณน้ำอิสระ
- บันทึกผลการทดลองและทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 1-5 จำนวน 3 ซ้ำ

ผลการทดลอง

ตารางที่ 2.5 ค่าความชื้นเฉลี่ยที่เวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ (°C)	% ความชื้น														
	เวลา(นาทึ)														
	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
100	60.05	54.99	44.85	24.79	17.16	13.23	9.43	8.01	6.53	5.64	5.06	4.37	4.00	3.75	3.51
120	60.05	58.98	38.52	11.93	9.13	7.79	5.93	4.98	3.72	2.60	2.58	2.34	2.33	2.24	2.19
140	60.05	46.70	8.85	6.28	4.51	2.83	2.14	1.85	1.55	1.49	1.64	1.49	1.27	0.86	0.88

จากผลการทดลองพบว่าขั้นตอนการทำแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการในทำแห้งและระยะเวลาในการทำแห้งจะมีผลต่อค่าความชื้นในบุงกลูโคแมนแนนแตกต่างกัน จากกราฟผลการทดลองสามารถลดความชื้นของบุงกลูโคแมนแนนในช่วง 0 - 5 นาที

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้สถิติทดสอบ Response surface methodology ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha .05$ พบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำแห้งจะมีผลต่อค่าความชื้นในบุงกลูโคแมนแนนแตกต่างกัน ซึ่งให้ค่า R^2 (adj) = 87.15%

เมื่อทดลองประมาณค่าที่เหมาะสมอุณหภูมิและระยะเวลาในการทำแห้งที่ความชื้นต่ำสุด 6 % (db) ซึ่งเป็นค่าความชื้นโดยทั่วไปของผลิตภัณฑ์ผงแป้ง พบว่า ค่าที่เหมาะสมของระยะเวลาในการทำแห้งเท่ากับ 2.93701 นาที อุณหภูมิการทำแห้ง เท่ากับ 126.088 องศาเซลเซียส

2.2.5 สมบัติทางเคมีกายภาพของผงบุงกลูโคแมนแนนที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงร่วมกับอบแห้งแบบฟลูอิดไดเซชัน

ตารางที่ 2.6 ค่าความหนืดของสารละลายที่เตรียมจากผงบุงกลูโคแมนแนน 1% w/w

Drying time	ค่าความหนืด (cP)					
	100 °C		120 °C		140 °C	
	cP	%T	cP	%T	cP	%T
0.00	455.46	16.67	972.83	26.50	1190.59	24.37
0.50	470.61	19.09	1176.20	31.97	1421.93	31.60
1.00	597.63	21.80	1376.44	32.20	1667.23	31.27
1.50	577.26	18.57	1392.59	29.67	1790.17	30.97
2.00	620.13	20.47	1472.79	30.57	1933.28	32.00
2.50	724.26	20.53	1540.94	31.37	2133.32	37.63
3.00	774.43	21.60	1582.46	32.50	2637.55	40.17

Drying time	ค่าความหนืด (cP)					
	100 °C		120 °C		140 °C	
	cP	%T	cP	%T	cP	%T
3.50	937.37	21.60	1792.04	34.13	2977.68	40.97
4.00	1238.98	27.47	1967.43	35.47	3401.89	62.97
4.50	1422.50	30.50	2185.04	39.00	3652.95	77.40
5.00	1287.81	25.53	2575.41	39.17	3871.51	77.67
5.50	975.55	24.30	2938.70	42.77	3746.70	63.83
6.00	834.81	22.47	3207.41	47.50	3336.00	31.87
6.50	699.29	20.30	3109.30	45.17	2639.86	31.20
7.00	627.48	19.30	2764.24	46.90	2448.99	30.50

จากผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิการทำแห้ง

140 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที จะให้ค่าความหนืดของบุกกลูโคแมนแนนที่สูง 3871.51 cP ซึ่งที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าว มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของบุกกลูโคแมนแนนที่ 1.64 % (d.b) ค่าปริมาณน้ำอิสระ Water Activity, a_w เท่ากับ 0.53

120 องศาเซลเซียส เวลา 6 นาที จะให้ค่าความหนืดของบุกกลูโคแมนแนนที่สูง 3207.41 cP ซึ่งที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าว มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของบุกกลูโคแมนแนนที่ 2.33 % (d.b) ค่าปริมาณน้ำอิสระ Water Activity, a_w เท่ากับ 0.54

100 องศาเซลเซียส เวลา 4.5 นาที จะให้ค่าความหนืดของบุกกลูโคแมนแนนที่สูง 1422.50 cP ซึ่งที่อุณหภูมิและเวลาดังกล่าว มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของบุกกลูโคแมนแนนที่ 5.64% (d.b) ค่าปริมาณน้ำอิสระ Water Activity, a_w เท่ากับ 0.44

ตารางที่ 2.7 ค่า a_w ของผงบุกกลูโคแมนแนนจากการอบแห้งด้วยฟลูอิดไรซ์เบดที่เวลาต่างๆ กัน

อุณหภูมิในการอบแห้ง	ค่า a_w เฉลี่ย														
	เวลา (นาที)														
	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
100 °C	0.96	0.96	0.96	0.94	0.69	0.51	0.44	0.44	0.43	0.44	0.44	0.44	0.43	0.44	0.43
120 °C	0.96	0.97	0.97	0.73	0.58	0.55	0.53	0.52	0.53	0.54	0.54	0.53	0.54	0.54	0.54
140 °C	0.96	0.97	0.84	0.62	0.57	0.55	0.54	0.52	0.55	0.52	0.53	0.52	0.52	0.51	0.53

ผลการทดลองค่าของปริมาณน้ำอิสระ (a_w) จะเริ่มคงที่ในช่วงของระยะเวลาในการทำแห้ง ≥ 3 นาที่ และมีค่าอยู่ในช่วงของปริมาณน้ำอิสระในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทผงแป้งคือ 0.6

จากข้อมูลวิเคราะห์สถิติพบว่าเวลาและอุณหภูมิในการทำแห้งบุกกลูโคแมนแนนมีผลต่อปริมาณน้ำอิสระของบุกกลูโคแมนแนนที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = .05$ ซึ่งให้ค่า R^2 (adj) = 97.09 % ช่วงของระยะเวลาในการทำแห้ง ≥ 2.5 นาที่ $a_w = 0.48$

ค่า Whiteness index ของผงบุกกลูโคแมนแนนหลังจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไรซ์เบดที่อุณหภูมิของอากาศร้อน 100 – 140 องศาเซลเซียสแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ผลการทดลองการวัดค่า Whiteness index ของผงบุกกลูโคแมนแนนที่ได้จากการอบแห้ง

	อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)		
	100	120	140
เวลา(นาที่)	Whiteness	Whiteness index	Whiteness index
0	53.70	53.70	53.70
0.5	56.17	54.86	54.41
1	56.94	57.80	56.76
1.5	57.52	57.44	57.07
2	58.07	57.44	56.70
2.5	57.90	57.28	56.68
3	56.97	57.24	57.06
3.5	57.10	57.00	56.77
4	57.06	56.99	56.44
4.5	57.32	57.78	56.24
5	57.74	57.22	57.42
5.5	57.76	57.11	57.45
6	57.12	56.71	56.23
6.5	57.38	57.08	56.24
7	56.85	57.24	55.56

จากผลการทดลองพบว่าในช่วงอุณหภูมิการทำแห้งบุกกลูโคแมนแนนมีค่า Whiteness index ไม่แตกต่างกัน แต่ที่ระยะเวลาในการทำแห้งเพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่าค่า Whiteness index มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ดังนั้นสภาวะที่ดีที่สุดของการอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงร่วมกับฟลูอิดซ์เบด คือ ใช้ระยะเวลาในการปั่นเหวี่ยงอยู่ที่ 5.16431นาทีก แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ 350 G-force ในการอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงจากนั้นอบต่อด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบด ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ดังนั้นจะใช้เวลาในการอบแห้งทั้งสิ้น 10.2 นาที

แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส และการอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบดที่ 140 องศาเซลเซียส พบว่า ผงบุกกลูโคแมนเนนที่ได้จากขั้นตอนที่ดีที่สุดของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศที่ 2400w ที่ใช้เวลาในการอบแห้ง 15 นาที แต่ให้ค่า Whiteness index และ ค่าความหนืดสูงกว่าวิธีอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบด การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนให้ผงบุกกลูโคแมนเนนที่มีความหนืดใกล้เคียงกับการใช้เครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบด

2.3 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการทำแห้งผงกลูโคแมนเนนโดยใช้เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน พบว่า การทำแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศมีแนวโน้มที่สามารถปรับปรุงคุณภาพของผงกลูโคแมนเนนได้เป็นอย่างดี ซึ่งอาจนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตผงบุกกลูโคแมนเนนในประเทศไทยในอนาคต โดยมีข้อดีคือสามารถลดระยะเวลาในการทำแห้งลงได้มาก และทำให้ได้ผงบุกกลูโคแมนเนนที่มีสีขาวในระดับที่ยอมรับได้ และได้สารละลายที่มีความหนืดสูง กว่าวิธีการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน หรือ เครื่องอบแห้งแบบปั่นเหวี่ยงร่วมกับฟลูอิดซ์เบด

2.4 เอกสารอ้างอิง

- Albanese, D., Cinquanta, L. and Matteo, M. 2007. Effects of an innovative dipping treatment on the cold storage of minimally processed Annurca apples. Food Chemistry. 105: 1054-1060.
- Association of Official Analytical Chemists. 2006. Official methods of analysis. 18th (ed). Washington, DC: The Association of Official Analytical Chemists.

บทที่ 3 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิต microcapsules สารสกัดจากมะกรูดโดยใช้บุกเป็นสารเคลือบ โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยและทดสอบใช้ในการยืดอายุการเก็บพลาสติก

บทนำ

ในปัจจุบันสมุนไพรไทยเป็นที่ได้รับความสนใจและมีการศึกษาค้นคว้ากันมากขึ้น น้ำมันหอมระเหยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดส่วนต่างๆของพืชเหล่านี้ ให้กลิ่นหอมเฉพาะตัว มีสรรพคุณช่วยบำบัดโรค และมีการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆเช่น อาหาร ยา และเครื่องสำอางค์ เป็นต้น มะกรูด (*Citrus hystrix* DC.) เป็นสมุนไพรพื้นบ้านของไทย มีราคาค่อนข้างถูกและหาได้ง่าย นิยมใช้แต่งกลิ่นหรือดับกลิ่นคาวในอาหาร นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณ เป็นยารักษาโรคได้ด้วย ใบและผิวของผลมะกรูดมีน้ำมันหอมระเหยซึ่งมีงานวิจัยพบว่า มีฤทธิ์ต้านสารอนุมูลอิสระ และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกด้วย แต่เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยมีความไวต่อสิ่งแวดล้อม สามารถระเหยและเสื่อมสลายไปได้ง่าย จึงไม่สะดวกในการจัดการ การขนส่งและการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

กระบวนการเอนแคปซูเลชัน (encapsulation) เป็นการเคลือบหรือห่อหุ้มผลิตภัณฑ์สารสำคัญที่ต้องการกักเก็บไว้ด้วยสารชนิดอื่น ซึ่งช่วยป้องกันผลกระทบจากสภาพแวดล้อมภายนอก พร้อมทั้งสามารถควบคุมและชะลอการปลดปล่อยสารออกมาตามระยะเวลาที่ต้องการ เพื่อสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปและนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นวิธีการที่น่าสนใจในการนำมาใช้เก็บรักษาสารสำคัญของน้ำมันหอมระเหยไว้ให้คงอยู่นานขึ้น สะดวกต่อการจัดการผลิตภัณฑ์ และสามารถนำไปใช้ในรูปแบบที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากวิธีหนึ่งในการทำไมโครแคปซูล เนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำ กำลังการผลิตสูง และใช้ระยะเวลาสั้น จากงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ศึกษากระบวนการเอนแคปซูเลชันโดยใช้สารพอลิเมอร์จากคาร์โบไฮเดรตชนิดต่างๆ เช่นไซโคลเดกซ์ทริน มอลโทเดกซ์ทริน สตาร์ชดัดแปร และกัมอะราบิก เป็นสารเคลือบผลิตภัณฑ์ กัมอะราบิกเป็นสารเคลือบที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไมโครแคปซูลสารให้กลิ่นรส เนื่องจากละลายน้ำได้ง่าย มีความหนืดต่ำ และมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี แต่เนื่องจากกัมอะราบิกมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีการศึกษาหาสารตัวอื่นมาใช้ทดแทนหรือเป็นส่วนผสมเพิ่มเข้าไป เพื่อพัฒนาลักษณะไมโครแคปซูลให้ดีขึ้น และลดปริมาณการใช้กัมอะราบิกลง

บุกเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติชนิดหนึ่งซึ่งมีสารกลูโคแมนแนนเป็นองค์ประกอบ มีคุณสมบัติเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์สามารถใช้เป็นสารเคลือบหรือห่อหุ้มของเหลว เมื่อละลายน้ำได้สารละลายที่มีความข้นหนืด เป็นสารให้ความคงตัว (stabilizer) ได้ จึงมีความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากสารกลูโคแมนแนนสกัดจากบุกเป็นสารเคลือบเพื่อกักเก็บสารสำคัญไว้ งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษากระบวนการทำไมโครแคปซูลของสารสกัดจากมะกรูด โดยใช้สารกลูโคแมนแนน สกัดจากบุกเป็นตัวกักเก็บสารต้านจุลินทรีย์ในน้ำมันหอมระเหยมะกรูด โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย เก็บรักษาในสภาพเป็นผง และนำไปประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์พลาสติก เพื่อเป็นแนวทางพัฒนาการใช้สารสกัดจากธรรมชาติมาใช้ในกระบวนการแปรรูป ชะลอการเสื่อมเสียของอาหาร ทดแทนวัตถุเจือปนอาหารสังเคราะห์ อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์และใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

สมมุติฐานงานวิจัย

การทำไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยมะกรูด โดยใช้ผงบุกเป็นสารเคลือบเพื่อกักเก็บสารต้านจุลินทรีย์ในน้ำมันหอมระเหยมะกรูด สามารถนำไปใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร ช่วยชะลอการเสื่อมเสียของอาหารอันเนื่องมาจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้

วัตถุประสงค์

- กระบวนการเอนแคปซูเลชันสารสกัดจากมะกรูดด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะต่างๆ โดยใช้บุกและกัมอะราบิกเป็นสารเคลือบ
- ศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพและความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของไมโครแคปซูลที่ได้
- ทดสอบและนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์พลาสติก เพื่อชะลอการเสื่อมเสียเนื่องจากการปนเปื้อนจุลินทรีย์

ขอบเขตของงานวิจัย

- ศึกษาประสิทธิภาพน้ำมันมะกรูดในการยับยั้งจุลินทรีย์ 5 ชนิด ได้แก่ *Salmonella Typhimurium*, *Vibrio cholera*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Pseudomonas fluorescens* โดยวิธี agar dilution และ disc diffusion
- ศึกษากระบวนการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูดด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้ผงบุกและกัมอะราบิกเป็นสารเคลือบ
- ศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพและความสามารถในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ของไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูด ด้วยวิธี disc diffusion
- ศึกษาผลของไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูด เมื่อนำไปใช้คลุกผสมกับเนื้อปลาสดและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การประเมินประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยมะกรูด

3.2.1.1 การเตรียมจุลินทรีย์

เลี้ยงจุลินทรีย์ *Salmonella Typhimurium*, *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ nutrient broth (NB) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใช้ loop ที่ผ่านการเผาไฟ เชื้อเชื้อ Streak ในจานอาหารเพาะเชื้อ nutrient agar (NA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใช้ loop เชื้อโคโลนีเดี่ยว เก็บใน slant เอียง บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับเป็น stock เชื้อไว้ใช้ต่อไป (กรณี *Pseudomonas fluorescens* ทำเช่นเดียวกันโดยบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส) (วไลรัตน์ จันทรพานนท์, 2547)

ใช้ loop ถ่ายเชื้อจากตัวอย่างที่เก็บไว้มา Streak ในplateที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller Hinton Agar (MHA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง คัดเลือกโคโลนีเดี่ยว โดยใช้ loop เชื้อโคโลนีเดี่ยว 1 โคโลนี นำมาเพาะเลี้ยงในอาหาร Mueller Hinton Broth (MHB) ปริมาตร 35 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และเจือจางให้ได้ปริมาณเชื้อเริ่มต้น 7 log CFU/ml (กรณี *Pseudomonas fluorescens* ทำเช่นเดียวกัน โดยบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส)

หมายเหตุ ตรวจนับปริมาณเชื้อเริ่มต้น ด้วยการปิเปตเชื้อเริ่มต้นที่เตรียมไว้ 1 มิลลิลิตร เจือจางในหลอดทดลองที่มีสารละลายเปปโตความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเจือจางในหลอดถัดไปให้ได้ระดับความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นปิเปต 0.1 มิลลิลิตรในแต่ละหลอดลงในจานอาหารเพาะเชื้อ MHA ใช้แท่งแก้วสามเหลี่ยมป้อนเชื้อ Spread plate บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนับโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนี 25-250 โคโลนี ทดลอง 2 ซ้ำ(กรณี *Pseudomonas fluorescens* ทำเช่นเดียวกัน โดยบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส) (อาภากร สุภาพิพัฒน์, 2551)

3.2.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพน้ำมันหอมระเหยมะกรูดในการยับยั้งจุลินทรีย์ โดยวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Minimum Inhibitory Concentration, MIC) ด้วยวิธี agar dilution

เตรียมน้ำมันหอมระเหยมะกรูดความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2,... ถึง 1 โดยนำหนัก ผสมกับอาหารเลี้ยงเชื้อ MHA ที่หอมและ Tween 20 ร้อยละ 0.4 จากนั้นเทบนจานเพาะเชื้ออาหารแข็งตัว จากนั้นหยดเชื้อแบคทีเรีย (ความเข้มข้นเซลล์เริ่มต้น 7 log CFU/ml) ปริมาตรตำแหน่งละ 2 ไมโครลิตร ใช้จานเพาะเชื้อที่มีอาหาร MHA และ Tween 20 โดยไม่ผสมน้ำมันมะกรูดเป็นตัวอย่างควบคุม บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตความหนาแน่นของโคโลนีที่เจริญเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยค่า MIC คือช่วงความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันมะกรูดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (กรณี *Pseudomonas fluorescens* ทำเช่นเดียวกัน โดยบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส) (Mayachiew and Devahastin, 2008)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.2.1.3 การทดสอบประสิทธิภาพน้ำมันหอมระเหยมะกรูดในการยับยั้งจุลินทรีย์โดยพิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลางวงใส (Disc diffusion method)

ใช้ sterile cotton swab จุ่มเชื้อแบคทีเรีย (ความเข้มข้นเซลล์เริ่มต้น 7 log CFU/ml) เกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ MHA จากนั้นนำ sterile paper disc (เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร) จุ่มน้ำมันหอมระเหยมะกรูดและวางบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ MHA ใช้ Tetracycline เป็น positive control บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส (clear zone) ที่เกิดขึ้น ด้วยเครื่องวัดเวอร์เนีย (กรณี *Pseudomonas fluorescens* ทำเช่นเดียวกัน โดยบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส) (Ponce *et al.*, 2003)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.2.1.4 การวิเคราะห์สารออกฤทธิ์ในน้ำมันหอมระเหยมะกรูด ได้แก่ β -Pinene และ Limonene โดยวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยมะกรูดด้วยเทคนิค GC-MS และวิเคราะห์หาปริมาณสาร β -Pinene และ Limonene โดยเทียบกับสารมาตรฐาน ด้วยเทคนิค GC-FID

3.2.2 การศึกษากระบวนการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยมะกรูดโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

3.2.2.1 การเตรียมสารเคลือบและน้ำมันหอมระเหยมะกรูด

เตรียมสารละลายสารเคลือบความเข้มข้นร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก จากผง บุกกู่โคแมนแนน (KGM) และผงบุกกู่โคแมนแนนผสมกับกัมอะราบิก (KGM-GA) โดยย่อยสารละลายบุกกู่โคแมนแนนด้วยเอนไซม์เซลลูเลสก่อน ในอัตราส่วนเอนไซม์ 4.2 ยูนิตต่อผงบุก 1 กรัม ระหว่างการย่อยให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 ชั่วโมง

สูตรที่ 1 กรณีของสารเคลือบ KGM อย่างเดียว หลังจากย่อยสารละลายบุกเป็นเวลา 7 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ข้ามคืนเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำมาให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส 20 นาที เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ จากนั้นเติม Tween 80 ร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก เพื่อเป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์และผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง homogenizer 5 นาที ในส่วนสูตรที่ 2 สารเคลือบ KGM-GA หลังจากย่อยสารละลายบุกเป็นเวลา 7 ชั่วโมง เพิ่มอุณหภูมิเป็น 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ และเติมกัมอะราบิก ระหว่างการกวนผสมให้ความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส อัตราส่วนที่ใช้ดังตารางที่ 3.1

หลังจากนั้นนำตัวอย่างสารเคลือบที่เตรียมได้ เติมน้ำมันหอมระเหยมะกรูดร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนผสม 5 นาที และเครื่อง homogenizer 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปอบแห้ง (ดัดแปลงจาก Yang, Xiao and Ding, 2009)

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของสารละลายอิมัลชันก่อนนำไปอบแห้งแบบพ่นฝอย

ส่วนประกอบ	สูตร 1 (%)	สูตร 2 (%)
ผงบุกกลูโคแมนแนน (KGM)	9.0	7.2
กัมอาระบิก (GA)	-	1.8
น้ำมันหอมระเหยมะกรูด	2.0	2.0
น้ำ	89.0	89.0

3.2.2.2 การอบแห้งแบบพ่นฝอย

3.2.2.2.1 คัดเลือกสารเคลือบที่เหมาะสมสำหรับการทำไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูดจากสารเคลือบ KGM และ KGM-GA โดยใช้การอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ภาวะอุณหภูมิอากาศขาเข้า 160 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศขาออก 80 องศาเซลเซียส นำไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยมะกรูดที่ได้บรรจุแบบสุญญากาศในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพต่อไป ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-test

3.2.2.2.2 ศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแบบพ่นฝอยของไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยมะกรูด โดยเตรียมสารเคลือบที่คัดเลือกได้จาก 3.2.2.2.1 จากนั้นนำไปอบแห้งแบบพ่นฝอยแปรอุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศขาออก 80 องศาเซลเซียส นำไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยมะกรูดที่ได้บรรจุแบบสุญญากาศในถุงอลูมิเนียมฟอยล์เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.2.2.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของผงไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยมะกรูด

- ปริมาณสาร β -Pinene และ Limonene ในน้ำมันหอมระเหยมะกรูดที่สกัดได้จากไมโครแคปซูล วิเคราะห์โดยใช้ผงไมโครแคปซูล 0.5 กรัม ละลายในน้ำ 5 มิลลิลิตรและตัวทำละลาย เฮกเซน 5 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลายด้วยเครื่อง Ultrasonic Bath (Sonicator) เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเปิดเฉพาะ

สารละลายในชั้นเฮกเซนแยกออกมา เขย่าให้เข้ากัน (Yang *et al.*, 2009) และฉีดเข้า GC-FID เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสาร β -Pinene และ Limonene โดยเทียบกับสารมาตรฐาน

- ร้อยละผลได้ (%yield) คำนวณตามสมการที่ 1

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{น้ำหนักไมโครแคปซูลที่ได้} \times 100}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น (KGM + GA + น้ำมันหอมระเหยมะกรูด)}} \quad (1)$$

- ค่า water activity (a_w) วัดด้วยเครื่อง water activity analyzer
- ค่าความชื้น
- ค่าการละลาย (water solubility index, WSI)
- ค่าความแตกต่างสี ระบบ CIE $L^*a^*b^*$ วัดด้วยเครื่อง chroma meter
- ปริมาณน้ำมันทั้งหมด (% total oil) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Clevenger apparatus
- ปริมาณน้ำมันที่ผิวของไมโครแคปซูล (% surface oil) วิเคราะห์ด้วย Soxhlet

extraction method

- ปริมาณน้ำมันที่ถูกกักเก็บ (% inner oil) วิธีคำนวณตามสมการที่ 2

$$\% \text{ inner oil} = \% \text{ total oil} - \% \text{ surface oil} \quad (2)$$

• ลักษณะปรากฏที่ได้ วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และวัดขนาดอนุภาคจากภาพถ่าย SEM ด้วยเครื่องวัดเวอร์เนีย และคำนวณกลับเทียบอัตราส่วนกับขนาดจริงในภาพ

• ความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของผงไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยมะกรูด วิเคราะห์ด้วยวิธี disc diffusion ทดสอบเช่นเดียวกับน้ำมันหอมระเหยมะกรูด โดยใช้ sterile paper disc จุ่มในไมโครแคปซูลที่ละลายน้ำ โดยมีความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก

คัดเลือกไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยมะกรูดที่มีลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีที่สุด 1 สูตร นำมาวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Minimum Inhibitory Concentration, MIC) ด้วยวิธี agar dilution เช่นเดียวกับการทดสอบน้ำมันหอมระเหยมะกรูด

เตรียมไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นน้ำมันมะกรูดช่วงร้อยละ 0.1, 0.2,... ถึง 1 โดยน้ำหนัก (คำนวณจากปริมาณน้ำมันทั้งหมดในไมโครแคปซูล) ผสมกับอาหารเลี้ยงเชื้อ MHA ที่หลอมเหลว และเทบนจานเพาะเชื้อรอกจนอาหารแข็งตัว จากนั้นหยดเชื้อแบคทีเรีย (ความเข้มข้นเซลล์เริ่มต้น $7 \log$ CFU/ml) ปริมาตรตำแหน่งละ 2 ไมโครลิตร ใช้จานเพาะเชื้อที่มีอาหาร MHA โดยไม่ผสมไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูดเป็นตัวอย่างควบคุม บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตความหนาแน่นของโคโลนีที่เจริญเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยค่า MIC คือช่วงความเข้มข้นต่ำสุดของน้ำมันมะกรูดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุ

ลินทรียี้ได้ (กรณี *Pseudomonas fluorescens* ทำเช่นเดียวกัน โดยบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส) (ดัดแปลงจาก Mayachiew and Devahastin, 2008)

3.2.3 การนำไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยมะกรูดไปใช้กับเนื้อปลาสด เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

3.2.3.1 การเตรียมเนื้อปลา

นำไมโครแคปซูลที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.2.2 มาคลุกผสมกับเนื้อปลารายบด น้ำหนักตัวอย่างละ 25 ± 1 กรัม บรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน โดยใช้ปริมาณผงไมโครแคปซูลให้มีความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยมะกรูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับตัวอย่างเนื้อปลารายที่ไม่คลุกผสมไมโครแคปซูล เก็บในสภาวะที่มีอากาศ อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างตรวจทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 12 วัน วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

3.2.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพและจุลินทรีย์ของเนื้อปลา

- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด, *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli*
- ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนทั้งหมดที่ระเหยได้ (Total Volatile Basic Nitrogen; TVB-N) โดยวิธี Conway
- ค่าความชื้น
- การสูญเสียน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษา (% storage loss)
- ค่าความแตกต่างสี ระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ของเนื้อปลาด้วยเครื่อง chroma meter

3.2.3.3 การประเมินการยอมรับของผู้บริโภค

คัดเลือกความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูด จากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพและจุลินทรีย์ของเนื้อปลาที่คลุกผสมไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยมะกรูดมา 1 สูตร นำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยประเมินลักษณะปรากฏด้านกลิ่น สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อเนื้อปลาดิบที่ใช้ไมโครแคปซูลและไม่ใช้ไมโครแคปซูล ด้วยวิธีทดสอบ 7-point hedonic scale โดยใช้ผู้ประเมินจำนวน 50 คน

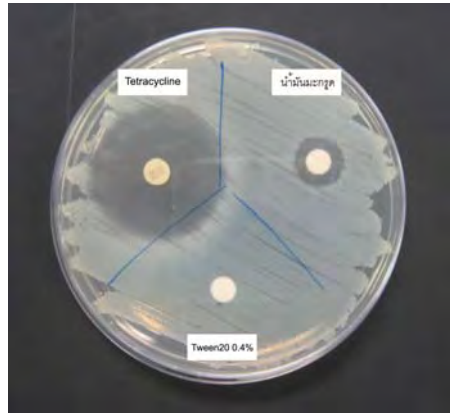
3.3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.3.1 การประเมินประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ของน้ำมันมะกรูด

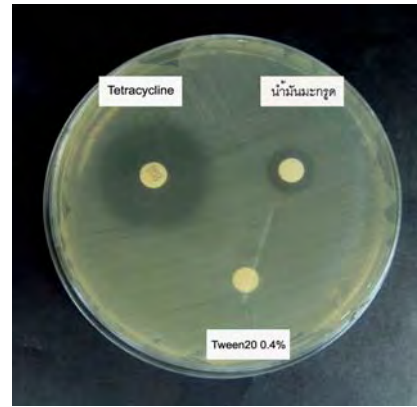
จากการศึกษาฤทธิ์ของน้ำมันหอมระเหยมะกรูดต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ *Salmonella* Typhimurium, *Pseudomonas fluorescens*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Vibrio cholerae* ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Disc diffusion ซึ่งพิจารณาจากขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสที่ด้านการเจริญของจุลินทรีย์

(clear zone) พบว่าน้ำมันหอมระเหยมะกรูดสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดที่ใช้ในการทดลอง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ยมากกว่า 8 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ทุกชนิดมีความไวต่อสารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดสอบ (Ponce *et al.*, 2003) ซึ่งค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของน้ำมันมะกรูดอยู่ในช่วงระหว่าง 9.94-23.56 มิลลิเมตร (ภาพที่ 3.1 และตารางที่ 3.2) โดยที่น้ำมันมะกรูดมีฤทธิ์ยับยั้ง *Vibrio cholerae* ได้ดีที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย 23.56 มิลลิเมตร รองลงมาคือ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* Typhimurium และ *Pseudomonas fluorescens* ตามลำดับ และเมื่อทดสอบประสิทธิภาพน้ำมันมะกรูดโดยพิจารณาจากค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Minimum Inhibitory Concentration, MIC) ด้วยวิธี agar dilution พบว่าน้ำมันมะกรูดมีค่า MIC อยู่ในช่วงร้อยละ 0.4-0.7 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 3.2) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fisher และ Phillips (2006) ที่ศึกษาการยับยั้งจุลินทรีย์ด้วยวิธี agar dilution พบว่าน้ำมันหอมระเหยจากมะกรูดฝรั่ง (*Citrus bergamia*) มีค่า MIC การยับยั้ง *Escherichia coli* O157 ร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร อาภากร สุภาพิพัฒน์ (2551) รายงานว่าค่า MIC ของน้ำมันหอมระเหยจากผลมะกรูดต่อการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella* Typhimurium และ *Salmonella* Weltevreden ด้วยวิธี agar dilution อยู่ในช่วงร้อยละ 0.5-0.6 โดยปริมาตรเช่นกัน Dabbah, Edwards และ Moats (1970) ศึกษาพบว่าน้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลส้มสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* และ *Pseudomonas* sp. ได้ ส่วน De Castillo และคณะ (2000) รายงานว่าน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะนาวสด สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Vibrio cholerae* O1 ได้ดี สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Vibrio cholerae* O1 เริ่มต้นจำนวน 10^6 CFU/ml ได้หมดภายในเวลา 3 ชั่วโมง และจำนวน 10^8 CFU/ml มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องภายใน 24 ชั่วโมง Lawrence และคณะ (1971) รายงานว่าน้ำมันจากผลมะกรูดมีองค์ประกอบหลักคือ β -pinene และ limonene ซึ่ง Sokovic และคณะ (2007) รายงานว่า limonene และ β -pinene สามารถยับยั้ง *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* Typhimurium และ *Escherichia coli* แต่ไม่ยับยั้ง *Pseudomonas aeruginosa* ได้ นอกจากนี้ Fisher และ Phillips (2006) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลส้มด้วยวิธี disc diffusion พบว่า น้ำมันเลมอน (*Citrus limon*) มีฤทธิ์ยับยั้ง *Staphylococcus aureus* ได้มากกว่า *Escherichia coli* O157 แต่น้ำมันจากส้ม (*Citrus sinensis*) สามารถยับยั้ง *Escherichia coli* O157 ได้มากกว่า *Staphylococcus aureus* ทั้งนี้พืชในตระกูลส้มแต่ละชนิดจะให้ผลการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีมากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีภายในที่แตกต่างกันของพืชแต่ละชนิดเอง รวมทั้งชนิดสายพันธุ์และความไวของจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดสอบด้วย โดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียแกรมบวกมีความไวต่อสารต้านจุลินทรีย์มากกว่าแบคทีเรียแกรมลบเนื่องจากโครงสร้างแบคทีเรียแกรมลบมีผนังเซลล์ชั้นนอก (outer membrane) อีกชั้นหนึ่ง ซึ่งมีปริมาณไขมันสูงถึงร้อยละ 11-22 ทำให้สารต้านจุลินทรีย์ซึมผ่านไปได้ช้ากว่า แต่จากการศึกษาของสุภากร ศรีเนาวรัตน์กุล (2552) พบว่าน้ำมันออริกาโนคาร์ครอล ลิ날อล สามารถยับยั้งการเจริญแบคทีเรียแกรมลบได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมบวก เนื่องมาจากในน้ำมันหอมระเหยมีองค์ประกอบของสารที่มีความมีขั้วน้อยหรือไม่มีขั้วอยู่ จึงสามารถละลายได้ดีในชั้นไขมันของผนังเซลล์แกรมลบ สามารถแพร่ผ่านเข้าไปทำลายผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์เมมเบรนได้ เช่นเดียวกับ ปทุม อรุณวัชรินทร์ (2551) ศึกษาการใช้สารสกัดจากสมุนไพรยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคในเนื้อสัตว์พร้อมบริโภคน้ำมันมะกรูดมีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคแกรมลบ ได้แก่ *Escherichia coli* และ *Salmonella* Typhimurium ได้ดี นอกจากนี้ Fisher และ Phillips (2008) ได้รายงานว่าน้ำมันจากพืชตระกูลส้มสามารถมีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ ซึ่งจากผลการทดลองน้ำมันมะกรูดมีความสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ได้ เช่นเดียวกับการศึกษาที่ผ่านมา และมีฤทธิ์ยับยั้งทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบได้เช่นเดียวกัน โดยความไว

