การผลิตฟิล์มบริโภคได้จากผงบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรไทย เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

นางสาวจุพาพันธุ์ รัตนนิล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

PRODUCTION OF EDIBLE FILM FROM KONJAC POWDER INCORPORATED WITH THAI MEDICINAL PLANTS EXTRACTS FOR EXTENDING SHELF LIFE OF MANGOES CV. NAM DOK MAI # 4

Miss Jupapan Rattananin

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตฟิล์มบริโภคได้จากผงบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรไทยเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4
โดย	นางสาวจุพาพันธุ์ รัตนนิล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.รชา เทพษร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……. ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง)

……... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

……. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.รชา เทพษร)

……. กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชื่นจิต ประกิตชัยวัฒนา)

……. กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาริช ศรีละออง)

จุพาพันธุ์ รัตนนิล : การผลิตฟิล์มบริโภคได้จากผงบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรไทยเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4. (PRODUCTION OF EDIBLE FILM FROM KONJAC POWDER INCORPORATED WITH THAI MEDICINAL PLANTS EXTRACTS FOR EXTENDING SHELF LIFE OF MANGOES CV. NAM DOK MAI # 4) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ. ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ. ดร.รชา เทพษร, 100 หน้า.

เชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* เป็นเชื้อสาเหตุของโรคแอนแทรคโนสที่มักพบบนผลมะม่วงน้ำดอกไม้หลังจากการเก็บเกี่ยว งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากสมุนไพรไทยวงศ์ขิง 3 ชนิด ประกอบด้วย กระชาย ข่า และขิง วิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสกัดที่ผสมในฟิล์มบุกเพื่อใช้ต้านเชื้อรา *C. gloeosporioides* ศึกษาสมบัติเชิงกล และผลการต้านเชื้อราในฟิล์มบริโภคได้จากผงบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรไทยเพื่อนำไปใช้ยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 จากการทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดจากสมุนไพรไทยวงศ์ขิงทั้ง 3 ชนิด สกัดด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เอทานอล และน้ำกลั่น เพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* พบว่า สารสกัดจากสมุนไพรทุกชนิดในทุกตัวทำละลาย มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่นำมาทดสอบ โดยสารสกัดจากกระชายและข่าที่สกัดด้วยเอทานอล มีค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ (MIC) และค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถทำลายเชื้อ (MFC) ที่ดีที่สุดต่อเชื้อราดังกล่าวเท่ากัน (MIC = 2,500 µg/ml และ MFC = 2,500 µg/ml) เมื่อนำสารสกัดจากสมุนไพรที่เลือก (กระชาย และ ข่า ที่สกัดด้วยเอทานอล) มาผสมในฟิล์มบุกที่ระดับความเข้มข้น 2,500 - 30,000 µg/ml และศึกษาผลการต้านเชื้อราของสารละลายบุกและแผ่นฟิล์มบุก โดยพิจารณาจากการเกิดบริเวณยับยั้ง (clear zone) พบว่าสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชาย และ ข่า ความเข้มข้น 10,000 µg/ml เป็นความเข้มข้นต่ำที่สุดที่เกิดบริเวณยับยั้ง ส่วนการยับยั้งของแผ่นฟิล์ม พบว่าฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากข่าที่ความเข้มข้น 10,000 µg/ml เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา ในขณะที่ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากกระชายความเข้มข้น 20,000 µg/ml เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ เมื่อทดสอบสมบัติของฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากกระชาย และ ข่า พบว่ามีค่า Tensile Strength และ Elongation ต่ำกว่าฟิล์มบุกที่ไม่ผสมสารสกัด ค่า WVTR ของฟิล์มบุกผสมสารสกัดมีค่าน้อยกว่าฟิล์มบุกที่ไม่ผสมสารสกัด ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำที่ดีกว่า เมื่อนำฟิล์มบริโภคได้จากผงบุกผสมสารสกัดจากข่าความเข้มข้น 30,000 µg/ml ไปใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% พบว่าสารเคลือบผิวจากบุกช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงได้ โดยสารเคลือบผิวจากบุก และสารเคลือบผิวจากบุกผสมสารสกัดข่าสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรด และช่วยลดความรุนแรงของโรคแอนแทรคโนสได้ แต่สารเคลือบผิวส่งผลให้มะม่วงเกิดกลิ่นหมัก และแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าสามารถลดความรุนแรงในการเกิดโรคได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาหลัก.....

ปีการศึกษา.....2554……. ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

5272259723 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS : ANTIMICROBIAL EDIBLE FILM / KONJAC FILM / MANGO

JUPAPAN RATTANANIN : PRODUCTION OF EDIBLE FILM FROM KONJAC POWDER INCORPORATED WITH THAI MEDICINAL PLANTS EXTRACTS FOR EXTENDING SHELF LIFE OF MANGOES CV. NAM DOK MAI # 4. THESIS ADVISOR : CHALEEDA BAROMPICHAICHARTKUL, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : RACHA TEPSORN, Dr.sc.agr. 100 pp.

Colletotrichum gloeosporioides is the cause of anthracnose disease on mango CV. Nam Dok Mai after harvesting. This research was aimed to study the effect of using crude extracts of Thai medicinal plants including *Boesenbergia pandurata*, *Alpinia galanga* and *Zingiber officinal* on prevention of anthracnose disease. Both water and ethanolic extracts of zingiberaceous presented the growth inhibition of *C. gloeosporioides*, especially the ethanolic extracts of *B. pandurata* and *A. galanga* showed the outstanding antifungal activity against *C. gloeosporioides*. The minimum inhibitory concentration (MIC) and minimum fungicidal concentration (MFC) values of plant extracts were 2,500 µg/ml. Ethanolic extract of *B. pandurata* and *A. galanga* at the concentration ranged from 2,500 - 30,000 µg/ml were incorporated in Konjac solution to form edible film. The antifungal activity of the edible film solution and edible film were tested. It was found that Konjac film solution incorporated with *A. galanga* and *B. pandurata* extracts required 10,000 µg/ml as a minimum concentration to inhibit *C. gloeosporioides*. However, for Konjac film, the minimum concentration of *B. pandurata* and *A. galanga* extracts to inhibit *C. gloeosporioides* were 10,000 and 20,000 µg/ml, respectively. Mechanical properties of Konjac film incorporated with ethanolic *B. pandurata* and *A. galanga* extracts were determined. Tensile Strength and Elongation value of incorporated film were lower than the one without *B. pandurata* and *A. galanga* extracts. WVTR value of incorporated Konjac film was also lower than the one without *B. pandurata* and *A. galanga* extracts which reveals that it has better ability to prevent water vapour. The use of Konjac solution incorporated with *A. galangal* extract at 30,000 µg/ml for extending shelf life of mangoes storage temperature 13±1°C and relative humidity 90-95% was studied. The results showed that the coating delayed the change of mangoes's quality. Both Konjac solution and Konjac solution incorporated with *A. galanga* could significantly retard weight loss, softening, changes of peel color, total solution solid and titratable actidity, and decreases anthracnose disease. But the coating made off-flavor. Konjac film incorporated with *A. galanga* can retard anthracnose disease when compare with control during 30 days storage.

Department ……..Food Technology…..….. Student's Signature ……..……..

Field of Study ……..Food Technology……..… Advisor's Signature ……..……..

Academic Year ……...2011…...……. Co-advisor's Signature ……..……..

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ แห่งภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และอาจารย์ ดร.รชา เทพษร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม แห่งสาขาเทคโนโลยีการอาหาร คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำแนะนำ แนวคิด และคำปรึกษาในระหว่างดำเนินงานวิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชื่นจิต ประกิตชัยวัฒนา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาริช ศรีละออง ที่กรุณาสละเวลาตรวจสอบ แก้ไข ให้คำแนะนำ และร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ หลักสูตรเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย

ขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ สำหรับการอำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบคุณพี่และน้อง สำหรับความช่วยเหลือ การสนับสนุน ความเข้าใจ และกำลังใจที่มีให้ตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์..... 3

2.1 บุก..... 3

2.2 ฟิล์ม และสารเคลือบที่รับประทานได้..... 7

2.3 ฟิล์มบริโภคได้ต้านจุลินทรีย์..... 11

2.4 มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้..... 13

2.5 สารสกัดจากสมุนไพร..... 22

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย..... 25

3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมี..... 25

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 27

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์การทดลอง..... 32

4.1 การประเมินความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากพืชสมุนไพร..... 32

4.2 การตรวจสอบคุณภาพของฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพร..... 34

4.3 การนำฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพรไปใช้กับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา..... 39

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 66

5.1 สรุปผลการทดลอง..... 66

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 67

หน้า

รายการอ้างอิง..... 68
ภาคผนวก..... 77
ภาคผนวก ก..... 78
ภาคผนวก ข..... 87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 100

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้ในฟิล์มบริโภคได้.....	12
2.2	องค์ประกอบทางโภชนาการของเนื้อมะม่วง 100 กรัม.....	14
4.1	ค่า MIC และ MFC ของสารสกัดจากสมุนไพร ในการยับยั้งเชื้อรา *C. gloeosporioides* ด้วยวิธี micro dilution method…….……	33
4.2	ผลการยับยั้งเชื้อราของสารละลายบุกและฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากข่าและกระชาย.....	35
4.3	ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มบุกและฟิล์มบุกผสมสารสกัดพืชสมุนไพร..	37
4.4	การทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C เป็นเวลา 30 วัน……..….	61
4.5	การทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เปรียบเทียบกับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ที่สุกและมีคุณภาพดี เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C เป็นเวลา 30 วัน.....	62
ข. 1	การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C……..	88
ข. 2	ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C…	89
ข. 3	ค่า Hue angle ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C..	90
ข. 4	ค่า *L* ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C…..…..…	91
ข. 5	ค่า *a* ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C ……..…	92
ข. 6	ค่า *b* ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C ……...	93
ข. 7	ค่า ΔE ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C……	94
ข. 8	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C …….....	95
ข. 9	ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C……	96
ข. 10	อัตราส่วน TSS/TA ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C……	97
ข. 11	การเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C…….	98

ตารางที่ หน้า

ข. 12 ความรุนแรงของโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4
เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C..... 99

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างโมเลกุลของสารกลูโคแมนแนน……	4
2.2	ลักษณะอาการของโรคแอนแทรคโนส จากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* บนผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้…….……	17
4.1	การหาค่า MIC ของสารสกัดจากสมุนไพรที่สกัดด้วยน้ำกลั่น ในการยับยั้งเชื้อรา *C. gloeosporioides* ด้วยวิธี micro dilution method……..….	33
4.2	การหาค่า MIC ของสารสกัดจากสมุนไพรที่สกัดด้วยเอทานอล ในการยับยั้งเชื้อรา *C. gloeosporioides* ด้วยวิธี micro dilution method ..…	33
4.3	การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C ….……..…	40
4.4	ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C ……..……....	42
4.5	ค่า Hue angle ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C ..……..…..	44
4.6	ค่า *L* ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C ……..…...	45
4.7	ค่า *a* ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C ….……..…..	46
4.8	ค่า *b* ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C ……..……...	47
4.9	ค่า ΔE ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C…….….....	48
4.10	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C ……..…..	50
4.11	ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C …….....	52
4.12	อัตราส่วน TSS/TA ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C …….....	54

หน้า

ภาพที่

4.13 การเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C 55

4.14 ความรุนแรงของโรค ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C 56

4.15 ลักษณะปรากฏของมะม่วงชุดควบคุม (A), มะม่วงที่สัมผัสกับแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าโดยตรง (B), มะม่วงที่ไม่ได้สัมผัสกับแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าโดยตรง (C),มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก (D), มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดข่า (E) และ มะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดข่า (F) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1°C เป็นเวลา 3 วัน..... 59

4.16 ลักษณะปรากฏของมะม่วงชุดควบคุม (A), มะม่วงที่สัมผัสกับแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าโดยตรง (B), มะม่วงที่ไม่ได้สัมผัสกับแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าโดยตรง (C),มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก (D), มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดข่า (E) และ มะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดข่า (F) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1°C เป็นเวลา 30 วัน..... 59

ก.1 การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มภายในเดซิเคเตอร์.. 80

ก.2 ตำแหน่งในการวัดสีเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4..... 81

ก.3 แผนผังแสดงค่าสีที่รายงานเป็นค่า *L a b* และ ค่า Hue angle..... 82

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

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 คุณาศล, 2532) แต่ปัญหาที่สำคัญภายหลังการเก็บเกี่ยวคือเมื่อผลสุกจะมีคุณภาพต่ำ ผิวมีลักษณะเหี่ยวย่น สีผิวไม่สวย ความแน่นเนื้อของผลลดลง รสชาติไม่ดี และมีการสูญเสียคุณภาพจากการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุของโรคแอนแทรคโนส จึงมักใช้สารเคมีป้องกันกำจัดราเช่น prochloraz จุ่มผลก่อนการบรรจุลงภาชนะ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ควบคุมโรคแอนแทรคโนสในมะม่วงที่สะดวกรวดเร็วและได้ผลดี แต่อย่างไรก็ตามสารเคมีสามารถแทรกซึมเข้าไปในผลิตผลได้ ทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและผู้ปฏิบัติงาน อีกทั้งประเทศผู้สั่งซื้อมะม่วงจากประเทศไทยได้ตั้งข้อจำกัดปริมาณการใช้สารในการควบคุมโรคกับผลผลิต และงดการนำเข้ามะม่วงเมื่อพบว่ามีการใช้สารเคมี มีรายงานว่าสารสกัดจากพืชวงศ์ขิงหลายชนิดสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ (สุภัทรา จามกระโทกและคณะ, 2549) การนำสารสกัดจากพืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการใช้เพื่อควบคุมโรคพืชที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

นอกจากปัญหาเรื่องโรคหลังการเก็บเกี่ยวแล้ว ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพและทางเคมียังมีผลต่อคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งการผลิตฟิล์มบริโภคได้จากบุกเพื่อนำมาใช้ในการเก็บรักษาผลิตผลสดจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ เนื่องจากบุกมีองค์ประกอบของกลูโคแมนแนนอยู่ในปริมาณมากซึ่งเป็นสารโพลีเซคคาไรด์สามารถนำมาผลิตเป็นฟิล์มบริโภคได้ (edible film) ที่มีสมบัติป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำ ก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Cheng *et al*., 2002) โดยผงบุกสามารถคงตัวและขึ้นรูปได้ง่ายเหมาะแก่การนำมาใช้ในการชุบ

เคลือบติดบนผิวอาหาร งานวิจัยนี้จึงสนใจใช้ฟิล์มบริโภคได้จากบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและชะลอการเสื่อมสภาพของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เนื่องจากจุลินทรีย์ ซึ่งผลงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากหัวบุกและเป็นการประยุกต์ใช้ฟิล์มบริโภคได้จากบุกต่อไป