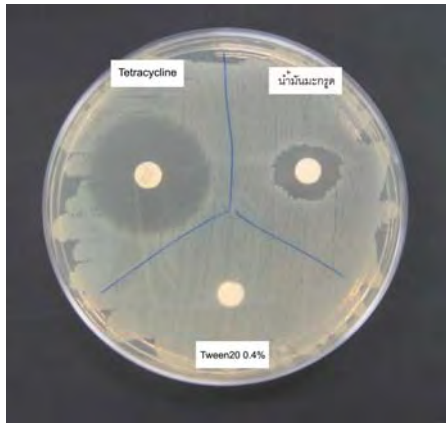
ต่อการถูกทำลายที่ต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะตัวโครงสร้างอแกแนลภายในที่ซับซ้อนของแบคทีเรียแต่ละชนิดเองด้วย



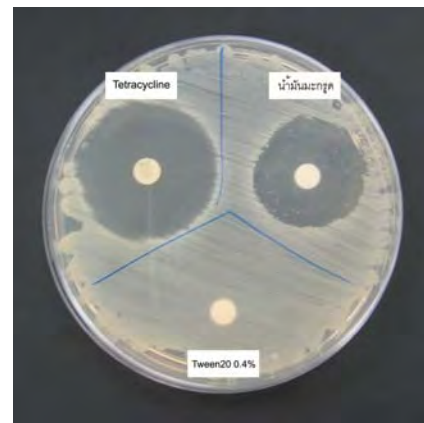
Staphylococcus aureus



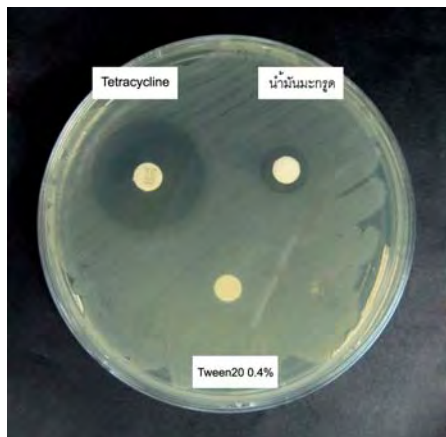
Salmonella Typhimurium



E.coli



Vibrio cholerae



Pseudomonas fluorescens

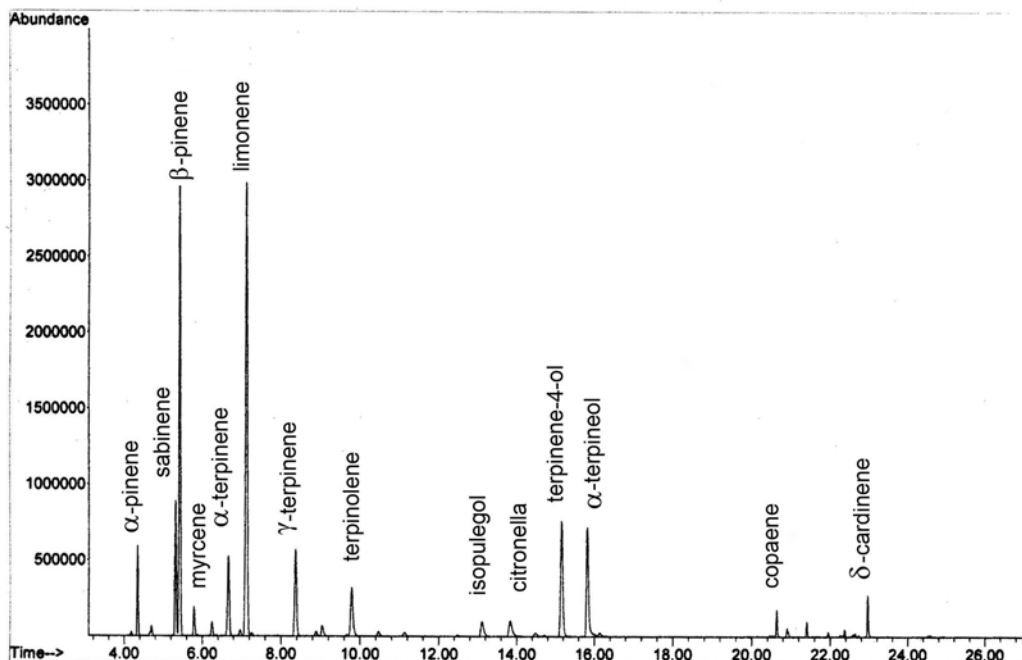
ภาพที่ 3.1 วงใส (clear zone) ของน้ำมันหอมระเหยมะกรูด โดยวิธี disc diffusion ในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

ตารางที่ 3.2 ค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (MIC) ด้วยวิธี agar dilution และเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย (มิลลิเมตร) ของน้ำมันมะกรูดและยาปฏิชีวนะพื้นฐานด้วยวิธี disc diffusion (เส้นผ่านศูนย์กลางของ paper disc 6 มิลลิเมตร)

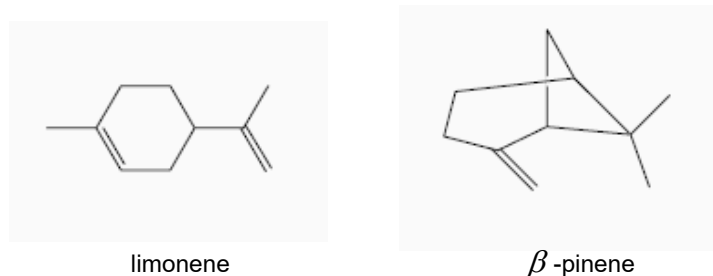
เชื้อจุลินทรีย์	น้ำมันมะกรูด		Tetracycline
	MIC (% w/w)	เส้นผ่านศูนย์กลางวงใส (mm)	เส้นผ่านศูนย์กลางวงใส(mm)
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.5	11.03 ± 0.56 ^b	26.98 ± 1.10 ^b
<i>Salmonella Typhimurium</i>	0.5	10.36 ± 0.65 ^{ab}	22.97 ± 0.88 ^a
<i>Escherichia coli</i>	0.5	13.85 ± 0.63 ^c	23.52 ± 0.92 ^a
<i>Vibrio cholerae</i>	0.4	23.56 ± 1.55 ^d	27.46 ± 1.77 ^b
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0.7	9.94 ± 0.76 ^a	22.72 ± 0.70 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยมะกรูดด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมตรี (Gas Chromatography and Mass Spectrometry, GC-MS) พบว่าน้ำมันหอมระเหยมะกรูดมีองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิดปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 3.2 โดยมีองค์ประกอบหลักคือ β -pinene และ limonene เช่นเดียวกับงานวิจัยของณัฏฐา เล่ากุลจิตต์ และคณะ (2552) พบว่า β -pinene และ limonene เป็นสารหลักในน้ำมันหอมระเหยผิวมะกรูดที่สกัดได้ นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ยังพบองค์ประกอบสารชนิดอื่นซึ่งมีปริมาณตามลำดับดังนี้คือ sabinene, terpinene-4-ol, α -terpineol, α -pinene, γ -terpinene, α -terpinene, terpinolene, δ -cadinene, copaene, myrcene, Isopulegol และ citronella และสารอื่นๆอีกหลายชนิดในปริมาณเล็กน้อย



ภาพที่ 3.2 โครมาโทแกรมของน้ำมันหอมระเหยมะกรูดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องGC-MS



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างขององค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยมะกรูด
ที่มา : Insuan (2003)

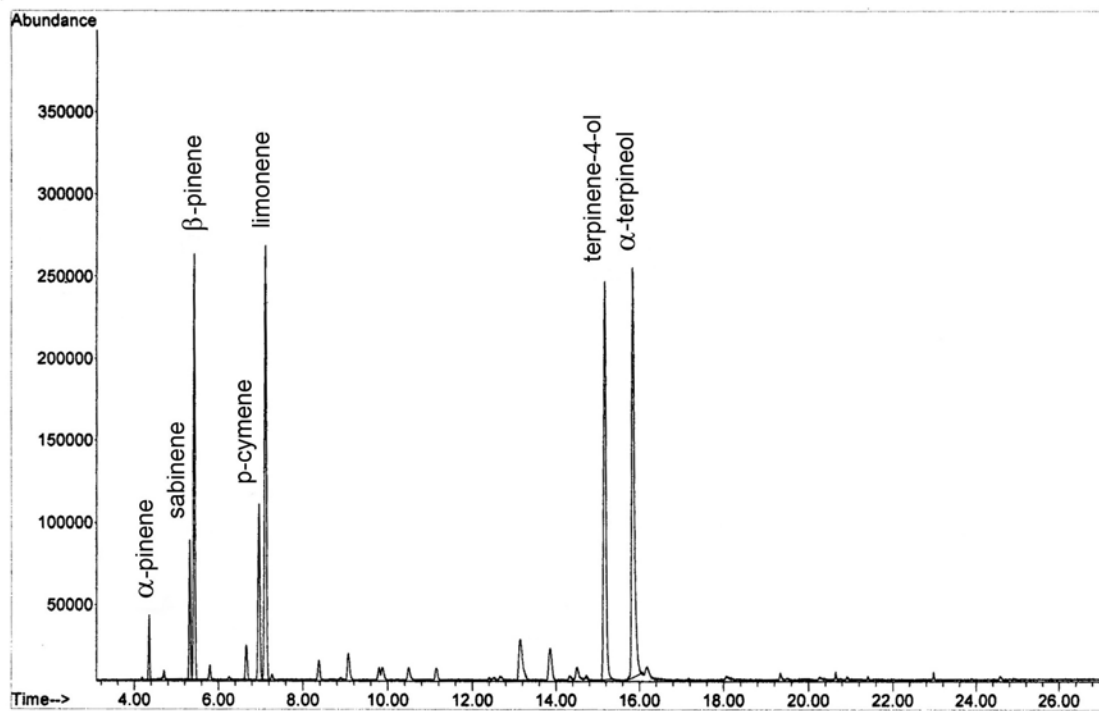
จากการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยมะกรูดในเชิงปริมาณด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีชนิดตัวตรวจวัดเฟรมไอออนไนเซชัน (Gas Chromatography/Flame Ionization Detector, GC-FID) พบว่าในน้ำมันหอมระเหยมะกรูดมีปริมาณสาร limonene 38.78% และ β -pinene 36.62% Lawrence และคณะ (1971) รายงานว่าน้ำมันจากผลมะกรูดมีองค์ประกอบหลักคือ β -pinene 30.6%, limonene 29.2% และสารประกอบอื่นๆอีกหลายชนิด ส่วนจักรพันธ์ จุลศรีไกว์ และคณะ (2008) รายงานว่าน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดที่กลั่นด้วยไอน้ำมีองค์ประกอบหลักได้แก่ limonene 19.72%, β -pinene 19.01%, citronella 15.20% และ sabinene 12.36% ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีที่สกัดได้จากพืชตระกูลส้มมีปริมาณสารมากน้อยแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดสายพันธุ์ แหล่งที่ปลูก ฤดูกาล การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาและวิธีการสกัดด้วย (ชยันต์ พิเชียรสุนทร และวิเชียร จีรวงส์, 2545) ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่า น้ำมันหอมระเหยมะกรูดมีปริมาณ limonene มาก

ที่สุด รองลงมาคือ β -pinene และ sabinene ตามลำดับ และมี citronella ในปริมาณเล็กน้อย Dorman และ Deans (2000) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยต่างๆ พบว่าสารซึ่งเป็นองค์ประกอบแต่ละตัว มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้แตกต่างกัน โดย limonene มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* แต่ไม่สามารถยับยั้ง *Staphylococcus aureus* ส่วน β -pinene สามารถยับยั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ ส่วน Sokovic และคณะ (2007) รายงานว่า limonene และ β -pinene สามารถยับยั้ง *Staphylococcus aureus*, *Salmonella Typhimurium* และ *Escherichia coli* แต่ไม่ยับยั้ง *Pseudomonas aeruginosa* Bakkali และคณะ (2008) กล่าวว่าโดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบหลักของน้ำมันหอมระเหยที่มีคุณสมบัติทางด้านชีวภาพมีองค์ประกอบพื้นฐานมาจากสารในกลุ่มเทอร์พีนและเทอร์พีนอยด์ โดยสารพวกเทอร์พีนซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในน้ำมันหอมระเหยมะกรูด สามารถที่จะรบกวนและผ่านเข้าไปในผนังเซลล์ของแบคทีเรีย โดยแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างส่วนที่เป็นไขมัน ทำลายฟอสโฟลิพิดบนเยื่อหุ้มเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรีย เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในไขมัน รวมทั้งทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ เยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลายนำไปสู่การรั่วไหลของสารออกมานอกเซลล์ ไม่สามารถควบคุมการเข้าออกของสารต่างๆ เซลล์จึงสลายตัวและตายในที่สุด

3.3.2 การศึกษากระบวนการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยมะกรูดโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

จากการทำไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยมะกรูดด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ผงบุกกลูโคแมนแนน (KGM) และสารเคลือบสองชนิดคือ ผงบุกกลูโคแมนแนนผสมกับกัมอะราบิก (KGM-GA) กักเก็บน้ำมันหอมระเหยมะกรูดร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อบแห้งที่อุณหภูมิอากาศเข้า 160 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขาออก 80 องศาเซลเซียส เมื่อวิเคราะห์สารที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันที่สกัดออกมาได้จากไมโครแคปซูลน้ำมันหอมระเหยมะกรูดด้วยเทคนิค GC-MS พบสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักเหลืออยู่ลดลงจากเริ่มต้น โดยมีปริมาณสารจากมากไปน้อยตามลำดับดังนี้ได้แก่ limonene, β -pinene α -terpineol, terpinene-4-ol, *p*-cymene, sabinene และ α -pinene และสารชนิดอื่นๆเหลืออยู่ในปริมาณเล็กน้อย (ภาพที่ 4.4) องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันลดลงจากเริ่มต้นมาก และมีสาร *p*-cymene เพิ่มขึ้นมาจากองค์ประกอบเริ่มต้น ปริมาณสารที่ลดลงอาจเนื่องมาจากสารสำคัญเกิดการระเหยสูญเสียไปในระหว่างกระบวนการอบแห้ง เช่นเดียวกับงานวิจัยของอาภากร สุภาพิพัฒน์ (2551) ศึกษาการทำไมโครแคปซูลของน้ำมันหอมระเหยกระชาย พบว่ามีปริมาณสารสำคัญลดลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยกระชายบริสุทธิ์ โดยพบองค์ประกอบเหลือเพียง 2 ชนิดหลังการทำแห้ง คือ แคมเฟอร์ และเมทิลซินนามेट ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีต่างๆมีเหลืออยู่มากขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น ความดันไอของสารระเหยแต่ละชนิด อุณหภูมิในการอบแห้ง รวมทั้งโครงสร้างของสารระเหยนั่น โดยสารในกลุ่มเทอร์พีนที่ไม่มียอดออกซิเจนในโมเลกุลจะเกิดการสูญเสียมากกว่ากลุ่มที่มีออกซิเจนในโมเลกุล เนื่องจากความสามารถในการระเหยที่แตกต่างกันและการเกิดออกซิเดชันในขณะอบแห้ง นอกจากนี้ในระหว่างกระบวนการอบแห้งสารระเหยบางส่วนอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารชนิดอื่นได้จากปฏิกิริยาต่างๆ ซึ่งองค์ประกอบหลักในน้ำมันหอมระเหยมะกรูดเป็นสารในกลุ่มโมโนเทอร์พีนที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายในภาวะที่มีความร้อน แสง และออกซิเจนเป็นตัวเร่ง จึงทำให้สารระเหยบางชนิดลดลงและกลายเป็นสารชนิดอื่นเพิ่มขึ้นได้ (พิชามญชุ์ สว่างสุข, 2551; Venskutonis, 1997) จากงานวิจัยของ Sawamura และคณะ (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันหอมระเหยเลมอน (*Citrus limon*) เมื่อเก็บไว้ในปัจจัยต่างๆ เช่น ภาวะอุณหภูมิสูง มีการสัมผัสอากาศและเก็บไว้เป็นเวลานาน พบว่าปริมาณ limonene, β -pinene, α -pinene, γ -terpinene,

sabinene, myrcene ลดลง แต่มีสาร *p*-cymene, *cis*- และ *trans*- limonene oxide เพิ่มขึ้น ซึ่ง γ -terpinene สามารถเปลี่ยนฟอร์มกลายเป็น *p*-cymene จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือการเปลี่ยนรูปจาก limonene ไปเป็น α -terpineol ได้ (Hiramoto, Tokoro and Kanisawa, 1999) Nguyen และคณะ (2009) ศึกษาอิทธิพลต่อการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันเลมอนพบว่าปริมาณ limonene, β -pinene, α -pinene, α -terpinene มีแนวโน้มลดลง และนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของ *p*-cymene และ limonene oxides เช่นเดียวกัน

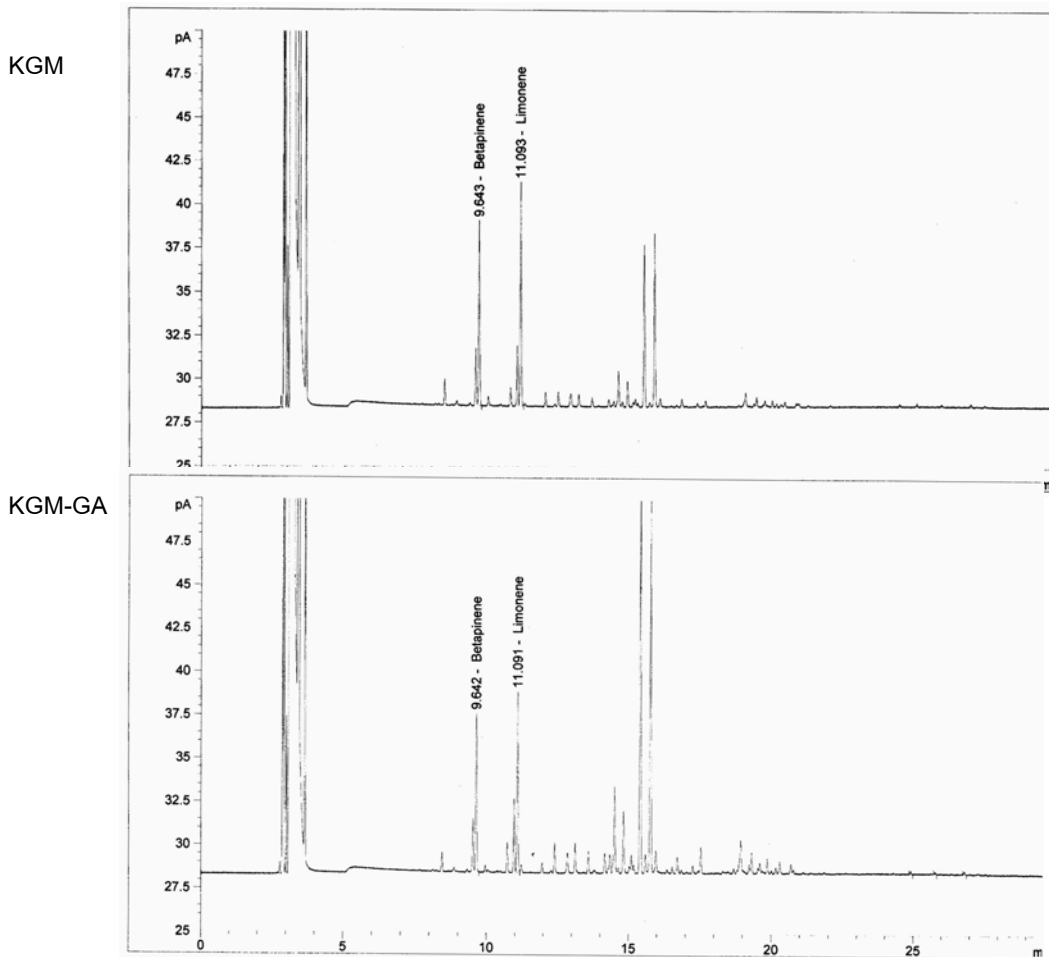


ภาพที่ 3.4 โครมาโทแกรมของน้ำมันมะกรูดที่สกัดจากไมโครแคปซูลจากสารเคลือบบุกเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องGC-MS

ตารางที่ 3.3 ปริมาณสาร β -pinene และ limonene ในน้ำมันมะกรูดที่สกัดจากไมโครแคปซูลที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยอุณหภูมิอากาศเข้า 160 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID

สารเคลือบ	β -pinene		Limonene	
	% ในผงไมโครแคปซูล ^{ns}	% ในน้ำมันมะกรูด ^{ns}	% ในผงไมโครแคปซูล ^{ns}	% ในน้ำมันมะกรูด ^{ns}
KGM	0.20 ± 0.01	2.54 ± 0.09	0.24 ± 0.02	2.95 ± 0.30
KGM-GA	0.18 ± 0.02	2.20 ± 0.30	0.20 ± 0.03	2.44 ± 0.40

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ ns ในแต่ละแถวแนวนั่ง หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัย สำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-test



ภาพที่ 3.5 โครมาโทแกรมของน้ำมันหอมระเหยมะกรูดที่สกัดจากไมโครแคปซูลเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารองค์ประกอบหลักด้วยเทคนิค GC-FID ของน้ำมันหอมระเหยมะกรูดที่สกัดได้จากไมโครแคปซูลที่ใช้สารเคลือบ KGM และ KGM-GA พบว่าสามารถกักเก็บสารสำคัญได้แก่ β -pinene และ limonene ไว้ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่มีปริมาณสารสำคัญลดลงจากน้ำมันมะกรูดเริ่มต้นอย่างมาก (ตารางที่ 3.3 และภาพที่ 3.5) โดยน้ำมันในไมโครแคปซูลจากสารเคลือบ KGM มีปริมาณ β -pinene และ limonene ลดลงจากน้ำมันมะกรูดเริ่มต้น 34.08% และ 35.83% ตามลำดับ ส่วนน้ำมันในไมโครแคปซูลจากสารเคลือบ KGM-GA มีปริมาณ β -pinene และ limonene ลดลงจากน้ำมันมะกรูดเริ่มต้น 34.42% และ 36.34% ตามลำดับ และสังเกตเห็นได้ว่าโครมาโทแกรมของน้ำมันที่สกัดได้จากไมโครแคปซูลที่ใช้สารเคลือบ KGM-GA (ภาพที่ 3.5) จะมีสารที่เป็นองค์ประกอบอื่นๆเหลืออยู่มากกว่าโครมาโทแกรมของน้ำมันที่สกัดได้จากไมโครแคปซูลที่ใช้สารเคลือบ KGM เพียงชนิดเดียว แสดงว่าไมโครแคปซูลจากสารเคลือบ KGM-GA สามารถกักเก็บ

สารได้มากกว่า เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันทั้งหมดของไมโครแคปซูล (% total oil) จากวิธีการกลั่นด้วยเครื่อง Clevenger apparatus และปริมาณน้ำมันที่ผิวของไมโครแคปซูล (% surface oil) จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ไมโครแคปซูลจากสารเคลือบ KGM-GA ให้ปริมาณน้ำมันทั้งหมด (% total oil) สูงกว่าปริมาณน้ำมันที่ผิวของไมโครแคปซูล (% surface oil) ต่ำ และปริมาณน้ำมันที่ถูกกักเก็บไว้ (% inner oil) สูงกว่าการใช้สารเคลือบ KGM เพียงชนิดเดียวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 3.4) แสดงให้เห็นว่าไมโครแคปซูลจากสารเคลือบ KGM-GA สามารถกักเก็บปริมาณน้ำมันมะกูดไว้ได้ดีกว่า แต่ให้ลักษณะทางกายภาพ สี ความชื้น ค่า water activity (a_w) ค่าการละลาย และปริมาณร้อยละผลได้ ไม่แตกต่างกับสารเคลือบ KGM เพียงชนิดเดียว ($p > 0.05$)

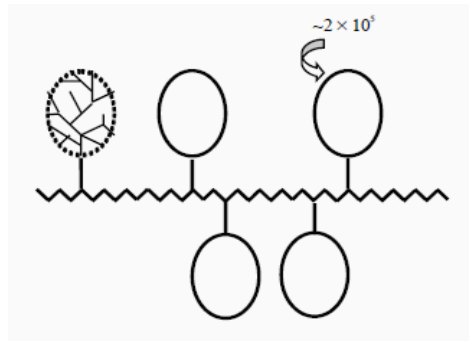
ตารางที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของผงไมโครแคปซูลที่ผ่านการ อบแห้งแบบพ่นฝอยอุณหภูมิอากาศเข้า 160 องศาเซลเซียส

ผลวิเคราะห์	สารเคลือบ	
	KGM	KGM-GA
ร้อยละผลได้ ^{ns}	42.95 ± 7.32	44.81 ± 5.03
Water activity ^{ns}	0.17 ± 0.09	0.14 ± 0.04
% ความชื้น ^{ns}	4.60 ± 1.33	4.35 ± 0.76
% Total oil (w/w)	32.26 ± 1.34 ^a	69.09 ± 6.47 ^b
% Surface oil (w/w)	30.87 ± 3.51 ^b	13.87 ± 0.62 ^a
% Inner oil (w/w)	4.43 ± 7.67 ^a	56.86 ± 4.31 ^b
ค่าการละลาย (WSI) ^{ns}	69.73 ± 3.14	69.06 ± 0.80
ค่าสี		
L^* ^{ns}	77.20 ± 0.26	76.94 ± 0.10
a^* ^{ns}	-1.00 ± 0.05	-0.99 ± 0.04
b^* ^{ns}	1.69 ± 0.05	1.75 ± 0.04

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี T-test

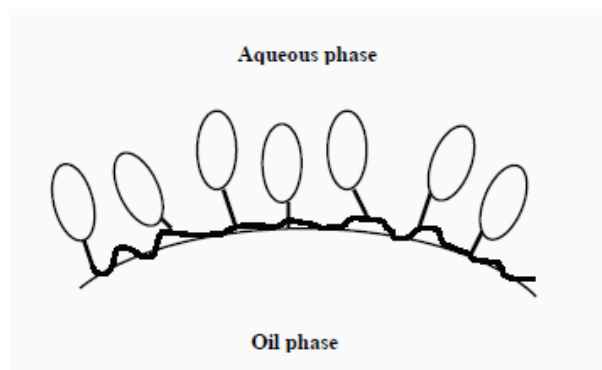
ไมโครแคปซูลจากสารเคลือบ KGM-GA มีปริมาณน้ำมันทั้งหมด (% total oil) และปริมาณน้ำมันที่ถูกกักเก็บไว้ (% inner oil) และปริมาณสารสำคัญชนิดอื่น ๆ มากกว่าการใช้สารเคลือบ KGM เพียงชนิดเดียว แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการกักเก็บสารที่ดีกว่า เนื่องจากกัม อะราบิก (GA) เป็นไฮโดรคอลลอยด์จากธรรมชาติซึ่งมีสมบัติความเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ในตัวเอง มีส่วนโครงสร้างหลักเป็นคาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยน้ำตาลและอนุพันธ์น้ำตาลหลายชนิดต่อและแตกกิ่งแขนงกัน และมีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 2 GA มีส่วนที่เป็นอะราบินอกาแลคแทนโปรตีน (arabinogalactan protein) ซึ่งเป็นโครงสร้างเชิงซ้อนของโปรตีนและโพลี

แซคคาไรต์ กลุ่ม arabinogalactan block มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2×10^5 จะถูกเชื่อมต่อกันด้วยสายโพลีเปปไทด์ ตามแบบจำลอง wattle-blossom model (ภาพที่ 3.6)



ภาพที่ 3.6 โครงสร้างแบบจำลอง wattle-blossom model ของกัมอะราบิก ซึ่งส่วนที่เป็นกลุ่ม arabinogalactan block จะถูกเชื่อมต่อกันด้วยสายโพลีเปปไทด์
ที่มา : Jayme และคณะ (1999)

เมื่ออยู่ในระบบอิมัลชันน้ำกับน้ำมัน บริเวณผิวสัมผัสระหว่างน้ำมันกับโมเลกุลน้ำมีแรงดึงดูดจึงไม่สามารถรวมตัวกันได้ กัมอะราบิกสามารถใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์โดยส่วนที่เป็นโปรตีนจะมีบทบาทช่วยลดแรงดึงดูดระหว่างน้ำกับน้ำมัน กัมอะราบิกจะหันด้านที่เป็นโปรตีนไปในส่วนที่เป็นน้ำมัน สายโพลีเปปไทด์มีสมบัติไฮโดรโฟบิกจะจับยึดกับส่วนของน้ำมันไว้ และหันด้านที่เป็นกลุ่ม arabinogalactan block มาทางผิวของน้ำ (ภาพที่ 3.7) และช่วยอิมัลชันลดการเกิดการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคที่กระจายตัว (flocculation) และการรวมตัวของอนุภาค (coalescence) ในสารละลาย (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Jayme, Dunstan and Gee, 1999; Williams and Phillips, 2000) ส่วน KGM เมื่อละลายน้ำโมเลกุลจะพองตัวและดูดซับน้ำเข้าไว้ สร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ทำให้เกิดลักษณะเจลที่มีความหนืด เมื่อนำไปทำแห้งจะได้ฟิล์มที่มีลักษณะเหนียวทนต่ออุณหภูมิและแรงทางกล สามารถห่อหุ้มสารที่อยู่ภายในไว้ได้ดี ดังนั้นเมื่อผสมสารเคลือบ KGM และ GA ทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน คุณสมบัติความเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีของ GA และความสามารถในการฟอร์มฟิล์มที่ดีของ KGM จึงมีผลช่วยให้ไมโครแคปซูลมีความสามารถในการกักเก็บที่ดีขึ้น (Yang, Xiao and Ding, 2009; Zhanga, Xie and Gan, 2005) มากกว่าการใช้สารเคลือบ KGM เพียงชนิดเดียว



ภาพที่ 3.7 ทิศทางการจัดเรียงตัวของกัมมะธราปิกระหว่างผิวหน้าของน้ำกับน้ำมัน
ที่มา : Jayme และคณะ (1999)

เมื่อทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูดด้วยวิธี disc diffusion โดยละลายไมโครแคปซูลให้มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก พบว่าทุกภาวะในการทดลองไม่สามารถยับยั้ง *Salmonella* Typhimurium และ *Pseudomonas fluorescens* ได้ อาจเนื่องจากน้ำมันมะกรูดมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อทั้งสองชนิดนี้ได้น้อยกว่าเชื้ออื่นอยู่แล้ว ประกอบกับการอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นการใช้อุณหภูมิที่สูงในการอบแห้ง ดังนั้นสารสำคัญภายในน้ำมันมะกรูดที่มีจุดเดือดต่ำระเหยง่ายจึงเกิดการสูญเสียไปบางส่วนดังเช่นภาพที่ 3.4 และในการทดสอบความสามารถการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของไมโครแคปซูลมีข้อจำกัด เนื่องจากสามารถละลายไมโครแคปซูลได้สูงสุดที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดเพียงร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ดังนั้นผลการวิเคราะห์ความสามารถการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของไมโครแคปซูลจึงมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันมะกรูดบริสุทธิ์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก แต่ไมโครแคปซูลจากสารเคลือบ KGM-GA ยังคงสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ได้ตามลำดับ ในขณะที่ไมโครแคปซูลจากสารเคลือบ KGM ไม่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดได้ (ตารางที่ 3.5) สอดคล้องกับประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมัน % total oil และ % inner oil ไมโครแคปซูลจากสารเคลือบ KGM-GA มีประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมันสูงกว่าสารเคลือบ KGM ชนิดเดียว

ถึงแม้จากผลวิเคราะห์ GC-FID ของน้ำมันที่สกัดได้จากไมโครแคปซูลที่ใช้สารเคลือบ KGM และ KGM-GA จะพบว่ามีปริมาณสารที่องค์ประกอบหลักได้แก่ β -pinene และ limonene ไม่แตกต่างกัน แต่จากรูปโครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ GC-FID (ภาพที่ 3.5) จะเห็นได้ว่าไมโครแคปซูลที่ใช้สารเคลือบ KGM-GA จะมีสารที่เป็นองค์ประกอบอื่นๆเหลืออยู่มากกว่าไมโครแคปซูลที่ใช้สารเคลือบ KGM เพียงชนิดเดียว ซึ่งสารชนิดอื่นรวมถึงพวกที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในรูปของแอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ และคีโตน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อได้ดี โดยเฉพาะสาร terpinene-4-ol และ α -terpineol มีปริมาณสูงมากและมากกว่าองค์ประกอบหลัก β -pinene และ limonene Inouye, Takizawa และ Yamaguchi (2001) กล่าวว่าน้ำมันหอมระเหยที่มีองค์ประกอบในกลุ่มเทอร์พีนแอลกอฮอล์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อได้ดีมาก สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด โดยส่งผลทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนและความผิดปกติในการผ่านเข้าออกสารของเซลล์ (Dorman and Deans, 2000) มีรายงานพบว่า terpinene-4-ol สามารถยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli*, *Salmonella* Typhimurium, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas fluorescens* และ *Pseudomonas aeruginosa* ส่วน

α -pinene สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli*, *Salmonella* Typhimurium และ *Staphylococcus aureus* ส่วน α -terpineol มีฤทธิ์ยับยั้ง *Escherichia coli*, *Salmonella* Typhimurium, *Vibrio vulnificus* และ *Pseudomonas fluorescens* และ α -terpinene สามารถยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* ได้ ส่วน sabinene พบว่าไม่มีความสามารถยับยั้ง *Escherichia coli*, *Salmonella* Typhimurium, *Staphylococcus aureus* และ *Pseudomonas aeruginosa* ได้ (Carson and Riley, 1995; Dorman and Deans, 2000; Giwanon *et al.*, 2000; Papadopoulos *et al.*, 2006; Sokovic *et al.*, 2007)

ตารางที่ 3.5 เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสที่ต้านการเจริญของจุลินทรีย์ จากสารละลายไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูด (เส้นผ่านศูนย์กลางของ paper disc 6 มิลลิเมตร)

ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ยของเชื้อจุลินทรีย์ (มิลลิเมตร)				
	<i>Staphylococcus Aureus</i>	<i>Salmonella Typhimurium</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Vibrio cholera</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
KGM	-	-	-	-	-
KGM-GA	8.17 $\pm$ 0.45	-	10.62 $\pm$ 0.43	15.40 $\pm$ 0.55	-