สมมุติฐานงานวิจัย

สารเคลือบผิวและแผ่นฟิล์มจากบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ ลดความรุนแรงในการเกิดโรคแอนแทรคโนส และช่วยยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาความเข้มข้นของสารสกัดจากสมุนไพรที่เหมาะสม แล้วผสมในฟิล์มบุกเพื่อใช้ต้านจุลินทรีย์ในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4
2. เพื่อวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดจากสมุนไพร
3. เพื่อประเมินความสามารถและประสิทธิภาพของฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรในการยืดอายุการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4

ขอบเขตของงานวิจัย

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

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 บุก

บุก มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Amorphophallus sp.* เป็นพืชล้มลุกในวงศ์ Araceae อยู่ในสกุล *Amorphophallus* ออกดอกในช่วงต้นฤดูฝน เวลาบานส่งกลิ่นเหม็น เมื่อดอกโรยแล้วจะมีใบงอกออกมา ก้านดอกและก้านใบกลมยาว หน้าแล้งต้นจะตายเหลือหัวอยู่ใต้ดิน (ราชบัณฑิตยสถาน, 2542) การเจริญเติบโตจะเป็นแบบถ่ายหัว คือ เมื่อต้นใหม่งอกในฤดูถัดไป หัวเก่าจะฝ่อและสร้างหัวใหม่ขึ้นมาแทนที่ (มงคล เกษประเสริฐ และอรนุช เกษประเสริฐ, 2540) บุกมีชื่อสามัญภาษาไทยหลายชื่อแตกต่างกันไปตามชนิดและท้องถิ่นที่พบ เช่น มันบุก มันกระบุก มันหูช้าง มันซูรัน มันบุก ฟังเพราะ ดอกก้าน กระแห่ง บุกคางคก บุกเบีย ลอกใหญ่ การแพร่กระจายพันธุ์อยู่ในภูมิภาคเขตร้อนของทวีปเอเชีย แอฟริกา และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปออสเตรเลีย ไปจนถึงเขตอบอุ่นตอนกลางของประเทศจีน เกาหลีและญี่ปุ่น ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีบุกอยู่มากมายหลายชนิด และสามารถเจริญได้ในสภาพพื้นที่และภูมิอากาศที่แตกต่างกัน (มงคล เกษประเสริฐ, 2547)

2.1.1 สารที่พบในบุก

หัวบุกและก้านใบมีสารที่ทำให้เกิดอาการคัน คือ แคลเซียมออกซาเลต (calcium oxalate) นอกจากนี้ยังพบสารพวกเมือก (mucilage) แป้งสตาร์ช (starch) และอาจพบสารอัลคาลอยด์ (alkaloid) โคนิอีน (coniine) (วันดี กฤษณพันธุ์, 2541) แต่สารที่เป็นองค์ประกอบหลักของบุกคือกลูโคแมนแนน ซึ่งเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเชิงเดี่ยวคือกลูโคสและแมนโนส

Kato และ Matsuda (1970) ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของแป้งบุก โดยการย่อยแป้งบุกด้วยกรดซัลฟิวริคและเอนไซม์เซลลูเลส แล้วนำไปแยกส่วน พบว่า กลูโคแมนแนนในแป้งบุกมีหน่วยต่อเนื่องของโมเลกุลน้ำตาล (repeating unit) 2 แบบ คือ

กลูโคแมนแนน A : -G-G-M-M-M-M-G-M-

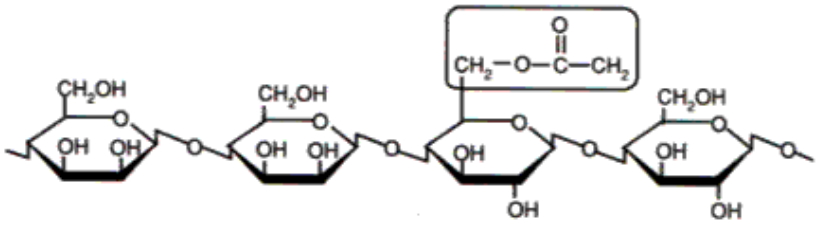
กลูโคแมนแนน B : -G-G-M-G-M-M-M-M-

เมื่อ G แทน หน่วยของน้ำตาลดี-กลูโคส

M แทน หน่วยของน้ำตาลดี-แมนโนส

- แทน พันธะเบต้า 1,4- ไกลโคซิดิก

Tye (1991) สรุปว่า กลูโคแมนแนนเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยแมนโนสและกลูโคสในอัตราส่วน 3:2 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 300,000 และ มีหมู่อะเซทิลกระจายอยู่ทั่วไปบนสายโมเลกุลของกลูโคแมนแนน ซึ่งมีผลต่อการละลายน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 เมื่อนำแป้งชนิดนี้มาละลายน้ำจะได้สารละลายข้นหนืดและสามารถเกิดเจลได้เมื่อใช้ร่วมกับสารละลายด่างหรือสารไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด เช่น แซนแทนกัม และ คาราจีแนน เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของสารกลูโคแมนแนน

ที่มา : Tye (1991)

2.1.2 คุณสมบัติของแป้งบุก

แป้งบุกเป็นเส้นใยอาหารที่สามารถละลายน้ำได้ และดูดน้ำได้ถึง 100 เท่า มีคุณสมบัติเป็นซูโดพลาสติก (pseudoplastic) โดยอนุภาคของแป้งบุกเชื่อมต่อกันเป็นแมคโครโมเลกุล (macromolecule) และพันกัน โมเลกุลน้ำถูกดูดเข้าไปในสายโซ่โดยการสร้างพันธะไฮโดรเจน และเปลี่ยนจากผงแป้งเป็นของเหลวที่มีความหนืด (Nishinari *et al*., 1987) แป้งบุกมีคุณสมบัติหลายอย่าง เช่น เป็นสารให้ความข้นหนืด สามารถเกิดเจลได้ หรือใช้เป็นสารคงตัว (stabilizer) หรือสารอิมัลซิไฟเออร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการเลือกใช้และลักษณะของผลิตภัณฑ์ สมบัติบางประการของแป้งบุกที่น่าสนใจได้แก่

2.1.2.1 **ความข้นหนืด** (Viscosity)

เมื่อนำแป้งบุกมาละลายน้ำ อนุภาคของแป้งดูดซึมน้ำเข้าไว้แล้วเกิดการพองตัว ทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น มีลักษณะโซล (sol) ซึ่งเป็นแบบซูโดพลาสติก อัตราการดูดซับน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา เมื่อเพิ่มอุณหภูมิมีผลให้อัตราดูดซับน้ำเพิ่มอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นการเพิ่มอัตราแรงเฉือนมีผลให้อัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นด้วย (Nishinari *et al*., 1987)

2.1.2.2 **การเกิดเจล** (Gel formation)

โดยทั่วไปแล้วเจลที่ได้จากโพลีแซคคาไรด์อื่นๆ เมื่อนำมาให้ความร้อนจนถึงระดับอุณหภูมิหนึ่ง เจลจะแตกหรือเกิดการแยกตัวของโครงสร้างตาข่ายโพลีเมอร์ (polymer network) ทำให้สูญเสียความเป็นเจลไป ในขณะที่แป้งบุกในสภาวะที่เติมด่างอ่อน เช่น โพแทสเซียมคาร์บอเนต ให้เจลที่ทนต่อความร้อน (thermal stability) มีความแข็งแรงมาก และมีความคงตัวสูง แม้นำไปต้มในน้ำเดือดการให้ความร้อนซ้ำแก่เจลมีส่วนทำให้เจลมีความแข็งแรง และเสถียรภาพมากขึ้น การเกิดเจลของแป้งบุกสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ คือ

1. การใช้ด่างในการเกิดเจล

แป้งบุกเป็นการรวมตัวของสารโพลีแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสและแมนโนส เมื่อทำให้อยู่ในสภาวะด่างอ่อน จะแข็งตัวขึ้น มีความยืดหยุ่นและคงตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงถึง 100-200°C การที่แป้งบุกไม่สร้างเจลเนื่องมาจากหมู่อะเซทิลที่อยู่ในสายเป็นตัวขัดขวางไม่ให้เกิดการรวมตัวเป็นสายยาว แต่อย่างไรก็ตามบุกสามารถสร้างเจลได้เมื่อได้รับความร้อนในสภาวะที่เป็นด่าง (pH 9-10) โดยหมู่ไฮดรอกซิลจับกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทำให้หมู่อะเซทธิลหลุดออกมา (Nishinari *et al*., 1992) สารละลายด่างที่นิยมใช้ ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมคาร์บอเนต เจลที่ได้เป็นชนิดไม่ผันกลับโดยความร้อน (thermo irreversible gel) การที่เกิดเจลแบบนี้เนื่องมาจากหมู่อะเซทิลของกลูโคแมนแนนถูกกำจัดออกจากโมเลกุล

2. การใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อช่วยในการเกิดเจล

แมคโครโมเลกุลที่อยู่ในสารละลาย มีส่วนหนึ่งของโมเลกุลจับตัวกับโมเลกุลอื่นๆ ที่อยู่ใกล้กันและปล่อยโมเลกุลน้ำที่จับอยู่ให้หลุดออกไป การจับตัวกันนั้นอาจแข็งแรงมากพอที่จะไม่ทำให้แตกตัวออกจากกันที่อุณหภูมิห้อง ถ้าจำนวนโมเลกุลที่จับกันมากพอจะเกิดอนุภาคขึ้นและตกตะกอนออกมา ปรากฏการณ์เช่นนี้มักเกิดขึ้นกับแป้ง การจับตัวแบบอื่นที่พบคือ แต่ละ

โมเลกุลของแมคโครโมเลกุลมีการจับตัวกับโมเลกุลอื่นมากกว่า 1 ตำแหน่ง ทำให้เกิดโครงสร้างเหมือนร่างแหใน 3 ทิศทาง โครงสร้างที่เกิดขึ้นเรียกว่าเจลโดยมีโมเลกุลน้ำแทรกอยู่ทั่วไป ความแข็งแรงของเจลขึ้นกับความแข็งแรงของส่วนที่จับตัวกัน ถ้าส่วนที่จับตัวกันมีระยะสั้นมาก การจับตัวกันจะไม่แข็งแรงมากนัก เจลถูกทำลายได้ง่าย เช่น การกวนเบาๆ หรือใช้ความร้อนต่ำ ในทางตรงกันข้ามถ้าส่วนที่จับตัวกันมีระยะยาวมาก การจับตัวจะแข็งแรงมาก เจลทนความร้อนได้ดี แรงที่อนุภาคใช้จับตัวกันคือ แรงแวนเดอวาลส์และแรงประจุ ซึ่งอาจมีโมเลกุลหรืออนุภาคของสารอื่นๆ เข้ามาเกาะเกี่ยวด้วย (Whistler and Daneil, 1990)

2.1.2.3 **การเกิดฟิล์ม** (Film formation)

เมื่อสารละลายแป้งบุกเกิดการสูญเสียน้ำ หรือนำไปทำแห้ง ได้ฟิล์มที่มีลักษณะเหนียว (tough film) และเสถียรทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น รวมทั้งในระบบที่เป็นกรด-ด่าง มีความคงตัวสูงแม้นำไปต้มให้เดือดเป็นเวลาหลายชั่วโมง ฟิล์มจากแป้งบุกมีลักษณะอ่อน (suppleness) และ สามารถทำได้ทั้งฟิล์มในลักษณะโปร่งแสง และทึบแสง การเพิ่มปริมาณสาร humectant เช่น กลีเซอรีน มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของฟิล์ม (film strength) ลดลง แต่กลับมีผลให้ค่าความอ่อนตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้น การซึมผ่านของน้ำ (water permeability) ในฟิล์มชนิดนี้ขึ้นกับสารที่เติมลงไปว่าเป็นแบบ hydrophilic หรือ hydrophobic material โดยอัตราการแพร่ผ่านของน้ำในฟิล์มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ hydrophilic material เช่น กลีเซอรีน และมีค่าการแพร่ผ่านของน้ำลดลงเมื่อใช้ hydrophobic material เช่น น้ำมันข้าวโพด (Tye, 1991)

2.1.3 **การใช้ประโยชน์จากผงบุก**

มงคล เกษประเสริฐ (2547) ได้รวบรวมประโยชน์ของผงบุกในด้านอุตสาหกรรมอาหารไว้ดังนี้

1. เพื่อเพิ่มเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเนื้อสัตว์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบสูง ทำให้สามารถลดปริมาณส่วนผสมที่เป็นไขมันลงได้ แต่ยังคงได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัส ทั้งทางด้านเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และกลิ่นรส เช่น ไส้กรอกไขมันต่ำ ไส้กรอกเทียมหมู/ไก่ ยอ

2. เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร แต่ยังคงรักษาความรู้สึกทางปาก (mouth feel) ของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการให้ความร้อนหลายครั้งได้ เช่น ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากแป้ง ผลิตภัณฑ์พาสต้า (pasta products)

3. เพื่อเป็นสารที่ทำให้เกิดความข้นหนืดและเกิดเจล เช่น เยลลี่เสริมใยอาหาร แยม

4. ผลิตเป็นฟิล์มที่รับประทานได้ใช้ห่อหุ้มอาหาร เช่น ไส้กรอก ขนมปังกรอบ กล้วยกวน ผักและผลไม้

2.1.4 การใช้สารเคลือบผิวจากบุกในผลไม้

มีรายงานการนำสารเคลือบผิวจากบุกไปใช้ในการเคลือบผิวผลไม้ชนิดต่างๆ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ และยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิต กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ์ และอดิศักดิ์ เอกธรรมสุทธิ์ (2543) รายงานว่า การใช้ฟิล์มแป้งบุกเคลือบผิวส้มเขียวหวานมีแนวโน้มชะลอการสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณวิตามินซี และการเปลี่ยนแปลงสีของผิวได้ดีกว่าส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28-30°C เป็นเวลา 20 วัน เช่นเดียวกับ ชูสิทธิ์ หงษ์กุลทรัพย์ (2549) ที่รายงานว่า การเคลือบผิวชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ด้วยสารเคลือบผิวจากบุก สามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนัก คงความแน่นเนื้อ ลดอัตราการหายใจ และลดการผลิตเอทิลีนได้ดีกว่าชมพู่ที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C เป็นเวลา 15 วัน และ เทอดธวัช โสภณดิลก (2552) ที่ใช้สารเคลือบผิวจากบุกเคลือบมะละกอพันธุ์เรดมาราดอล์ พบว่า สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อได้ดีกว่ามะละกอที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C เป็นเวลา 15 วัน