หมายเหตุ - : ไม่มีวงใสเกิดขึ้น

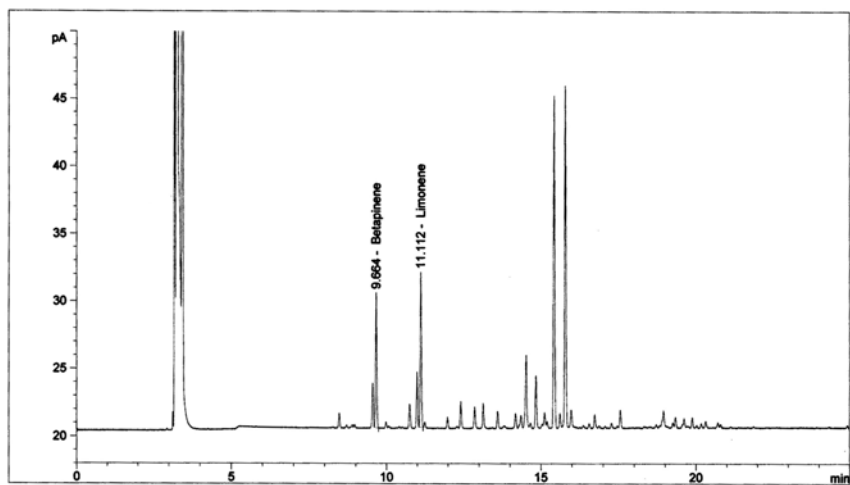
ดังนั้นจึงเลือกใช้สารเคลือบ KGM-GA ทำการทดลองต่อไปโดยแปรอุณหภูมิอากาศขาเข้าของการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศขาออก 80 องศาเซลเซียส จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-FID พบว่าปริมาณสาร β -pinene และ limonene ของน้ำมันที่สกัดได้จากไมโครแคปซูลที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศขาเข้าทั้ง 3 อุณหภูมิ มีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (ตารางที่ 3.6 และภาพที่ 3.8) แสดงให้เห็นว่าช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศขาเข้าการอบแห้ง 160 ถึง 200 องศาเซลเซียส ยังไม่ส่งผลกระทบทำให้เกิดการลดลงของสารสำคัญสองชนิดนี้มากนัก Risch และ Reineccius (1988) รายงานว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสมต่อการกักเก็บสารให้กลิ่นรสอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 160 ถึง 200 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงไม่ค่อยเห็นการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารสำคัญในช่วงอุณหภูมินี้มากนัก แต่จะเห็นได้ว่าปริมาณสารสำคัญมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้น

ตารางที่ 3.6 ปริมาณสาร β -pinene และ limonene ในน้ำมันมะกรูดที่สกัดจากไมโครแคปซูลจากสารเคลือบ KGM-GA ที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID

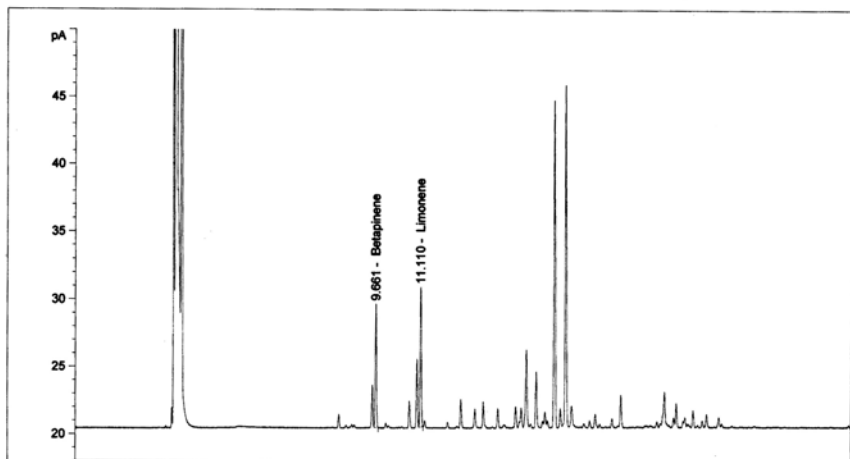
อุณหภูมิ การอบแห้ง	β -pinene		Limonene	
	% ในผงไมโคร แคปซูล ^{ns}	% ในน้ำมัน มะกรูด ^{ns}	% ในผงไมโคร แคปซูล ^{ns}	% ในน้ำมัน มะกรูด ^{ns}
160 °C	0.18 ± 0.02	2.20 ± 0.30	0.20 ± 0.03	2.44 ± 0.40
180 °C	0.17 ± 0.03	2.16 ± 0.39	0.19 ± 0.03	2.33 ± 0.32
200 °C	0.17 ± 0.07	2.08 ± 0.88	0.18 ± 0.07	2.25 ± 0.83

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ ns ในแต่ละแถวแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range

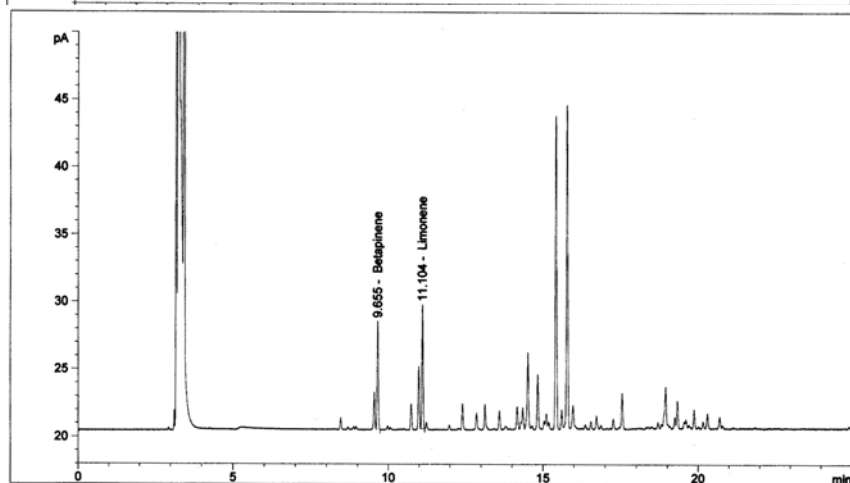
160 °C



180 °C



200 °C



ภาพที่ 3.8 โครมาโทแกรมของน้ำมันมะกรูดที่สกัดจากไมโครแคปซูลที่ใช้สารเคลือบ KGM-GA เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องGC-FID ที่อุณหภูมิอากาศเข้าการอบแห้งต่างๆ

ตารางที่ 3.7 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของไมโครแคปซูลน้ำมันมะกูดจากสารเคลือบ KGM-GA ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าการอบแห้งต่างๆ

ผลวิเคราะห์	อุณหภูมิอากาศขาเข้าของการอบแห้ง		
	160 °C	180 °C	200 °C
ร้อยละผลได้ ^{ns}	44.81 ± 5.03	51.88 ± 6.21	43.89 ± 7.34
Water activity ^{ns}	0.14 ± 0.04	0.20 ± 0.01	0.28 ± 0.09
% ความชื้น ^{ns}	4.35 ± 0.76	5.01 ± 0.13	6.34 ± 1.18
% Total oil (w/w) ^{ns}	69.09 ± 6.47	71.74 ± 0.06	67.68 ± 3.74
% Surface oil (w/w) ^{ns}	13.87 ± 0.62	14.84 ± 3.88	12.50 ± 7.55
% Inner oil (w/w) ^{ns}	56.86 ± 4.31	56.91 ± 3.94	52.23 ± 4.14
ค่าการละลาย (WSI) ^{ns}	69.06 ± 0.80	67.08 ± 3.20	67.08 ± 2.21
ค่าสี			
L^*	76.94 ± 0.10 ^b	76.92 ± 0.59 ^b	75.85 ± 0.33 ^a
a^{*ns}	-0.99 ± 0.04	-1.01 ± 0.07	-0.97 ± 0.09
b^*	1.75 ± 0.04 ^a	1.75 ± 0.09 ^a	1.93 ± 0.14 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range

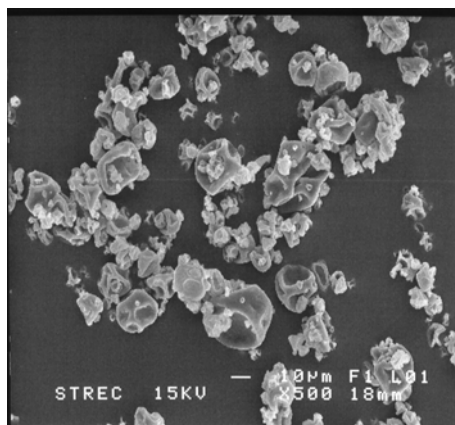
ส่วนลักษณะทางเคมีและกายภาพของไมโครแคปซูลน้ำมันมะกูดจากสารเคลือบ KGM-GA ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าการอบแห้งทั้ง 3 ภาวะ มีปริมาณความชื้น ค่า water activity (a_w) ปริมาณน้ำมันที่วิเคราะห์ได้ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 3.7) แต่จะสังเกตเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้าการอบแห้งที่สูงขึ้น ผงไมโครแคปซูลมีแนวโน้มปริมาณความชื้นที่สูงขึ้น อาจเนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าการอบแห้งเพิ่มขึ้น ทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นลง ระยะเวลาที่ผงไมโครแคปซูลสัมผัสกับความชื้นลดลง Chen และ Mujumdar (2008) กล่าวว่าถ้าควบคุมสภาวะตัวแปรอื่นๆให้คงที่ การเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาออกจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นน้อยลง ในขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าให้สูงขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นคงเหลืออยู่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศขาเข้า 180 องศาเซลเซียส มีค่า % total oil และ % inner oil สูงกว่าอุณหภูมิอื่น ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งให้สูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิผลิตภัณฑ์ฟอร์มรูปได้เร็วขึ้น ระยะเวลาที่น้ำมันมะกูดสัมผัสกับความชื้นน้อยลง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงมากเกินไปจะส่งผลทำให้สารสำคัญ

ระเหยสูญเสียไปได้เช่นกัน (Risch and Reineccius, 1988) สำหรับค่าสีของไมโครแคปซูลน้ำมันมะกูด พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่า L^* ซึ่งแสดงถึงความสว่าง และค่า b^* ที่แสดงระดับสีเหลือง-น้ำเงิน ของผงไมโครแคปซูล เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศเข้าสูงมากถึง 200 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อสีของผงไมโครแคปซูลทำให้ค่า L^* ลดต่ำลง และค่า b^* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ไมโครแคปซูลมีสีคล้ำขึ้นเล็กน้อย

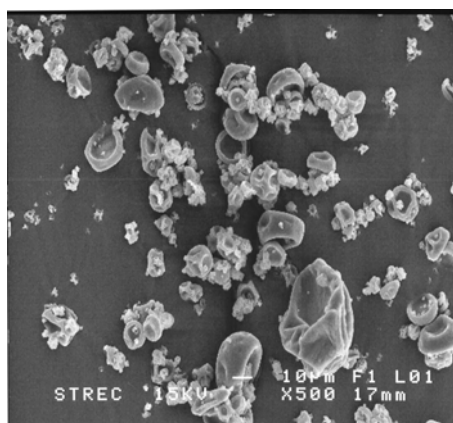
เมื่อนำไมโครแคปซูลที่เตรียมจากสารเคลือบ KGM และ KGM-GA ที่อุณหภูมิอากาศเข้าการอบแห้ง ในช่วง 160 ถึง 200 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าขนาดอนุภาคและลักษณะรูปร่างของไมโครแคปซูลไม่แตกต่างกัน โดยขนาดอนุภาคมีทั้งเล็กและใหญ่ จากการวัดขนาดอนุภาคจากภาพถ่าย SEM ด้วยเครื่องวัดเวอร์เนีย และคำนวณกลับเทียบอัตราส่วนกับขนาดจริงในภาพ พบว่ามีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 4.8-18.5 ไมครอน (ตารางที่ 3.8 และภาพที่ 3.9) เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้ (Mini Spray Dryer B-290) มีส่วนหัวฉีดพ่นฝอยเป็นแบบ two-fluid nozzle และจะมีขนาดอนุภาคโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 2-25 ไมโครเมตร (Arpagaus and Schwartzbach, 2008) นอกจากขนาดอนุภาคจะขึ้นอยู่กับชนิดของหัวฉีดส่วนพ่นฝอยแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความหนืดของสารละลายก่อนอบแห้ง ความเข้มข้นของสารเคลือบที่ใช้ หรือปริมาณของแข็งทั้งหมด (Gharsallaoui *et al.*, 2007) รวมทั้งระดับการย่อยของเอนไซม์ในสารละลายบุงกุโลแมนแนอีกด้วย อนุภาคไมโครแคปซูลมีลักษณะคล้ายทรงกลมมีรอยยุบบุบลงไป แต่ไม่แตกออก อาจเกิดขึ้นเนื่องจากผลของการหดตัวของหดยอดิมัลชันเมื่อสัมผัสกับความร้อนที่สูงในช่วงระยะเวลาของการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Rosenberg, Kopelman and Talmon, 1985) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Krishnan, Kshirsagar และ Singhal (2005) ศึกษาการผลิตไมโครแคปซูลโดยใช้สารเคลือบกัมอะราบิก มอลโตเดกซ์ทริน และสตาร์ชตัดแปร เพื่อกักเก็บน้ำมันหอมระเหยจากโอลิโอเรซินกระวาน แสดงให้เห็นว่าไมโครแคปซูลที่ใช้กัมอะราบิกเป็นสารเคลือบมีลักษณะทรงกลมที่รอยยุบบุบลงไป แต่มีความสามารถที่จะกักเก็บสารสำคัญไว้ได้ดีที่สุด เนื่องจากไมโครแคปซูลจะให้ลักษณะคล้ายพลาสติก มีความยืดหยุ่นในการฟอร์มฟิล์มห่อหุ้มสารสำคัญไว้ จึงไม่เปราะแตกหักง่าย

ตารางที่ 3.8 ขนาดอนุภาคของผงไมโครแคปซูลน้ำมันมะกูด

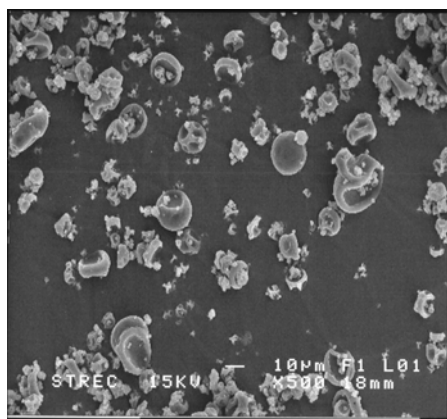
ตัวอย่าง	ขนาดอนุภาค (ไมครอน)
KGM 160 °C	5.1 – 15.0
KGM-GA 160 °C	5.0 – 18.5
KGM-GA 180 °C	4.8 – 12.6
KGM-GA 200 °C	5.4 – 16.8



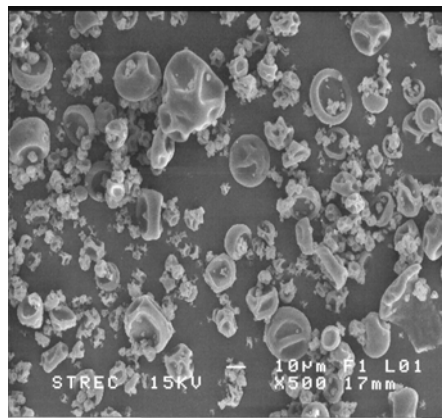
KGM 160°C



KGM-GA 160°C



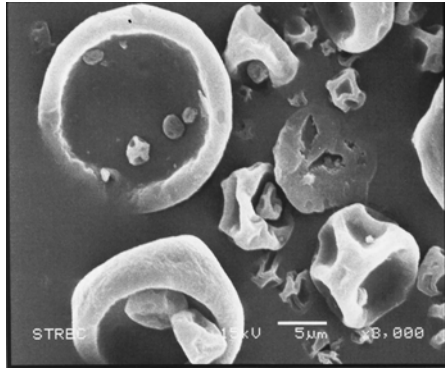
KGM-GA 180°C



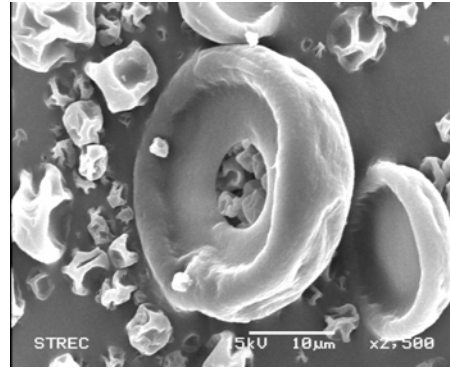
KGM-GA 200°C

ภาพที่ 3.9 ภาพถ่ายจาก scanning electron microscope (SEM) แสดงลักษณะของไมโครแคปซูล ที่กำลังขยาย 500 เท่า

จากนั้นเมื่อทำไมโครแคปซูลน้ำมันมะกูดให้แตกออก เพื่อสังเกตลักษณะภายในของไมโครแคปซูล จะเห็นว่าลักษณะอนุภาคค่อนข้างหลากหลาย บางอนุภาคถูกห่อหุ้มไว้สองชั้นมีอนุภาคเล็กถูกห่อหุ้มอยู่ในอนุภาคใหญ่ บางอนุภาคสารเคลือบห่อหุมน้ำมันไว้ชั้นเดียว (ภาพที่ 3.10) ลักษณะแบบที่มีอนุภาคเล็กถูกห่อหุ้มด้วยอนุภาคใหญ่อีกชั้นหนึ่งนั้น ทำให้สามารถกักเก็บน้ำมันไว้ภายในได้ดีและป้องกันสารสำคัญจากสิ่งแวดล้อมภายนอกได้มาก แต่ก็ทำให้การปลดปล่อยสารสำคัญออกมาเมื่อต้องการใช้งานยากด้วยเช่นกัน อาจทำให้ต้องใช้เวลานานขึ้นในการปลดปล่อยสารเนื่องจากมีผนังสารเคลือบห่อหุ้มป้องกันไว้ถึงสองชั้น



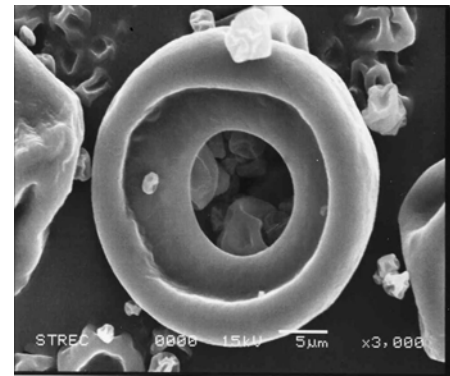
KGM 160°C



KGM-GA 160°C



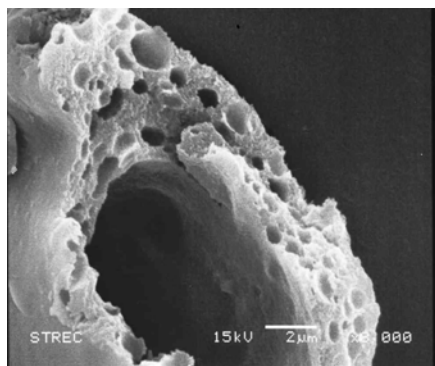
KGM-GA 180°C



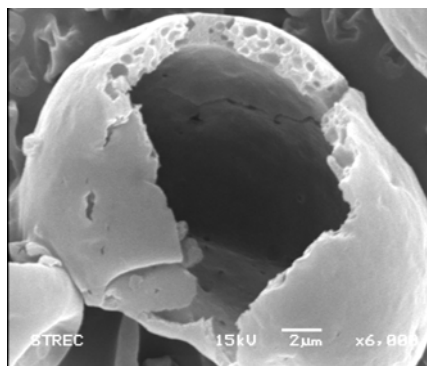
KGM-GA 200°C

ภาพที่ 3.10 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะไมโครแคปซูลที่ถูกทำให้แตกออก ที่กำลังขยาย 2,500-3,000 เท่า

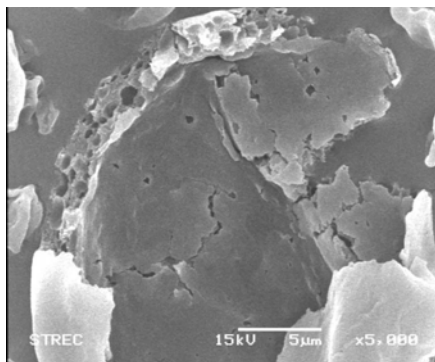
ส่วนในภาพที่ 3.11 แสดงลักษณะผนังสารเคลือบและภายในของไมโครแคปซูลที่ห่อหุ้มหยดน้ำมันไว้ มีหยดน้ำมันขนาดใหญ่ถูกกักเก็บไว้ตรงกลาง และบางอนุภาคมีหยดน้ำมันขนาดเล็กๆกระจายอยู่ที่บริเวณผนังของสารเคลือบ หรือบางส่วนอาจเป็นโพรงอากาศเนื่องจากฟองอากาศในขั้นตอนเตรียมสารละลายก่อนเข้าเครื่องอบแห้งหรือการได้รับความร้อนสูงในระหว่างการอบแห้ง การที่เกิดหยดน้ำมันกระจายอยู่บริเวณที่ผนังของสารเคลือบด้วยนั้น ทำให้ ไมโครแคปซูลสามารถกักเก็บน้ำมันไว้ได้มากขึ้น Soottitantawat และคณะ (2005) รายงานว่าไมโครแคปซูลที่มีผนังสารเคลือบบางและมีการกระจายตัวของอนุภาคหยดน้ำมันที่ผนังของสารเคลือบด้วยนั้น ทำให้ไมโครแคปซูลสามารถปลดปล่อยสารออกมาได้ง่ายขึ้น แต่น้ำมันส่วนที่อยู่บริเวณผนังของสารเคลือบก็มีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ด้วยเช่นกัน



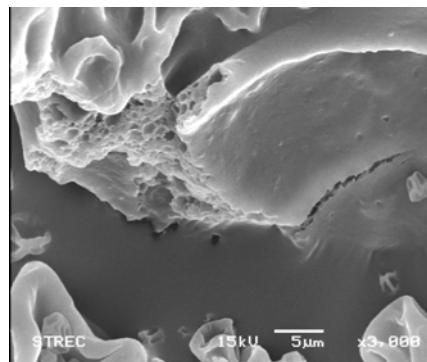
KGM 160°C



KGM-GA 160°C



KGM-GA 180°C

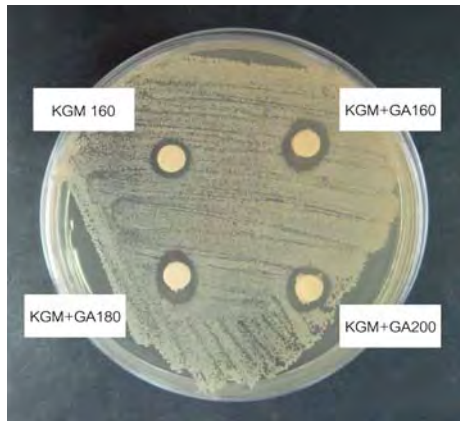


KGM-GA 200°C

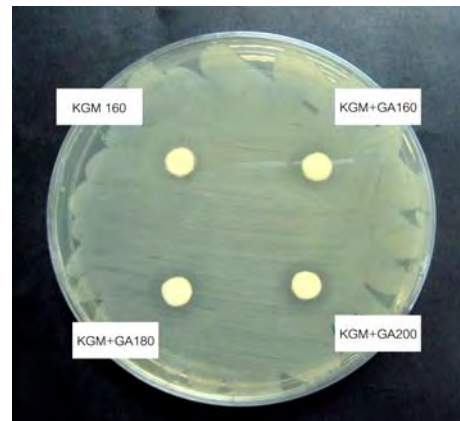
ภาพที่ 3.11 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะผนังภายในของไมโครแคปซูลที่ถูกทำให้แตกออก
ที่กำลังขยาย 3,000-8,000 เท่า

จากการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารละลายไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูดที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศเข้าการอบแห้ง 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีการพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสที่ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Disc diffusion) พบว่าทั้ง 3 อุณหภูมิ สามารถยับยั้งเชื้อ *Vibrio cholerae*, *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ แต่ไม่มีฤทธิ์ยับยั้ง *Salmonella* Typhimurium และ *Pseudomonas fluorescens* ได้ (ตารางที่ 3.9) ซึ่งผลการวิเคราะห์น้ำมันมะกรูดที่สกัดจากไมโครแคปซูลด้วยเทคนิค GC-MS และ GC-FID แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของน้ำมันมะกรูดลดลงจากน้ำมันมะกรูดบริสุทธิ์ โดยจากเดิมมีองค์ประกอบได้แก่ limonene, β -pinene, sabinene, terpinene-4-ol, α -terpineol, α -pinene, γ -terpinene, α -terpinene, terpinolene, δ -cadinene, copaene, myrcene, Isopulegol และ citronella เมื่ออยู่ในรูปของไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูดมีชนิดและปริมาณสารองค์ประกอบลดลง โดยมีสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักเหลืออยู่ คือ limonene, β -pinene α -terpineol, terpinene-4-ol, p -cymene, sabinene และ α -pinene ตามลำดับ Carson และ Riley (1995) รายงานว่าสาร p -cymene ไม่มีฤทธิ์การต้านจุลินทรีย์ *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* และ *Pseudomonas aeruginosa* ได้ ส่วน

Kim และคณะ (1995) ศึกษาความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธี disc diffusion พบว่าสาร terpineol สามารถยับยั้ง *Vibrio vulnificus*, *Escherichia coli* และ *Salmonella Typhimurium* ได้ดีตามลำดับ De Castillo และคณะ (2000) รายงานว่าน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะนาวสด สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Vibrio cholerae* O1 เริ่มต้นจำนวน 10^4 CFU/ml ได้หมดภายในเวลา 1 ชั่วโมง จำนวน 10^6 CFU/ml ภายในเวลา 3 ชั่วโมง และจำนวน 10^8 CFU/ml มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องภายใน 24 ชั่วโมง แสดงให้น้ำมันหอมระเหยจากมะนาวมีฤทธิ์ยับยั้ง *Vibrio cholerae* ได้ดีมาก นอกจากนี้ Dorman และ Deans (2000) ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ขององค์ประกอบในน้ำมันหอมระเหยจากพืช ด้วยวิธี agar diffusion พบว่า limonene มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ย 11.2 มิลลิเมตร แต่ไม่มีวงใสการยับยั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Pseudomonas aeruginosa* ส่วน β -pinene มีฤทธิ์ยับยั้ง *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Pseudomonas aeruginosa* ได้ มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสคือ 7.8, 7.4 และ 6.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วน terpinene-4-ol มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Pseudomonas aeruginosa* ได้ โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสคือ 14.4, 13.7 และ 17.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ และ α -pinene มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสคือ 8.9 และ 8.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ แต่ไม่มีวงใสในการยับยั้ง *Pseudomonas aeruginosa* ได้ และพบว่า sabinene ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดในการทดสอบ ในส่วนของ *Pseudomonas fluorescens* นั้นยังไม่มีข้อมูลการทดสอบด้วยสารต้านจุลินทรีย์จากน้ำมันหอมระเหยมากนัก โดย Papadopoulos และคณะ (2006) ได้รายงานว่สาร terpinene-4-ol และ α -terpineol มีฤทธิ์ในการยับยั้ง *Pseudomonas fluorescens* ได้ Lin และคณะ (2010) ศึกษาความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของอิมัลชันที่เติมน้ำมันจากผิวส้มพบว่าอิมัลชันที่มีการเติมน้ำมันจากผิวส้มสามารถยับยั้ง *Vibrio parahaemolyticus* ได้ดีมากเมื่อเทียบกับ *Salmonella Typhimurium*, *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* โดยสามารถยับยั้ง *Vibrio parahaemolyticus* ได้เมื่อใช้ความเข้มข้นน้ำมันจากผิวส้มเพียงร้อยละ 1 ในขณะที่จุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดจะถูกยับยั้งเมื่อใช้ความเข้มข้นของน้ำมันผิวส้มร้อยละ 2.5 ขึ้นไป จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่าสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบในพืชตระกูลส้มมีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ *Vibrio* spp. ได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารละลายจากไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูดที่มีความสามารถยับยั้ง *Vibrio cholerae* ได้ดีที่สุด ถึงแม้จะผ่านการให้ความร้อนสูงในกระบวนการอบแห้ง รองลงมาคือ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella Typhimurium* และ *Pseudomonas fluorescens* ตามลำดับ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า *Escherichia coli* สามารถถูกยับยั้งได้ดีด้วย limonene, β -pinene, α -terpineol, terpinene-4-ol และ α -pinene ส่วนจุลินทรีย์ *Staphylococcus aureus* สามารถถูกยับยั้งได้ด้วย β -pinene, terpinene-4-ol และ α -pinene นอกจากนี้ *Salmonella Typhimurium* ยังถูกยับยั้งได้ด้วยสาร limonene, β -pinene, α -terpineol และ α -pinene แต่มีความไวต่อสารทดสอบต่ำกว่า *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* (Sokovic et al., 2007) จึงทำให้ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสต่ำกว่าเชื้อทั้ง 2 ชนิด ส่วน *Pseudomonas fluorescens* สามารถถูกยับยั้งได้ด้วยสารบางชนิดคือ α -terpineol และ terpinene-4-ol ดังนั้นเมื่อผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูด องค์ประกอบทางเคมีต่างๆมีปริมาณลดลงจึงทำให้ความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ลดลงไปด้วย ทำให้ไม่พบการยับยั้งเชื้อ *Salmonella Typhimurium* และ *Pseudomonas fluorescens* ซึ่งเชื้อทั้ง 2 ชนิดนี้ มีความไวต่อองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันมะกรูดต่ำกว่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ทดสอบอยู่แล้วด้วย ทั้งนี้ความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารเคมีต่างๆนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะตัวโครงสร้างออกแกลภายในที่ซับซ้อนของแบคทีเรียแต่ละชนิดเองด้วย จึงทำให้มีความไวต่อการถูกทำลายต่างกัน



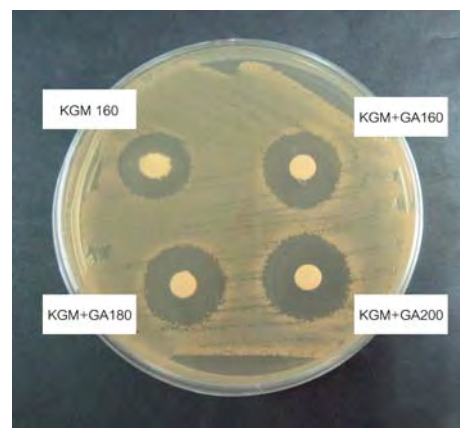
Staphylococcus aureus



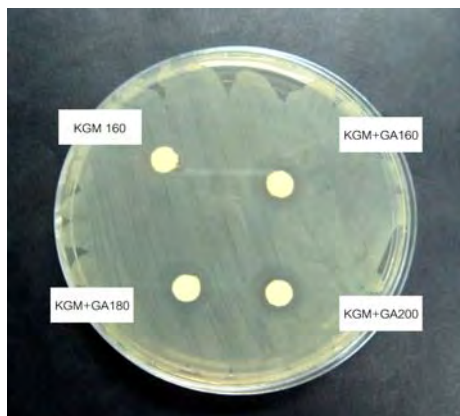
Salmonella Typhimurium



E.coli



Vibrio cholerae



Pseudomonas fluorescens

ภาพที่ 3.12 วงใส (clear zone) ของไมโครแคปซูล ด้วยวิธี disc diffusion ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

ตารางที่ 3.9 เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสที่ต้านการเจริญของจุลินทรีย์ จากสารละลายไมโครแคปซูลน้ำมันมะกูดที่ใช้สารเคลือบ KGM-GA ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าการอบแห้งต่างๆ (เส้นผ่านศูนย์กลางของ paper disc 6 มิลลิเมตร)

ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสเฉลี่ยของเชื้อจุลินทรีย์ (มิลลิเมตร)				
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Salmonella</i> Typhimurium	<i>Escherichia coli</i>	<i>Vibrio cholera</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
160°C	8.17 ± 0.45 ^a	-	10.62 ± 0.43 ^a	15.40 ± 0.55 ^a	-
180°C	8.88 ± 0.49 ^b	-	11.43 ± 0.31 ^b	16.53 ± 0.59 ^b	-
200°C	8.72 ± 0.43 ^{ab}	-	11.04 ± 0.45 ^{ab}	15.97 ± 0.35 ^{ab}	-

หมายเหตุ - : ไม่มีวงใสเกิดขึ้น

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวนั่ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range

จากผลการทดลองภาวะอุณหภูมิอากาศขาเข้าการอบแห้งที่ 180 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้สูงกว่าอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาร่วมกับผลวิเคราะห์ความสามารถในการกักเก็บ % total oil และ % inner oil ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มสูงกว่าอุณหภูมิต่ำอื่น ปริมาณน้ำมันถูกกักเก็บไว้ได้มาก สารต่างๆที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพก็มีโอกาสเหลืออยู่มากกว่าด้วยเช่นกัน จึงอาจส่งผลให้มีความสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าภาวะอื่น ดังนั้นจึงตัดสินใจเลือกใช้สารเคลือบ KGM-GA ภาวะอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศขาออก 80 องศาเซลเซียส ในการศึกษาในขั้นตอนการใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์เนื้อปลาสดต่อไป และจากการวิเคราะห์ค่า MIC ของไมโครแคปซูลจากสารเคลือบ KGM-GA ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศขาเข้า 180 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่า MIC เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.6 ไปถึงมากกว่า 1.0 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 3.10)

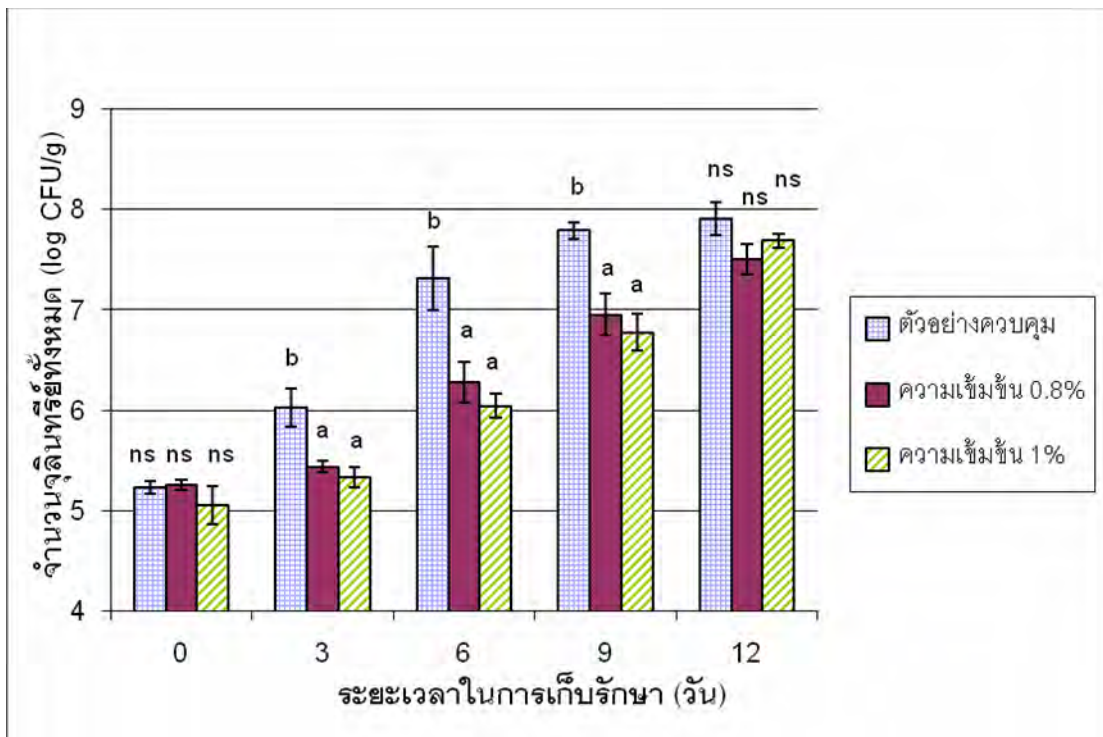
ตารางที่ 3.10 ค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (MIC) ด้วยวิธี agar dilution ของไมโครแคปซูลน้ำมันมะกูด

เชื้อจุลินทรีย์	MIC (%w/w)
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.7
<i>Salmonella</i> Typhimurium	>1.0
<i>Escherichia coli</i>	0.7
<i>Vibrio cholerae</i>	0.6
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	>1.0

3.3.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเนื้อปลาลบดที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ในระหว่างการเก็บรักษา

ไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูดจากสารเคลือบ KGM-GA ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิอากาศเข้า 180 องศาเซลเซียส นำมาคลุกผสมกับเนื้อปลาลบด (น้ำหนักตัวอย่าง 25 ± 1 กรัม) โดยใช้ปริมาณผงไมโครแคปซูลให้ความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากกว่านี้ต้องใช้ผงไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้นมากจนทำให้ไม่สามารถคลุกผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกับเนื้อปลาได้ ในการทดลองเปรียบเทียบกับตัวอย่างเนื้อปลาลบดที่ไม่คลุกผงไมโครแคปซูล เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างมาตรวจลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 12 วัน

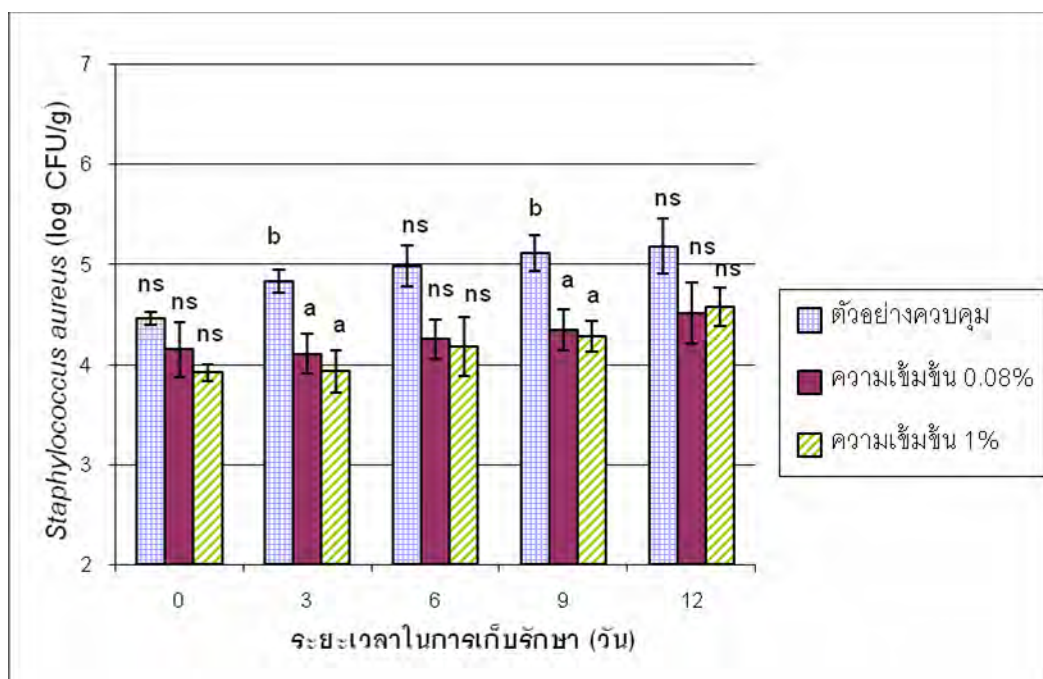
จากการทดลองในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษาตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างเนื้อปลาลบดที่ใช้ผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 5.24, 5.26 และ 5.06 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณเชื้อเริ่มต้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 3 ภาวะ (ภาพที่ 3.13) เมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าตัวอย่างควบคุมจะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นเร็วกว่าเนื้อปลาที่ใช้ผงไมโครแคปซูล อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 935-2533 เนื้อปลาลบดเยือกแข็ง กำหนดเกณฑ์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^7 CFU/g ดังนั้นจากการทดลองตัวอย่างควบคุมจึงมีอายุการเก็บรักษาได้น้อยกว่า 6 วัน ส่วนเนื้อปลาที่ใช้ผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเกินเกณฑ์มาตรฐานในช่วงวันที่ 9 ของการเก็บ ดังนั้นเนื้อปลาที่คลุกผสมผงไมโครแคปซูลสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้ไม่เกิน 9 วัน มากกว่าตัวอย่างควบคุม และเนื้อปลาที่คลุกผสมผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นน้ำมันมะกรูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) Kingchaiyaphum และ Rachtanapun (2012) ศึกษาการยับยั้งจุลินทรีย์ของน้ำมันหอมระเหยที่เติมผสมในกุนเชียง พบว่าน้ำมันหอมระเหยมะกรูดสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของกุนเชียงได้มากกว่าตัวอย่างควบคุมโดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดค่อนข้างต่ำในระยะเวลาช่วงแรกของการเก็บรักษา จากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกินเกณฑ์มาตรฐานหลังจาก 15 วัน



ภาพที่ 3.13 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) ของเนื้อปลาสดและเนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ในระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน

สำหรับการตรวจวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ *Staphylococcus aureus* ในเนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีน้ำมันมะกูดร้อยละ 0.8 และ 1 โดยน้ำหนัก พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ลดลงจากตัวอย่างควบคุมในทุกวันที่เก็บรักษา จนถึงในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาเนื้อปลาสดมีปริมาณจุลินทรีย์ 4.51 และ 4.58 log CFU/g ตามลำดับ (ภาพที่ 3.14) ลดลงจากตัวอย่างควบคุม 0.69 และ 0.60 log CFU/g ตามลำดับ

ส่วนจุลินทรีย์ *Escherichia coli* พบการเจริญ <10 CFU/g ในเนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูลร้อยละ 0.8 และ 1 โดยน้ำหนัก ในทุกวันที่เก็บรักษา

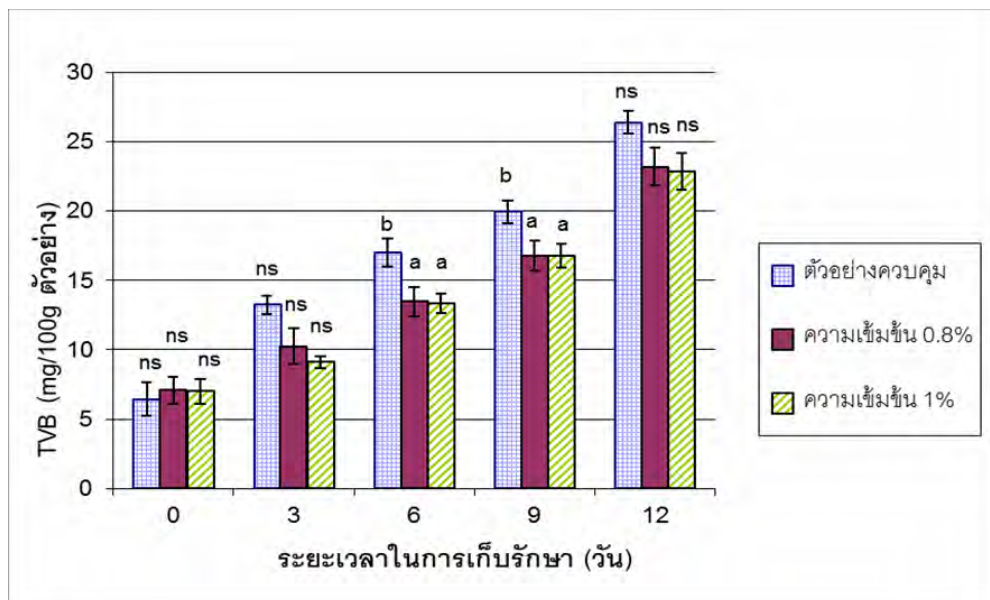


ภาพที่ 3.14 จำนวนจุลินทรีย์ *Staphylococcus aureus* ของเนื้อปลาสดและเนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ในระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน

ตารางที่ 3.10 จำนวนจุลินทรีย์ *Escherichia coli* ของเนื้อปลาสดและเนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักในระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน

ระยะเวลา (วัน)	จำนวนจุลินทรีย์ <i>Escherichia coli</i> (CFU/g)		
	ตัวอย่างควบคุม	ความเข้มข้น น้ำมันมะกรูด 0.8%	ความเข้มข้น น้ำมันมะกรูด 1%
0	2.33×10^2	<10	<10
3	3.00×10^2	<10	<10
6	2.13×10^3	<10	<10
9	6.53×10^3	<10	<10
12	1.33×10^4	<10	<10

เมื่อเก็บรักษาในระยะเวลาสั้นขึ้น เชื้อจุลินทรีย์จะย่อยสลายโปรตีนที่มีอยู่ในเนื้อปลาเป็นแอมโมเนีย จึงวัดความสดของเนื้อปลาได้โดยการวัดปริมาณสารประกอบไนโตรเจนทั้งหมดที่ระเหยได้ (Total volatile basic nitrogen; TVB-N) Bank, Nickelson และ Finne (1980) และ Lannelongue และคณะ (1982) อ้างถึงใน Masniyoma, Benjakul และ Visessanguan (2005) รายงานความสัมพันธ์ของปริมาณ TVB-N กับคุณภาพของปลาไว้ดังนี้ ปลาสดจะมีค่า TVB-N น้อยกว่า 12 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ปลาที่ยังบริโภคได้มีค่า TVB-N 12-20 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ปลาที่เริ่มมีกลิ่นเล็กน้อยมีค่า 20-25 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนปลาที่เน่าเสียแล้วไม่สามารถบริโภคได้จะมีค่า TVB-N มากกว่า 25 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม จากการทดลองในวันแรกเนื้อปลาทัวอย่างควบคุมและเนื้อปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลมีค่า TVB-N ไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.43-7.10 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (ภาพที่ 3.15) จากงานวิจัยการผลิตลูกชิ้นปลาจากปลาเป็ดของ จิราวรรณ แยมประยูร (2529) รายงานว่าค่า TVB-N ของเนื้อปลาที่แยกกระดูกออกสำหรับนำไปผลิตลูกชิ้นปลาในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา มีค่า 7.68 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนวรวิทย์ สมบุญฤทธิ์ (2530) พบว่าค่า TVB-N ของเนื้อปลานิลสดที่ใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นก่อนการทำซูริมีมีค่า 6.06 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งจากการทดลองมีค่า TVB-N อยู่ในช่วงระหว่างนี้เช่นเดียวกัน

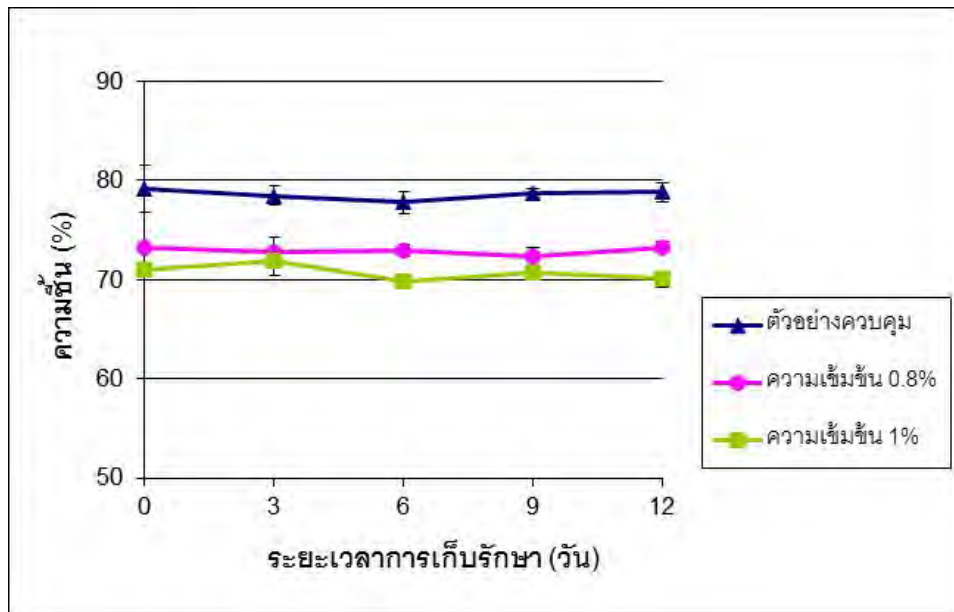


ภาพที่ 3.15 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนทั้งหมดที่ระเหยได้ (TVB-N) ของเนื้อปลาสดและเนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ในระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน

ในระหว่างการเก็บรักษาเนื้อปลามีค่า TVB-N ก่อนข้างต่ำในระยะเวลา 3 วันแรก และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเก็บระยะเวลานานขึ้นจนถึง 9 วัน ตัวอย่างควบคุมมีค่า TVB-N สูงเพิ่มขึ้นเป็น 19.94 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม แสดงถึงเนื้อปลาที่เริ่มมีกลิ่นเสียแล้ว ส่วนเนื้อปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก มีค่า TVB-N 16.75 และ 16.77 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าไม่แตกต่างกันทั้ง 2 ภาวะ แต่ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) จนกระทั่งวันที่ 12 ค่า TVB-N ของตัวอย่างควบคุมและเนื้อปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก มีค่า 26.36, 23.19 และ 22.87 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ แสดงถึงเนื้อปลามีกลิ่นและเน่าเสียจนไม่สามารถบริโภคได้แล้วทุกภาวะในการทดลอง

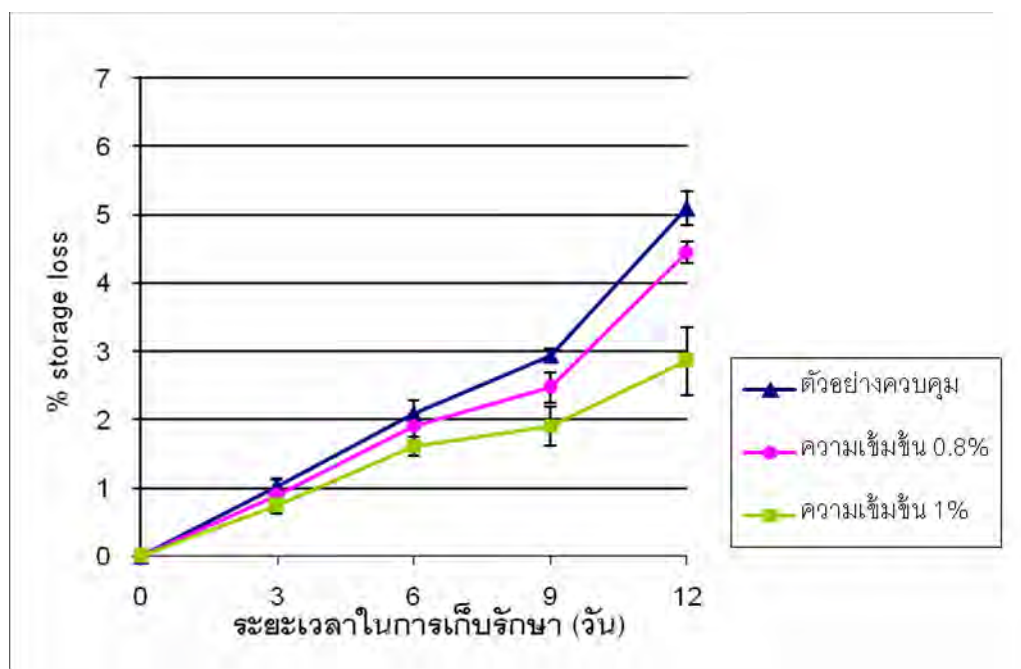
จากภาพที่ 3.16 ค่าความชื้นของเนื้อปลาในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา ตัวอย่างควบคุมและเนื้อปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก มีค่าความชื้นร้อยละ 79.21, 73.46 และ 71.05 ตามลำดับ ค่าความชื้นของเนื้อปลามีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงไมโครแคปซูลมากขึ้น และตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 วัน เนื้อปลามีปริมาณความชื้นค่อนข้างคงที่ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงจากเริ่มต้นทุกสภาวะที่ทดลอง จากงานวิจัยการศึกษาการผลิตลูกชิ้นปลาผสมเนื้อหอยของโสธยา เกิดพิบูลย์ (2545) พบว่าการเก็บรักษาลูกชิ้นปลาผสมเนื้อหอยที่บรรจุสภาวะบรรยากาศเป็นเวลา 15 วัน ค่าความชื้นของลูกชิ้นปลามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการเก็บรักษาในสภาวะที่อากาศภายนอกสามารถซึมผ่านเข้าออกได้ ปริมาณความชื้นจึงไม่ค่อยเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยจากการทดลองตัวอย่างควบคุมมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 78-79 ส่วนเนื้อปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มี

ความเข้มข้นของน้ำมันมะกุกุร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 72-73 และ 70-72 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.16 ปริมาณความชื้นของเนื้อปลาสดและเนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกุกุร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ในระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน

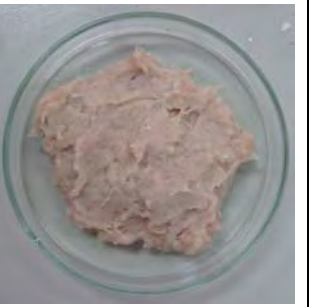
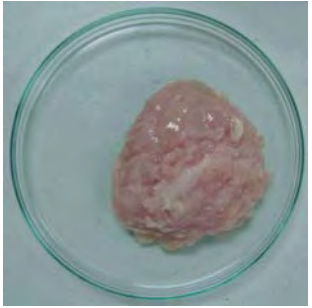
ในส่วนค่าการสูญเสียน้ำหนัก (% storage loss) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายองค์ประกอบภายในส่วนที่เป็นโปรตีน รวมถึงเป็นผลจากการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยจะมีลักษณะการเยิ้มและสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สามารถบ่งบอกถึงการเน่าเสียของเนื้อปลา โดยทั่วไปเนื้อปลาจะมีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 3-5% โปรตีนในเนื้อปลาสูญเสียสภาพ ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง เกิดการสูญเสียน้ำเกิดขึ้น (เนตรนรินทร์ ชุนสูงเนิน, 2546; Parry, 1993) จากภาพที่ 3.17 ในทุกสภาวะตลอดการเก็บ 12 วัน การสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในวันที่ 12 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างควบคุมมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดถึง ร้อยละ 5.09 เนื้อปลามีลักษณะเป็นน้ำเมือกเยิ้ม เนื้อปลานิ่มและมาก (ตารางที่ 3.12 วันที่12) และเนื้อปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกุกุร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก มีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 4.45 และ 2.86 ตามลำดับ (ตารางที่ 3.12 วันที่12) เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานาน เนื้อปลาจะมีลักษณะนิ่มและเนื่องมาจากการย่อยของกล้ามเนื้อ การแยกตัวของเส้นใยไมโอไฟบริล และการอ่อนตัวของกล้ามเนื้อเกี่ยวพันในตัปลา ต่อมาจะเกิดจากการทำงานของเอนไซม์จากในตัปลาและจากจุลินทรีย์ ย่อยเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ทำให้เนื้อปลามีลักษณะนิ่มลง รวมทั้งเกิดการขับน้ำเมือกออกมาที่ผิวเพื่อปรับสภาพให้อยู่รอดในสภาวะที่ไม่เหมาะสมของตัปลา ซึ่งจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและกลิ่นรสที่เปลี่ยนไปจนกระทั่งเน่าเสียในที่สุด (กนกอร อินทราพิเชฐ, 2538 อ้างถึงใน เนตรนรินทร์ ชุนสูงเนิน, 2546; ประเสริฐ สายสิทธิ์, 2524; มัทนา แสงจินดาวงษ์, 2545)



ภาพที่ 3.17 ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (%storage loss) ของเนื้อปลาสดและเนื้อปลาสดที่คลุกผง ไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกุกุตร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ในระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน

Sikorski (1990) รายงานว่าการเติมแป้งในเนื้อปลาสด ช่วยทำหน้าที่เป็นสารดูดความชื้นและเพิ่มความคงตัวให้เนื้อปลาสดในกระบวนการแช่แข็งและการทำละลาย เมื่อเม็ดแป้งเริ่มเกิดเจลบางส่วนทำให้ขนาดของเม็ดแป้งเริ่มเปลี่ยนแปลง เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำที่มีอยู่ภายในโปรตีนปลา ทำให้เม็ดแป้งบวมพองอยู่ภายในโครงสร้างของเนื้อปลา (Kong, Ogawa and Iso, 1999) กลูโคแมนแนนจากแป้งบุกสามารถดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวเมื่อผสมกับน้ำ กลไกคล้ายกับการพองตัวของแป้ง (Nishinari, Kim and Kohyama, 1987 อ้างถึงในชูสิทธิ์ หงส์กุลทรัพย์, 2549; Tye, 1991) ดังนั้นจึงช่วยดูดซับน้ำภายในเนื้อปลาไว้ได้ และการเติมแป้งในผลิตภัณฑ์ต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ถ้าใช้ปริมาณมากเกินไปทำให้ผลิตภัณฑ์แปรสภาพง่าย ซึ่งโดยปกติแล้วปริมาณแป้งที่เติมลงไปจะอยู่ในช่วงร้อยละ 5-8 (Lee, 1984; Lee, Wu and Okada, 1992 อ้างถึงใน โสริยา เกิดพิบูลย์, 2545) เมื่อเติมไมโครแคปซูลในเนื้อปลาปริมาณมากเกินไปจะส่งผลทำให้ลักษณะปรากฏของเนื้อปลาต่างจากตัวอย่างควบคุม จะเห็นได้ว่าเนื้อปลาที่มีคลุกผงไมโครแคปซูลจะมีลักษณะแห้งไม่ฉ่ำน้ำ (ตารางที่ 3.12) โดยเฉพาะเนื้อปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลความเข้มข้นของน้ำมันมะกุกุตร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก จะให้ลักษณะแห้งแข็งกระด้างมากขึ้น

ตารางที่ 3.12 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเนื้อปลาสดจากวันที่เริ่มต้นของการเก็บรักษา(วันที่0) จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 12)

วันที่เก็บ	ตัวอย่างควบคุม	ความเข้มข้น 0.8%	ความเข้มข้น 1.0%
วันที่ 0			
วันที่ 12			

จากการวัดค่าความแตกต่างสีของเนื้อปลา ด้วยระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ค่า L^* เป็นค่าแสดงถึงความสว่างของผลิตภัณฑ์มีค่าจาก 100 จนถึง 0 ซึ่งแสดงถึงความสว่างจากสีขาวไปจนถึงสีดำ เนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูลให้ลักษณะปรากฏด้านสีแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างเห็นได้ชัด เนื้อปลาที่คลุกไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ให้ค่า L^* ในวันที่เริ่มเก็บรักษา 64.74 และ 65.11 สูงกว่าตัวอย่างควบคุมซึ่งมีค่า 50.48 อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 3.13) ความสว่างที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผงไมโครแคปซูลมีค่า L^* สูงถึง 71.53 แตกต่างจากค่า L^* ของเนื้อปลาปกติอยู่แล้ว เมื่อคลุกกับเนื้อปลาสดจึงทำให้เนื้อปลาที่ได้มีผลค่า L^* สูงขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 3.13 ค่าเฉลี่ย L^* ของเนื้อปลาสด และเนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกุกุตร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ในระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน

ระยะเวลา (วัน)	ค่าเฉลี่ย L^* ของเนื้อปลา		
	ตัวอย่างควบคุม	ความเข้มข้น น้ำมันมะกุกุตร 0.8%	ความเข้มข้น น้ำมันมะกุกุตร 1%
0	50.48 ± 1.07^a	64.74 ± 0.10^b	65.11 ± 0.49^b
3	48.47 ± 0.66^a	64.65 ± 0.66^b	64.78 ± 1.03^b
6	47.88 ± 0.20^a	63.56 ± 0.24^b	63.70 ± 0.31^b
9	47.43 ± 0.24^a	63.81 ± 0.24^b	63.83 ± 0.42^b
12	48.14 ± 0.39^a	63.17 ± 0.38^b	64.25 ± 0.29^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

เช่นเดียวกับค่า a^* ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีแดง (ค่าบวก) ไปจนถึงสีเขียว (ค่าลบ) เนื้อปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกุกุตร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก มีค่า a^* ในวันที่เริ่มเก็บรักษา 5.79 และ 5.48 ตามลำดับ ต่ำกว่าเนื้อปลาตัวอย่างควบคุมซึ่งมีค่า a^* 7.65 (ตารางที่ 3.14) แสดงถึงเนื้อปลามีสีแดงลดลงเมื่อคลุกผงไมโครแคปซูล และเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานขึ้นเนื้อปลาจะมีค่า a^* ลดลง สีแดงลดลงและมีสีคล้ำขึ้น ส่วนค่า b^* ซึ่งแสดงค่าความเป็นสีเหลือง (ค่าบวก) และสีน้ำเงิน (ค่าลบ) เนื้อปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกุกุตร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก มีค่า b^* ในวันที่เริ่มเก็บรักษา 6.32 และ 6.71 สูงกว่าตัวอย่างควบคุมซึ่งมีค่า b^* 3.01 (ตารางที่ 3.15) เนื้อปลาที่มีการคลุกผงไมโครแคปซูลส่งผลให้มีความเป็นสีเหลืองสูงกว่าตัวอย่างควบคุมเช่นกัน

ตารางที่ 3.14 ค่าเฉลี่ย a^* ของเนื้อปลาสด และเนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกุกุตร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ในระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน

ระยะเวลา (วัน)	ค่าเฉลี่ย a^* ของเนื้อปลา		
	ตัวอย่างควบคุม	ความเข้มข้น น้ำมันมะกุกุตร 0.8%	ความเข้มข้น น้ำมันมะกุกุตร 1%
0	7.65 ± 0.26^b	5.79 ± 0.18^a	5.48 ± 0.48^a
3	6.55 ± 0.62^c	4.34 ± 0.13^b	3.21 ± 0.30^a
6	6.19 ± 0.32^b	3.69 ± 0.31^a	3.10 ± 0.50^a
9	4.94 ± 0.38^b	4.00 ± 0.49^{ab}	3.18 ± 0.28^a
12	4.32 ± 0.35^{ns}	3.80 ± 0.33^{ns}	3.14 ± 0.35^{ns}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

สีของไฮโดรคอลลอยด์มีผลต่อลักษณะปรากฏด้านสีของผลิตภัณฑ์เนื้อปลาสด จากการทดลองเนื้อปลาที่ใช้ผงไมโครแคปซูลมีค่า a^* ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม เนื่องมาจากสีของไมโครแคปซูลทำให้ลักษณะปรากฏสีของเนื้อปลาเปลี่ยนไป เนื้อปลามีลักษณะปรากฏสีแดงซีดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเก็บเนื้อปลาเป็นเวลานานขึ้น เนื้อปลาสดที่ใช้ผงไมโครแคปซูลมีค่าสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนตัวอย่างควบคุมค่า a^* และ b^* มีแนวโน้มต่ำลง เนื้อปลามีสีแดงซีดลง มีสีคล้ำขึ้นและมีสีออกเขียวบริเวณผิวหนังด้านนอก การเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงสารไมโอโกลบินในเนื้อปลา โดยเปลี่ยนสภาพไปเป็นเมตไมโอโกลบิน ทำให้เนื้อปลามีสีเปลี่ยนเป็นสีเทาหรือสีน้ำตาลเกิดขึ้น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อปลาอาจมีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ เช่น สีเหลืองออกเขียวมาจากการเจริญของ *Pseudomonas fluorescence* หรือสีเหลืองจากการเจริญของ *Micrococcus* เป็นต้น (ชัยณรงค์ คันธพนิต, 2529; Potter and Hotchkis, 1995 อ้างถึงในเนตรนรินทร์ ขุนสูงเนิน, 2546)

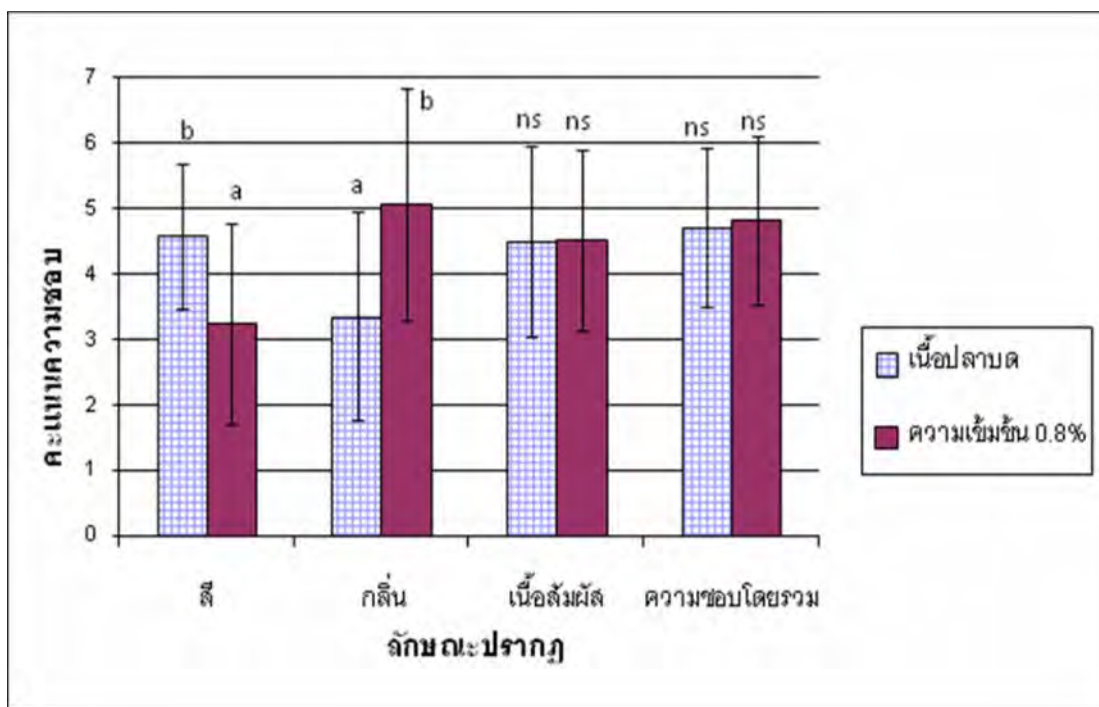
ตารางที่ 3.15 ค่าเฉลี่ย b^* ของเนื้อปลาสด และเนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ในระหว่างการเก็บรักษา 12 วัน

ระยะเวลา (วัน)	ค่าเฉลี่ย b^* ของเนื้อปลา		
	ตัวอย่างควบคุม	ความเข้มข้น น้ำมันมะกรูด 0.8%	ความเข้มข้น น้ำมันมะกรูด 1%
0	3.01 ± 0.57^a	6.32 ± 0.20^b	6.71 ± 0.13^b
3	2.60 ± 0.53^a	6.42 ± 0.23^b	7.05 ± 0.42^b
6	1.01 ± 0.26^a	6.59 ± 0.52^b	7.02 ± 0.25^b
9	0.54 ± 0.52^a	6.76 ± 0.17^b	7.41 ± 0.21^b
12	0.25 ± 0.39^a	6.81 ± 0.28^b	7.55 ± 0.22^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพ พบว่าเนื้อปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดร้อยละ 0.8 และร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ให้ลักษณะทางเคมี กายภาพ และการยับยั้งจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกัน แต่เนื้อปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดร้อยละ 0.8 ใช้ผงไมโครแคปซูลในปริมาณที่น้อยกว่า การคลุกผสมให้เข้ากันกับเนื้อปลาในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างง่ายกว่า และให้ลักษณะปรากฏใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุมมากกว่าเนื้อปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงเลือกใช้เนื้อปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนักนำไปใช้ประเมินการยอมรับของผู้บริโภคในขั้นตอนต่อไป

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อเนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูลที่มีความเข้มข้นน้ำมันมะกรูดร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนัก และเนื้อปลาสดตัวอย่างควบคุม ด้วยวิธีทดสอบ 7-point hedonic scale โดยใช้ผู้ประเมินจำนวน 50 คน ผลการประเมินลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) (ภาพที่ 3.18) แต่คะแนนความชอบด้านสีของผู้บริโภคที่มีต่อเนื้อปลาสดคลุกผงไมโครแคปซูลมีคะแนนต่ำกว่าเนื้อปลาสดที่ไม่ได้คลุกผงไมโครแคปซูล ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเนื้อปลาสดคลุกผงไมโครแคปซูลให้ลักษณะสีเนื้อปลาเป็นสีชมพูอ่อนไม่แดงสดจึงยังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค แต่ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความชอบด้านกลิ่นของเนื้อปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูล เนื่องจากกลิ่นของน้ำมันมะกรูดจากผงไมโครแคปซูลช่วยดับกลิ่นคาวของปลา ทำให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค



ภาพที่ 3.18 การยอมรับของผู้บริโภคต่อนื้อปลาดและนื้อปลาดที่คลุกผงไมโครแคปซูลความเข้มข้นของน้ำมันมะกรูดร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนั

3.4 สรุปผลการทดลอง

น้ำมันมะกรูดมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 5 ชนิดที่ใช้ทดลอง โดยมีฤทธิ์ยับยั้ง *Vibrio cholerae* ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* Typimurium และ *Pseudomonas fluorescens* ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยมะกรูดในเชิงปริมาณด้วยเทคนิค GC-MS และ GC-FID พบว่ามีสารที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ limonene 38.78% และ β -pinene 36.62% นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ยังพบองค์ประกอบสารชนิดอื่นซึ่งมีปริมาณตามลำดับดังนี้คือ sabinene, terpinene-4-ol, α -terpineol, α -pinene, γ -terpinene, α -terpinene, terpinolene, δ -cadinene, copaene, myrcene, Isopulegol และ citronella และสารอื่นๆอีกหลายชนิดในปริมาณเล็กน้อย เมื่อนำน้ำมันมะกรูดมาทำให้อยู่ในรูปของไมโครแคปซูลด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักเหลืออยู่ลดลงจากเริ่มต้น โดยมีปริมาณสารจากมากไปน้อยตามลำดับดังนี้ได้แก่ limonene, β -pinene α -terpineol, terpinene-4-ol, p -cymene, sabinene และ α -pinene และสารชนิดอื่นๆเหลืออยู่ในปริมาณเล็กน้อย ความร้อนจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยส่งผลทำให้สารสำคัญของน้ำมันมะกรูดเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือสูญเสียไปบางส่วน ภาวะที่เหมาะสมในการทำไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูดคือ การใช้สารเคลือบผงบุกกลูโคแมนแนนผสมกับอะราบิก (KGM-GA) อบแห้งแบบพ่นฝอยอุณหภูมิอากาศเข้าที่ 180 องศาเซลเซียส ให้ค่า % total oil และ % inner oil สูง และมีฤทธิ์การยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าภาวะอื่นที่ใช้ในการทดลอง อนุภาคของไมโครแคปซูลที่ได้มีลักษณะทรงกลมมีรอยยุบบุบลงไปแต่ไม่แตกออก บางอนุภาคมีอนุภาคเล็กถูกห่อหุ้มอยู่ภายในอนุภาคใหญ่อีกชั้น

เมื่อนำผงไมโครแคปซูลน้ำมันมะกูดไปใช้ร่วมกับเนือปลาสด โดยใช้ไมโครแคปซูลให้มีปริมาณน้ำมันมะกูดเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1 โดยน้ำหนัก พบว่าความเข้มข้นทั้งสองภาวะส่งผลต่อทางด้านเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ของเนือปลาสดไม่แตกต่างกัน แต่ให้ผลต่างจากตัวอย่างควบคุม สามารถยืดอายุการเก็บรักษาเนือปลาสดได้มากกว่า 6 วัน แต่ไม่เกิน 9 วัน มากกว่าตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามเนือปลาสดคลุกผงไมโครแคปซูลมีลักษณะปรากฏที่ค่อนข้างแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม คณะแนวความชอบด้านสีของผู้บริโภคที่มีต่อเนือปลาสดคลุกผงไมโครแคปซูลมีแนวโน้มต่ำกว่าเนือปลาสดที่ไม่ได้คลุกผงไมโครแคปซูล แต่ผู้บริโภคส่วนใหญ่มีแนวโน้มความชอบด้านกลิ่นของเนือปลาสดที่คลุกผงไมโครแคปซูล เนื่องจากกลิ่นของน้ำมันมะกูดช่วยดับกลิ่นคาวปลาได้

ข้อเสนอแนะ

- ในขั้นตอนการเตรียมสารละลายบูกมีหลายขั้นตอนและใช้เวลาค่อนข้างนาน เนื่องจากผงบูกกลูโคแมนนั้นมีน้ำหนักสูงมาก จึงต้องผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ก่อน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับชนิดของเอนไซม์ที่ใช้ คุณสมบัติของสารละลายบูกก่อนและหลังจากการย่อยด้วยเอนไซม์ และวิธีการย่อยสารละลายบูก เพื่อช่วยลดระยะเวลาในขั้นตอนการเตรียมสารเคลือบ และให้ผลผลิตที่ได้จากการย่อยมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อขนาดและลักษณะของอนุภาคไมโครแคปซูลที่ได้

- ในการนำไมโครแคปซูลไปใช้ร่วมกับเนือปลาสด ต้องใช้ผงไมโครแคปซูลปริมาณมากเพื่อให้มีความเข้มข้นน้ำมันมะกูดมากพอที่จะมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นถ้าปรับปรุงการทำไมโครแคปซูลให้มีประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมันไว้ได้มากขึ้น จะส่งผลให้ใช้ไมโครแคปซูลกับผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่น้อยลง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏไม่ต่างจากตัวอย่างควบคุมมาก และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น ดังนั้นจึงอาจต้องมีการศึกษาปัจจัยด้านอื่นๆที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บสารของไมโครแคปซูล เช่น อัตราส่วนปริมาณน้ำมันที่ใช้ อัตราส่วนของสารเคลือบ ขนาดของอนุภาคอิมัลชันในขั้นตอนการเตรียมสารละลาย ระยะเวลาการกวนผสมด้วยเครื่อง homogenizer ความเสถียรของอิมัลชันก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง ชนิดของหัวฉีดพ่นฝอย อัตราการป้อนสาร ขนาดของผงไมโครแคปซูลที่ได้ รวมทั้งเทคนิคอื่นๆที่ช่วยในการอบแห้ง เช่น agglomeration เป็นต้น

- การทดสอบฤทธิ์การต้านจุลินทรีย์ของสารละลายผงไมโครแคปซูลด้วยวิธี disc diffusion ควรทดลองละลายผงไมโครแคปซูลในสารละลาย DMSO แทนการละลายน้ำ และหาวิธีการตีปั่นตัวอย่างสารละลายไมโครแคปซูลเพื่อให้ไขมันที่อยู่ภายในแพร่ออกมาได้ทั้งหมด

- จากงานวิจัยจะเห็นได้ว่าไมโครแคปซูลน้ำมันมะกูดมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Vibrio cholerae* ได้สูง ดังนั้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ในรูปแบบอื่นๆที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการปนเปื้อนเชื้อของชนิดนี้ได้

- เนือปลาที่คลุกผงไมโครแคปซูลจะมีสีชมพูอ่อนไม่สีแดงสดเหมือนสีเนือปลาสดปกติ จึงไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากนัก ดังนั้นอาจนำไปใช้กับเนือปลาที่มีสีขาว เช่น ปลานิล ปลากระพง ซึ่งจะให้ลักษณะสีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์มากกว่า และการใช้ผงไมโครแคปซูลร่วมกับผลิตภัณฑ์เนือปลา ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ไขมันมะกูดบริสุทธิ์คลุกกับเนือปลาด้วย

- ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการปลดปล่อยของไมโครแคปซูล และศึกษาเพิ่มเติมในขั้นตอนวิธีการหาปริมาณสารที่เป็นองค์ประกอบภายในไมโครแคปซูล เพื่อให้ได้ปริมาณสารที่มีอยู่ทั้งหมดในไมโครแคปซูล

3.5 เอกสารอ้างอิง

- กนกอร อินทราพิเชฐ. 2538. เอกสารประกอบคำสอน เรื่องการเปลี่ยนแปลงของวัสดุชีวภาพหลังการเก็บเกี่ยว สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- จักรพันธ์ จุลศรีไคววัล, สรินยา ชัดชุ่มแสง, เอื้อพร ไชยวรรณ และสุวรรณา เวชอภิกุล. 2008. ผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยเพื่อสุขภาพจากมะกรูดและส้มโอและการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้. วารสารไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ 3 (2): 203-209.
- จิราวรรณ แยมประยูร. 2529. การเก็บรักษาและการใช้เนื้อปลาที่แยกกระดูกด้วยเครื่องในการผลิตลูกชิ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชยันต์ พิเชียรสุนทร และวิเชียร จีรวงศ์. 2545. คู่มือเภสัชกรรมแผนไทย เล่ม 2 เครื่องยาพฤษภวัตถุ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อมรินทร์.
- ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529. วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.
- ชูสิทธิ์ หงส์กุลทรัพย์. 2549. การผลิตผงบุกโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่น กระจายและการประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฏฐา เลหากุลจิตต์, อรพิน เกิดชูชื่น, ศศิธร สิงขรอาจ และอาภาพรณ ชัญไพศาล. 2552. น้ำมันหอมระเหยพืชวงศ์ส้มที่สกัดโดยการกลั่นพร้อมสกัด. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40 (1): 79-82.
- เนตรนรินทร์ ขุนสูงเนิน. 2546. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเนื้อปลานิลซึ่งเก็บรักษาภายใต้การปรับเปลี่ยนบรรยากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ปทุม อรุณวัชรินทร์. 2551. การประยุกต์ใช้สารสกัดจากสมุนไพรในฟิล์มบรรจุภัณฑ์เพื่อยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์พร้อมบริโภค. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประเสริฐ สายสิทธิ์. 2524. ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. กรุงเทพฯ: สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิชามญช์ สว่างสุข. 2551. ผลของกระบวนการแปรรูปต่อสารให้กลิ่นสำคัญในรูปอิสระและไกลโคไซด์ในตะไคร้ (Cymbopogon citratus (DC.) Stapf). วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิชาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มัทนา แสงจินดาวงษ์. 2545. ผลิตภัณฑ์ประมงของไทย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- วราทิพย์ สมบุญฤทธิ์. 2530. คุณภาพเนื้อปลาสดแบบซูริมิจากปลาหลังเขียวและปลานิลสดและแช่เยือกแข็ง.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิต
วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วลัยรัตน์ จันทระพานนท์. 2547. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เจลทำความสะอาดมือขจัดแบคทีเรียโดยใช้สารสกัดจาก
ขมิ้นชัน. รายงานผลการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุภากร ศรีเนาวรัตน์กุล. 2552. ประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์และปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งมีสารสกัดธรรมชาติจาก
พืชสำหรับการบรรจุอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีการบรรจุ ภาควิชา
เทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- โสธยา เกิดพิบูลย์. 2545. การศึกษาวิธีการผลิตลูกชิ้นปลาผสมเนื้อหอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต,
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง.
- อาภากร สุภาพิพัฒน์. 2551. การกักเก็บน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทย เพื่อต้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์
เนื้อสัตว์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การ
อาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Arpagaus, C., and Schwartzbach, H. 2008. Scale-up from bench-top research to laboratory production
[Online]. Available from: http://www.mybuchi.com/uploads/_media/Best_Buchi_52_Scale-up_B-290_Niro_MOBILE_MINOR_06.pdf [2012, April 6]
- Banks, H., Nickelson, R., and Finne, G. 1980. Shelf-life studies on carbon dioxide package finfish from the
gulf of Mexico. Journal of Food Science 45: 157-162.
- Carson, C. F., and Riley, T. V. 1995. Antimicrobial activity of the major components of the essential oil
of *Melaleuca alternifolia*. Journal of Applied Microbiology 78 (3): 264-269.
- Chen, X. D., and Mujumdar, A. S. 2008. Drying Technologies in Food Processing. UK: Blackwell
Publishing.
- Dabbah, R., Edwards, V. M., and Moats, W. A. 1970. Antimicrobial action of some citrus fruit oils on
selected food-borne bacteria. Applied Microbiology 19 (1): 27-31.
- De Castillo, M. C., et al. 2000. Bactericidal activity of lemon juice and lemon derivatives against *Vibrio
cholerae*. Biological and Pharmaceutical Bulletin 23 (10): 1235-1238.
- Dorman, H. J. D., and Deans, S. G. 2000. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant
volatile oils. Journal of Applied Microbiology 88: 308-316.
- Fisher, K., and Phillips, C. A. 2008. Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the
answer? Trends in Food Science & Technology 19: 156-164.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voille, A., and Saurel, R. 2007. Applications of spray-drying
in microencapsulation of food ingredients: An overview Food Research International 40: 1107-
1121.
- Giwanon, R., Thubthimthed, S., Rerk-am, U., and Sunthorntanasart, T. 2000. Antimicrobial activity of
terpinen-4-ol and sabinene. The Thai Journal of Pharmaceutical Science 27 (14): 27.

- Inouye, S., Takizawa, T. and Yamaguchi, H. 2001. Antibacterial activity of essential oils and their major constituents against respiratory tract pathogens by gaseous contact. Journal of Antimicrobial Chemotherapy 47: 565-573.
- Insuan, W. 2003. Extraction of aromatic compounds from citrus fruit peel by using superheated water. Master's Thesis, Department of Chemistry Faculty of Science Kasetsart University.
- Jayme, M. L., Dunstan, D. E., and Gee, M. L. 1999. Zeta potentials of gum arabic stabilised oil in water emulsions. Food Hydrocolloids 13: 459–465.
- Kim, J., Marshall, M. R., and Wei C. 1995. Antibacterial activity of some essential oil components against five foodborne pathogens? Journal of Agricultural and Food Chemistry 43 (11): 2839-2845.
- Kingchaiyaphum, W., and Rachtanapun, C. 2012. Antimicrobial and antioxidative activities of essential oils in Chinese sausage (Kun-Chiang). Asian Journal of Food and Agro-Industry 5 (2): 156-162.
- Kong, C. S., Ogawa, H., and Iso, N. 1999. Compression properties of fish-meat gel as affected by gelatinization of added starch. Journal of Food Science 64 (2): 283-286.
- Krishnan, S., Kshirsagar, A. C., and Singhal, R. S. 2005. The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of a food flavoring agent. Carbohydrate Polymers 62: 309–315.
- Lannelongue, M., Finne, G., Hanna, M. O., Nickelson, R., and Vanderzant, C. 1982. Microbiological and chemical changes during storage of swordfish (*Xiphias gladius*) steaks in retail packages containing CO₂ enriched atmospheres. Journal of Food Protection 45: 1197–1203.
- Lawrence, B. M., Hogg, J. W., Terhune, S. T., and Podimuang, V. 1971. Constituents of the leaf and peel oils of *Citrus hydnifolia*, D.C. Phytochem 10 (6): 1404-1405.
- Lee, C. M. 1984. Surimi process technology. Food Technology 38 (11): 69-80.
- Lee, C. M., Wu, M. C., and Okada, M. 1992. Ingredients and formation technology for surimi-based product. In Surimi Technology. New York: Marcel Dekker.
- Lin, C., Sheu, S., Hsu, S., and Tsai, Y. 2010. Determination of bactericidal efficacy of essential oil extracted from orange peel on the food contact surfaces. Food Control 21: 1710-1715.
- Masniyoma, P., Benjakul, S., and Visessanguan, W. 2005. Combination effect of phosphate and modified atmosphere on quality and shelf-life extension of refrigerated seabass slices. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technology 38: 745–756.
- Mayachiew, P., and Devahastin, S. 2008. Antimicrobial and antioxidant activities of Indian gooseberry and galangal extracts. Food Science and Technology 41: 1153-1159.
- Nguyen, H., Campi, E. M., Jackson, W. R., and Patti, A. F. 2009. Effect of oxidative deterioration on flavour and aroma components of lemon oil. Food Chemistry 112: 388–393.
- Nishinari, K., Kim, K. Y., and Kohyama, K. 1987. Solution properties of konjac mannan. In Abstracts of 2nd International Workshop on Plant Polysaccharides. Grenoble.

- Papadopoulos, C.J., Carson, C. F., Hammer K. A., and Riley T. V. 2006. Susceptibility of pseudomonads to *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil and components. Journal of Antimicrobial Chemotherapy 58: 449–451.
- Ponce, A. G., Fritz, R., del Valle, C., and Roura, S. I. 2003. Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 36: 679-684.
- Potter, N. N., and Hotchkis, J. H. 1995. Food Science. New York: Chapman and Hall.
- Risch, S. J., and Reineccius, G. A. 1988. Flavor Encapsulation. 2nd ed. Washington, D.C: American Chemical Society.
- Rosenberg, M., Kopelman, I. J., and Talmon, Y. 1985. A scanning electron microscopy study of microencapsulation. Journal of Food Science 50 (1): 139–144.
- Sawamura, M., Son, U. S., Choi, H. S., Kim, M. S. L., Phi, N. T. L., Fears, M., and Kumagai, C. 2004. Compositional changes in commercial lemon essential oil for aromatherapy. International Journal of Aromatherapy 14 (1): 27-36.
- Sikorski, Z. E. 1990. Seafood: Resources, Nutritional Composition and preservation. U.S.A: CRD Press.
- Sokovic, M., Marin, P. D., Brkic, D., van Griensven, L. J. L. D. 2007. Chemical composition and antibacterial activity of essential oils of ten aromatic plants against human pathogenic bacteria [Online]. Available from: http://www.baltikjunior.com/origano_doc/sinisa_stankovic_1.pdf [2011, November 20]
- Sootitawat, A., et al. 2005. Influence of emulsion and powder size on the stability of encapsulated d-limonene by spray drying. Innovative Food Science and Emerging Technologies 6: 107–114.
- Williams, P. A. and Phillips, G. O. 2000. Gum arabic. In Handbook of Hydrocolloids, pp.156-168. England: Woodhead Publishing.
- Yang, J., Xiao, J. X., and Ding, L. Z. 2009. An investigation into the application of konjac glucomannan as a flavor encapsulant. European Food Research and Technology 229: 467-474.
- Yang, L., Yang, X. M., Petcavich, R. J., and Mao, L. J. 2001. Coating materials for preserving fresh produce. United States Patent 6,203,833.
- Zhang, Y. Q., Xie, B. J., and Gan, X. 2005. Advance in the applications of konjac glucomannan and its derivatives. Carbohydrate Polymer 60: 27-31.

บทที่ 4 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบุกบริโภคได้ผสมสารต้านจุลินทรีย์จากข้าวและ ประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อส่งออก

บทนำ

มะม่วง (*Mangifera indica* Linn.) เป็นไม้ผลเขตร้อนที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและมีศักยภาพสูงในการส่งออกมากชนิดหนึ่ง ในปี พ.ศ. 2554 มะม่วงที่ส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศมีมูลค่าการส่งออกถึง 505,200,842 บาท ซึ่งพันธุ์ที่มีการส่งออกปริมาณมากคือพันธุ์น้ำดอกไม้ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) ทั้งนี้เนื่องจากมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ เป็นมะม่วงที่มีสีผิวของเปลือกเป็นสีเหลืองนวลถึงเหลืองทองเมื่อสุก เนื้อสีเหลืองมีกลิ่นหอม ลักษณะของเนื้อละเอียด มีเสี้ยนค่อนข้างน้อย รสหวานเย็น จึงเป็นที่นิยมบริโภคกันมาก (ประทีป คุณาสล, 2532) แต่ปัญหาที่สำคัญภายหลังการเก็บเกี่ยวคือเมื่อผลสุกจะมีคุณภาพต่ำ ผิวมีลักษณะเหี่ยว ย่น สีผิวไม่สวย ความแน่นเนื้อของผลลดลง รสชาติไม่ดี และมีการสูญเสียคุณภาพจากการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุของโรคแอนแทรคโนส จึงมักใช้สารเคมีป้องกันกำจัดราเช่น prochloraz จุ่มผลก่อนการบรรจุลงภาชนะ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ควบคุมโรคแอนแทรคโนสในมะม่วงที่สะดวกรวดเร็วและได้ผลดี แต่อย่างไรก็ตามสารเคมีสามารถแทรกซึมเข้าไปในผลผลิตได้ ทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและผู้ปฏิบัติงาน อีกทั้งประเทศผู้สั่งซื้อมะม่วงจากประเทศไทยได้ตั้งข้อจำกัดปริมาณการใช้สารในการควบคุมโรคกับผลผลิต และงดการนำเข้ามะม่วงเมื่อพบว่ามีการใช้สารเคมี มีรายงานว่าสารสกัดจากพืชวงศ์ขิงหลายชนิดสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ (สุภัทรา จามกระโทก และคณะ, 2549) การนำสารสกัดจากพืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการใช้เพื่อควบคุมโรคพืชที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

นอกจากปัญหาเรื่องโรคหลังการเก็บเกี่ยวแล้ว ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพและทางเคมี ยังมีผลต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งการผลิตฟิล์มบริโภคได้จากบุกเพื่อนำมาใช้ในการเก็บรักษาผลผลิตจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ เนื่องจากบุกมีองค์ประกอบของกลูโคแมนแนนอยู่ในปริมาณมากซึ่งเป็นสารโพลีแซคคาไรด์สามารถนำมาผลิตเป็นฟิล์มบริโภคได้ (edible film) ที่มีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Cheng et al., 2002) โดยผงบุกสามารถคงตัวและขึ้นรูปได้ง่ายเหมาะแก่การนำมาใช้ในการห่อหุ้มเคลือบติดบนผิวอาหาร งานวิจัยนี้จึงสนใจใช้ฟิล์มบริโภคได้จากบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและชะลอการเสื่อมสภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เนื่องจากจุลินทรีย์ ซึ่งผลงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากหูกบุกและเป็นการประยุกต์ใช้ฟิล์มบริโภคได้จากบุกต่อไป

สมมุติฐาน

- สารเคลือบผิวจากบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้
- แผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรสามารถลดความรุนแรงในการเกิดโรคแอนแทรคโนส และช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้

วัตถุประสงค์

- เพื่อหาความเข้มข้นของสารสกัดจากสมุนไพรที่เหมาะสม แล้วผสมในฟิล์มบุกเพื่อใช้ต้านจุลินทรีย์ในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4
- เพื่อวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดจากสมุนไพร
- เพื่อประเมินความสามารถและประสิทธิภาพของฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรในการยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

ขอบเขตของงานวิจัย

- ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากสมุนไพรวงศ์ขิง 3 ชนิด คือ กระชาย ข่า และ ขิง เพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides*
- ศึกษาประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราและสมบัติเชิงกลของฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพร
- ศึกษาผลการนำฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรไปใช้เคลือบผิวและนำไปวางในกล่องบรรจุมะม่วงในการยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

4.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1.1 การประเมินความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากพืชสมุนไพร

4.1.1.1 การเตรียมสารสกัดหยาบจากสมุนไพรไทย

นำกระชาย ข่า และ ขิงแห้งบดละเอียดด้วยในตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เอทานอล และ น้ำกลั่น ในปริมาตร 1:5 (w/v) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง กรองแยกกากด้วยกระดาษกรอง จากนั้นระเหยตัวทำละลายด้วย rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 40°C สำหรับตัวทำละลายที่เป็นเอทานอล และที่อุณหภูมิ 70°C สำหรับตัวทำละลายที่เป็นน้ำกลั่น เก็บรักษาสารสกัดที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อใช้ตลอดการทดลอง (วิไลรัตน์ ศรีนนท์และคณะ, 2552)

4.1.1.2 การเตรียมกล้าเชื้อ

เพาะเชื้อรา *C. gloeosporioides* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่อุณหภูมิห้อง (30±2°C) เป็นเวลา 7 วัน โดยบรรจุในถุงพลาสติกป้องกันอาหารเลี้ยงเชื้อแห้ง จากนั้นเปิดอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว PDB ปริมาตร 5 ml ลงในจานเพาะเชื้อแล้วใช้แท่งแก้วดูดสปอร์ของเชื้อราให้หลุดออกจากผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นใช้ฟลาสเจอร์เปิดดูด spore suspension ขึ้นจากจานเพาะเชื้อ ทำการเจือจาง spore suspension ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ PDB และนับสปอร์ด้วย haemocytometer ให้ได้เท่ากับ 10^6 spore/ml (Richard *et al.*, 2004)

4.1.1.3 การหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งเชื้อรา (Minimum Inhibitory Concentration; MIC) และค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถทำลายเชื้อรา (Minimum Fungicidal Concentration; MFC) ของสารสกัดจากสมุนไพร ด้วยวิธี Micro dilution method

นำสารสกัดจากสมุนไพรไทยในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ละลายใน DMSO ความเข้มข้น 10 % ให้ได้ความเข้มข้นเริ่มต้นตามต้องการ นำสารละลายของสารสกัดที่ได้ 100 μ l เจือจางแบบ two-fold dilution ด้วยน้ำกลั่นมาเชื้อให้ได้ 8 ระดับ ใน 96 microwell plates (ความเข้มข้นตั้งแต่ 40,000 – 312.5 μ g/ml สำหรับสารสกัดสมุนไพรในเอทานอล และความเข้มข้นตั้งแต่ 160,000 – 1,250 μ g/ml สำหรับสารสกัดสมุนไพรในน้ำกลั่น) โดยในแต่ละหลุมประกอบด้วยสารละลายของสารสกัดที่เจือจางแล้วปริมาณ 100 μ l อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว PDB ที่มีเชื้อ *C. gloeosporioides* ความเข้มข้นเท่ากับ 10^6 spore/ml ปริมาณ 100 μ l สารละลาย *p*-iodonitrotetrazolium violet (INT) ที่ละลายด้วยน้ำกลั่นมาเชื้อความเข้มข้น 0.2 mg/ml ปริมาณ 40 μ l โดยชุดควบคุมทางลบ (Negative control) ใช้ DMSO ความเข้มข้น 10 % ปริมาณ 100 μ l อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว PDB ที่มีกล้ำเชื้อ 100 μ l และสารละลาย *p*-iodonitrotetrazolium violet (INT) ปริมาณ 40 μ l ส่วนชุดควบคุมทางบวก (Positive control) ใช้ยาปฏิชีวนะมาตรฐาน ได้แก่ Amphotericin B ความเข้มข้น 0.1 mg/ml ปริมาณ 100 μ l อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว PDB ที่มีกล้ำเชื้อ 100 μ l และสารละลาย *p*-iodonitrotetrazolium violet (INT) ปริมาณ 40 μ l ในการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อรา นำ 96 microwell plate ไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) เป็นเวลา 3 วัน เมื่อครบระยะบ่มแล้ว ให้สังเกตหลุมที่ไม่มีการเปลี่ยนสีของ INT เป็นสีม่วงแดง หลุมสุดท้ายที่ไม่เปลี่ยนสีคือ หลุมที่ไม่มีการเจริญของเชื้อรา ทดสอบให้บันทึกเป็นค่า MIC โดยหลักการเปลี่ยนแปลงสีของ INT คือเมื่อเชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญจะมีการหายใจและมีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจาก NADH ให้กับ INT ทำให้สารละลายในหลุมเปลี่ยนจากไม่มีสี เป็นสารละลายสีม่วงแดง (Masoko, 2007) การหาค่า MFC โดยการใช้ micropipette ดูดสารละลาย 100 μ l จากหลุมที่ไม่มีเชื้อรา เติบโตทุกหลุม ลงในจานเพาะเชื้อที่อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ใช้แท่งแก้วอเกลียให้ทั่วอาหารเลี้ยงเชื้อ เพาะเชื้อที่อุณหภูมิห้อง ($30 \pm 2^\circ\text{C}$) เป็นเวลา 5 วัน เมื่อครบระยะบ่มเพาะแล้ว ให้สังเกตการเจริญของเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง ความเข้มข้นต่ำสุดที่ไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อให้บันทึกเป็นค่า MFC (Eloff, 1998)

4.1.2 การตรวจสอบคุณภาพของฟิล์มบุงผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพร

4.1.2.1 การผลิตฟิล์ม

เตรียมสารละลายบุงความเข้มข้น 1.0% w/v กวน 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เติม KOH 0.5 M ความเข้มข้น 0.14% v/v กวน 15 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เติม glycerol 0.3% w/v กวนต่ออีก 20 นาที (Cheng *et al.*, 2002) แล้วเติมสารสกัดจากสมุนไพรที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราที่ดีที่สุด (พิจารณาจากค่า MIC และ MFC ที่น้อยที่สุด จากข้อ 4.1.1.3) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และเติม Tween 80 ความเข้มข้น 1% v/v เป็นตัวช่วยในการละลายของสารสกัด

4.1.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราของฟิล์มบุงผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพร

ประเมินความสามารถในการยับยั้งเชื้อราของสารละลายบุงและแผ่นฟิล์มบุง ที่ผสมสารสกัดจากสมุนไพรด้วยวิธี disc diffusion method โดยใช้แผ่น sterile paper disc ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6

เซนติเมตร จุ่มลงในสารละลายบุกที่ผสมและไม่ผสมสารสกัดจากสมุนไพร แล้ววางลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่มีการเกลี่ยสารแขวนลอยของสปอร์เชื้อราความเข้มข้น 10^6 spore/ml นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน

นำสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากสมุนไพรความเข้มข้นต่างๆ อีกส่วนหนึ่งมาเทลงบนภาชนะอะลูมิเนียมเพื่อขึ้นรูปฟิล์ม อบแห้งฟิล์มด้วยตู้อบลมร้อน 50°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จนฟิล์มแห้งและสามารถลอกเป็นแผ่นได้ ตัดแผ่นฟิล์มเป็นวงกลมให้มีขนาดเท่ากับแผ่น sterile paper disc (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร) แล้ววางลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่มีการเกลี่ยเชื้อไว้แล้ว บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน โดยประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา สามารถวัดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้ง ซึ่งหนึ่งพื้นที่บริเวณยับยั้งจะวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้ง 4 ค่า แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ตัวอย่างควบคุมคือตัวอย่างสารละลายบุกและฟิล์มบุกที่ไม่ใส่สารสกัดจากสมุนไพร

4.1.2.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม

แผ่นฟิล์มบุกที่ผลิตได้ในขั้นตอนที่ 4.1.2 มาตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มบุก ดังนี้

การวัดความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยืดตัวของฟิล์ม โดย Instron Texture

Analyzer รุ่น 5565 บริษัท Instron ประเทศสหรัฐอเมริกา

การทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ ตามวิธี ASTM E 96-95

4.1.3 การนำฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพรไปใช้กับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

4.1.3.1 การเตรียมสารละลายบุกและฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพร

เตรียมสารละลายบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพรที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราที่ดีที่สุด ตามวิธีการในข้อที่ 4.1.2.1 มาเคลือบผิวมะม่วง และเตรียมแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพรที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราที่ดีที่สุด มาใช้ในกล่องบรรจุมะม่วง

โดยนำผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่มีอายุเก็บเกี่ยว 100 วัน หลังดอกบาน ที่ได้จากสวนในอำเภอฟัว จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเก็บเกี่ยวในตอนเช้า ขนาด 300-350 กรัมต่อผล ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คัดเลือกมะม่วงที่ไม่มีตำหนิจากโรค หนอนและแมลง ตัดขั้วผลให้เหลือประมาณ 1 เซนติเมตร ร่อนกระทั้งยางหุดไหล จุ่มผลมะม่วงลงในน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 55°C นาน 5 นาที พร้อมกับตรวจสอบความสุกแก่ของมะม่วง โดยมะม่วงแก่จัดจะจมน้ำ หลังจากนั้นลดอุณหภูมิของผลมะม่วงให้เท่ากับอุณหภูมิห้องด้วยการแช่ในน้ำเย็น แล้วฟึ่งให้แห้งเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป สำหรับสิ่งทดลองคือมะม่วงทั้งหมด 180 ผล โดยแบ่งออกเป็น 6 ส่วนเท่ากัน ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 คือ มะม่วงชุดควบคุม คือผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบและบรรจุลงในกล่องที่ไม่มีแผ่นฟิล์ม

ชุดการทดลองที่ 2 คือ มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรไว้ที่พื้นกล่อง (แผ่นฟิล์มสัมผัสมะม่วงโดยตรง)

ชุดการทดลองที่ 3 คือ มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสมะม่วงโดยตรง)

ชุดการทดลองที่ 4 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก ที่ไม่ผสมสารสกัดจากสมุนไพร

ชุดการทดลองที่ 5 คือ มะม่วงที่เคลือบด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพร

ชุดการทดลองที่ 6 คือ มะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดจากสมุนไพร

เก็บรักษามะม่วงทั้งหมดไว้ที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% บรรจุลงในกล่องกระดาษลูกฟูกขนาด $31.88 \times 47.81 \times 11.88$ เซนติเมตร เป็นเวลา 30 วัน วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) ทดลอง 3 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้มะม่วง 10 ผล สุ่มตรวจสอบคุณภาพของผลมะม่วงในด้านต่างๆ ทุก 3 วัน จนสิ้นสุดการทดลอง วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

4.1.3.2 การตรวจสอบคุณภาพของผลมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา

โดยสุ่มตัวอย่างมะม่วงออกมาวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพดังนี้

การสูญเสียน้ำหนัก โดยคัดเลือกผลมะม่วงจำนวน 9 ผลของแต่ละชุดการทดลอง บันทึกน้ำหนักในวันเริ่มต้นของแต่ละผล หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักผลมะม่วงชุดเดิมทุก 3 วัน คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

วัดความแน่นเนื้อ โดย Texture Analyzer TA-XT 2 บริษัท Stable Micro Systems ประเทศอังกฤษ

วัดการเปลี่ยนแปลงสีของผิวเปลือก โดย Chroma Meter (Model CR-400 Series) บริษัท Minolta ประเทศญี่ปุ่น อ่านค่า L , a , b , ΔE และค่า Hue angle

วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids; TSS)

วัดปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity; TA)

หาอัตราส่วน TSS/TA

วัดการเกิดโรค โดยนับจำนวนผลมะม่วงที่เกิดโรคแอนแทรคโนสที่ผิวต่อจำนวนผลมะม่วงทั้งหมด แล้วคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

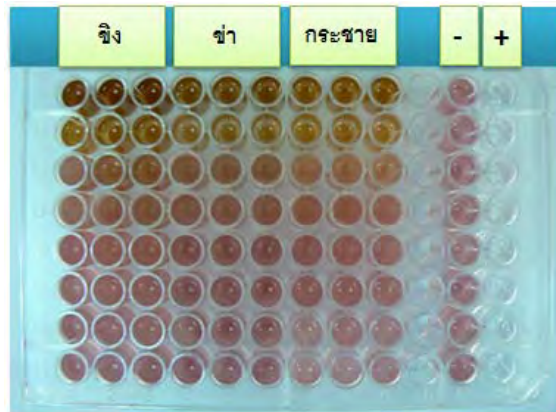
วัดความรุนแรงของโรค โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผลมะม่วงที่เกิดโรคแอนแทรคโนสเปรียบเทียบกับพื้นที่ผลมะม่วงทั้งผล

ประเมินการยอมรับคุณภาพของผู้บริโภค ที่มีต่อมะม่วงในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา คือวันที่ 30 ของการเก็บรักษา (ใช้วิธี 9-Point Hedonic Scale Test ให้คะแนนตั้งแต่ 1-9) ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 25 คน

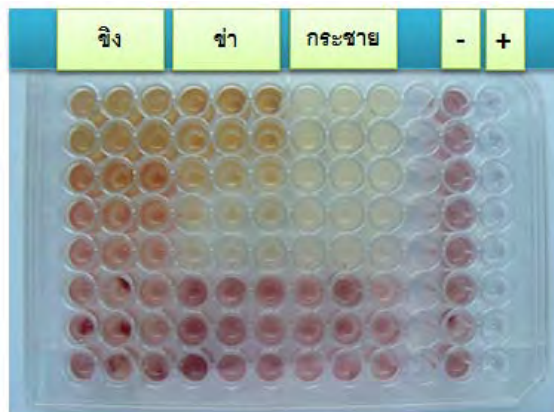
4.2 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.2.1 การประเมินความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากพืชสมุนไพร

สารสกัดจากสมุนไพร (ขิง ข่า และกระชาย) ในทุกตัวทำละลาย มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ที่นำมาทดสอบด้วยวิธี micro dilution method โดยสารสกัดจากกระชายและข่าที่สกัดด้วยเอทานอล มีค่า MIC และ MFC ที่ต่ำที่สุดเท่ากัน (MIC = 2,500 µg/ml และ MFC = 2,500 µg/ml) (ตารางที่ 4.1) แสดงว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราที่นำมาทดสอบของสารสกัดจากกระชายและข่าที่สกัดด้วยเอทานอลมีค่าใกล้เคียงกัน สารสกัดจากสมุนไพรทุกชนิดที่สกัดด้วยเอทานอล มีค่า MIC และ MFC ที่ต่ำกว่าการสกัดด้วยน้ำกลั่น เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ที่เป็นสารออกฤทธิ์สำคัญของสารสกัดสามารถละลายได้ดีในเอทานอลได้ดีกว่าน้ำกลั่น เนื่องจากสารสำคัญเหล่านั้นเป็นกลุ่ม lipophilic compounds ที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้ดี โดยอาศัยความไม่มีขั้ว หรือความสามารถในการละลายได้ในไขมัน สามารถผ่านผนังเซลล์เข้าไปใน mitochondria และรบกวนส่วนประกอบภายในของ mitochondria เกิดการปลดปล่อยองค์ประกอบต่างๆ ในเซลล์ ทำให้จุลินทรีย์ตายในที่สุด (Burt, 2004) อีกทั้งการใช้อุณหภูมิสูง (70°C) ในการระเหยไล่ตัวทำละลายที่เป็นน้ำออกไปนั้น จะมีผลกระทบต่อสารออกฤทธิ์สำคัญในพืชนั้นๆ ได้ จึงทำให้ฤทธิ์ของสารสกัดจากสมุนไพรที่สกัดด้วยน้ำกลั่นมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *C. gloeosporioides* ต่ำกว่าการสกัดด้วยเอทานอล (รัตน อินทรานุ ปกรณ์, 2550)



ภาพที่ 4.1 การหาค่า MIC ของสารสกัดจากสมุนไพรที่สกัดด้วยน้ำกลั่น ในการยับยั้งเชื้อรา *C. gloeosporioides* ด้วยวิธี micro dilution method



ภาพที่ 4.2 การหาค่า MIC ของสารสกัดจากสมุนไพรที่สกัดด้วยเอทานอล ในการยับยั้งเชื้อรา *C. gloeosporioides* ด้วยวิธี micro dilution method

ตารางที่ 4.1 ค่า MIC และ MFC ของสารสกัดจากสมุนไพร ในการยับยั้งเชื้อรา *C. gloeosporioides* ด้วยวิธี micro dilution method

ชนิดของสารสกัด	ชนิดของตัวทำละลาย	MIC ($\mu\text{g/ml}$)	MFC ($\mu\text{g/ml}$)
ขิง	น้ำกลั่น	80,000	160,000
	เอทานอล	20,000	40,000
ข่า	น้ำกลั่น	80,000	160,000
	เอทานอล	2,500	2,500
กระชาย	น้ำกลั่น	80,000	80,000
	เอทานอล	2,500	2,500

จากการทดสอบในขั้นตอนนี้สามารถสรุปได้ว่า สารสกัดจากกระชายและข่าที่สกัดด้วย เอทานอล มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสารสกัดจากกระชายและข่าที่สกัดด้วยเอทานอลไปใช้ในการทดสอบต่อไปในขั้นตอนที่ 4.2

4.2.2 การตรวจสอบคุณภาพของฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพร

4.2.2.1 ประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราของฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพร

ประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราจะพิจารณาจากความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่เกิดการยับยั้ง (inhibition zone) การตรวจสอบประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรากระทำ 2 แบบ กล่าวคือตรวจสอบทั้งในรูปแบบของสารละลายบุกผสมสารสกัดจากกระชายหรือข่า และนำสารละลายบุกผสมสารสกัดจากกระชายหรือข่าไปขึ้นรูปเป็นฟิล์ม นำมาทดสอบบริเวณยับยั้งโดยการนำ sterile paper disc ที่ชุบด้วยสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายหรือข่าที่สกัดด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งค่าความเข้มข้นต่ำสุดพิจารณาจากค่า MIC และ MFC ที่ต่ำที่สุด แปรระดับความเข้มข้น 2,500 - 30,000 µg/ml จากนั้นนำ sterile paper disc ที่ชุบด้วยสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายหรือข่าที่สกัดด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้น 2,500 - 30,000 µg/ml วางบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่มีการเกลี่ยเชื้อทดสอบ บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน จากผลการทดลองพบว่าสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากข่าสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ดีกว่าสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายในทุกๆระดับความเข้มข้นที่ทดสอบ โดยสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายหรือข่าเริ่มเกิดบริเวณยับยั้งที่ระดับความเข้มข้น 10,000 µg/ml ขึ้นไป (ตารางที่ 4.2) แสดงว่าสารสกัดจากกระชายหรือข่าความเข้มข้น 10,000 µg/ml เป็นความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถผสมลงในสารละลายบุกแล้วยังออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราดังกล่าวได้

ตารางที่ 4.2 ผลการยับยั้งเชื้อราของสารละลายบุกและฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากข้าวและกระชาย

ชนิดของสารสกัด	ความเข้มข้น ที่ผสมลงในสารละลายบุก/ฟิล์มบุก ($\mu\text{g/ml}$)	เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้ง ของสารละลายบุกผสมสารสกัด (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้ง ของฟิล์มบุกผสมสารสกัด (cm)
ข้าวที่สกัดด้วยเอทานอล	2,500	nd	nd
	10,000	1.203 ± 0.151^b	1.038 ± 0.096^b
	20,000	1.451 ± 0.104^c	1.325 ± 0.090^c
	30,000	1.884 ± 0.200^d	1.757 ± 0.134^d
กระชายที่สกัดด้วยเอทานอล	2,500	nd	nd
	10,000	1.042 ± 0.070^a	nd
	20,000	1.177 ± 0.069^b	0.848 ± 0.076^a
	30,000	1.372 ± 0.192^c	1.048 ± 0.109^b
ไม่เติม	0	nd	nd

หมายเหตุ nd – ไม่ปรากฏบริเวณยับยั้ง

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

สำหรับการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งของฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายหรือข้าว ที่ความเข้มข้นต่างๆ (2,500 - 30,000 $\mu\text{g/ml}$) ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม แล้วตัดแผ่นฟิล์มเป็นวงกลมให้มีขนาดเท่ากับ sterile paper disc จากตารางที่ 4.2 พบว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดจากข้าวสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ดีกว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายในทุกระดับความเข้มข้นที่ทดสอบ โดยฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายความเข้มข้น 20,000 $\mu\text{g/ml}$ เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา ในขณะที่ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากข้าวที่ความเข้มข้น 10,000 $\mu\text{g/ml}$ เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารสกัดข้าวเป็น 30,000 $\mu\text{g/ml}$ จะเกิดบริเวณยับยั้งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.76 เซนติเมตร ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในระดับมาก Ponce (2003) รายงานว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งที่มีขนาดน้อยกว่า 0.8 เซนติเมตร ถือว่าไม่ยับยั้ง (-) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 – 1.4 เซนติเมตร ถือว่ายับยั้งได้ (+) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 – 1.9 เซนติเมตร ถือว่ายับยั้งได้สูง (++) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากกว่า 2.0 เซนติเมตร ถือว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งได้สูงที่สุด (+++)

องค์ประกอบหลักของสารสกัดจากข่าประกอบด้วย 1,8-cineole (20.95%), β -bisabolene (13.16%), β -caryophyllene (17.95%) และ β -selinene (10.56%) ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม terpenes (Mayachiew and Devahastin, 2008) โดยมีกลไกการออกฤทธิ์เกี่ยวข้องในการรบกวน cytoplasmic membrane และทำให้เกิดการรวมตัวจับกันเป็นก้อนขององค์ประกอบในเซลล์ของจุลินทรีย์ ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเจริญของเซลล์จุลินทรีย์ได้ (Oonmetta-aree *et al.*, 2006)

ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อราของสารสกัดจากกระชายหรือข่าลดลงเมื่อผสมในฟิล์มบุก หากเปรียบเทียบกับสารละลายบุกซึ่งมีประสิทธิภาพการยับยั้งที่สูงกว่าฟิล์มบุกที่ระดับความเข้มข้นของสารสกัดเดียวกัน เนื่องจากการขึ้นรูปฟิล์มของฟิล์มบุกผสมสารสกัดสมุนไพรมีการใช้ความร้อนในการอบแห้งฟิล์ม ซึ่งความร้อนมีผลกระทบต่อสารออกฤทธิ์สำคัญในสารสกัดพืชสมุนไพรนั้นๆ ทำให้มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราต่ำลง อีกสาเหตุหนึ่งคือสารสกัดสมุนไพรที่ผสมลงในสารละลายบุกสามารถเคลื่อนที่ออกมาได้ง่ายกว่าเมื่ออยู่ในฟิล์มบุก เนื่องจากสารละลายบุกเป็นของเหลว แต่ฟิล์มบุกเป็นของแข็ง ดังนั้นประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราในรูปของสารละลายจึงมีมากกว่าที่อยู่ในรูปฟิล์มที่ระดับความเข้มข้นของสารสกัดเดียวกัน

จากการทดสอบในขั้นตอนนี้สามารถสรุปได้ว่า สารละลายบุกและฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากข่า มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราดีกว่าสารละลายบุกและฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากกระชาย โดยความเข้มข้นของสารสกัดข่าที่ระดับ 30,000 $\mu\text{g/ml}$ เป็นความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราที่ดีที่สุด เมื่อผสมลงในสารละลายบุกและฟิล์มบุก ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายบุกผสมสารสกัดข่าความเข้มข้น 30,000 $\mu\text{g/ml}$ เพื่อใช้เป็นสารเคลือบผิวมะม่วง และเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มบุก เพื่อใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ต่อไป

สำหรับฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากกระชายหรือข่า ได้นำไปศึกษาสมบัติของฟิล์มต่อในขั้นตอนที่ 4.2.2

4.2.2.2 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม

การศึกษาสมบัติเชิงกลของฟิล์มบุกผสมสารสกัดกระชายหรือข่า ได้ทำการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงของแผ่นฟิล์ม ค่าความยืดตัว (Elongation) บ่งบอกถึงการยืดตัวของแผ่นฟิล์ม และอัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์ม (Water Vapor Transmission Rate, WVTR)

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มบุกและฟิล์มบุกผสมสารสกัดพืชสมุนไพร

ชนิดของสารสกัด	ความเข้มข้น (µg/ml)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	WVTR (g/cm ² .h)
ชา	2500	22.94±2.00 ^g	23.02±2.31 ^f	3.38x10 ⁻³ ±4.50x10 ^{-5efg}
	10000	16.24±1.49 ^e	20.11±0.87 ^e	3.21x10 ⁻³ ±4.95x10 ^{-5def}
	20000	8.70±1.17 ^c	17.22±0.67 ^d	3.16x10 ⁻³ ±5.07x10 ^{-5de}
	30000	6.91±0.64 ^b	16.73±0.49 ^d	3.01x10 ⁻³ ±7.52x10 ^{-5d}
กระชาย	2500	18.10±1.01 ^f	17.16±2.24 ^d	3.4x10 ⁻³ ±1.31x10 ^{-4fg}
	10000	11.77±0.98 ^d	11.28±2.33 ^c	2.76x10 ⁻³ ±2.43x10 ^{-4c}
	20000	6.99±0.60 ^b	5.91±1.36 ^b	2.27x10 ⁻³ ±3.02x10 ^{-4b}
	30000	5.08±0.65 ^a	3.56±1.12 ^a	1.66x10 ⁻³ ±1.32x10 ^{-4a}
ไม่เติม	0	51.78±4.31 ^h	37.29±4.61 ^g	3.53x10 ⁻³ ±5.89x10 ^{-5g}

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวนอน หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

จากตารางที่ 4.3 พบว่าฟิล์มบุกความเข้มข้น 1% w/v ที่ไม่ได้ผสมสารสกัดกระชายหรือชา มีค่า Tensile Strength (TS) เท่ากับ 51.78 MPa และมีค่า Elongation (E) เท่ากับ 37.29% โดยค่าที่ได้ทั้งสองนี้มีค่าสูงกว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดกระชายหรือชาที่ทุกระดับความเข้มข้น แสดงว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดกระชายหรือชา มีความแข็งแรงและการยืดตัวที่น้อยกว่าฟิล์มบุกที่ไม่ผสมสารสกัด เนื่องจากสารสกัดมีส่วนที่ไม่มีชีวเป็นส่วนมาก ทำให้เข้าไปขัดขวางการเรียงตัวของสายพอลิเมอร์ของกลูโคแมนแนน ทำให้เกิดการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายพอลิเมอร์กลูโคแมนแนนลดลง ฟิล์มที่ได้จากบุกที่ผสมสารสกัดกระชายและชา จึงมีค่า Tensile Strength และค่า Elongation ลดลง เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดกระชายกับฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดชา พบว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดชามีค่า Tensile Strength และ Elongation ที่สูงกว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดกระชาย และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดขึ้น จะส่งผลให้ความแข็งแรงและการยืดตัวของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง

อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มบุกที่ไม่ได้ผสมสารสกัดกระชายและชามีค่าเท่ากับ 3.53×10^{-3} g/cm².h ซึ่งมีค่าสูงกว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดกระชายและชาทุกระดับความเข้มข้น เนื่องจากฟิล์มบุกผสมสารสกัดมีส่วนที่มีสภาพไม่มีชีวเป็นส่วนมาก ทำให้เกิดการขัดขวางการซึมผ่านของไอน้ำที่มีสภาพชีว เป็นผลให้ฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัด มีอัตราการซึมผ่านขึ้นไอน้ำลดลง แสดงถึงการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีขึ้น อีกทั้งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด การป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำจะมีแนวโน้มดีขึ้นตามลำดับ

Sanchez-Gonzalez และคณะ (2010) ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มโคโตนผสมน้ำมันมะกูด พบว่าฟิล์มโคโตนที่ผสมน้ำมันมะกูดความเข้มข้น 0.5 %, 1%, 2% และ 3% w/w มีค่า Tensile Strength, Elongation และ WVTR ที่ลดต่ำลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มโคโตนที่ไม่ได้เติมน้ำมันมะกูด เนื่องจากน้ำมันมะกูดจะไปเปลี่ยนการดึงดูดระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง อีกทั้งสภาพที่ไม่มีขั้วของน้ำมันมะกูดก็จะไปลดการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มลดลงด้วย

ขั้นตอนนี้สามารถสรุปได้ว่า ฟิล์มบุกความเข้มข้น 1% w/v ผสมสารสกัดจากสมุนไพรมีความแข็งแรงลดลงและขาดง่าย แต่มีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำที่ดีกว่าฟิล์มบุกที่ไม่ผสมสารสกัด การนำฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรไปใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ในขั้นตอนต่อไปนั้น จะพิจารณาจากประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราเป็นหลักก่อน แล้วจึงค่อยปรับในเรื่องสมบัติเชิงกลของฟิล์ม เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีความแข็งแรงและยืดตัวที่ดีขึ้นต่อไป

4.2.3 การนำฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพรไปใช้กับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราของฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพรในข้อที่ 4.2.1 พบว่าฟิล์มบุกผสมสารสกัดฆ่าความเข้มข้น 30,000 $\mu\text{g/ml}$ มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อราที่ดีที่สุด จึงนำมาใช้เตรียมเพื่อเป็นสารเคลือบผิวมะม่วง และขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดฆ่าความเข้มข้น 30,000 $\mu\text{g/ml}$ เพื่อใช้ในกล่องบรรจุมะม่วง

สำหรับสิ่งทดลองคือมะม่วงทั้งหมด 180 ผล โดยแบ่งออกเป็น 6 ส่วนเท่ากัน ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 คือ มะม่วงชุดควบคุม คือผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบและบรรจุลงในกล่องที่ไม่มีแผ่นฟิล์ม

ชุดการทดลองที่ 2 คือ มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรไว้ที่พื้นกล่อง (แผ่นฟิล์มสัมผัสมะม่วงโดยตรง)

ชุดการทดลองที่ 3 คือ มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสมะม่วงโดยตรง)

ชุดการทดลองที่ 4 คือ มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก ที่ไม่ผสมสารสกัดจากสมุนไพร

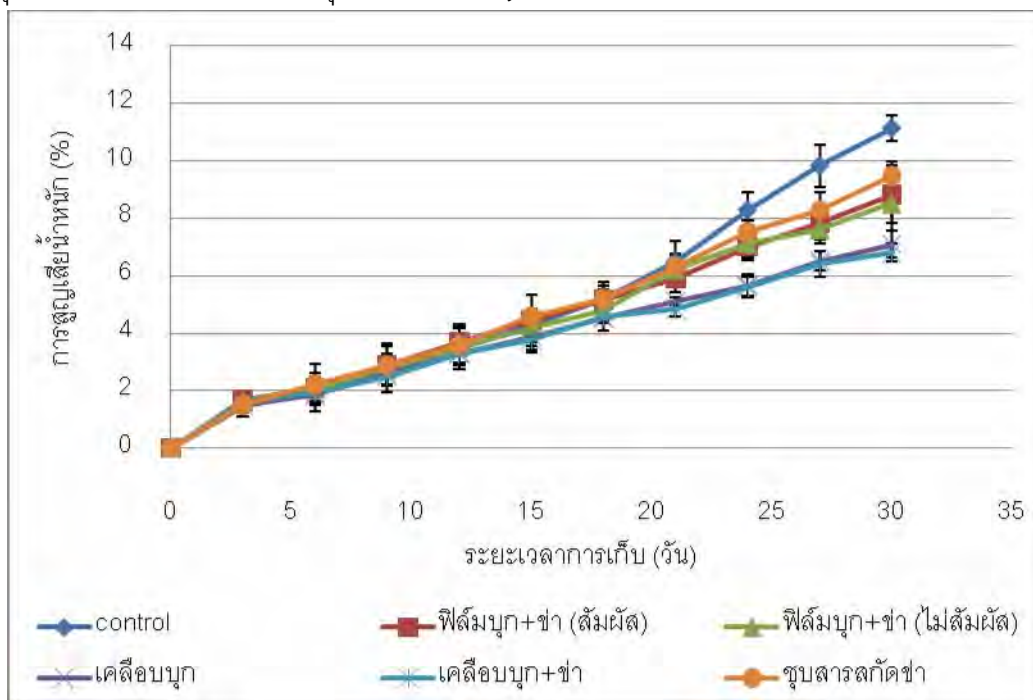
ชุดการทดลองที่ 5 คือ มะม่วงที่เคลือบด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพร

ชุดการทดลองที่ 6 คือ มะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดจากสมุนไพร

โดยสุ่มตัวอย่างมะม่วงในแต่ละชุดการทดลองออกมาวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพต่างๆ ดังแสดงในข้อ 4.3.1 - 4.3.9

4.2.3.1 การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงในทุกระยะการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และผลมะม่วงทุกระยะการทดลองมีการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ในช่วงแรกมะม่วงทุกระยะการทดลองมีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันมาก แต่หลังจากวันที่ 21 ของการเก็บรักษา มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกหรือสารละลายบุกผสมสารสกัดข่ามีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) ในขณะที่มะม่วงชุดควบคุมมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตั้งแต่วันที่ 24 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ซึ่งสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนว่ามะม่วงชุดควบคุมมีอาการเหี่ยวมากกว่ามะม่วงชุดการทดลองอื่นๆ



ภาพที่ 4.3 การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^\circ\text{C}$

การเหี่ยวของผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวเป็นการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อบริเวณเซลล์ผิวชั้นนอกสุด คือ epidermis เป็นเซลล์ที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอก มีชั้นของคิวทิเคิล (cuticle) ปกคลุมอยู่เป็นเครื่องกีดขวางการผ่านเข้าออกของน้ำเป็นอย่างดี เพราะประกอบด้วยสารประเภทไข ได้แก่ wax และ cutin ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ผลไม้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำ มีปริมาณน้ำภายในผลมาก ความชื้นภายในผลสูง โอกาสที่จะเกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลผลิตเกิดขึ้นได้ง่าย ยิ่งเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศต่ำกว่าในผลผลิตผล ในกรณีนี้ทำให้เซลล์เกิดการสูญเสียน้ำและสูญเสียน้ำความเต่ง เมื่อแวคิวโอลมีขนาดเล็กลง โปรโทพลาสต์จะหดตัวจากผนังเซลล์ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า

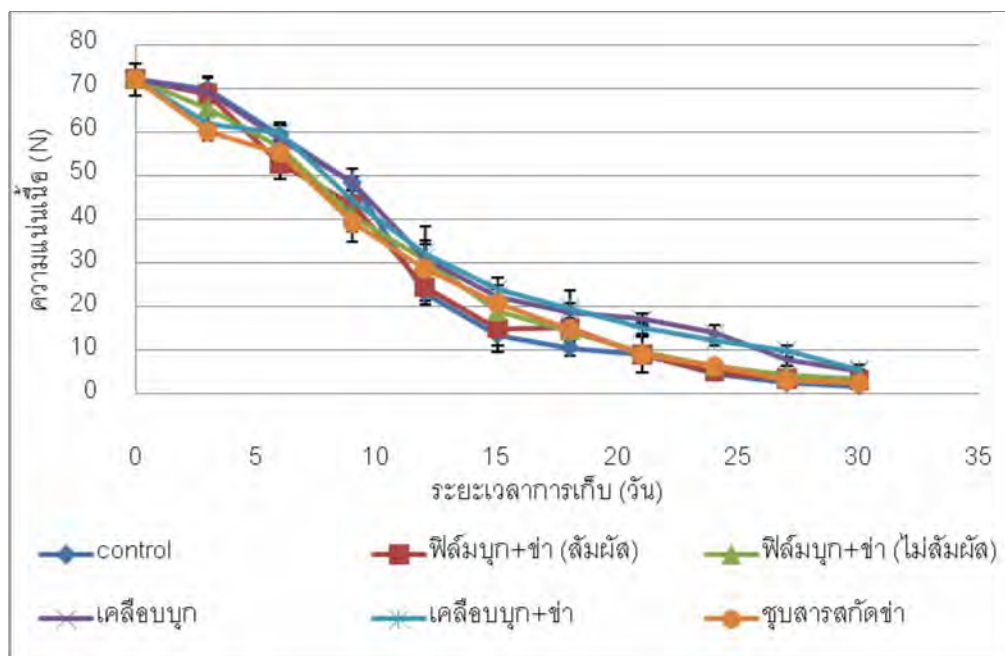
พลาสโมไลซิส (plasmolysis) ในที่สุดเซลล์จะเหี่ยว (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544) ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิวจะช่วยปกคลุม ทับ หรือทดแทนไขที่เคยมีอยู่ และปิดช่องเปิดต่างๆ ตามธรรมชาติของผลไม้ ทำให้การสูญเสียน้ำจากผลลดลง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

Baldwin และคณะ (1999) รายงานว่าการเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ด้วยสารเคลือบผิวจากเซลลูโลส ช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงได้ดีกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C เป็นเวลา 19 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 4 วัน กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ์ และอดิศักดิ์ เอกธรรมสุทธิ์ (2543) ที่รายงานว่าการใช้ฟิล์มแบงก์เคลือบผิวส้มเขียวหวานมีแนวโน้มชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าส้มเขียวหวานที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28-30°C เป็นเวลา 20 วัน เช่นเดียวกับ ชูลิทธิ์ หงษ์กุลทรัพย์ (2549) ที่รายงานว่าการเคลือบผิวชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ด้วยสารเคลือบผิวจากบุก สามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักของชมพูได้ดีกว่าชมพูที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C เป็นเวลา 15 วัน อีกทั้ง Hoa และ Ducamp (2008) ที่รายงานว่าการเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ Cat Hoa Loc ด้วยสารเคลือบผิวจาก Carnauba ช่วยลดการแพร่ของไอน้ำจากมะม่วงออกสู่ภายนอก จึงช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงได้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน

4.2.3.2 ความแน่นเนื้อ

มะม่วงน้ำดอกไม้มีค่าความแน่นเนื้อเมื่อเริ่มต้นเท่ากับ 72.06 N. และความแน่นเนื้อจะมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา มะม่วงทุกชุดการทดลองมีค่าความแน่นเนื้อต่ำสุดเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา โดยมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกหรือสารละลายบุกผสมสารสกัดขามีความแน่นเนื้อสูงกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตั้งแต่วันที่ 18 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่

4.4



ภาพที่ 4.4 ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

การลดลงของความแน่นเนื้อในผลไม้เป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลต่างๆ ภายในผนังเซลล์ โดยเฉพาะเพคตินที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ ซึ่งแต่เดิมอยู่ในรูปของโปรโตเพคตินที่ไม่ละลายน้ำเปลี่ยนเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ เช่น pectin esterase และ polygalacturonase ในมะม่วงน้ำดอกไม้ Ketsa และคณะ (1998) รายงานว่า β -galactosidase และ polygalacturonase มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดการลดลงของความแน่นเนื้อ มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกหรือสารละลายบุกผสมสารสกัดข่ามีแนวโน้มที่ชะลอการลดลงของความแน่นเนื้อได้ดีกว่ามะม่วงที่ไม่เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการใช้สารเคลือบผิวจะช่วยปิดช่องเปิดต่างๆ ตามธรรมชาติของผลไม้ ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ผลไม้ได้รับลดลง และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมในผลไม้สูงขึ้น ทำให้ผลมะม่วงมีความเป็นกรดมากขึ้น ส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ลดลง จึงช่วยรักษาความแน่นเนื้อให้คงอยู่ (Salunhke *et al.*, 1991) นอกจากการทำงานของเอนไซม์แล้ว การเปลี่ยนแปลงความแน่นเนื้อนั้นสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเช่นกัน การลดลงของความแน่นเนื้อเกิดได้จากการสูญเสียน้ำ เซลล์จะสูญเสียน้ำความเต่งไปทำให้มะม่วงมีความแน่นเนื้อลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองด้านการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วง ที่พบว่ามะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก หรือสารละลายบุกผสมสารสกัดข่า มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว ตั้งแต่วันที่ 21 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาคือในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา

จากการทดลองของ Baldwin และคณะ (1999) รายงานว่าการเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ด้วยสารเคลือบผิวจากเซลลูโลส และสารเคลือบผิวจาก Carnauba Wax ช่วยรักษาความแน่นเนื้อของมะม่วงได้ดีกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C เป็นเวลา 19 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 4 วัน เช่นเดียวกับ Yaman และ Bayondri (2002) รายงานว่าสารเคลือบผิวสามารถรักษาความแน่นเนื้อของผลเชอร์รี่ได้ดีกว่าผลเชอร์รี่ที่ไม่ได้เคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้อง อีกทั้ง ชูสิทธิ์ หงษ์กุลทรัพย์ (2549) ที่รายงานว่าการเคลือบผิวชมพูพันธุ์ทับทิมจันทร์ด้วยสารเคลือบผิวจากบุก สามารถช่วยรักษาความแน่นเนื้อของชมพูได้ดีกว่าชมพูที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C เป็นเวลา 15 วัน

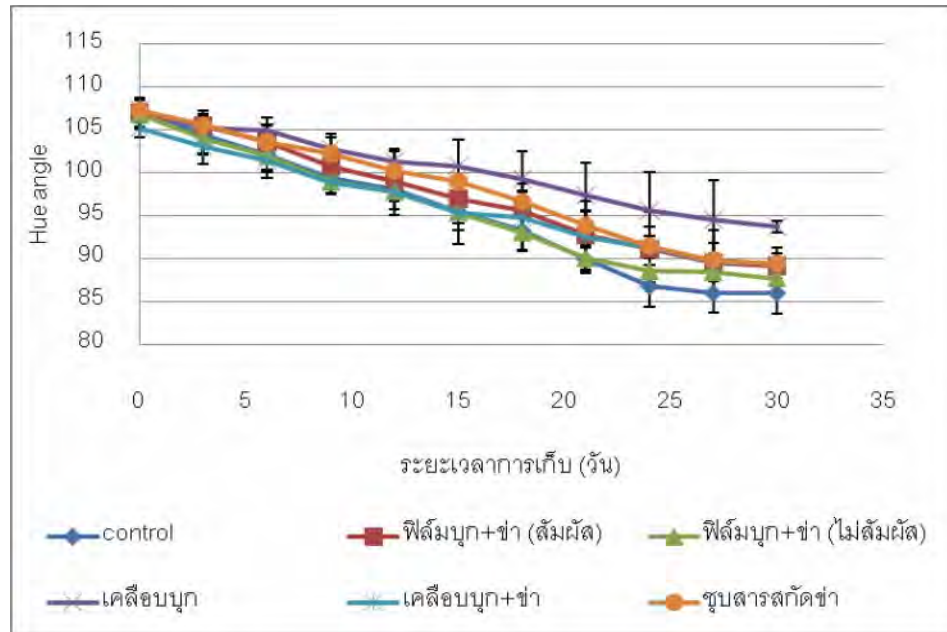
4.2.3.3 การเปลี่ยนแปลงสีของผิวเปลือก

ค่า hue angle

มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดจากข่ามีค่า hue angle ในวันเริ่มต้น เท่ากับ 105.21 ซึ่งต่ำกว่ามะม่วงในทุกชุดการทดลองที่มีค่า hue angle เริ่มต้นใกล้เคียงกันในช่วง 106.90-107.53 เนื่องจากมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกผสมสารสกัดจากข่านั้นมีสีน้ำตาลของสารสกัดข่าเคลือบติดอยู่ ทำให้ค่า hue angle ของเปลือกลดลง

การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของสีเปลือกมะม่วง ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมะม่วงทุกชุดการทดลองมีค่า hue angle ต่ำสุดเมื่อสิ้นสุดการทดลองคือในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ในช่วงวันที่ 18-30 ของการเก็บรักษา มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกมีค่า hue angle มากกว่ามะม่วงชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า hue

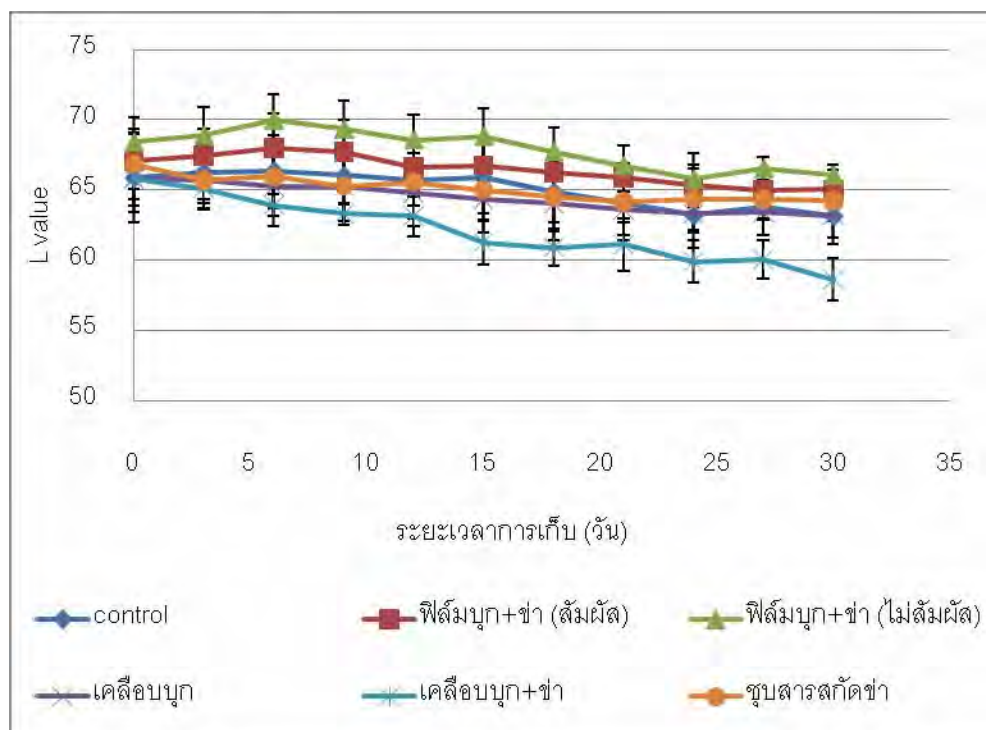
angle ที่น้อยที่สุด เช่นเดียวกับมะม่วงที่การเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดจากข่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ที่ค่อนข้างต่ำ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่มะม่วงชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ที่สูง โดยเฉพาะในช่วงท้ายของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ค่า Hue angle ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^\circ\text{C}$

ค่า L

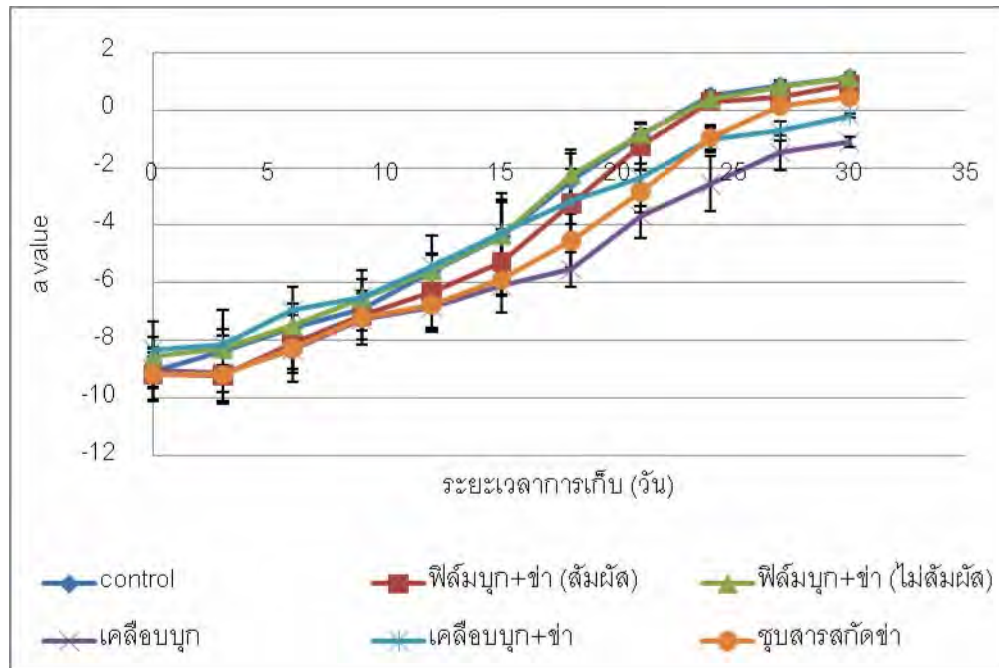
มะม่วงมีค่า L ในวันเริ่มต้นในช่วง 65.81 - 68.40 การเปลี่ยนแปลงค่า L ของสีเปลือกมะม่วง ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมะม่วงทุกชุดการทดลองมีค่า L ต่ำที่สุดเมื่อสิ้นสุดการทดลองคือในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ในช่วงวันที่ 15-30 ของการเก็บรักษามะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยบุกผสมสารสกัดจากข่า มีค่า L น้อยกว่ามะม่วงชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า L ที่ลดลงมากกว่ามะม่วงชุดการทดลองอื่นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ทั้งนี้เนื่องมาจากสีของสารสกัดจากข่าที่ใช้เคลือบร่วมกับบุกทำให้สีเปลือกของมะม่วงมีสีที่คล้ำกว่ามะม่วงในทุกชุดการทดลอง ในช่วงเวลาต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ค่า L ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$