2.2 ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้

2.2.1 ความหมาย

ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้ (edible film and coating) หมายถึง วัสดุแผ่นบางที่รับประทานได้ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน โดยนำมาเคลือบผิวของผลิตภัณฑ์อาหารด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การห่อหุ้ม การจุ่ม การทาด้วยแปรง หรือการพ่นกระจาย (Kester and Fennema, 1986) เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการเคลื่อนตัวของไอน้ำ ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ กลิ่นและไขมัน หรือทำหน้าที่เก็บสารเติมแต่งของอาหาร เช่น วัตถุกันเสีย สารช่วยรักษากลิ่นรส ตลอดจนทำหน้าที่ช่วยให้อาหารนั้นแข็งแรงขึ้นเพื่อสะดวกในการลำเลียง (Krochta *et al*., 1994)

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด (2535) อธิบายว่า ฟิล์มกับสารเคลือบนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยฟิล์มจะต้องมีการผลิตแผ่นฟิล์มขึ้นมาก่อนแล้วจึงนำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ แต่สำหรับสารเคลือบนั้นเป็นการนำเอาสารมาเคลือบกับพื้นผิวของผลิตภัณฑ์โดยตรง สำหรับการใช้โปรตีน โพลีแซคคาไรด์และไขมันจากสัตว์ ผัก และผลไม้ เป็นองค์ประกอบหลักของการขึ้นรูปฟิล์ม พบว่าฟิล์มที่ได้จะมีความเปราะ จึงต้องมีการเติมสารพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) ซึ่งเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น กลีเซอรอล (glycerol) ซอร์บิทอล (sorbitol) โพลีเอทธิลีนไกลคอล (polyethylene glycol) โพรพิลินไกลคอล (propylene glycol) และกรดไขมัน (fatty acids) (Krochta and Mulder-Johnston, 1997) เพื่อช่วยเพิ่มความอ่อนตัว ความคงทนต่อการใช้งาน และการยืดตัว (Banker, 1966)

2.2.2 ชนิดของฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคได้

Cutter (2006) ได้จำแนกชนิดของฟิล์มและสารเคลือบบริโภคได้ดังนี้

2.2.2.1 ฟิล์มพอลิแซกคาไรด์

ฟิล์มที่ได้จากพอลิแซกคาไรด์สามารถนำมาใช้ผลิตฟิล์มและสารเคลือบที่บริโภคได้ ฟิล์มที่ได้มีความแข็ง(hardness) กรอบ (crispness) และแน่น (compactness) แต่เนื่องจากธรรมชาติของพอลิเมอร์เหล่านี้ชอบน้ำ จึงป้องกันความชื้นได้ยาก สามารถชะลอการสูญเสียความชื้นของอาหารบางอย่างได้ในช่วงอายุการเก็บสั้นๆ สำหรับตัวอย่างฟิล์มพอลิแซกคาไรด์ได้แก่ ฟิล์มจากบุก ฟิล์มจากแอลจิเนต ฟิล์มจากเพกทิน ฟิล์มจากคาราจีแนน ฟิล์มจากสตาร์ช ไฮโดรไลเสต ฟิล์มจากเซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลส เป็นต้น

2.2.2.2 ฟิล์มโปรตีน

ฟิล์มที่ได้จากโปรตีนมีความแข็งแรงและมีสมบัติกันการซึมผ่านของแก๊สได้ดี แต่ไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ ตัวอย่างฟิล์มโปรตีน ได้แก่ ฟิล์มจากคอลลาเจน ฟิล์มจากเจลาติน ฟิล์มจากโปรตีนไข่ขาว ฟิล์มจากเคซีน ฟิล์มจากเวย์โปรตีน ฟิล์มจากโปรตีนข้าวสาลี และฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลือง เป็นต้น

2.2.2.3 ฟิล์มลิพิด

ฟิล์มชนิดนี้ไม่นิยมขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มแต่ใช้เป็นสารเคลือบเนื่องจากมีสมบัติในการป้องกันออกซิเจนและความชื้นได้ดี รวมทั้งยังลดการเสียดสีได้ เช่น ลดการเสียดสีของผิวผลไม้

ระหว่างการขนส่งหรือป้องกันการเกิดสีน้ำตาล สารประกอบลิพิดหลายชนิดรวมทั้งแอซีทิลโมโนกลีเซอไรด์ ไขธรรมชาติ และสารลดแรงตึงผิว สามารถนำมาใช้เป็นสารเคลือบได้ แต่อย่างไรก็ตามฟิล์มลิพิดมักเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แตกร้าวง่าย เป็นขุย ดูดซับและเก็บกลิ่นไม่พึงประสงค์ และให้รสขมเมื่อรับประทาน ตัวอย่างฟิล์มลิพิดได้แก่ ฟิล์มจากไขผึ้ง ฟิล์มจากน้ำมัน และฟิล์มจากสารลดแรงตึงผิว เป็นต้น

2.2.3 การขึ้นรูปฟิล์มและสารเคลือบ

ฟิล์มเกิดจากโครงสร้างของโพลิเมอร์ที่อาศัยแรงสองแรงคือ แรงโคฮีชัน (cohesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลโพลิเมอร์ด้วยกันเอง จะเกิดขึ้นระหว่างการเกิดฟิล์มทำให้เกิดการเชื่อมตัวของผิววัตถุเดียวกัน หากแรงโคฮีชันมีค่ามากจะทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่น ความเป็นรูพรุน การแพร่ผ่านของก๊าซและสารละลายจะลดลง ระดับของแรงโคฮีชันขึ้นอยู่กับโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีของโพลิเมอร์ที่ใช้ในการทำฟิล์ม การละลายในการเตรียมฟิล์ม และสภาวะในการเตรียมฟิล์ม ส่วนแรงอีกชนิดหนึ่ง คือ แรงแอดฮีชัน (adhesion) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์กับสารอื่นที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มทำให้เกิดโครงร่างของฟิล์มได้ เช่น แรงระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์กับพลาสติไซเซอร์ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของฟิล์มเช่นกัน (Banker, 1966)

สารเคลือบที่นำมาเคลือบโดยตรงกับวัสดุทำได้โดยการทาด้วยแปรง การพ่น และการจุ่ม ส่วนการห่อหุ้มโดยใช้ฟิล์มที่ขึ้นรูปแล้วควรเป็นฟิล์มที่แห้งเร็ว ติดแน่น หนาสม่ำเสมอ ไม่ย่นหรือขาดง่าย ฐิติยา รัตนไตรภพ (2546) ได้รายงานวิธีการประยุกต์ใช้ฟิล์มหรือสารเคลือบผิวดังนี้

การห่อหุ้ม (enrobing) คือ การนำสารละลายที่มีความสามารถในการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ มาทำเป็นแผ่นฟิล์มบางแล้วนำไปห่อหุ้มผลิตภัณฑ์หรืออาหารที่ต้องการ

การจุ่ม (dipping) คือ การนำผลิตภัณฑ์หรืออาหารที่ต้องการเคลือบจุ่มลงในสารละลายที่มีความสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้โดยตรงแล้วนำไปทำแห้ง ซึ่งจะพบได้ในพวกเนื้อปลา สัตว์ปีก ผลไม้และผัก

การพ่นฝอย (spraying) คือ การพ่นฝอยให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์ม และเป็นวิธีที่ทำให้ฟิล์มเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าวิธีการจุ่ม เหมาะสมสำหรับการเคลือบผิวอาหารด้านเดียวเมื่อต้องการป้องกันผิวหน้า วิธีการพ่นฝอยสามารถใช้ในการเคลือบบางๆ ครั้งที่สองได้ด้วย

2.2.4 **คุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบริโภคได้**

Guilbert (1986) ได้อธิบายคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มบริโภคได้ไว้ดังนี้

ความหนา (Thickness) คือ ระยะตั้งฉากระหว่างผิวหน้าทั้งสองของฟิล์มมีหน่วยเป็นไมโครเมตรหรือมิลลิเมตร ความหนามีส่วนสัมพันธ์กับคุณสมบัติอื่นๆ เช่น การต้านทานแรงดึง การต้านทานการซึมผ่านไอน้ำ และการต้านทานการซึมผ่านก๊าซออกซิเจน เป็นต้น

ค่าการต้านทานแรงดึง (Tensile strength) คือ ค่าความเครียดที่ใช้ในการดึงฟิล์มที่ปลายข้างใดข้างหนึ่งของแผ่นทดสอบที่มีความกว้างคงที่จนแผ่นฟิล์มนั้นขาดภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด (ปลายอีกด้านหนึ่งยึดให้อยู่กับที่) ค่านี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะระหว่างสายโพลิเมอร์มากกว่าความแข็งแรงภายในสายโซ่โพลิเมอร์ การเติมพลาสติไซเซอร์ในโครงร่างตาข่ายก็มีผลทำให้ความต้านทานแรงดึงลดลง เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ได้เติมพลาสติไซเซอร์ เพราะพลาสติไซเซอร์จะไปลดปฏิกิริยาระหว่างโพลิเมอร์กับโพลิเมอร์ โดยพลาสติไซเซอร์กับกับโพลิเมอร์ด้วยพันธะทุติยภูมิทำให้ความแข็งแรงระหว่างสายโซ่โมเลกุลลดลง

ค่าการยืดตัว (Elongation) คือร้อยละของระยะทางที่ฟิล์มยืดออกด้วยแรงดึงจนขาดต่อความยาวเดิม ถ้าการยืดตัวของฟิล์มน้อย ฟิล์มจะมีลักษณะเปราะและไม่ยืดหยุ่น การเติมพลาสติไซเซอร์ในโครงร่างตาข่ายมีผลทำให้การยืดตัวของฟิล์มเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากพลาสติไซเซอร์ทำให้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างสายโซ่โมเลกุลลดลง สายโซ่โพลิเมอร์เคลื่อนที่ได้มากขึ้น

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม (Water vapor transmission rate) คือ ปริมาณไอน้ำที่ซึมผ่านจากผิวหน้าด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวฟิล์ม ในระยะเวลาที่กำหนดและภายใต้สภาวะที่ควบคุมอุณภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ มีหน่วยเป็นกรัมน้ำต่อตารางเมตรต่อวัน และค่าที่ได้จากการหาอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเมื่อคำนวณผ่านความหนาของฟิล์มที่ใช้ทดสอบจะเรียกค่านี้ว่า ความสามารถในการซึมผ่านของไอน้ำผ่านฟิล์ม หรือ water vapor permeability

อัตราการซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์ม (Gas transmission rate) คือ ปริมาณของก๊าซที่ซึมผ่านจากผิวหน้าด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวฟิล์มในระยะเวลาที่กำหนดและภายใต้ผลต่างของความดันหนึ่งหน่วย มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวันต่อบรรยากาศ ที่อุณหภูมิในการวิเคราะห์ ค่าที่ได้จากการหาอัตราการซึมผ่านของก๊าซเมื่อคำนวณผ่านความหนาของฟิล์มที่ใช้ทดสอบจะเรียกว่า ความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซผ่านฟิล์ม หรือ gas permeability

2.3 **ฟิล์มบริโภคได้ต้านจุลินทรีย์** (Antimicrobial edible film)

2.3.1 **ความหมาย**

ฟิล์มบริโภคได้ต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial edible film) หมายถึง บรรจุภัณฑ์ที่สามารถยับยั้งการเจริญ หรือทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียของอาหาร หรือจุลินทรีย์ก่อโรคที่ปนเปื้อนในอาหาร โดยใช้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ หรือการเติมสารต้านจุลินทรีย์ลงในบรรจุภัณฑ์ (Han, 2003) การใช้สารประกอบพอลิเมอร์ผสมร่วมกับสารยับยั้งจุลินทรีย์ยังช่วยในด้านการควบคุมการปลดปล่อยสาร เพื่อให้คงประสิทธิภาพตลอดอายุการเก็บรักษาอาหาร (Cagri *et al*., 2004)

Cooksey (2001) ได้รวบรวมสารที่มีสมบัติเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถยับยั้งการการเจริญของจุลินทรีย์ พบว่า ฟิล์มต้านจุลินทรีย์ควรมีสมบัติดังนี้

1. มีการรวมกันระหว่างสารต้านจุลินทรีย์กับบรรจุภัณฑ์ โดยสารต้านจุลินทรีย์สามารถปลดปล่อยออกมาได้ ระหว่างการเก็บรักษา

2. การผสมสารต้านจุลินทรีย์ลงในฟิล์มที่เป็นบรรจุภัณฑ์โดยตรง โดยผ่านการขึ้นรูปด้วยความร้อน จำเป็นต้องคำนึงถึงความสามารถในการทนความร้อนและแรงเฉือนของสารต้านจุลินทรีย์

3. การเคลือบบนบรรจุภัณฑ์ด้วยสารต้านจุลินทรีย์ ทำให้สารต้านจุลินทรีย์ไม่ถูกทำลายด้วยความร้อนและแรงเฉือน

4. สมบัติของฟิล์มเองที่ความสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้

2.3.2 **สารต้านจุลินทรีย์** (Antimicrobial agent)

สารต้านจุลินทรีย์ หมายถึง สารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งหรือฆ่าจุลินทรีย์ได้ จุลินทรีย์ในที่นี้ เช่น ยีสต์ รา หรือแบคทีเรีย สารต้านจุลินทรีย์สามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ Chemical agents, Natural agents และ Probiotics (Han, 2003) ตัวอย่างของสารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้ในฟิล์มบริโภคได้ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สารต้านจุลินทรีย์ที่ใช้ในฟิล์มบริโภคได้

ประเภท	สารต้านจุลินทรีย์
organic acids	acetic acid, benzoic acid, propionic acid, sorbic acid
acid salts	potassium sorbate, sodium benzoate
acid anhydrides	sorbic anhydrides, benzoic anhydrides
para benzoic acid	proply paraben, methy paraben, ethyl paraben
alcohol	ethanol
bacteriocins	nisin, pediocin, lacticin
fatty acid	lauric acid
fatty acid esters	glyceryl monolaurate
chelating agents	EDTA,citrate
enzymes	lysozyme, lactoperoxidase
Metals	silver,copper
antioxidants	BHA,BHT,TBHQ
antibiotic	natamycin
fungicides	benomyl,sulfur dioxide
sanitizing gas	ozone, chlorine dioxide
sanitizers	acidified NaCl, triclosan
polysaccharide	Chitosan
phenolics	catechin, cresol
plant volatiles	Carvacrol, eugenol, Cinnamaldehyde
plant/spice extracts	rosemary oil, oregano oil, grape seed extract, hop beta acid
probiotics	lactic acid bacteria

ที่มา : Han (2003)