ค่า a

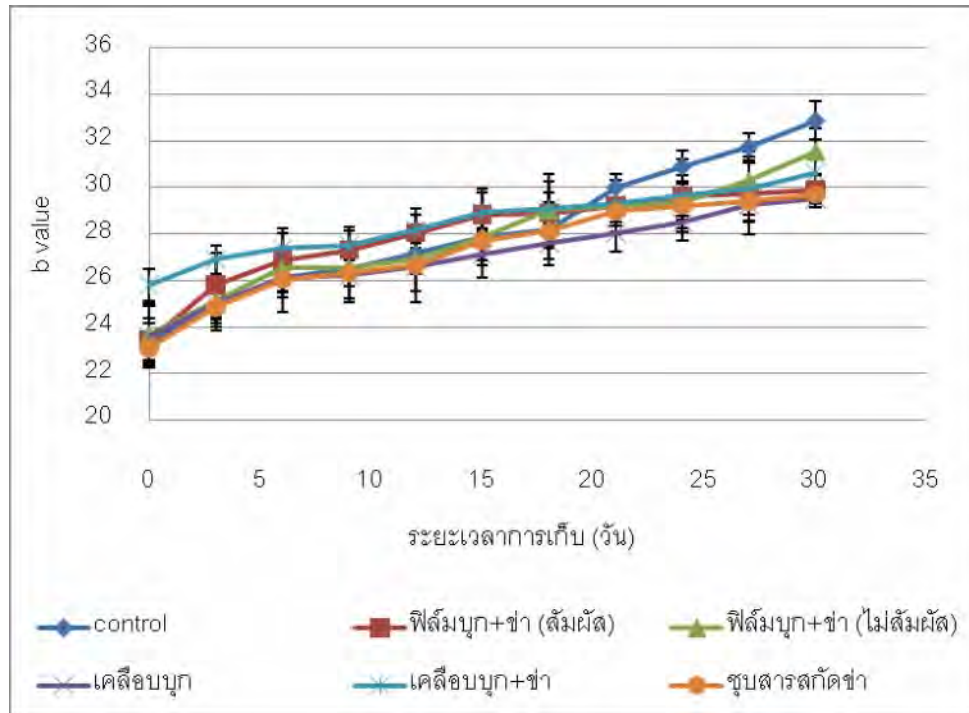
มะม่วงมีค่า a ในวันเริ่มต้นในช่วง -8.33 ถึง -9.18 การเปลี่ยนแปลงค่า a ของสีเปลือกของมะม่วง ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมะม่วงทุกชุดการทดลองมีค่า a สูงสุดเมื่อสิ้นสุดการทดลองคือในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ในช่วงวันที่ 18-30 ของการเก็บรักษา มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยบวกมีค่า a น้อยกว่ามะม่วงชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า a ที่น้อยที่สุด ในขณะที่มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบวกผสมสารสกัดจากชา มีค่า a มากกว่ามะม่วงทุกชุดการทดลองในช่วง 15 วันแรก อีกทั้งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า a ที่ค่อนข้างน้อย ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่า a ที่ใกล้เคียงกันในช่วงท้ายของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 ค่า *a* ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^\circ\text{C}$

ค่า *b*

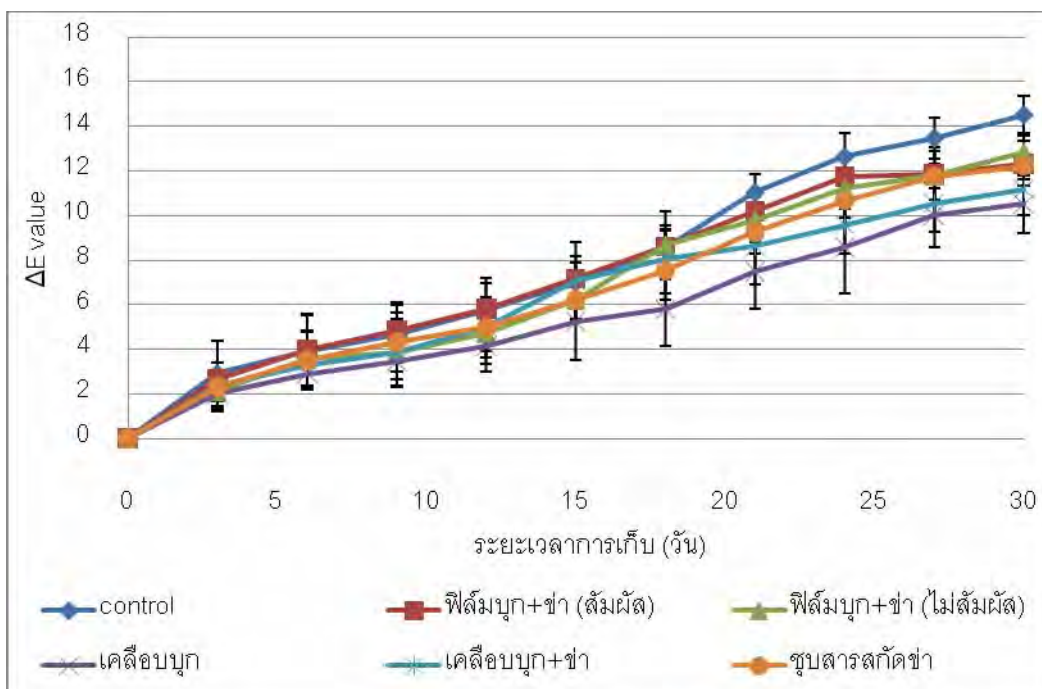
การเปลี่ยนแปลงค่า *b* ของสีเปลือกของมะม่วง ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมะม่วงทุกชุดการทดลองมีค่า *b* สูงสุดเมื่อสิ้นสุดการทดลองคือในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยบุกมีค่า *b* น้อยกว่ามะม่วงชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า *b* ที่น้อยที่สุด ในขณะที่มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดจากชา มีค่า *b* มากกว่ามะม่วงในทุกชุดการทดลองในช่วง 18 วันแรก อีกทั้งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า *b* ที่ค่อนข้างน้อย ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมะม่วงชุดควบคุมมีค่า *b* ที่มากกว่ามะม่วงทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงวันที่ 24-30 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ค่า b ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^\circ\text{C}$

ค่า ΔE

การเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ค่า ΔE) ไปจากค่าเริ่มต้นของสีเปลือกมะม่วงในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายขี้ผึ้งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE น้อยที่สุด โดยในช่วงวันที่ 18-30 ของการเก็บรักษา มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายขี้ผึ้งมีการเปลี่ยนแปลงของค่า ΔE น้อยกว่ามะม่วงที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายขี้ผึ้งผสมสารสกัดจากขี้ผึ้งมีการเปลี่ยนแปลงของค่า ΔE น้อยกว่ามะม่วงที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงวันที่ 27-30 ของการเก็บรักษา ในขณะที่มะม่วงชุดควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงของค่า ΔE มากกว่ามะม่วงชุดการทดลองอื่นในช่วงวันที่ 27-30 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ค่า ΔE ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^\circ\text{C}$

สีเปลือกของมะม่วงมีสีเขียวเมื่อยังไม่แก่ และมีสีเหลืองเมื่อสุกมากขึ้น โดยมะม่วงที่ใช้ทำการทดลองก็มีการเปลี่ยนจากสีเขียวของเปลือกไปเป็นสีเหลืองเมื่อมีการสุกมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่า a และ ค่า b ของเปลือกที่เพิ่มมากขึ้น และค่า hue angle ของเปลือกที่ลดลง ซึ่งมะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกและสารละลายบุกผสมสารสกัดขี้ มีการเปลี่ยนแปลงค่า a , b , hue angle และ ค่า ΔE ของเปลือกน้อยกว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้เคลือบผิว แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบผิวจากบุกและสารละลายบุกผสมสารสกัดขี้สามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะม่วงได้

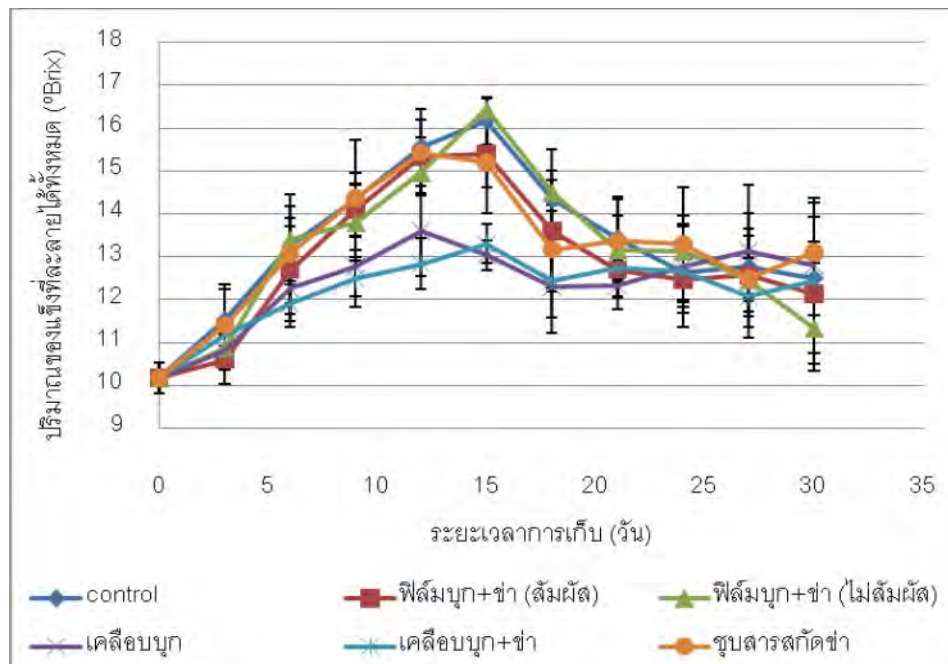
ทั้งนี้การชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกน่าจะเกิดจากการที่สารเคลือบผิวที่ใช้ก่อให้เกิดสภาพบรรยากาศดัดแปลงเกิดขึ้นภายในผล เนื่องจากสารเคลือบนี้ทำหน้าที่เหมือนกับพลาสติกฟิล์ม ซึ่งทำให้เกิดสภาพดัดแปลงบรรยากาศ โดยสามารถลดการเข้าออกของออกซิเจน ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนลดต่ำลงและทำให้ชะลอการสุกของผลมะม่วง รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกด้วย (Banks *et al*; 1997)

โดยปกติในผลไม้จะมีคาโรทีนและแซนโทฟิลล์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย แต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ ต่อเมื่อผลไม้เข้าสู่ระยะสุกแก่ เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ จึงทำให้สีของคาโรทีนน้อยด์ปรากฏให้เห็น ซึ่งสาเหตุของการสลายตัวของคลอโรฟิลล์สาเหตุหนึ่งคือ double bond ในวงแหวน porphyrin ถูกทำลายลง ซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยการออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน (จรัสแท้ ศิริพานิช, 2549) ดังนั้นการเคลือบผิวจึงช่วยชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ เนื่องจากการเคลือบผิวทำให้เกิดสภาพบรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ สอดคล้องกับ Hoa และ Ducamp (2008) ที่รายงานว่าสารเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ Cat Hoa Loc ด้วยสารเคลือบผิวจาก Soybean

lecithin ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะม่วงได้ดีกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน

4.2.3.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS)

มะม่วงมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 10.17°Brix และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาจนถึงประมาณวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงเล็กน้อย และมีค่าใกล้เคียงกันในวันที่ 21 จนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง โดยมะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกหรือสารละลายบุกผสมสารสกัดข่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว ซึ่งมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกทั้ง 2 ชุดการทดลองมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงวันที่ 12-15 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ในช่วงแรกของการเก็บรักษา มะม่วงยังดิบอยู่และมีอัตราการหายใจที่ต่ำ แบ่งที่สะสมในผลมะม่วงเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารหรือพลังงานในการหายใจ โดยเอนไซม์กระบวนการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส (amylase) ไปสลายแป้งให้กลายเป็นน้ำตาล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะม่วงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุดประมาณวันที่ 15 ของการเก็บรักษา หลังจากวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ผลมะม่วงจะเข้าสู่ระยะการสุกที่มากขึ้น โดยมะม่วงจะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้ประเภทไคลแมเทอริก (climacteric fruit) คือมีอัตราการ

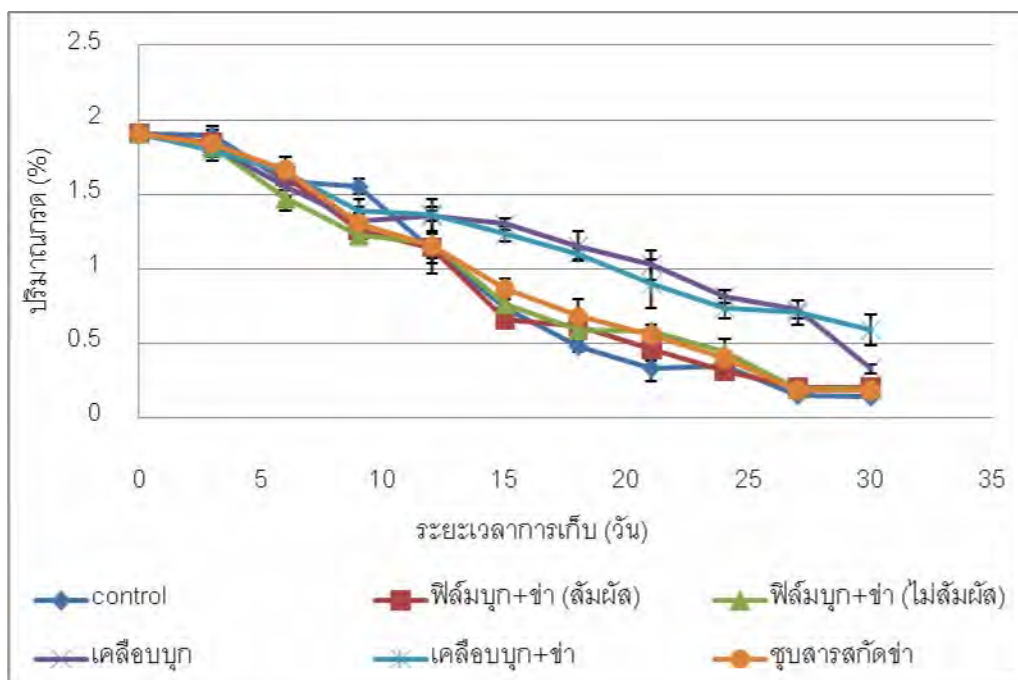
หายใจที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลมีการสุก (दन्य बुन्येयति, 2540) ทำให้การนำโมเลกุลน้ำตาลที่สะสมไว้ในผลเพื่อใช้ในการหายใจจึงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มะม่วงมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดค่อยๆ ลดต่ำลง

Vasquez-Caicedo และคณะ (2002) รายงานว่าน้ำตาลที่พบมากที่สุดในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 คือ ซูโครส รองลงมาได้แก่ฟรุคโตส และกลูโคส ตามลำดับ นิธิยา รัตนปนนท์ และदन्य बुन्येयति (2533) รายงานว่าน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสที่สะสมไว้ในผลมะม่วงมีปริมาณลดลงเนื่องจากถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไพรูวิก (pyruvic acid) โดยเอนไซม์หลายชนิดในกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis pathway) เพื่อใช้ในกระบวนการหายใจ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชีระ วัฒนศิริเวช (2545) ที่รายงานว่ามีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตสในเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่สูงหลังการเก็บเกี่ยว มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อผลมะม่วงสุกพอดี แต่จะมีปริมาณลดลงเมื่อผลมะม่วงสุกจัด ส่งผลให้มะม่วงมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง

ผลมะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกหรือสารละลายบุกผสมสารสกัดข่ามีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว เพราะการเคลือบผิวทำให้อัตราการหายใจของผลลดลงจึงส่งผลต่อการสลายตัวของแป้งไปเป็นน้ำตาลลดลง นวรัตน์ พัฒนศิริ (2544) ใช้สารเคลือบผิวจากไคโตซาน เคลือบผิวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 พบว่ามะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดได้ต่ำกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C เป็นเวลา 40 วัน เช่นเดียวกับ Hoa และ Ducamp (2008) ที่รายงานว่าการเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ Cat Hoa Loc ด้วยสารเคลือบผิวจาก Soybean lecithin ช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน

4.2.3.5 ปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ (TA)

มะม่วงมีปริมาณกรดที่ไทเตรตได้เมื่อเริ่มต้นเท่ากับ 1.91 % โดยปริมาณกรดมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา และมะม่วงทุกชุดการทดลองมีปริมาณกรดต่ำสุดเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาคือในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา โดยมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกและมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกผสมสารสกัดข่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดลดลงน้อยกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตั้งแต่วันที่ 15 ถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษา แต่การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดของมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก หรือสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากข่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จนถึงวันที่ 27 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ $13\pm1^{\circ}\text{C}$

ในกระบวนการ Krebs' cycle ของกระบวนการหายใจที่เกิดขึ้นในผลไม้มีกรดอินทรีย์หลายชนิดที่เกี่ยวข้อง โดยกรดอินทรีย์เหล่านี้ถูกสร้างขึ้นจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต และถูกใช้ไประหว่างกระบวนการหายใจภายในเซลล์ ซึ่งกรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุด ในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 คือ กรดซิตริก (citric) รองลงมาคือกรดมาลิก (malic) และกรดซักซินิก (succinic) ตามลำดับ (Vasquez-Caicedo *et al*; 2002) โดยทั่วไปในขณะที่มะม่วงเมื่อยังอ่อนจะมีปริมาณกรดอยู่สูง แต่เมื่อมะม่วงเริ่มแก่จัดและเข้าสู่การสุก ปริมาณกรดส่วนใหญ่จะลดลงเนื่องจากถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจเพื่อสร้างพลังงาน นอกจากนี้ยังอาจถูกใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบอื่นๆ อีกด้วย เช่น ketoglutaric acid อาจถูกนำไปใช้ในการสร้างคลอโรฟิลล์ หรือถูกใช้ในการสร้าง glutamic acid และ glutamine นอกจากนี้ succinyl CoA อาจถูกใช้ในการสังเคราะห์ไซโตโครมด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) จึงทำให้ปริมาณกรดในมะม่วงลดลงในระหว่างการสุก

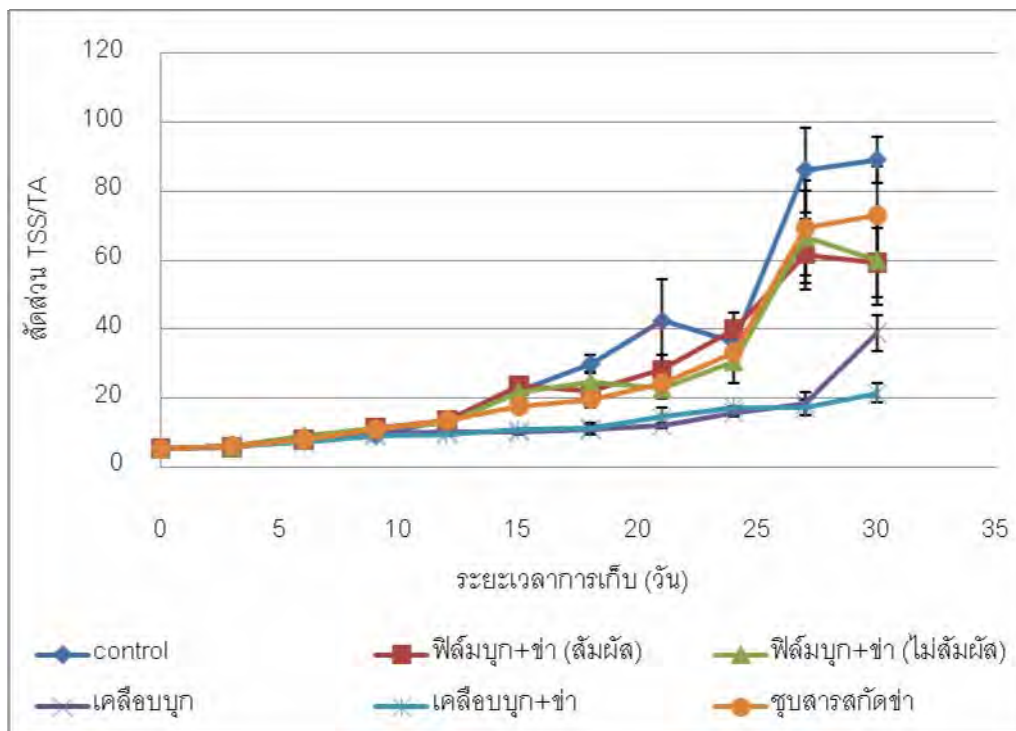
จากผลการทดลอง มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายขี้มีการลดลงของปริมาณกรดช้ากว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว เพราะการเคลือบผิวทำให้ผลผลิตผลของการหายใจ ดังนั้นการใช้กรดไปในการหายใจจึงเกิดอย่างช้าๆ ทำให้ผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยขี้มีการลดลงของปริมาณกรดเป็นไปอย่างช้าๆ โดย Baldwin และคณะ (1999) รายงานว่าการเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ด้วยสารเคลือบผิวจาก Carnauba Wax ช่วยชะลอการลดลงของปริมาณกรดได้มากกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C เป็นเวลา 19 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 4 วัน เช่นเดียวกับ นวรัตน์ พัฒนศิริ (2544) ที่ใช้สารเคลือบผิวจากโคโคซาน เคลือบผิวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 พบว่ามะม่วงที่เคลือบผิวด้วยโคโคซานมีการลดลงของปริมาณกรดช้ากว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C เป็นเวลา 40 วัน อีกทั้ง

Hoa และ Ducamp (2008) ที่รายงานว่า การเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ Cat Hoa Loc ด้วยสารเคลือบผิวจาก Soybean lecithin ช่วยชะลอการลดลงของปริมาณกรดได้มากกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน

4.2.3.6 อัตราส่วน TSS/TA

เมื่อมะม่วงเริ่มสุกจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ที่มากขึ้น และมีปริมาณกรดที่ใดเทรทได้ (TA) ที่น้อยลง ดังนั้นผลมะม่วงที่สุกจะมีอัตราส่วนของ TSS/TA มากกว่ามะม่วงดิบ

จากการทดลองมะม่วงมีอัตราส่วน TSS/TA เมื่อเริ่มต้นเท่ากับ 5.33 และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน โดยมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกหรือสารละลายบุกผสมสารสกัดข่ามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วน TSS/TA น้อยกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงวันที่ 12 - 30 ของการเก็บรักษา ในขณะที่มะม่วงชุดควบคุมมีอัตราส่วน TSS/TA สูงที่สุดในวันสิ้นสุดการเก็บรักษา คือ 89.04 ดังแสดงในภาพที่ 4.12



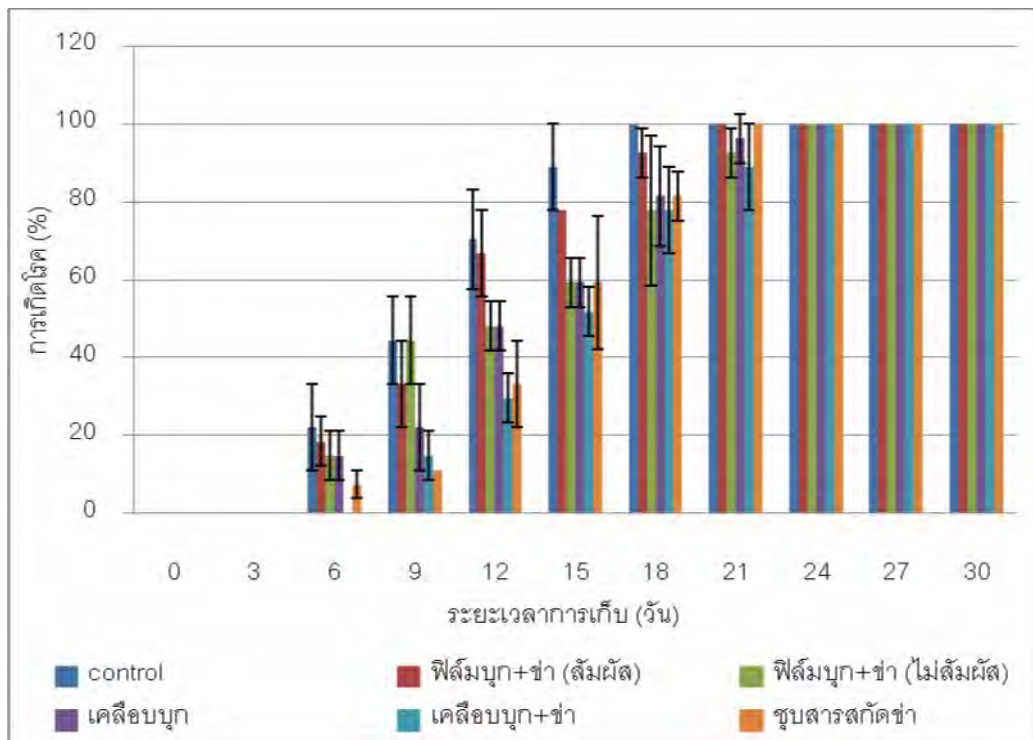
ภาพที่ 4.12 อัตราส่วน TSS/TA ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^\circ\text{C}$

โดยอัตราส่วน TSS/TA เป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวมะม่วง เป็นตัวชี้วัดการสุก และรสชาติของมะม่วง โดยมะม่วงที่มีอัตราส่วน TSS/TA สูงเป็นการบ่งบอกว่ามะม่วงนั้นมีรสหวานมากกว่า (Mizrach *et al.*, 1999) การใช้

อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำตาลกับปริมาณกรดที่ไทเทรตได้มีความสัมพันธ์กับวัยของผลไม้มากกว่า โดยเฉพาะในผลไม้ที่มีการสะสมทั้งน้ำตาลและกรดในปริมาณที่สูง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

4.2.3.7 การเกิดโรค

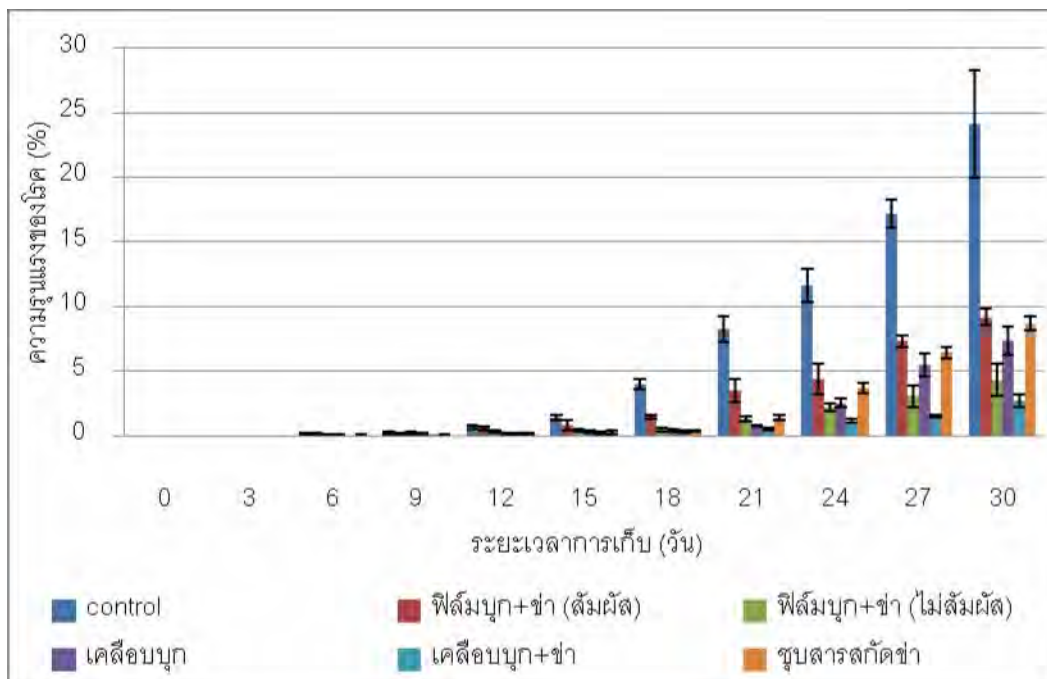
ตั้งแต่วันแรกจนถึงวันที่ 3 ของการเก็บรักษา มะม่วงทุกชุดการทดลองไม่ปรากฏอาการของโรคแอนแทรกโนส แต่หลังจากการเก็บรักษานาน 6 วัน จะเริ่มปรากฏอาการของโรคบนผิวเปลือกของมะม่วง แต่มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดจากข้าวเริ่มเกิดโรคในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการเกิดโรคน้อยที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค 100 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา รองลงมาคือมะม่วงที่เคลือบด้วยสารสกัดจากข้าว และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก ในขณะที่มะม่วงชุดควบคุมมีอัตราการเพิ่มขึ้นของการเกิดโรคมากที่สุด และมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคครบ 100 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีการเกิดโรคที่เร็วกว่ามะม่วงชุดการทดลองอื่น ดังแสดงในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 การเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$

4.2.3.8 ความรุนแรงของโรค

ความรุนแรงของโรคแอนแทรกโนบนผลมะม่วง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมะม่วงชุดควบคุมมีการเพิ่มขึ้นของความรุนแรงของโรคมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงวันที่ 15-30 ของการเก็บ รองลงมาได้แก่ มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่ก้นพื้นกล่อง (แผ่นฟิล์มสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) มะม่วงที่เคลือบด้วยสารสกัดชา มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดจากชา มีค่าเท่ากับ 9.18, 8.65, 7.35, 4.31 และ 2.72 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 ความรุนแรงของโรค ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ $13 \pm 1^{\circ}\text{C}$

ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวมาใหม่ๆ ยังมีโครงสร้างที่แข็งแรง สามารถป้องกันการเข้าทำลายจากศัตรูพืชได้ดี โดยเนื้อเยื่อที่อยู่ชั้นนอกสุดของพืชได้แก่ epidermis และ periderm ป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ได้ เพราะ epidermis มีผนังเซลล์ด้านนอกหนา การที่เชื้อจุลินทรีย์จะเจริญผ่านเข้ามาโดยอาศัยแรงหรือใช้เอนไซม์ย่อยทำได้ยาก นอกจากนั้น epidermis ยังมีชั้นของคิวติเคิลปกคลุม ในคิวติเคิลมีคิวตินและไขมันประกอบ สารประกอบทั้ง 2 ประเภทมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ไม่สะสมน้ำ ดังนั้นเมื่อสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ มาตกลงบนผิวของผลผลิต จึงได้รับความชื้นไม่เพียงพอสำหรับการงอก (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

อีกทั้งผนังเซลล์ของผลิตผลมีความแข็งแรงเมื่อเก็บเกี่ยวมาใหม่ๆ หรือเมื่อกระบวนการสุกยังไม่เกิดขึ้น โมเลกุลของ pectin, hemicellulose และ cellulose ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์เกาะยึดกันแน่น เชื้อโรคเข้าทำลายได้ยาก แต่ภายหลังการเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะเมื่อมีกระบวนการสุกเกิดขึ้น โครงสร้างของผนังเซลล์เริ่มเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของ pectin และ hemicellulose ถูกเอนไซม์ย่อยสลาย การยึดเกาะกันของโมเลกุลต่างๆ และการยึดเกาะกันระหว่างเซลล์ลดลง เปิดโอกาสให้เชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ บุกรุกเข้าไปภายในผลิตผลนั้นๆ ได้นอกจากนี้ผลิตผลทุกชนิดยังมีช่องเปิดตามธรรมชาติได้แก่ ปากใบ (stomata) และเลนติเซล (lenticel) ซึ่งใช้เป็นช่องทางในการระบายอากาศ ก๊าซต่างๆ และน้ำผ่านเข้าออกได้ จึงเป็นจุดอ่อนที่เชื้อจุลินทรีย์อาจเข้าทำลายทางช่องเปิดเหล่านี้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

โดยกระบวนการเกิดโรคเมื่อสปอร์หรือชิ้นส่วนของเชื้อจุลินทรีย์ตกลงบนผลิตผลแล้ว เชื้อจุลินทรีย์จะเข้าสู่ภายในผลิตผลได้โดยผ่านทางช่องเปิดต่างๆ ตามธรรมชาติ ตามบาดแผลที่มีอยู่ หรือเข้าทำลายผ่านทางคิวติเคิลโดยสปอร์ของเชื้อรา *C. gloeosporioides* เมื่อตกลงบนมะม่วงและมีสภาพ อุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสม สปอร์จะงอกเป็นท่อที่เรียกว่า germ tube และ เชื้อรา *C. gloeosporioides* สามารถสร้างเอนไซม์ cutinase ที่มีคุณสมบัติในการย่อยสลายคิวติน โดย germ tube จะงอกเป็นแท่งขนาดเล็ก เรียกว่า infection peg ผ่านทะลุคิวติเคิลเข้าไปในเซลล์พืช แล้ว infection peg ก็จะพัฒนาแบ่งตัวแตกกิ่งก้านสาขา (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิวก็จะไปปกคลุม ทับ หรือทดแทนไขที่เคยมียู่ ช่วยปิดช่องเปิดต่างๆ ตามธรรมชาติของผลไม้ ทำให้เชื้อโรคเข้าทำลายผลิตผลได้น้อยลงกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว อีกทั้งมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกผสมสารสกัดชา มีองค์ประกอบของสารสกัดชาที่มีฤทธิ์ช่วยยับยั้งเชื้อรา *C. gloeosporioides* อยู่แล้ว ก็ยังสามารถควบคุมการเกิดโรคและชะลอความรุนแรงของโรคแอนแทรคโนสบนผลมะม่วงได้ดียิ่งขึ้น

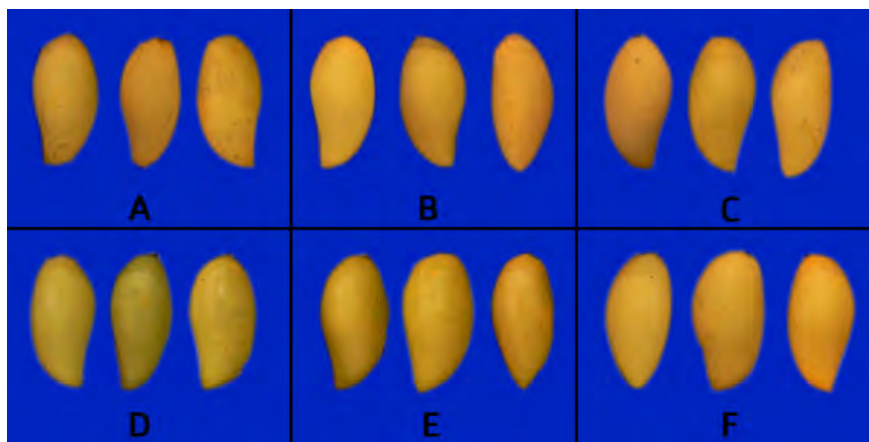
Park และคณะ (2006) ที่รายงานว่า การเคลือบผิวผลสตรอเบอร์รี่ด้วย Chitosan ผสม Potassium sorbate 0.3% (w/v) สามารถยับยั้งเชื้อรา *Cladosporium* sp. และ *Rhizopus* sp. ได้ดี ที่อุณหภูมิ 5°C โดยสามารถยับยั้งเชื้อราได้ดีกว่าสารเคลือบผิวไคโตซาน ที่ไม่ได้ผสม Potassium sorbate และสตรอเบอร์รี่ที่ไม่ได้เคลือบผิวมีปริมาณเชื้อราดังกล่าวมากที่สุด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

นอกจากนั้นยังมีการใช้ฟิล์มไบโโกล์ต้านจุลินทรีย์กับผลไม้สดแต่ง โดย Rojas-Grau และคณะ (2007) ศึกษาผลของการเติม lemongrass, oregano oil และ vanillin ลงในสารเคลือบ alginate-apple puree ต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บนชิ้นแอปเปิ้ลตัดแต่งตลอด 21 วัน พบว่า สารเคลือบ alginate-apple puree ที่เติม lemongrass (1.0% ,1.5% v/v) และ oregano oil (0.5% v/v) สามารถยับยั้งการเจริญของ native psychrophilic aerobe, mould และ yeast ในแอปเปิ้ลได้ดีที่สุดใกล้เคียงกัน โดยสารเคลือบที่เติมน้ำมันหอมระเหยทุกชนิดสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้มากกว่าสารเคลือบที่ไม่เติมน้ำมันหอมระเหย เช่นเดียวกับ Raybaudi-Massilia และคณะ (2008) ศึกษาผลของการเติมน้ำมันหอมระเหย (cinnamon, palmarosa และ lemongrass) และสารสกัดออกฤทธิ์ (eugenol, geraniol และ citral) ลงในสารเคลือบที่ไบโโกล์ได้ alginate ต่อการลดลงของปริมาณเชื้อ *Salmonella* Enteritidis ที่ถ่ายลงไปบนชิ้นเมลอนตัดแต่งตลอด 21 วันของการเก็บรักษา พบว่า ชิ้นเมลอนตัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบ alginate ที่เติมน้ำมันหอมระเหย และสารสกัดออกฤทธิ์ทุกชนิด มีปริมาณเชื้อ *S. Enteritidis* บนชิ้นเมลอนต่ำกว่า ชิ้นเมลอนที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่ไม่ได้เติมสารต้านจุลินทรีย์ และชิ้นเม

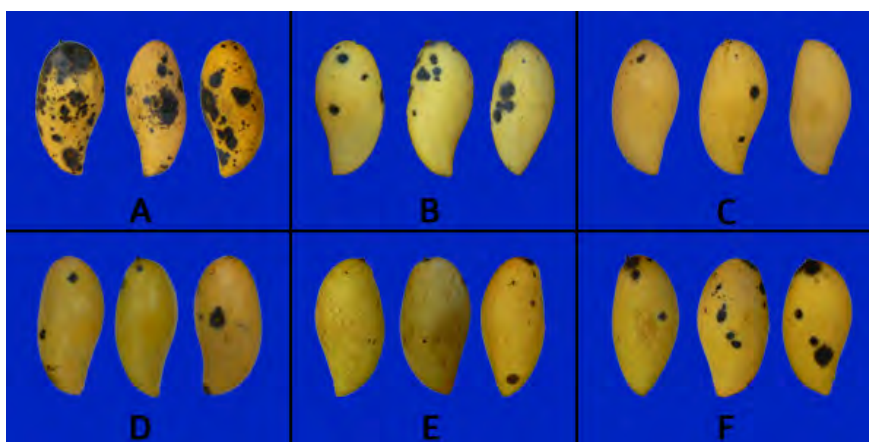
ลอนที่ไม่ได้เคลือบด้วยสารเคลือบ alginate โดยสารเคลือบ alginate ที่มี Cinnamon (0.7% v/v) สามารถลดปริมาณเชื้อได้มากที่สุดในช่วงแรกของการเก็บ

ในขณะที่การใช้แผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาที่นำไปวางในกล่องเก็บรักษามะม่วง ให้ผลว่าสามารถลดความรุนแรงของโรคแอนแทรกโนสได้ เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของสารสกัดชาซึ่งประกอบด้วยพวก monoterpene และ sesquiterpene (Mayachiew and Devahastin, 2008) ซึ่งสามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิธรรมดา (รัตน อินทรานุปกรณ์, 2550) จึงระเหยและแพร่กระจายออกจากฟิล์ม มีผลมายับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ แต่พบว่ามะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่ปากกล่อง มีความรุนแรงของโรคมากกว่ามะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่ปากกล่อง เนื่องจากแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาที่วางอยู่ปากกล่องจะโดนมะม่วงทับ ทำให้มีพื้นที่ในการระเหยของสารสกัดชาได้น้อยกว่าแผ่นฟิล์มที่ติดไว้ที่ปากกล่อง แผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาที่อยู่ปากกล่องจึงมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราได้น้อยกว่า นิติพงษ์ วงศ์นิมิตรกุล และคณะ (2551) ใช้ฟิล์มบุกผสมน้ำมันกานพลูความเข้มข้น 20,000 ppm และ 30,000 ppm วางในภาชนะที่เก็บรักษามะเขือเทศตัดแต่ง ที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 5 วัน พบว่า สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้มากกว่า 23 วัน และ 29 วัน ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ามะเขือเทศชุดควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษาเพียง 11 วัน สอดคล้องกับ Gamage และคณะ (2009) รายงานว่าสามารถใช้สารเคลือบ soy protein isolate (SPI) ที่ผสมสารต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial agent) คือ allyl isothiocyanate, trans-cinnamaldehyde, garlic oil และ rosemary oil ในช่วงความเข้มข้น 0.6–1.2% v/v แล้วเคลือบลงบนถุงฟิล์ม OPP/PE แล้วนำ alfalfa, broccoli และ radish ไปเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 5 วัน พบว่า สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่นับได้ทั้งหมดของ alfalfa, broccoli และ radish ได้มากกว่าสารเคลือบ soy protein isolate (SPI) ที่ไม่ได้ผสมสารต้านจุลินทรีย์ลงไป เนื่องจากสารต้านจุลินทรีย์ทุกชนิดมีการแพร่กระจาย (diffuse) ออกมาควบคุมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้

อีกทั้งการใช้สารสกัดชาชุบผลมะม่วงโดยตรงก่อนการเก็บรักษา ก็สามารถลดความรุนแรงของโรคแอนแทรกโนสได้เช่นกัน อนุวัฒน์ จรัสรัตน์ไพบุลย์ (2545) ได้ใช้สารสกัดจากชา ความเข้มข้น 100 ppm ชุบมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่าสามารถลดเปอร์เซ็นต์การเข้าทำลายของโรคแอนแทรกโนสได้เกือบประมาณ 2 เท่า หากเปรียบเทียบกับมะม่วงที่ไม่ได้ชุบสารสกัด เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 วัน



ภาพที่ 4.15 ลักษณะปรากฏของมะม่วงชุดควบคุม (A), มะม่วงที่สัมผัสกับแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาโดยตรง (B), มะม่วงที่ไม่ได้สัมผัสกับแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาโดยตรง (C), มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก (D), มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดชา (E) และ มะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดชา (F) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 วัน



ที่ 4.16 ลักษณะปรากฏของมะม่วงชุดควบคุม (A), มะม่วงที่สัมผัสกับแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาโดยตรง (B), มะม่วงที่ไม่ได้สัมผัสกับแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาโดยตรง (C), มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก (D), มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดชา (E) และ มะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดชา (F) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $13\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 วัน

สารเคลือบผิวจากบุกช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงได้ โดยสารเคลือบผิวจากบุก และสารเคลือบผิวจากบุกผสมสารสกัดชาสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรด และช่วยลดความรุนแรงของโรคแอนแทรคโนสได้

ในขณะที่แผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาก็สามารถลดความรุนแรงในการเกิดโรคแอนแทรกซ์ได้เช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน

นอกจากการพิจารณาความสามารถในการช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพและการเกิดโรคของมะม่วงแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงผลของการใช้ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรต่อลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสควบคู่ด้วยเพื่อให้เป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภค

4.2.3.9 การยอมรับคุณภาพของผู้บริโภค

การประเมินการยอมรับคุณภาพของผู้บริโภค ที่มีต่อมะม่วงในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา คือวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ใช้วิธี 9-Point Hedonic Scale Test ให้คะแนนตั้งแต่ 1-9 ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 25 คน ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.4 นอกจากนี้ยังได้ทดสอบเปรียบเทียบมะม่วงแต่ละชุดการทดลองกับมะม่วงที่สุกและมีคุณภาพดี ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ $13\pm1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 วัน

ชุดทดลอง	สีของเปลือก	สีของเนื้อ	เนื้อสัมผัส	กลิ่น	การยอมรับโดยรวม
control	1.76 ± 0.81^a	5.20 ± 1.87^a	3.92 ± 1.66^a	8.00 ± 1.19^c	2.76 ± 1.12^a
ฟิล์มบุก+ชา (สัมผัส)	4.12 ± 1.13^{bc}	5.88 ± 1.51^{ab}	6.24 ± 1.23^b	7.64 ± 1.08^c	4.60 ± 1.47^{bc}
ฟิล์มบุก+ชา (ไม่สัมผัส)	6.12 ± 1.45^d	6.20 ± 1.26^b	6.20 ± 1.12^b	7.56 ± 1.47^c	6.32 ± 1.46^d
เคลือบบุก	5.48 ± 1.23^d	6.08 ± 1.55^{ab}	6.32 ± 1.46^b	4.44 ± 1.08^b	5.36 ± 1.08^c
เคลือบบุก+ชา	3.80 ± 1.41^b	5.20 ± 1.41^a	5.88 ± 1.30^b	2.84 ± 1.25^a	3.88 ± 1.48^b
ซุสสารสกัดชา	4.56 ± 1.23^c	6.32 ± 1.38^b	5.80 ± 1.32^b	7.84 ± 1.11^c	5.24 ± 1.09^c

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ตารางที่ 4.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เปรียบเทียบกับ
มะม่วงที่สุกและมีคุณภาพดี เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ $13\pm1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 30 วัน

ชุดทดลอง	สีของเปลือก	สีของเนื้อ	เนื้อสัมผัส	กลิ่น	การยอมรับโดยรวม
control	1.72 ± 0.74^a	4.12 ± 1.67^a	3.24 ± 1.48^a	7.48 ± 1.61^d	2.80 ± 0.97^a
ฟิล์มบุก+ฆ่า (สัมผัส)	3.32 ± 1.23^b	5.72 ± 1.31^{cd}	6.04 ± 1.51^b	7.08 ± 1.41^{cd}	3.84 ± 1.34^{bc}
ฟิล์มบุก+ฆ่า (ไม่สัมผัส)	5.92 ± 1.32^c	5.68 ± 0.99^{cd}	5.96 ± 1.21^b	7.04 ± 1.40^{cd}	5.76 ± 1.30^e
เคลือบบุก	5.36 ± 1.85^c	6.04 ± 1.17^d	6.08 ± 1.50^b	4.40 ± 1.53^b	5.28 ± 1.54^{de}
เคลือบบุก+ฆ่า	3.80 ± 1.73^b	4.72 ± 1.31^{ab}	5.28 ± 1.57^b	2.52 ± 1.29^a	3.52 ± 1.56^{ab}
ซุบสารสกัดฆ่า	4.12 ± 1.64^b	5.12 ± 1.27^{bc}	5.40 ± 1.29^b	6.48 ± 1.48^c	4.68 ± 1.57^{cd}

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 30 ของการเก็บรักษา) พบว่า คะแนนการยอมรับในด้านสี เนื้อสัมผัส กลิ่น และการยอมรับโดยรวม ในแต่ละชุดทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

สีเปลือก

คะแนนการยอมรับสีเปลือกของมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดด้วยแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดฆ่าไวท์ฟลากลอง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก มีคะแนนการยอมรับที่ดีที่สุดไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เนื่องจากมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ปะแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดฆ่าไวท์ฟลากลองไม่ได้ผ่านการเคลือบหรือซุบสารสกัดใดๆ จึงยังคงลักษณะปรากฏที่ดีของสีเปลือกมะม่วงตามธรรมชาติไว้ได้ ส่วนเปลือกมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกนั้นมีลักษณะผิวที่มันเงากว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน ในขณะที่มะม่วงที่ซุบด้วยสารสกัดฆ่า มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดฆ่าไวท์ฟลากลอง (แผ่นฟิล์มสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกผสมสารสกัดฆ่า มีคะแนนการยอมรับสีเปลือกที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากสารสกัดฆ่าทำให้เกิดลักษณะปรากฏที่ไม่พึงประสงค์เกิดขึ้นที่ผิวของมะม่วง จึงทำให้คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่ำ ในขณะที่มะม่วงชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับของสีเปลือกน้อยที่สุดคือ 1.76 คะแนน (ตารางที่ 4.4) หากเปรียบเทียบระหว่างมะม่วงในแต่ละชุดการทดลองกับมะม่วงที่สุกและมีคุณภาพดี พบว่าคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงในชุดการทดลองต่างๆ นั้นมีแนวโน้มของการยอมรับทางด้านสีเปลือกลดลงเล็กน้อย ซึ่งมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดด้วยแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดฆ่าไวท์ฟลากลอง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก มีคะแนนการยอมรับที่ดีที่สุดไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ในช่วง 5.36-5.92 คะแนน รองลงมาคือ มะม่วงที่ซุบด้วยสารสกัดฆ่า มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกผสมสารสกัดฆ่า และมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดฆ่าไวท์ฟลากลอง

(แผ่นฟิล์มสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) มีคะแนนการยอมรับของสีเปลือกอยู่ในช่วง 3.32-4.12 คะแนน ในขณะที่มะม่วงชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับของสีเปลือกน้อยที่สุดคือ 1.72 คะแนน (ตารางที่ 4.5)

สีเนื้อ

มะม่วงชุดควบคุม และมะม่วงที่เคลือบบุกผสมสารสกัดชา มีคะแนนการยอมรับด้านสีของเนื้อต่ำที่สุดคือ 5.20 คะแนนเท่ากัน ในขณะที่มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่แปะแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่ฝากล่อง และมะม่วงที่ชุบสารสกัดชา มีคะแนนการยอมรับสีเนื้อที่ดีที่สุดคือ 6.20-6.32 คะแนน (ตารางที่ 4.4) หากเปรียบเทียบระหว่างมะม่วงในแต่ละชุดการทดลองกับมะม่วงที่สุกและมีคุณภาพดี พบว่าคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงในชุดการทดลองต่างๆ นั้นมีแนวโน้มของคะแนนการยอมรับทางด้านสีเนื้อลดลงเล็กน้อย โดยมะม่วงชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับด้านสีของเนื้อต่ำที่สุดคือ 4.12 คะแนน ในขณะที่มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกมีคะแนนการยอมรับสีเนื้อที่ดีที่สุดคือ 6.04 คะแนน (ตารางที่ 4.5)

เนื้อสัมผัส

มะม่วงชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสต่ำที่สุด คือ 3.92 คะแนน ในขณะที่มะม่วงชุดการทดลองอื่นๆ มีคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในช่วง 5.80-6.32 คะแนน (ตารางที่ 4.4) หากเปรียบเทียบระหว่างมะม่วงในแต่ละชุดการทดลองกับมะม่วงที่สุกและมีคุณภาพดี พบว่าคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงในชุดการทดลองต่างๆ นั้นมีแนวโน้มของคะแนนการยอมรับทางด้านเนื้อสัมผัสลดลงเล็กน้อย ซึ่งมะม่วงชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสต่ำที่สุด คือ 3.24 คะแนน เนื่องจากเนื้อของมะม่วงชุดควบคุมมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างนิ่ม และ มากกว่าเนื้อของมะม่วงชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองความแน่นเนื้อที่พบว่าในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา มะม่วงชุดควบคุมมีความแน่นเนื้อต่ำที่สุด ในขณะที่มะม่วงชุดการทดลองอื่นๆ มีคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในช่วง 5.28-6.08 คะแนน (ตารางที่ 4.5)

กลิ่น

มะม่วงชุดควบคุม มะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดชา มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่ก้นกล่อง (แผ่นฟิล์มสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) และมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดด้วยแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) มีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นดีสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในช่วง 7.56-8.00 คะแนน ในขณะที่มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดชา มีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นต่ำที่สุดคือ 2.84 คะแนน ส่วนมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกมีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่น 4.44 คะแนน (ตารางที่ 4.4) หากเปรียบเทียบระหว่างมะม่วงในแต่ละชุดการทดลองกับมะม่วงที่สุกและมีคุณภาพดี พบว่าคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงในชุดการทดลองต่างๆ นั้นมีแนวโน้มของคะแนนการยอมรับทางด้านกลิ่นลดลงเล็กน้อย โดยมะม่วงชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นสูงสุดคือ 7.48 คะแนน โดยมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดชา ยังคงมีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นต่ำที่สุดคือ 2.52 คะแนน และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกมีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่น 4.40 คะแนน (ตารางที่ 4.5)

ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับคุณภาพด้านกลิ่นของมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกหรือสารละลายบุกผสมสารสกัดชา เพราะมะม่วงดังกล่าวเกิดกลิ่นแปลกปลอม และกลิ่นหมักในระดับที่ผู้ทดสอบสัมผัสได้ เนื่องจากการเคลือบผิวผลไม่ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซลดน้อยลง ปริมาณออกซิเจนภายในผลลดลงเพราะถูกใช้ไปในการหายใจ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น การที่ปริมาณออกซิเจนภายในผลต่ำเกินไปจะเป็นอันตรายต่อผลิตผลได้ เช่น อาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้เกิดการสะสมของแอลกอฮอล์และแอลดีไฮด์ ทำให้ผลผลิตมีอาการผิดปกติ ทำให้เกิดกลิ่น และรสชาติผิดปกติไปด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

เทอดธวัช โสภณดิลก (2552) รายงานว่าการใช้สารเคลือบผิวจากบุก 0.1, 0.2 และ 0.3 % (w/v) เคลือบมะละกอพันธุ์เรดมาราตอล พบว่า คะแนนการเกิดกลิ่นหมักมีแนวโน้มที่สูงกว่ามะละกอที่ไม่ได้เคลือบผิว แต่กลิ่นหมักที่เกิดขึ้นดังกล่าวยังคงอยู่ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับได้

การยอมรับโดยรวม

คะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงในแต่ละชุดการทดลองพบว่า มะม่วงที่มีคะแนนการยอมรับโดยรวมมากที่สุดคือ มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) โดยได้คะแนน 6.32 คะแนน มะม่วงที่มีคะแนนการยอมรับโดยรวมต่ำที่สุดคือ มะม่วงชุดควบคุม มีคะแนนการยอมรับโดยรวมเท่ากับ 2.76 คะแนน (ตารางที่ 4.4) หากเปรียบเทียบระหว่างมะม่วงในแต่ละชุดการทดลองกับมะม่วงที่สูงและมีคุณภาพดี พบว่าคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงในชุดการทดลองต่างๆ นั้นมีแนวโน้มของคะแนนการยอมรับโดยรวมลดลงเล็กน้อย ซึ่งมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) มีคะแนนการยอมรับโดยรวมมากที่สุดคือ 5.76 คะแนน ในขณะที่มะม่วงชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับโดยรวมต่ำที่สุดคือ 2.80 คะแนน (ตารางที่ 4.5)

ซึ่งจากการทดสอบคะแนนการยอมรับด้านสีของเปลือก และเนื้อสัมผัส มีคะแนนการยอมรับที่ต่ำที่สุด จึงส่งผลต่อการยอมรับโดยรวมของมะม่วงชุดควบคุมให้มีการยอมรับที่ต่ำที่สุดด้วย ในขณะที่คะแนนด้านกลิ่นหมักของมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก หรือสารละลายบุกผสมสารสกัดชา มีคะแนนค่อนข้างสูง จึงส่งผลต่อการยอมรับโดยรวมของมะม่วงในชุดการทดลองดังกล่าว ทำให้มีการยอมรับที่ต่ำลง อีกทั้งมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่พื้นกล่อง (แผ่นฟิล์มสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกผสมสารสกัดชา และมะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดชา มีคะแนนการยอมรับด้านสีของเปลือกค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเกิดลักษณะปรากฏไม่พึงประสงค์ขึ้นที่ผิวเปลือกที่เกิดจากการเคลือบด้วยสารสกัดชาที่ผิว ส่งผลต่อการยอมรับโดยรวมที่ต่ำลงไป

4.3 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สารสกัดจากกระชายหรือข่าที่สกัดด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ดีที่สุด โดยทั้งสองสารสกัดมีค่า MIC และ MFC เท่ากับ 2,500 µg/ml ผลการยับยั้งเชื้อราของสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายและข่า พบว่าความเข้มข้น 10,000 µg/ml เป็นความเข้มข้นต่ำที่สุดที่เกิด

บริเวณยับยั้ง ส่วนความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราของฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดจากชาคือที่ความเข้มข้น 10,000 µg/ml ในขณะที่ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากกระชายความเข้มข้น 20,000 µg/ml เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ เมื่อนำฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากกระชายหรือขามาวัดสมบัติเชิงกลของฟิล์มพบว่ามีความต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัว และค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำน้อยกว่าฟิล์มบุกที่ไม่ผสมสารสกัด

เมื่อนำฟิล์มบริโกลได้จากสารละลายบุกผสมสารสกัดจากชาความเข้มข้น 30,000 µg/ml ไปใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C พบว่า สารเคลือบผิวจากสารละลายบุกช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงได้ โดยสารเคลือบผิวจากสารละลายบุก และสารเคลือบผิวจากสารละลายบุกผสมสารสกัดชาสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรด และช่วยลดความรุนแรงของโรคแอนแทรคโนสได้ แต่สารเคลือบผิวส่งผลให้มะม่วงเกิดกลิ่นหมัก ส่วนแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาสามารถลดความรุนแรงในการเกิดโรคได้ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน

ผลการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดชา พบว่ามีการยอมรับที่ดีในด้านสีของเนื้อ และเนื้อสัมผัส แต่มีการยอมรับที่ต่ำในด้านสีของเปลือก กลิ่น และการยอมรับโดยรวม ในขณะที่มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดด้วยแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) มีการยอมรับที่ดีในทุกด้านจากผู้บริโภค ดังนั้นการใช้ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรจึงน่าจะเป็นแนวทางที่เลือกนำมาใช้ในการรักษาคุณภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ได้ แต่ต้องไม่ให้ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง เพราะจะเกิดลักษณะปรากฏที่ไม่พึงประสงค์ขึ้นที่ผิวเปลือกของมะม่วง ทำให้การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงลดลง

ข้อเสนอแนะ

ฟิล์มบุกความเข้มข้น 1 % ผสมสารสกัดจากสมุนไพรที่ได้มีความแข็งแรงลดลงและขาดง่ายกว่าฟิล์มบุกที่ไม่ผสมสารสกัด จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์ม เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีความแข็งแรงและยืดตัวที่ดีขึ้น เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานได้ดีขึ้น

การใช้สารเคลือบผิวจากบุกเคลือบผลมะม่วง ควรมีการศึกษาถึงความเข้มข้นของสารละลายบุกที่เหมาะสมด้วย เพื่อให้ได้สารเคลือบผิวจากบุกที่ไม่ส่งผลให้มะม่วงเกิดกลิ่นหมัก

มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดชาไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) จะทำให้มะม่วงมีลักษณะปรากฏไม่พึงประสงค์ขึ้นที่ผิวเปลือกที่เกิดจากการสารสกัดชา ส่งผลต่อการยอมรับที่ต่ำลงไป ควรมีการหุ้มโฟมเน็ตให้มะม่วงก่อนการบรรจุลงในกล่องกระดาษ เพื่อป้องกันรอยเปื้อนสีน้ำตาลจากสารสกัดชานี้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง

4.4 เอกสารอ้างอิง

- กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ์ และอดิศักดิ์ เอกโสวรรณ. 2543. ฟิล์มแบ่งบุขนชนิดบรีโกลได้ : การเตรียมสมบัติบางประการ และการนำไปใช้ประโยชน์. อาหาร 30(1) : 44-51.
- จิ่งแท่ ศิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 6 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 396 หน้า.
- ชูสิทธิ์ หงษ์กุลทรัพย์. 2549. การผลิตผงบุกโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจายและการประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดนัย บุญเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของพืชสวน. คณะเกษตรศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 221 หน้า.
- ธีระ วัฒนศิริเวช. 2545. การศึกษาชนิดและปริมาณสารหอมระเหย น้ำตาล และกรดบางชนิดในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่มีระยะการสุกและสภาวะการสุกแตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นวรรตน์ พัฒนศิริ. 2544. ผลของการใช้สารเคลือบผิวที่รับประทานได้ต่ออายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นิติพงษ์ วงศ์นิมิตรกุล, เบญจมาศ อู่หา และปรีทัศน์ ฤกษ์ฤทัยรัตน์. 2551. ศึกษาการผลิตฟิล์มบรีโกลได้จากบุกผสมน้ำมันกานพลูเพื่อยืดอายุการเก็บมะเขือเทศ. โครงการวิทยาศาสตร์ปริญญาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประทีป คุณาศล. 2532. พันธุ์และลักษณะประจำพันธุ์. เอกสารวิชาการที่ 1 เรื่องมะม่วงสถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 8-12.
- รัตนา อินทรานุปกรณ์. 2550. การตรวจสอบและการสกัดสารสำคัญจากสมุนไพร 2. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 215 หน้า.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. สรีรวิทยาของพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 237 หน้า.
- สุภัทรา จามกระโทก, ชัยณรงค์ รัตนกริษากุล, ชลิดา เล็กสมบุรณ์, นวลวรรณ ฟ้างรังสา และอุดม ฟ้างรังสา. 2549. ผลของสารสกัดหยาบจากพืชสมุนไพรวงศ์ขิงในการต่อต้านราสาเหตุโรคพืชหลังการเก็บเกี่ยว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 37 (2) : 98-101.
- อนุวัฒน์ จรัสรัตนไพบูลย์. 2545. ผลของสารสกัดหยาบจากชาต่อโรคแอนแทรคโนสและการเจริญเติบโตของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- American Standard for Testing and Materials. 1999. Standard Test Method for Water Vapor Transmission of Materials. ASTM E 96-95. Annual book of ASTM standard. Philadelphia.
- A.O.A.C. 2006. Office Method of Analysis. AOAC International. Maryland.

- Baldwin, E.A., Burns, J.K., Kazokas, W., Brecht, J.K., Hagenmaier, R.D., Bender, R.J., and Pesis, E. 1999. Effect of two coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica*, L.) ripening during storage. Postharvest Biology and Technology. 17 : 215–226.
- Banks, N.H., Johnson, J.W., Watson, R.A., Kingsley A.W., and Mackay B.R. 1997. Coating to enhance fruit life, Searching for Quality. Joint Meeting of the Austratian Avocado Grower's Federation, Inc. and NZ Avocado Growers Association, Inc. pp. 46-54.
- Cheng, L.H., Karim, A.A., Norziah, M.H. and Seow, C.C. 2002. Modification of the microstructual and physical properties of konjac glucomannan-based film by alkali and sodium carboxymethylcellulose. Food Research International. 35 : 829-836.
- Eloff, J.N. 1998. A sensitive and quick microplate method to determine the minimal inhibitory concentration of plants extracts for bacteria. Planta Medica. 64 : 711-713.
- Gamage, G.R., Park, H.-J., and Kim, K.M. 2009. Effectiveness of antimicrobial coated oriented polypropylene/polyethylene films in sprout packaging. Food Research International. 42 : 832–839.
- Hoa, T.T., and Ducamp, M.-N. 2008. Effects of different coatings on biochemical changes of 'Cat Hoa Loc' mangoes in storage. Postharvest Biology and Technology. 48 : 150–152.
- Ketsa, S., Chidtragool, S., Klein, J. D., and Lurie, S. 1998. Effect of heat treatment on changes in softening, pectic substances and activities of polygalacturonase, pectinesterase and β -galactosidase of ripening Mango. Journal of Plant Physiology. 153 : 457-461.
- Masoko, P. 2007. Characterization of antifungal compounds isolated from *Combretum* and *Terminalia* species (Combretaceae). Philosophiae doctor. Department of Paraclinical Science. Faculty of Veterinary Science. University of Pretoria.
- Mayachiew, P. and Devahastin, S. 2008. Antimicrobial and antioxidant activities of Indian gooseberry and galangal extracts. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie. 40 : 1153–1159.
- Mizrach, A., Flitsanov, U., Schmilovitch, Z., and Fuchs, Y. 1999. Determination of mango physiological indices by mechanical wave analysis. Postharvest Biology and Technology. 16 : 179-186.
- Oonmetta-aree, J., Suzuki, T., Gasaluck, P. and Eumkeb, G. 2006. Antimicrobial properties and action of galangal (*Alpinia galangal* Linn.) on *Staphylococcus aureus*. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie. 39 : 1214–1220.
- Park, S., Stan, S., Daeschel, M., and Zhao, Y. 2006. Journal of Food Microbiology and Safety. 70 : 202-207.
- Raybaudi-Massilia, R. M., Mosqueda-Melgar, J., and Martin-Belloso, O. 2008. Edible alginate – based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh-cut melon. International Journal of Food Microbiology. 121 : 313-327.

- Richard, G.M., J.W. Buck and L.R. Beuchat. 2004. Survey of yeast antagonistic activity against *Salmonella* Poona in cantaloupe juice and wounds in rinds coinfecting with phytopathogenic molds. Journal of Food Protection. 67: 2132-2142.
- Rojas-Grau, M.A., Raybaudi-Massilia, R.M., Soliva-Fortuny, R.C., Avena-Bustillos, R.J., McHugh, T.H., and Martin-Belloso, O. 2007. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. Postharvest Biology and Technology. 45 : 254-264.
- Salunke, D.K., Boun, H.R., and Reddy, N.R. 1991. Storage Processing and Nutritional Quality of Fruits and Vegetables, vol. 1. Fresh Fruits and Vegetables. Boston: CRC Press Inc. Cited in Yaman, O., and Bayondri, L. 2002. Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie. 35 : 146–150.
- Sanchez-Gonzalez, L., Chafer, M., Chiralt, A., and Gonzalez-Martinez, C. 2010. Physical properties of edible chitosan films containing bergamot essential oil and their inhibitory action on *Penicillium italicum*. Carbohydrate Polymers. 82 : 277–283.
- Vasquez-Caicedo et al. 2002. Physical, chemical and sensory properties of nine Thai mango cultivars and evaluation of their technological and nutritional potential. International Symposium Sustaining Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia, Chiang Mai, Thailand, 8-11 January 2002.
- Yaman, O., and Bayondri, L. 2002. Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie. 35 : 146–150.

Output จากโครงการวิจัย

ผลลัพธ์	ปริมาณ
องค์ความรู้ การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของบุกกลูโคแมนแนนจากกระบวนการอบแห้งที่แตกต่างกัน ภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งผงบุกกลูโคแมนแนนโดยใช้กระบวนการอบแห้งแบบผสมผสาน	1 1
เทคโนโลยีใหม่ เทคนิคการใช้ไมโครเวฟสุญญากาศในการอบแห้งผงบุกกลูโคแมนแนน	1
ผลงานตีพิมพ์ (ภาคผนวก) วารสารนานาชาติ วารสารในประเทศ	1 1
ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูดที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ फिल्मบุกบริโกลได้ผสมสารสกัดจากชาสำหรับชะลอการเกิดโรคจุดสีน้ำตาลในมะม่วงน้ำดอกไม้	1 1
เผยแพร่ผลงานทางวิชาการ (ภาคผนวก) นานาชาติ	1
ผลิตภัณฑ์ (ภาคผนวก) ปริญญาโท	2

ภาคผนวก
บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในระดับชาติและนานาชาติ

บทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

1. Adamiec, J., **Borompichaichartkul, C.**, Srzednicki, G., Panket, W., Piriypundakul, S. and Zhao J. (2012) Microencapsulation of Kaffir lime oil and its functional properties, *Drying Technology*, 30(9): 914-920.

บทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติ

1. จุฬาพันธ์ รัตนนิล, ซาลีดา บรมพิชัยชาติกุล และ รัช เทพพร. 2554. ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ของฟิล์มบริโกล์ได้จากผงบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*. 42(3): 196-199.

ผลงานวิจัยที่นำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติที่มี Peer Review

1. Rattananin, J., Tepsorn, R. and **Borompichaichartkul, C.** 2012. Antimicrobial Edible Film From Konjac Glucomannan Incorporated With Thai Medicinal Plants For Extending Shelf Life Of Mango Cv. Num Dok Mai # 4. *Proceedings of International Congress of Food Engineering and Technology 2012*, 28 – 30 March. Impact Muang Tong Tani, Bangkok, Thailand.

รายชื่อนิสิตที่สำเร็จการศึกษา - วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท (อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก)

1. นางสาวรัฐญา ปานเกตุ (2554) การทำไมโครแคปซูลของสารสกัดจากมะกรูดโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยสำหรับต้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์พลาสติก
2. นางสาวจุฬาพันธ์ รัตนนิล (2554) การผลิตฟิล์มบริโกล์ได้จากผลบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4