2.3.3 ประโยชน์ของฟิล์มบริโภคได้ต้านจุลินทรีย์

Han (2003) ได้รวบรวมประโยชน์ของฟิล์มบริโภคได้ต้านจุลินทรีย์ไว้ดังนี้

- สามารถรักษาคุณภาพของอาหารและยืดอายุการเก็บของอาหารให้นานยิ่งขึ้น เนื่องจากฟิล์มบริโภคได้ต้านจุลินทรีย์ สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้
- สามารถบริโภคฟิล์มบริโภคได้ต้านจุลินทรีย์พร้อมกับอาหารที่บรรจุ
- ในกรณีที่ไม่บริโภคฟิล์มบริโภคได้ต้านจุลินทรีย์ ฟิล์มที่ทิ้งไปสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย ซึ่งเป็นการช่วยลดปัญหามลพิษ
- เพิ่มคุณค่าทางประสาทสัมผัส ชวนให้น่ารับประทานผลิตภัณฑ์มากขึ้น เมื่อใช้ฟิล์มประเภทนี้

2.4 มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

มะม่วง (mango) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* Linn. จัดอยู่ในวงศ์ Anacadiaceae มะม่วงเป็นผลไม้ยืนต้นในเขตร้อนไม่ผลัดใบ มีถิ่นกำเนิดในเขตอินเดีย และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แล้วแพร่กระจายไปยังประเทศอื่นทั้งในเขตร้อนและกึ่งร้อนของโลก (บุญเลิศ สอาดสิทธิศักดิ์, 2532) มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (cv. Nam dork mai) เป็นมะม่วงที่นิยมรับประทานสุก ขนาดของผลโดยเฉลี่ยมีความยาว 16 เซนติเมตร ความกว้าง 7 เซนติเมตร และความหนา 6 เซนติเมตร น้ำหนักต่อผลประมาณ 300-350 กรัม ทรงผลเป็นรูปไข่ ยาว ด้านขั้วผลอูมค่อยๆ เรียวลงสู่ปลายผล ปลายผลแหลม ไหล่ผลด้านท้องมน ไหล่ผลด้านหลังลาดลง จะงอยผลเล็กมาก แก้ม (simus) ตื้นมากจนไม่มี ผลแก่มีสีเขียวอ่อน มีนวล (วิจิตร วังใน, 2529) มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เมื่อผลยังดิบจะมีรสชาติเปรี้ยวจัด เมื่อผลสุกผิวมีสีเหลืองอมเขียวจนถึงเหลือง และเนื้อจะมีสีเหลือง มีเสี้ยนน้อย มีกลิ่นหอม รสหวาน ความหวานประมาณ 19 องศาบริกซ์ (ประทีป คุณาศล, 2532) ช่วงอายุที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เพื่อส่งออกในตลาดยุโรปตะวันตก คือ อายุ 90-100 วันหลังจากดอกบานเต็มที่ สำหรับตลาดภายในประเทศควรเก็บเกี่ยวเมื่อผลอายุ 110-120 วันหลังจากดอกบานเต็มที่ (วิจิตร วังใน, 2529)

2.4.1 **องค์ประกอบทางโภชนาการของมะม่วง**

มะม่วง 1 ผล ประกอบด้วยส่วนที่บริโภคได้ 55-75 % เมล็ด 7-23 % และเปลือก 8-22 % (Jagtiani *et al*., 1988) และมีองค์ประกอบทางโภชนาการ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางโภชนาการของเนื้อมะม่วง 100 กรัม

องค์ประกอบ*		มะม่วงดิบ	มะม่วงสุก
พลังงาน	(กิโลแคลอรี)	67	87
ความชื้น	(กรัม)	81	76.7
โปรตีน	(กรัม)	0.5	0.6
ไขมัน	(กรัม)	0.2	0.9
คาร์โบไฮเดรต	(กรัม)	15.7	20.8
Crude Fiber	(กรัม)	0.5	0.7
Dietary Fiber	(กรัม)	2.4	1.6
เถ้า	(กรัม)	0.2	0.2

* คำนวณจาก 100 กรัม ของส่วนที่บริโภคได้

ที่มา: กรมอนามัย (2535)

2.4.2 **การเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วง**

การเปลี่ยนแปลงของมะม่วงหลังเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของผล ทั้งนี้เนื่องจากมะม่วงที่เก็บเกี่ยวแล้วยังคงมีชีวิต จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางสรีรวิทยา ได้แก่ การหายใจ การผลิตเอทิลีน การคายน้ำ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงปริมาณของคาร์โบไฮเดรท โปรตีน วิตามิน และกรดอินทรีย์ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของเนื้อผล การเปลี่ยนแปลงสี ตลอดจนกลิ่นและรสชาติของผลมะม่วง (ภูวนาถ นนทรี, 2542)

2.4.2.1 อัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีน

มะม่วงเป็นผลไม้พวก climacteric fruit ซึ่งผลไม้ประเภทนี้มีลักษณะสำคัญคือ อัตราการหายใจเพิ่มมากขึ้นเมื่อผลไม้เริ่มสุก โดยวัดได้ในรูปของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่คายออกมา ปัจจัยที่มีผลต่อการหายใจ ได้แก่ พันธุ์ และความอ่อนแก่ของผลมะม่วง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ การถ่ายเทอากาศ จุลินทรีย์ บาดแผล ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีน ผลมะม่วงที่มีอัตราการหายใจสูงจะเก็บรักษาได้ไม่นานเพราะมีการใช้อาหารสะสมมาก ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักและมีคุณภาพลดลงอย่างรวดเร็ว โดยการสูญเสียน้ำมากกว่า 5-10% ของน้ำหนักผล จะทำให้ผลเหี่ยว ความแน่นเนื้อลดลง และมีรสชาติไม่ดี (ทวี รักษ์ศรีทอง, 2533)

มะม่วงมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นแบบ Autocatalytic ไปพร้อมกับการลดลงของคลอโรฟิลล์ในเปลือก มะม่วงจัดเป็นผลไม้ที่มีการผลิตเอทิลีนในระดับปานกลาง คือ 1.0-10.0 ไมโครลิตรต่อกิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20°C โดยอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนมีการเพิ่มขึ้นในขณะที่ผลมะม่วงอยู่ในระหว่างการสุก และลดลงเมื่อผลมะม่วงแก่จัด อย่างไรก็ตาม รูปแบบการสุกและการหายใจของมะม่วงมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ของมะม่วง สภาพภูมิอากาศ และภูมิประเทศที่ปลูกมะม่วง (Krishanmurthy and Subramanyam, 1970)

2.4.2.2 การเปลี่ยนสีผิวของผล

สีเปลือกของมะม่วงมีการเปลี่ยนแปลงขณะที่มะม่วงสุก โดยเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มไปเป็นสีเขียวมะกอก แดงเข้ม ส้มเหลือง หรือสีเหลืองเข้ม ขึ้นอยู่กับพันธุ์ของมะม่วง โดยเกิดจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และแทนที่ด้วยแคโรทีนนอยด์ (carotenoid) หรือแอนโธไซยานิน (anthocyanin) (Parikh *et al*., 1990)

2.4.2.3 การอ่อนตัวของเนื้อเยื่อ

การนิ่มหรือการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อเกิดจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ในชั้น middle lamella โดยเปลี่ยน insoluble protopectin ไปเป็น soluble pectic substance โดยกระบวนการทำงานของเอนไซม์ pectin methylesterase และ polygalacturonase (Parikh *et al*., 1990)

2.4.2.4 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี

เมื่อผลมะม่วงอายุมากขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงของการหายใจเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆ ภายในผล ทั้งทางกายภาพและทางชีวเคมีหลายประการ เช่น การสูญเสียน้ำหนัก การลดลงของปริมาณกรด การเพิ่มขึ้นของของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids, TSS) และน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) สีผิวและสีเนื้อของผลเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองหรือส้มเมื่อสุก เกิดกลิ่นเฉพาะตามชนิดของผลไม้ ซึ่งเป็นผลมาจากสารพวก ester เป็นต้น (อังสุมา ชยสมบัติ, 2530)

2.4.3 การเน่าเสียของมะม่วงจากเชื้อจุลินทรีย์

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและทางชีวเคมีภายหลังการเก็บเกี่ยวมะม่วง มีผลทำให้เชื้อสาเหตุของโรคพัฒนาได้ดีและเร็วขึ้นเมื่อผลไม้มีความสุกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อผลมะม่วงมีบาดแผลหรืออยู่ในสภาพการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม จะทำให้การพัฒนาของโรคมีความรุนแรงยิ่งขึ้น โดยโรคที่เป็นปัญหาสำคัญภายหลังการเก็บเกี่ยวคือโรคแอนแทรคโนส ซึ่งมีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* (ภูวนาถ นนทรี, 2542) โดยพบว่ามะม่วงพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรคแอนแทรคโนสมากที่สุดคือ มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ (สายชล เกตุษา, 2528)

ลักษณะโดยทั่วไปของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคแอนแทรคโนสจะสร้าง fruiting body ที่เรียกว่า acervulus มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200-300 ไมโครเมตร ภายในสร้างสปอร์เซลล์เดียวรูปทรงกระบอก ปลายมนใส ขนาด 3.5-5.0 x 12.5-19.7 ไมโครเมตร (อรุณี พวงมี, 2530) เมื่อสปอร์งอกจะสร้าง appressorium ขนาด 6-20 x 4-12 ไมโครเมตร รูปทรงกระบอก (clevate) (อังสุมา ชยสมบัติ, 2530) เชื้อรา *C. gloeosporioides* เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 10-30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 95-97 % ระบาดโดยลมและฝนเป็นพาหะ โดยสปอร์ของเชื้อราจะปลิวไปตามลมและฝน ในช่วงฤดูฝนซึ่งมะม่วงผลิใบอ่อนจะมีการทำลายของเชื้อราสูง เช่นเดียวกับระยะที่มะม่วงออกดอกที่หากมีพายุฝน จะมีผลให้โรคแอนแทรคโนสระบาดได้ทั้งสวน (ชลอ ชำนาณพิทักษ์, 2539)

เชื้อรา *C. gloeosporioides* สามารถเข้าทำลายมะม่วงได้ทุกระยะ โดยหลังจากเชื้อราเข้าทำลายโดยสร้างเอนไซม์ย่อยผนังเซลล์ ในผลมะม่วงที่ยังอ่อนเชื้อจะพักตัวอยู่แบบแฝง ไม่แสดงอาการ โดยสปอร์ของเชื้อราจะงอก germ tube ออกมาจาก appressorium บนผิวภายในเวลา 24

ชั่วโมง จากนั้นจึงสร้าง infection hypha แทงผ่านชั้น cuticle เข้าไปประมาณ 2-3 ชั้นเซลล์ผิวผล หรือประมาณ 1 มิลลิเมตร และพักตัวอยู่ในผลมะม่วงในรูปของเส้นใยที่เจริญอยู่ระหว่างเซลล์ในชั้น epidermis และ subepidermis และเฝ้ารอเพื่อเจริญและเข้าทำลายเมื่อผลมะม่วงสุกเต็มที่ โดยเรียกการเข้าทำลายของเชื้อโรคพืชลักษณะนี้ว่า latent infection (Jeffeies *et al*., 1990) โดยระยะแรกปรากฏอาการเป็นแผลเป็นจุดฉ่ำน้ำเล็กๆ แล้วขยายเป็นจุดสีดำอย่างรวดเร็ว รอยแผลค่อนข้างกลม มีขอบชัดเจน บริเวณกลางแผลยุบตัวลงเล็กน้อยและมีกลุ่มสปอร์สีส้ม (spore mass) บริเวณกลางแผล ตลอดจนผิวผลแตกเป็นรอยแผล บางครั้งขยายเชื่อมติดกันเป็นรอยแผลขนาดใหญ่ (บรรณ บูรณะชนบท, 2543)

ภาพที่ 2.2 ลักษณะอาการของโรคแอนแทรคโนส จากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* บนผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้

2.4.4 การป้องกันและกำจัดโรค

2.4.4.1 การใช้สารเคมี

ได้มีการใช้สารเคมีประมาณ 20 ชนิด ในระยะ 30 กว่าปีที่ผ่านมากับผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว โดยประสิทธิภาพของสารเคมีขึ้นอยู่กับความไวของเชื้อต่อสารเคมีชนิดนั้น ความสามารถในการซึมลงไปในผิวของสารเคมีลงไปกำจัดเชื้อ นอกจากนี้สารเหล่านี้ต้องไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตผลและมีพิษตกค้างไม่เกินกำหนดของกฎหมายระหว่างประเทศ (สนั่น ขำเลิศ, 2533)

สนั่น ขำเลิศ (2533) ได้แบ่งประเภทการใช้สารเคมีไว้ 2 ประเภท คือ

การใช้ยาป้องกันเชื้อรา แม้มีการจุ่มน้ำร้อนแล้วก็ตาม เชื้อโรคแอนแทรกโนส อาจยังเหลืออยู่ โดยเฉพาะเชื้อที่ฝังตัวอยู่ในรูปสปอร์ที่ใต้ผิว ซึ่งเชื้อนี้เข้าไปเมื่อผลยังอ่อน เมื่อผลเริ่มสุกและแป้งในผลเริ่มเปลี่ยนเป็นน้ำตาล เชื้อที่ฝังอยู่ก็จะมีอาหารที่จะเจริญได้อย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้จึงควรมีการจุ่มยากันเชื้อราให้ติดผลไว้เพื่อป้องกันการขยายตัวของเชื้อราดังกล่าว สำหรับยากันเชื้อราที่นิยมใช้กันก็คือ ยาที่มีสารไทอะเบนดาโซลหรือเบนโนมิล สารดังกล่างนี้สามารถซึมเข้าสู่ใต้ผิวมะม่วงได้และมีอันตรายต่ำ อย่างไรก็ตามการใช้ยานี้มีการจำกัดความเข้มข้น โดยใช้ประมาณ 0.05-0.1% (500-1,000 ppm) ผสมน้ำอุ่นอุณหภูมิ 51-55 °C แล้วจุ่มผลมะม่วงลงในน้ำอุ่นที่มีสารนี้นานประมาณ 5 นาที จึงจะถือว่าผลตกค้างที่เหลืออยู่กับผลเมื่อถึงมือผู้บริโภคมีความปลอดภัย ปัจจุบันมีสารเคมีฆ่าเชื้อราสำหรับควบคุมโรคแอนแทรกโนสที่ได้ผลดีกว่าไทอะเบนดาโซลหรือเบนโนมิล คือ โปรคลอราซ (Prochloraz) ซึ่งไม่ต้องผสมด้วยน้ำอุ่น ความเข้มข้นที่เหมาะสมประมาณ 200-250 ppm และจุ่มผลมะม่วงนานประมาณ 1 นาที

การใช้สารแคลเซียม โดยรูปที่นิยมใช้ คือ แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride) ซึ่งในบ้านเรานิยมใช้ปูนขาวซึ่ง คือ แคลเซียมคาร์บอเนต แต่เมื่อละลายน้ำจะเป็นแคลเซียมไบคาร์บอเนต (Calcium Bicarbonate) ซึ่งแคลเซียมทั้งสองรูปทำให้ผลิตผลสดอยู่ได้นาน ชะลอการสุกให้ช้าลง ยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้นและลดความเสียหายให้น้อยลง เนื่องจากเกิดการสร้างพันธะเชื่อมต่อกัน (Cross-link) ระหว่างหมู่คาร์บอซิลิก (Carboxyl Group) ในโครงสร้างของเพคตินและโพลีวาเลนท์ แคดไอออน (Polyvalent Cations) เช่น แคลเซียมไอออน (Calcium ion) เกิดเป็น calcium pectate linkage ซึ่งช่วยรักษาโครงสร้างของเซลล์ให้มีความคงตัวมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม หากใช้แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium Chloride) เกิน 1 % จะทำให้เกิดรสขมได้

2.4.4.2 การใช้อุณหภูมิต่ำ

การใช้อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและใช้มากที่สุดในการยืดอายุการเก็บรักษา และลดการเน่าเสีย อุณหภูมิต่ำทำให้การสุกของผลิตผลช้าลงทำให้ความต้านทานของผลิตผลคงอยู่ นอกจากนี้การเจริญและการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ จะหยุดหรือช้าลงที่อุณหภูมิ 13-15 ˚C แต่ผลไม้ในเขตร้อนไม่สามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก เนื่องจากจะเกิด Chilling Injury จึงต้องหาจุดที่เหมาะสมในการเก็บรักษาที่ไม่มีผลเสียต่อผลิตผล โดยอุณหภูมิที่

เหมาะในการเก็บรักษามะม่วงดิบ คือ 13˚C (55˚F) สำหรับมะม่วงห่ามและมะม่วงสุก คือ 10˚C (50˚F) และความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมคือ 90-95% (สมศิริ แสงโชติ, 2546)

2.4.4.3 การใช้รังสี

การฉายรังสีเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถควบคุมการเน่าเสียได้ แต่การใช้รังสีแกมมาในการฉายให้ผลิตผลในความเข้มและระดับของรังสีที่สูงก็ก่อให้เกิดความเสียหายกับเนื้อเยื่อได้ ฉะนั้นการใช้รังสีจึงขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตผลและความไวของเชื้อต่อรังสี รวมทั้งค่าใช้จ่ายต้องไม่สูงกว่าวิธีการอื่นที่มีอยู่ด้วย (Kader, 1982)

2.4.4.4 การใช้การดัดแปลงบรรยากาศ

การเก็บรักษาผลิตผลโดยวิธีนี้ สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ดี โดยทั่วๆ ไป การเก็บโดยวิธีการรักษานี้ จะพยายามทำให้ระดับของออกซิเจนต่ำกว่าระดับปกติ (21%) เนื่องจากออกซิเจนจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ชอบอากาศ เช่น *Pseudomonas*, *Micrococcus* เป็นต้น และเชื้อราเกือบทุกชนิด ออกซิเจนมีความจำเป็นสำหรับการหายใจของพืช ผักและผลไม้ แม้จะเก็บเกี่ยวจากต้นแล้วก็ตาม ยังคงมีการหายใจตลอดเวลาจนกว่าเซลล์จะตาย และพยายามทำให้ระดับของคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าระดับของบรรยากาศปกติ (0.03%) เพราะจะชะลออัตราการหายใจของพืช ทำให้อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นและยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด (El-Goorani and Sommer, 1981)

2.4.4.5 การใช้น้ำร้อนและไอน้ำร้อน

การใช้ความร้อนเป็นวิธีการหนึ่งที่นำมาทดแทนสารเคมี เนื่องจากสารเคมีเป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม การใช้ความร้อนนอกจากมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์แล้วยังกระตุ้นความต้านทานของพืชต่อเชื้อจุลินทรีย์ด้วย การจุ่มผลมะม่วงในน้ำร้อนที่ 55 ˚C เป็นเวลา 5 นาที สามารถควบคุมโรคแอนแทรกโนสของมะม่วงได้ดี อย่างไรก็ตามการใช้น้ำร้อน จะไม่มีผลต่อการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ในห้องเก็บรักษา เนื่องจากไม่สามารถป้องกันโรคพืชที่จะเกิดขึ้นหลังจากการใช้น้ำร้อน และการใช้น้ำร้อนอาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บจากความร้อนได้ (Edney and Burchill, 1967)

2.4.4.6 การใช้สารเคลือบผิวและฟิล์มบริโภคได้ต้านจุลินทรีย์ในผักและผลไม้

การใช้สารเคลือบผิวจะปกคลุม ทับ หรือทดแทนไขที่เคยมีอยู่ และปิดช่องเปิดต่างๆ ตามธรรมชาติ ทำให้การคายน้ำที่ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำหนัก และการเหี่ยวของผลไม้รวมทั้งการแลกเปลี่ยนก๊าซหลังการเก็บเกี่ยวลดลง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมการหายใจและช่วยยืดอายุการสุกของผลไม้ด้วย เนื่องจากสารเคลือบผิวสามารถจำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ปริมาณก๊าซออกซิเจนค่อยๆ ลดลง ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการหายใจของผลผลิตลดลง และมีการเสื่อมสภาพของผลิตผลช้าลง นอกจากนี้ในสภาวะที่มีปริมาณก๊าซออกซิเจนลดลงในขณะที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการทำงานและการสังเคราะห์ก๊าซเอทิลีน เนื่องจากผลไม้ต้องใช้ก๊าซออกซิเจนในการผลิตเอทิลีน และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมเพิ่มขึ้นนั้นจะไปแย่งจับกับตัวรับเอทิลีน จึงเป็นการขัดขวางการทำงานของเอทิลีน (สายชล เกตุษา, 2528) จากประโยชน์ของการใช้สารเคลือบผิวดังที่ได้กล่าวขั้นต้น หากมีการใช้สารต้านจุลินทรีย์ร่วมกับสารเคลือบผิวหรือฟิล์มบริโภคได้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรในด้านการควบคุมการปลดปล่อยสารต้านจุลินทรีย์ เพื่อให้คงประสิทธิภาพตลอดอายุการเก็บรักษาผลิตผล (Cagri *et al*., 2004) Park และคณะ (2006) รายงานว่าการเคลือบผิวผลสตรอเบอรี่ด้วย Chitosan ผสม Potassium sorbate 0.3% (w/v) สามารถยับยั้งเชื้อรา *Cladosporium sp.* และ *Rhizopus sp*. ได้ดีในวันที่ 10 -15 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 5°C โดยสามารถยับยั้งเชื้อราได้ดีกว่าสารเคลือบผิว Chitosan ที่ไม่ได้ผสม Potassium sorbate และสตรอเบอรี่ที่ไม่ได้เคลือบผิวมีปริมาณเชื้อราดังกล่าวมากที่สุด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เช่นเดียวกับ อิงฟ้า คำแพง และคณะ (2552) ศึกษาคุณสมบัติและประสิทธิภาพในการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ของฟิล์มแป้งข้าวเจ้าผสมสารสกัดจากพืชวงศ์ส้ม 3 ชนิด พบว่าฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่เติมสารสกัดจากมะนาวด้วยเอทานอล และฟิล์มแป้งข้าวเจ้าที่เติมสารสกัดจากส้มโอด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Bacillus cereus, Leuconostoc mesenteroides, Lactobacillus plantarum และ Saccharomyces cerevisiae* ได้ และเมื่อนำฟิล์มทั้ง 2 ชนิดมาใช้ในการห่อส้มโอพร้อมบริโภค พบว่าส้มโอมีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่าส้มโอชุดควบคุม แต่มีความแน่นเนื้อสูงกว่าส้มโอชุดควบคุม อีกทั้งยังไม่พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ตลอดการทดลอง 16 วัน อีกทั้ง อรทัย ขำค้า และคณะ (2552) ศึกษาการพัฒนาฟิล์มแป้งมันสำปะหลังที่เติมสารสกัดจากมะนาว มะกรูด และส้มโอ พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E. coli, S. aureus, B. cereus, L. mesenteroides, L. plantarum และ S. cerevisiae* ได้ และเมื่อนำฟิล์ม

แป้งมันสำปะหลังที่เติมสารสกัดจากส้มโอด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์มาใช้ในการห่อส้มโอพร้อมบริโภค พบว่าส้มโอมีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่าส้มโอชุดควบคุม อีกทั้งยังไม่พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ตลอดการทดลอง 16 วัน นอกจากนี้ยังมีการใช้ฟิล์มบริโภคได้ต้านจุลินทรีย์กับผลไม้ตัดแต่งด้วย 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) ศึกษาผลของการเติมน้ำมันหอมระเหยจาก cinnamon, palmarosa และ lemongrass และสารสกัดออกฤทธิ์จาก eugenol, geraniol และ citral ลงในสารเคลือบที่บริโภคได้ alginate ต่อการลดลงของปริมาณเชื้อ *Salmonella* Enteritidis ที่ถ่ายลงไปบนชิ้นเมลอนตัดแต่งตลอด 21 วันของการเก็บรักษา พบว่า ชิ้นเมลอนตัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบ alginate ที่เติมน้ำมันหอมระเหย และสารสกัดออกฤทธิ์ทุกชนิด มีปริมาณเชื้อ *S.* Enteritidis บนชิ้นเมลอนต่ำกว่า ชิ้นเมลอนที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่ไม่ได้เติมสารต้านจุลินทรีย์ และชิ้นเมลอนที่ไม่ได้เคลือบด้วยสารเคลือบ alginate โดยสารเคลือบ alginate ที่มี Cinnamon (0.7% v/v) สามารถลดปริมาณเชื้อได้มากที่สุดในช่วงแรกของการเก็บ

อีกทั้งมีการศึกษาการใช้ฟิล์มต้านจุลินทรีย์กับผักผลไม้โดยไม่ได้ใช้อยู่ในรูปการเคลือบผลโดยตรง เช่น นิติพงษ์ วงศ์นิมิตรกุล และคณะ (2551) ใช้ฟิล์มบุกผสมน้ำมันกานพลูความเข้มข้น 20,000 ppm และ 30,000 ppm วางในภาชนะที่เก็บรักษามะเขือเทศตัดแต่งที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 5 วัน พบว่า สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้มากกว่า 23 วัน และ 29 วัน ตามลำดับ ซึ่งมากกว่ามะเขือเทศชุดควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษาเพียง 11 วัน เช่นเดียวกับ Gamage และคณะ (2009) รายงานว่าได้ใช้สารเคลือบ soy protein isolate (SPI) ที่ผสมสารต้านจุลินทรีย์ (Antimicrobial agent) คือ allyl isothiocyanate, trans-cinnamaldehyde, garlic oil, และ rosemary oil ในช่วงความเข้มข้น 0.6–1.2% v/v แล้วทำการเคลือบลงบนถุงฟิล์ม OPP/PE แล้วนำไปเก็บรักษา alfalfa, broccoli และ radish ที่อุณหภูมิ 10°C เป็นเวลา 5 วัน พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่นับได้ทั้งหมดของ alfalfa, broccoli และ radish ลงได้มากกว่าสารเคลือบ soy protein isolate (SPI) ที่ไม่ได้ผสมสารต้านจุลินทรีย์ลงไป เนื่องจากสารต้านจุลินทรีย์ทุกชนิดมีการแพร่กระจาย (diffuse) ออกมาควบคุมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้

2.5 สารสกัดจากสมุนไพร

2.5.1 พืชวงศ์ขิง

พืชวงศ์ขิง (Zingiberaceae) มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย และ จีน ขอบเขตการกระจายพันธุ์อยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยเฉพาะป่าในบริเวณอินโด-มาลายา (Indo-Malaya) ซึ่งเป็นป่าเขตร้อนชื้นตลอดปี (David and Hammond, 1988) พืชวงศ์ขิงจัดอยู่ในอันดับ Zingiberales เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวเป็นไม้เนื้ออ่อนหรือพืชล้มลุกที่มีอายุหลายปี (perennial herb) ตาอยู่ใต้พื้นดิน (cryptophyte หรือ geophyte) มีลำต้นใต้ดินที่เรียกว่าหัวหรือเหง้า (rhizome) ทนทานต่อสภาวะแวดล้อม และการเหยียบย่ำของสัตว์ได้ดี พืชวงศ์ขิงเป็นพืชที่เจริญได้ดีโดยไม่ต้องอาศัยแสงมากนักหรือเป็นพืชที่ทนร่มมาก (sciophyte) พบโดยทั่วไปในป่าดิบชื้นที่ระดับความสูง 100-1,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล (นิวัติ เรืองพานิช, 2534) นอกจากนี้ยังพบสารหอมระเหย (aromatic substance) เกือบทุกส่วนของพืชวงศ์นี้ (Dahlgren *et al*., 1985)

2.5.1.1 ขิง (*Zingiber officinale* Roscoe)

ขิงมีชื่ออื่นๆ ได้แก่ ขิงแกลง ขิงแดง (จันทบุรี) ขิงเผือก (เชียงใหม่) สะเอ (แม่ฮ่องสอน) ลักษณะลำต้นเหนือดินของขิงตั้งตรง ขึ้นเป็นกอสูงประมาณ 90 เซนติเมตร มีกาบใบห่อหุ้ม ดอกออกเป็นช่อ ดอกอ่อนมีสีขาวระหว่างเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม ใบเป็นชนิดใบเดี่ยว ออกเรียงสลับกันเป็นสองแถวปลายใบสอบเรียวแหลม ผลมีลักษณะกลม แข็ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ส่วนลำต้นใต้ดินหรือเหง้ามีการแตกแขนงเป็นแบบนิ้วมือ เปลือกนอกสีน้ำตาลแกมเหลือง เนื้อในสีเหลืองอ่อน ขยายพันธุ์โดยใช้เหง้า ควรปลูกในดินร่วนปนทราย ที่มีการระบายน้ำได้ดี การเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน-เดือนมกราคม ซึ่งได้ขิงแก่ที่มีอายุประมาณ 11-12 เดือน (รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ, 2540) ลักษณะของขิงที่ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์เมื่อตัดตามขวางพบ cork cell 2 ชั้น ชั้นนอกสุดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ ส่วนชั้นในเรียงตัวตามแนวรัศมี ถัดเข้ามาเป็นชั้น cortex มีเม็ดแป้งรูปไข่ ขนาดยาวตั้งแต่ 5-60 ไมโครเมตร และ มี oil cell อยู่ซึ่ง ภายใน oil cell มีน้ำมันชัน oleoresin สีน้ำตาลเหลืองจำนวนมาก (ถนอมศรี วงศ์รัตนาสถิตย์, 2538)

ขิงเป็นเครื่องเทศที่มีกลิ่นหอม รสเผ็ด ประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย (essential oil) 1-3% น้ำมันชัน (oleoresin) 4-7.5% แป้ง (starch) 40-60% และเมือก (รัตนา อินทรานุปกรณ์,

2550) มีกลิ่นหอมฉุนและโดยรสเผ็ดในขิงเป็นสารจำพวกน้ำมันชัน (oleoresin) ซึ่งประกอบด้วย gingerol (1-(3-methoxy-4-hydroxyphenyl)-3-keto-5-hydroxyhexane), shogoal และ zingerone น้ำมันชันที่เตรียมใหม่ๆ มี gingerol เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วน shogoal และ zingerone เป็นสารที่ไม่เกิดตามธรรมชาติแต่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขณะที่เตรียมและเก็บน้ำมันชัน โดย gingerol เปลี่ยนเป็น shogoal ซึ่งมีกลิ่นหอมฉุนมากกว่า gingerol ด้วยปฏิกริยาดีไฮเดรชั่น (dehydration) เปลี่ยนเป็น zingerone ด้วยปฏิกิริยารีโทร-อัลดอล (retro-aldol) (Chen and Ho, 1986)

2.5.1.2 **ข่า** (*Alpinia galanga* Sw.)

ข่ามีชื่ออื่นๆ ได้แก่ ข่าหลวง ข่าหยวก (ภาคกลาง) สะเชย (กระเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน) ข่าเป็นพืชลงหัว มีเหง้า และต้นใหญ่กว่าขิง ลักษณะใบ เป็นใบเดี่ยวรูปหอก สีเขียวอ่อนเป็นมัน ลำต้นเหนือดินสูงประมาณ 1-2 เมตร ดอกออกเป็นช่อตรงปลายยอด ผลมีลักษณะกลมโตขนาดเท่าเม็ดบัว เมื่อแก่มีสีดำและเม็ดเล็กๆอยู่ภายใน มีรสขม เผ็ดร้อน เหง้าของข่ามีสีน้ำตาลอมแสด มีเส้นแบ่งข้อเป็นช่วงสั้นๆ เนื้อในเหง้ามีสีขาว เพาะปลูกได้ทุกฤดูกาล ชอบขึ้นบริเวณพื้นที่ลุ่มชื้นแฉะและดินร่วนซุยที่มีความอุดมสมบูรณ์ (เพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ และกัญจนา ดีวิเศษ, 2542) เมื่อศึกษาเหง้าข่าตัดขวาง (cross section) ด้วยกล้องจุลทรรศน์มีลักษณะที่คล้ายกับเหง้าของพืชในวงศ์ Zingiberaceae คือ พบเม็ดแป้งกระจัดกระจายอยู่ใน parenchyma cell มีเซลล์ที่มีน้ำมันชันบรรจุอยู่ (นิจศิริ เรืองรังษี, 2534) โดยส่วนประกอบหลักของสารสกัดจากข่าประกอบด้วย 1,8-cineole (20.95%), ***β***-bisabolene (13.16%), ***β***-caryophyllene (17.95%) และ ***β***-selinene (10.56%) ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม terpenes (Mayachiew and Devahastin, 2008)

2.5.1.3 **กระชาย** (*Boesenbergia pandurata* Holtt.)

ชื่ออื่นๆ ได้แก่ ขิงแดง ขิงทราย (มหาสารคาม) ว่านพระอาทิตย์ (กรุงเทพฯ) เป๊าะสี เป๊าะซอเถ๊ะ (แม่ฮ่องสอน) กะแอน ระแอน (ภาคเหนือ) ลำต้นเหนือดินสูงประมาณ 2 เมตร ส่วนลำต้นใต้ดินหรือเหง้าเป็นรูปกระสวยจำนวนมาก สีน้ำตาลแกมเทาจนถึงสีน้ำตาลแกมส้ม เนื้อในของเหง้าละเอียดและรากสีเหลือง ใบเดี่ยว กาบใบมีสีแดงเหรื่อ ใบรูปขอบขนานแกมรูปไข่ กว้าง 4.5-10 เซนติเมตร ด้านในของก้านใบมีร่องลึก ดอกออกเป็นช่อแทรกอยู่ระหว่างกาบใบที่โคนต้น กลีบดอกมีสีขาวอมชมพู ผลเป็นผลแห้ง เมื่อแก่แล้วไม่แตก มักเจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีอากาศร้อนชื้น แก่เต็มที่เมื่ออายุประมาณ 5-6 เดือน (ชยันต์ พิเชียรสันทร และวิเชียร จีรวงส์, 2545) การศึกษาลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์ของกระชายภาคตัดขวางมีลักษณะคล้ายคลึงกับเหง้าข่า

มาก โดย hypodermis และ periderm จะแคบกว่าของข่า ลักษณะของเม็ดแป้งจะมีจงอยแหลมและเด่นชัด (นิจศิริ เรืองรังษี, 2534) กระชายเป็นพืชที่ให้น้ำมันหอมระเหยเช่นเดียวกับเครื่องเทศชนิดอื่นๆ แต่ปริมาณที่มีอยู่ค่อนข้างน้อย ประมาณ 0.08% เมื่อกลั่นด้วยไอน้ำสารประกอบที่พบได้ในกระชาย เช่น α-pinene, camphene, myrcene, limonene, 1,8-cineol, linalool, neral, borneol, geraniol และ camphor นอกจากนี้ยังพบว่ามี pinostrobin, alpinatinetin bosenbergin A, bosenbergin B, puduratin A, cardomonin, pinostrobin และ pinocembin (Jaipetch *et al*., 1982)

ตัวอย่างงานวิจัยการยับยั้ง *C. gloeosporioides* ของสารสกัดจากกระชาย ข่า และขิงมีรายงานการวิจัยที่ได้ศึกษาถึงฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา *C. gloeosporioides* ของสารสกัดจากพืชสมุนไพรต่างๆ เช่น การศึกษาฤทธิ์สารสกัดจากข่าที่เป็นน้ำคั้นสด สารสกัดจากข่าที่ระเหยน้ำออก และสารสกัดจากข่าที่แยกชั้นด้วยน้ำมันต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* พบว่าสารสกัดจากข่าที่แยกชั้นด้วยน้ำมัน มีผลยับยั้งการเจริญได้เล็กน้อย แต่มีผลต่อความยาวของ germ tube (บังอร แสนคาน, 2540) สารสกัดหยาบจากขิงที่สกัดด้วย 95% ethanol มีผลทำให้การเจริญของเส้นใยของรา *C. gloeosporioides* ทุกสายพันธุ์ที่นำมาทดสอบลดลง ระหว่าง 83-87% สารสกัดหยาบที่ได้จาก ขิง และ ข่าที่สกัดด้วย ethanol สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ของ *C. gloeosporioides* สายพันธุ์ 163 ที่นำมาทดสอบได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อมีความเข้มข้นของสารสกัด 25,000 ppm และสารสกัดหยาบที่ได้จากกระชายที่สกัดด้วย ethanol สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ *C. gloeosporioides* สายพันธุ์ 163 เมื่อมีความเข้มข้นของสารสกัด 5,000 ppm ขึ้นไป (สุภัทรา จามกระโทกและคณะ, 2549) สารสกัดจากข่าที่สกัดด้วย hexane, dichloromethane, ethyl acetate, acetone และ ethanol มีฤทธิ์ในการยับยั้ง *C. gloeosporioides* ได้ 100% เมื่อมีความเข้มข้นของสารสกัด 5,000 ppm ขึ้นไป สารสกัดจากขิงที่สกัดด้วย ethyl acetate, acetone มีฤทธิ์ในการยับยั้ง *C. gloeosporioides* ได้ 100% เมื่อมีความเข้มข้นของสารสกัด 10,000-20,000 ppm (วิไลรัตน์ ศรีนนท์ และคณะ, 2552)

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

ผงบุก จากบริษัท Yunnan Genyun Konjac Resource Corp., Kunming (Yunnan, PR China)

มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 จากสวนในอำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่

กระชาย ข่า และ ขิงแห้งบดละเอียด จากบริษัท เวชพงศ์โอสถ (ฮกอันตึ๊ง) จำกัด

เชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* จากศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

3.1.2 สารเคมี

เอทานอล (Ethanol) 95 % บริษัท ห้าอุตสาหกรรม ประเทศไทย

กลีเซอรอล (Glycerol) บริษัท Union Chemical 1986 ประเทศไทย

โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) บริษัท Qrec ประเทศนิวซีแลนด์

Tween 80 บริษัท VWR International ประเทศอังกฤษ

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) บริษัท Carlo Erba ประเทศอิตาลี

ฟีนอฟทาลีน (Phenolphthalein) บริษัท Tokyo Chemical Industry ประเทศญี่ปุ่น

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการสกัดพืชสมุนไพร

เครื่อง Rotary evaporator บริษัท Buchi ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

กระดาษกรอง บริษัท Whatman International ประเทศอังกฤษ

3.1.4 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

Paper Disc บริษัท Whatman International ประเทศอังกฤษ

จานอาหารเลี้ยงเชื้อ บริษัท Hycon ประเทศสหรัฐอเมริกา

96 Microwell Plates บริษัท SPL Lifesciences ประเทศเกาหลี

อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

อาหารเลี้ยงเชื้อ PDB บริษัท Hi Media Laboratories ประเทศอินเดีย

Amphotericin B บริษัท ไบโอฟาร์ม เคมิคัลส์ ประเทศไทย

p-iodonitrotetrazolium violet (INT) บริษัท Tokyo Chemical Industry ประเทศญี่ปุ่น

3.1.5 อุปกรณ์ในการเตรียมฟิล์มและสารเคลือบผิว

ถาดอะลูมิเนียม

ตู้อบ (hot air oven) รุ่น ED บริษัท WIC Binder ประเทศเยอรมนี

เครื่อง Magnetic stirrer

Magnetic bar

3.1.6 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์คุณภาพ

Chroma Meter (Model CR-400 Series) บริษัท Minolta ประเทศญี่ปุ่น

เครื่องวัดความหนา (Digital Thickness Gauge) Model TH-104 บริษัท Tester Sangyo ประเทศญี่ปุ่น

Texture Analyzer TA-XT 2 บริษัท Stable Micro Systems ประเทศอังกฤษ

Instron Texture Analyzer รุ่น 5565 บริษัท Instron ประเทศสหรัฐอเมริกา

Hand Refractometer รุ่น N1 ยี่ห้อ Atago ประเทศญี่ปุ่น

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การประเมินความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากพืชสมุนไพร

3.2.1.1 การเตรียมสารสกัดหยาบจากสมุนไพรไทย

นำกระชาย ข่า และ ขิงแห้งบดละเอียดแช่ด้วยในตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เอทานอล และน้ำกลั่น 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)

3.2.1.2 การเตรียมกล้าเชื้อ

เพาะเชื้อรา *C. gloeosporioides* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่อุณหภูมิห้อง (30+2°C) เป็นเวลา 7 วัน โดยบรรจุในถุงพลาสติกป้องกันอาหารเลี้ยงเชื้อแห้ง จากนั้นปิเปตอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว PDB ปริมาตร 5 ml ลงในจานเพาะเชื้อราแล้วใช้แท่งแก้วงอขูดสปอร์ของเชื้อราให้หลุดออกจากผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นใช้พลาสเจอร์ปิเปตดูด spore suspension ขึ้นจากจานเพาะเชื้อ ทำการเจือจาง spore suspension ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ PDB และนับสปอร์ด้วย haemacytometer ให้ได้เท่ากับ 10^6 spore/ml (Richard *et al*., 2004)

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

นำสารสกัดจากสมุนไพรไทยในตัวทำละลายชนิดต่างๆ ละลายใน DMSO ความเข้มข้น 10 % ให้ได้ความเข้มข้นเริ่มต้นตามต้องการ นำสารละลายของสารสกัดที่ได้ 100 µl เจือจางแบบ two-fold dilution ด้วยน้ำกลั่นฆ่าเชื้อให้ได้ 8 ระดับ ใน 96 microwell plates (ความเข้มข้นตั้งแต่ 40,000 – 312.5 µg/ml สำหรับสารสกัดสมุนไพรในเอทานอล และความเข้มข้นตั้งแต่ 160,000 – 1,250 µg/ml สำหรับสารสกัดสมุนไพรในน้ำกลั่น) โดยในแต่ละหลุมประกอบด้วยสารละลายของสารสกัดที่เจือจางแล้วปริมาณ 100 µl อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว PDB ที่มีเชื้อ *C. gloeosporioides* ความเข้มข้นเท่ากับ 10^6 spore/ml ปริมาณ 100 µl สารละลาย

p-iodonitrotetrazolium violet (INT) ที่ละลายด้วยน้ำกลั่นฆ่าเชื้อความเข้มข้น 0.2 mg/ml ปริมาณ 40 µl โดยชุดควบคุมทางลบ (Negative control) ใช้ DMSO ความเข้มข้น 10 % ปริมาณ 100 µl อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว PDB ที่มีกล้าเชื้อ 100 µl และสารละลาย *p*-iodonitrotetrazolium violet (INT) ปริมาณ 40 µl ส่วนชุดควบคุมทางบวก (Positive control) ใช้ยาปฏิชีวนะมาตรฐาน ได้แก่ Amphotericin B ความเข้มข้น 0.1 mg/ml ปริมาณ 100 µl อาหารเลี้ยงเชื้อเหลว PDB ที่มีกล้าเชื้อ 100 µl และสารละลาย *p*-iodonitrotetrazolium violet (INT) ปริมาณ 40 µl ในการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อรา นำ 96 microwell plate ไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง (30+2°C) เป็นเวลา 3 วัน เมื่อครบระยะบ่มแล้ว ให้สังเกตหลุมที่ไม่มีการเปลี่ยนสีของ INT เป็นสีม่วงแดง หลุมสุดท้ายที่ไม่เปลี่ยนสีคือ หลุมที่ไม่มีการเจริญของเชื้อราทดสอบให้บันทึกเป็นค่า MIC โดยหลักการเปลี่ยนแปลงสีของ INT คือเมื่อเชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญจะมีการหายใจ และมีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนจาก NADH ให้กับ INT ทำให้สารละลายในหลุมเปลี่ยนจากไม่มีสี เป็นสารละลายสีม่วงแดง (Masoko, 2007) การหาค่า MFC โดยการใช้ micropipette ดูดสารละลาย 100 µl จากหลุมที่ไม่มีเชื้อราเติบโตทุกหลุม ลงในจานเพาะเชื้อที่เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ใช้แท่งแก้วงอเกลี่ยให้ทั่วอาหารเลี้ยงเชื้อ เพาะเชื้อที่อุณหภูมิห้อง (30+2°C) เป็นเวลา 5 วัน เมื่อครบระยะบ่มเพาะแล้ว ให้สังเกตการเจริญของเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง ความเข้มข้นต่ำสุดที่ไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อให้บันทึกเป็นค่า MFC (Eloff, 1998)

3.2.2 การตรวจสอบคุณภาพของฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพร

3.2.2.1 การผลิตฟิล์ม

เตรียมสารละลายบุกความเข้มข้น 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 3.2.1.3) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และเติม Tween 80 ความเข้มข้น 1% v/v เป็นตัวช่วยในการละลายของสารสกัด

3.2.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราของฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพร

ประเมินความสามารถในการยับยั้งเชื้อราของสารละลายบุกและแผ่นฟิล์มบุก ที่ผสมสารสกัดจากสมุนไพรด้วยวิธี disc diffusion method โดยใช้แผ่น sterile paper disc ที่มี

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร จุ่มลงในสารละลายบุกที่ผสมและไม่ผสมสารสกัดจากสมุนไพร แล้ววางลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่มีการเกลี่ยสารแขวนลอยของสปอร์เชื้อราความเข้มข้น 10^6 spore/ml นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน

นำสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากสมุนไพรความเข้มข้นต่างๆ อีกส่วนหนึ่งมาเทลงบนถาดอะลูมิเนียมเพื่อขึ้นรูปฟิล์ม 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

3.2.2.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์ม

แผ่นฟิล์มบุกที่ผลิตได้ในขั้นตอนที่ 3.2.2 มาตรวจสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มบุกดังนี้

การวัดความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยืดตัวของฟิล์ม โดย Instron Texture Analyzer รุ่น 5565 บริษัท Instron ประเทศสหรัฐอเมริกา (ภาคผนวก ก. 1)

การทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ ตามวิธี ASTM E 96-95 (ภาคผนวก ก. 2)

3.2.3 การนำฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพรไปใช้กับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

3.2.3.1 การเตรียมสารละลายบุกและฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพร

เตรียมสารละลายบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพรที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราที่ดีที่สุดตามวิธีการในข้อที่ 3.2.2.1 มาเคลือบผิวมะม่วง และเตรียมแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพรที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราที่ดีที่สุด มาใช้ในกล่องบรรจุมะม่วง

โดยนำผลมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่มีอายุเก็บเกี่ยว 100 วัน หลังดอกบาน ที่ได้จากสวนในอำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเก็บเกี่ยวในตอนเช้า ขนาด 300-350 กรัมต่อผล ขนส่งมายังห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คัดเลือกมะม่วงที่ไม่มีตำหนิจากโรค หนอนและแมลง ตัดขั้วผลให้เหลือประมาณ 1 เซนติเมตร รอจนกระทั่งยางหยุดไหล จุ่มผลมะม่วงลงในน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 55°C นาน 5 นาที พร้อมกับตรวจสอบความสุกแก่ของมะม่วง โดยมะม่วงแก่จัดจะจมน้ำ หลังจากนั้นลดอุณหภูมิของผลมะม่วงให้เท่ากับอุณหภูมิห้องด้วยการแช่ในน้ำเย็น แล้วพึ่งให้แห้งเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป 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±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95% บรรจุลงในกล่องกระดาษลูกฟูกขนาด 31.88 x 47.81 x 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

3.2.3.2 การตรวจสอบคุณภาพของผลมะม่วงระหว่างการเก็บรักษา

โดยสุ่มตัวอย่างมะม่วงออกมาวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพดังนี้

การสูญเสียน้ำหนัก โดยคัดเลือกผลมะม่วงจำนวน 9 ผลของแต่ละชุดการทดลอง บันทึกน้ำหนักในวันเริ่มต้นของแต่ละผล หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักผลมะม่วงชุดเดิมทุก 3 วัน คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก (ภาคผนวก ก. 3)

วัดความแน่นเนื้อ โดย Texture Analyzer TA-XT 2 บริษัท Stable Micro Systems ประเทศอังกฤษ (ภาคผนวก ก. 4)

วัดการเปลี่ยนแปลงสีของผิวเปลือก โดย Chroma Meter (Model CR-400 Series) บริษัท Minolta ประเทศญี่ปุ่น อ่านค่า *L, a, b,* ΔE และค่า Hue angle (ภาคผนวก ก. 5)

วัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids; TSS) (ภาคผนวก ก. 6)

วัดปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity; TA) (ภาคผนวก ก. 7)

หาอัตราส่วน TSS/TA

วัดการเกิดโรค โดยนับจำนวนผลมะม่วงที่เกิดโรคแอนแทรคโนสที่ผิวต่อจำนวนผลมะม่วงทั้งหมด แล้วคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ (ภาคผนวก ก. 8)

วัดความรุนแรงของโรค โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ผลมะม่วงที่เกิดโรคแอนแทรคโนสเปรียบเทียบกับพื้นที่ผลมะม่วงทั้งผล (ภาคผนวก ก. 9)

ประเมินการยอมรับคุณภาพของผู้บริโภค ที่มีต่อมะม่วงในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา คือวันที่ 30 ของการเก็บรักษา (ใช้วิธี 9-Point Hedonic Scale Test ให้คะแนนตั้งแต่ 1-9) ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 25 คน (ภาคผนวก ก. 10)

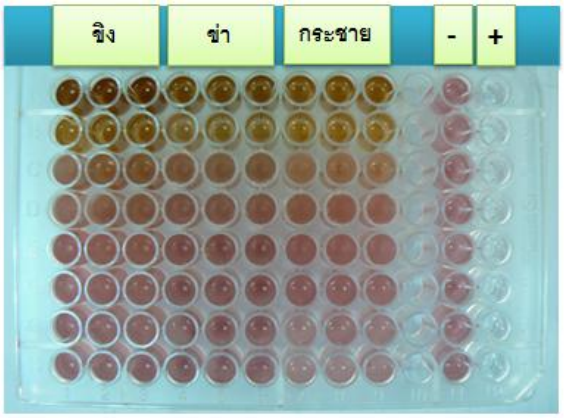
บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

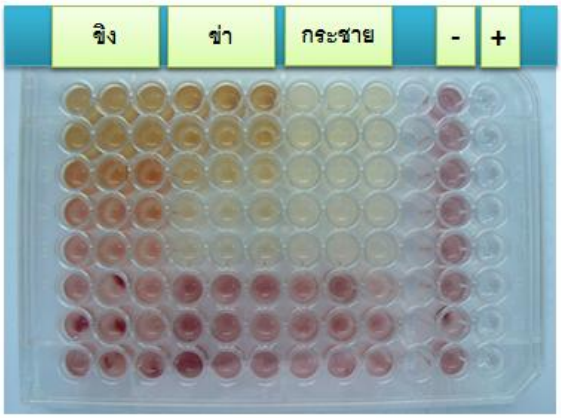
4.1 การประเมินความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดจากพืชสมุนไพร

จากรายงานการวิจัยที่เคยมีการศึกษาถึงฤทธิ์ของสารสกัดจาก ขิง ข่า และกระชาย ในการยับยั้งเชื้อรา *C. gloeosporioides* ซึ่งค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้ง และทำลายเชื้อราที่มีรายงานไว้ก็แตกต่างกันไป ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงต้องมีการประเมินความสามารถในการยับยั้งเชื้อรา *C. gloeosporioides* ของสารสกัดจาก ขิง ข่า และกระชาย ในตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เอทานอล และน้ำกลั่น หาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งและทำลายเชื้อรา *C. gloeosporioides* เพื่อใช้เป็นค่าความเข้มข้นเริ่มต้นในการผสมในสารเคลือบ หรือ ฟิล์มจากบุก เพื่อให้มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้

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 (รัตนา อินทรานุปกรณ์, 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 (µg/ml)	MFC (µg/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 สารสกัดจากกระชายและข่าที่สกัดด้วยเอทานอล มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสารสกัดจากกระชายและข่าที่สกัดด้วยเอทานอลไปใช้ในการทดสอบต่อไปในขั้นตอนที่ 4.2

4.2 การตรวจสอบคุณภาพของฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพร

4.2.1 ประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราของฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพร

ประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราจะพิจารณาจากความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณที่เกิดการยับยั้ง (inhibition zone) การตรวจสอบประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรากระทำ 2 แบบ กล่าวคือตรวจสอบทั้งในรูปแบบของสารละลายบุกผสมสารสกัดจากกระชายหรือข่า และนำสารละลายบุกผสมสารสกัดจากกระชายหรือข่าไปขึ้นรูปเป็นฟิล์ม นำมาทดสอบบริเวณยั้บยั้งโดยการนำ 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 จากผลการทดลองพบว่าสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากข่าสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ดีกว่าสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายในทุกระดับความเข้มข้นที่ทดสอบ โดยสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายหรือข่าเริ่มเกิดบริเวณยับยั้งที่ระดับความเข้มข้น 10,000 µg/ml ขึ้นไป (ตารางที่ 4.2) แสดงว่าสารสกัดจากกระชายหรือข่าความเข้มข้น 10,000 µg/ml เป็นความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถผสมลงในสารละลายบุกแล้วยังออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราดังกล่าวได้

ตารางที่ 4.2 ผลการยับยั้งเชื้อราของสารละลายบุกและฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากข่าและกระชาย

ชนิดของสารสกัด	ความเข้มข้น ที่ผสมลงในสารละลายบุก/ฟิล์มบุก (µg/ml)	เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้ง ของสารละลายบุกผสมสารสกัด (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณยับยั้ง ของฟิล์มบุกผสมสารสกัด (cm)
ข่าที่สกัดด้วยเอทานอล	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

สำหรับการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งของฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายหรือข่า ที่ความเข้มข้นต่างๆ (2,500 - 30,000 µg/ml) ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม แล้วตัดแผ่นฟิล์มเป็นวงกลมให้มีขนาดเท่ากับ sterile paper disc จากตารางที่ 4.2 พบว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดจากข่าสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ดีกว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายในทุกระดับความเข้มข้นที่ทดสอบ โดยฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายความเข้มข้น 20,000 µg/ml เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา ในขณะที่ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากข่าที่ความเข้มข้น 10,000 µg/ml เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารสกัดข่าเป็น 30,000 µg/ml จะเกิดบริเวณยับยั้งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.76 เซนติเมตร ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในระดับมาก Ponce (2003) รายงานว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งที่มีขนาดน้อยกว่า 0.8 เซนติเมตร ถือว่าไม่

ยับยั้ง (-) 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 µg/ml เป็นความเข้มข้นที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราที่ดีที่สุด เมื่อผสมลงในสารละลายบุกและฟิล์มบุก ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายบุกผสมสารสกัดข่าความเข้มข้น 30,000 µg/ml เพื่อใช้เป็นสารเคลือบผิวมะม่วง และเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มบุก เพื่อใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ต่อไป

สำหรับฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากกระชายหรือข่า ได้นำไปศึกษาสมบัติของฟิล์มต่อในขั้นตอนที่ 4.2.2

4.2.2 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 ($g/cm^2.h$)
ข่า	2500	22.94 ± 2.00^{g}	23.02 ± 2.31^{f}	$3.38\times10^{-3}\pm4.50\times10^{-5efg}$
	10000	16.24 ± 1.49^{e}	20.11 ± 0.87^{e}	$3.21\times10^{-3}\pm4.95\times10^{-5def}$
	20000	8.70 ± 1.17^{c}	17.22 ± 0.67^{d}	$3.16\times10^{-3}\pm5.07\times10^{-5de}$
	30000	6.91 ± 0.64^{b}	16.73 ± 0.49^{d}	$3.01\times10^{-3}\pm7.52\times10^{-5d}$
กระชาย	2500	18.10 ± 1.01^{f}	17.16 ± 2.24^{d}	$3.4\times10^{-3}\pm1.31\times10^{-4fg}$
	10000	11.77 ± 0.98^{d}	11.28 ± 2.33^{c}	$2.76\times10^{-3}\pm2.43\times10^{-4c}$
	20000	6.99 ± 0.60^{b}	5.91 ± 1.36^{b}	$2.27\times10^{-3}\pm3.02\times10^{-4b}$
	30000	5.08 ± 0.65^{a}	3.56 ± 1.12^{a}	$1.66\times10^{-3}\pm1.32\times10^{-4a}$
ไม่เติม	0	51.78 ± 4.31^{h}	37.29 ± 4.61^{g}	$3.53\times10^{-3}\pm5.89\times10^{-5g}$

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

จากตารางที่ 4.3 พบว่าฟิล์มบุกความเข้มข้น 1% w/v ที่ไม่ได้ผสมสารสกัดกระชายหรือข่ามีค่า Tensile Strength (TS) เท่ากับ 51.78 MPa และมีค่า Elongation (E) เท่ากับ 37.29% โดยค่าที่ได้ทั้งสองนี้มีค่าสูงกว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดกระชายหรือข่าที่ทุกระดับความเข้มข้น แสดงว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดกระชายหรือข่า มีความแข็งแรงและการยืดตัวที่น้อยกว่าฟิล์มบุกที่ไม่ผสม

สารสกัด เนื่องจากสารสกัดมีส่วนที่ไม่มีขั้วเป็นส่วนมาก ทำให้เข้าไปขัดขวางการเรียงตัวของสายพอลิเมอร์ของกลูโคแมนแนน ทำให้เกิดการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายพอลิเมอร์กลูโคแมนแนนลดลง ฟิล์มที่ได้จากบุกที่ผสมสารสกัดกระชายและข่า จึงมีค่า Tensile Strength และค่า Elongation ลดลง เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดกระชายกับฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดข่า พบว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดข่ามีค่า Tensile Strength และ Elongation ที่สูงกว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดกระชาย และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดขึ้น จะส่งผลให้ความแข็งแรงและการยืดตัวของฟิล์มมีแนวโน้มลดลง

อัตราการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มบุกที่ไม่ได้ผสมสารสกัดกระชายและข่ามีค่าเท่ากับ 3.53×10^{-3} g/cm^2.h ซึ่งมีค่าสูงกว่าฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดกระชายและข่าทุกระดับความเข้มข้น เนื่องจากฟิล์มบุกผสมสารสกัดมีส่วนที่มีสภาพไม่มีขั้วเป็นส่วนมาก ทำให้เกิดการขัดขวางการซึมผ่านของไอน้ำที่มีสภาพขั้ว เป็นผลให้ฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัด มีอัตราการซึมผ่านขึ้นไอน้ำลดลง แสดงถึงการป้องกันการซึมผ่านไอน้ำได้ดีขึ้น อีกทั้งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด การป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำจะมีแนวโน้มดีขึ้นตามลำดับ

Sanchez-Gonzalez และคณะ (2010) ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มไคโตซานผสมน้ำมันมะกรูด พบว่าฟิล์มไคโตซานที่ผสมน้ำมันมะกรูดความเข้มข้น 0.5 %, 1%, 2% และ 3% w/w มีค่า Tensile Strength, Elongation และ WVTR ที่ลดต่ำลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มไคโตซานที่ไม่ได้เติมน้ำมันมะกรูด เนื่องจากน้ำมันมะกรูดจะไปเปลี่ยนการดึงดูดระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง อีกทั้งสภาพที่ไม่มีขั้วของน้ำมันมะกรูดก็จะไปลดการซึมผ่านไอน้ำของฟิล์มลดลงด้วย

การที่ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากข่า หรือ กระชาย มีสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกันเนื่องจากองค์ประกอบที่มีขั้วหรือไม่มีขั้วในสารสกัดจากข่าและกระชาย ซึ่งอาจจะเกิดอันตกิริยากับสายพอลิเมอร์กลูโคแมนแนนที่จะส่งผลต่อความแข็งแรง การยืดตัว และ การซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มนั้นๆ ได้ อ้างอิงงานวิจัยที่เกี่ยวกับฟิล์มที่ผสมสารต้านจุลินทรีย์ต่างกันและมีผลต่อสมบัติเชิงกล

ขั้นตอนนี้สามารถสรุปได้ว่า ฟิล์มบุกความเข้มข้น 1% w/v ผสมสารสกัดจากสมุนไพรมีความแข็งแรงลดลงและขาดง่าย แต่มีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำที่ดีกว่าฟิล์มบุกที่ไม่ผสมสารสกัด การนำฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรไปใช้ในการยืดอายุการเก็บ

รักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ในขั้นตอนต่อไปนั้น จะพิจารณาจากประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราเป็นหลักก่อน แล้วจึงค่อยปรับในเรื่องสมบัติเชิงกลของฟิล์ม เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีความแข็งแรงและยืดตัวที่ดีขึ้นต่อไป

4.3 การนำฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพรไปใช้กับมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราของฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากพืชสมุนไพรในข้อที่ 4.2.1 พบว่าฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าความเข้มข้น 30,000 µg/ml มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อราที่ดีที่สุด จึงนำมาใช้เตรียมเพื่อเป็นสารเคลือบผิวมะม่วง และขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าที่ความเข้มข้น 30,000 µg/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

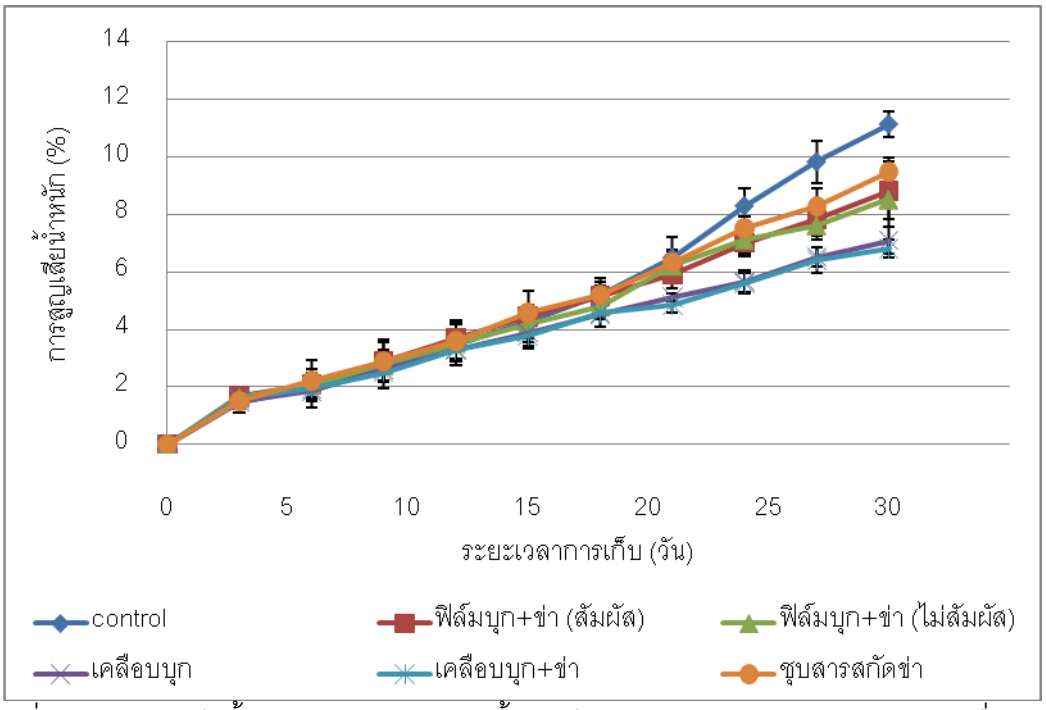
ชุดการทดลองที่ 5 คือ มะม่วงที่เคลือบด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพร

ชุดการทดลองที่ 6 คือ มะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดจากสมุนไพร

โดยสุ่มตัวอย่างมะม่วงในแต่ละชุดการทดลองออกมาวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพต่างๆ ดังแสดงในข้อ 4.3.1 - 4.3.9

4.3.1 การสูญเสียน้ำหนัก

การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และผลมะม่วงทุกชุดการทดลองมีการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ในช่วงแรกมะม่วงทุกชุดการทดลองมีการสูญเสียน้ำหนักไม่แตกต่างกันมาก 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±1°C

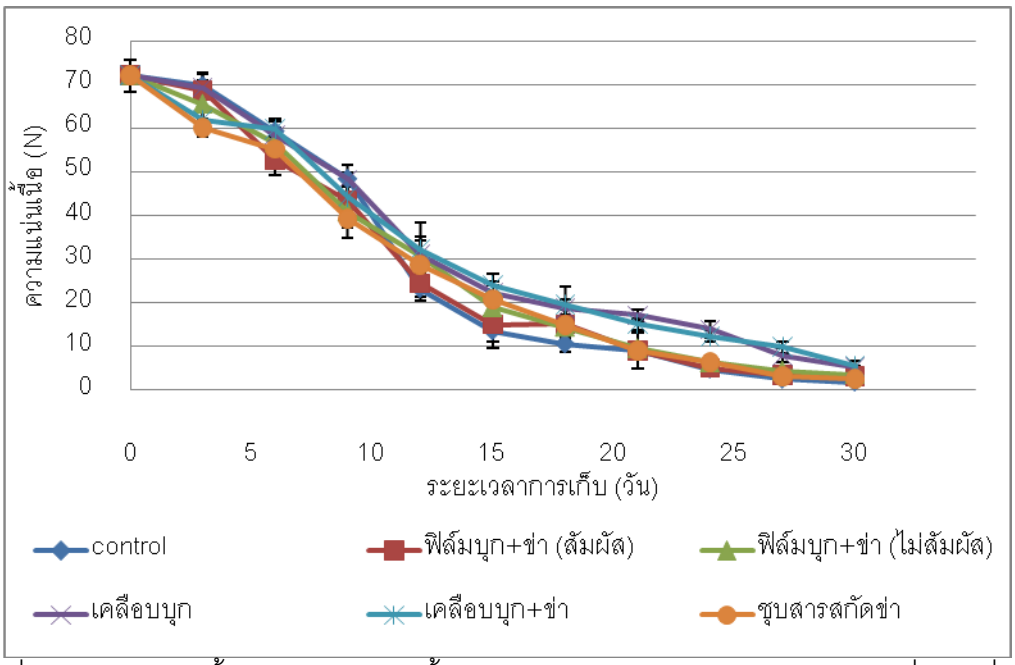
การเหี่ยวของผลมะม่วงหลังการเก็บเกี่ยวเป็นการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อบริเวณเซลล์ผิวชั้นนอกสุด คือ epidermis เป็นเซลล์ที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอก มีชั้นของคิวทิเคิล (cuticle) ปกคลุมอยู่เป็นเครื่องกีดขวางการผ่านเข้าออกของน้ำเป็นอย่างดี เพราะประกอบด้วยสารประเภทไข ได้แก่ wax และ cutin ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ผลไม้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำ มีปริมาณน้ำภายในผลมาก ความชื้นภายในผลสูง โอกาสที่

จะเกิดการสูญเสียน้ำออกจากผลผลิตเกิดขึ้นได้ง่าย ยิ่งเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศต่ำกว่าในผลิตผล ในกรณีนี้ทำให้เซลล์เกิดการสูญเสียน้ำและสูญเสียความเต่ง เมื่อแวคิวโอลมีขนาดเล็กลง โพรโทพลาสต์จะหดตัวจากผนังเซลล์ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า พลาสโมไลซิส (plasmolysis) ในที่สุดเซลล์จะเหี่ยว (สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์, 2544) ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิวจะช่วยปกคลุม ทับ หรือทดแทนไขที่เคยมีอยู่ และปิดช่องเปิดต่างๆ ตามธรรมชาติของผลไม้ ทำให้การสูญเสียน้ำจากผลิตผลได้น้อยลง (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) ที่รายงานว่า การใช้ฟิล์มแป้งบุกเคลือบผิวส้มเขียวหวานมีแนวโน้มชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีกว่าส้มเขียวหวานที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28-30°C เป็นเวลา 20 วัน เช่นเดียวกับ ชูสิทธิ์ หงษ์กุลทรัพย์ (2549) ที่รายงานว่า การเคลือบผิวชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ด้วยสารเคลือบผิวจากบุกสามารถช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักของชมพู่ได้ดีกว่าชมพู่ที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C เป็นเวลา 15 วัน อีกทั้ง Hoa และ Ducamp (2008) ที่รายงานว่าการเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ Cat Hoa Loc ด้วยสารเคลือบผิวจาก Carnauba ช่วยลดการแพร่ของไอน้ำจากมะม่วงออกสู่ภายนอก จึงช่วยลดการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงได้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน

4.3.2 **ความแน่นเนื้อ**

มะม่วงน้ำดอกไม้มีค่าความแน่นเนื้อเมื่อเริ่มต้นเท่ากับ 72.06 N. และความแน่นเนื้อมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษา มะม่วงทุกชุดการทดลองมีค่าความแน่นเนื้อต่ำสุดเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา โดยมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกหรือสารละลายบุกผสมสารสกัดข่ามีความแน่นเนื้อสูงกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ตั้งแต่วันที่ 18 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

การลดลงของความแน่นเนื้อในมะม่วงสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเช่นกัน การลดลงของความแน่นเนื้อเกิดได้จากการสูญเสียน้ำ เซลล์จะสูญเสียความเต่งไปทำให้มะม่วงมีความแน่นเนื้อลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองด้านการสูญเสียน้ำหนักของมะม่วง ที่พบว่ามะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก หรือสารละลายบุกผสมสารสกัดข่า มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว ตั้งแต่วันที่ 21 จนถึงวันสุดท้ายของการเก็บรักษาคือในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา นอกจากการสูญเสียน้ำที่ส่งผลให้ความแน่นเนื้อลดลง การเปลี่ยนแปลงโมเลกุลต่างๆ ภายในผนังเซลล์ส่งผลต่อค่าการลดลงของความแน่นเนื้อได้ 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 ทำให้ผลมะม่วงมีความ

เป็นกรดมากขึ้น ส่งผลให้การทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยสลายผนังเซลล์ลดลง จึงช่วยรักษาความแน่นเนื้อให้คงอยู่ (Salunhke *et al*., 1991)

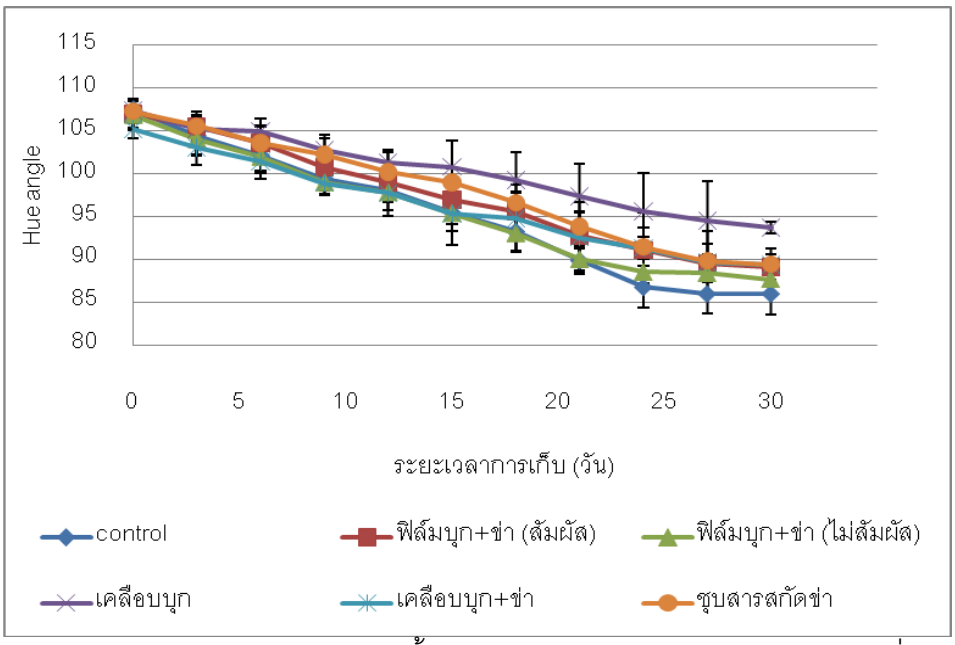
จากการทดลองของ Baldwin และคณะ (1999) รายงานว่าการเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ Tommy Atkins ด้วยสารเคลือบผิวจากเซลลูโลส และสารเคลือบผิวจาก Carnauba Wax ช่วยรักษาความแน่นเนื้อของมะม่วงได้ดีกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15°C เป็นเวลา 19 วัน แล้วนำมาเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 4 วัน เช่นเดียวกับ Yaman และ Bayondrl (2002) รายงานว่าสารเคลือบผิวสามารถรักษาความแน่นเนื้อของผลเชอรี่ได้ดีกว่าผลเชอรี่ที่ไม่ได้เคลือบผิวเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้อง อีกทั้ง ชูสิทธิ์ หงษ์กุลทรัพย์ (2549) ที่รายงานว่า การเคลือบผิวชมพู่พันธุ์ทับทิมจันท์ด้วยสารเคลือบผิวจากบุก สามารถช่วยรักษาความแน่นเนื้อของชมพู่ได้ดีกว่าชมพู่ที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C เป็นเวลา 15 วัน

4.3.3 การเปลี่ยนแปลงสีของผิวเปลือก

ค่า hue angle

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

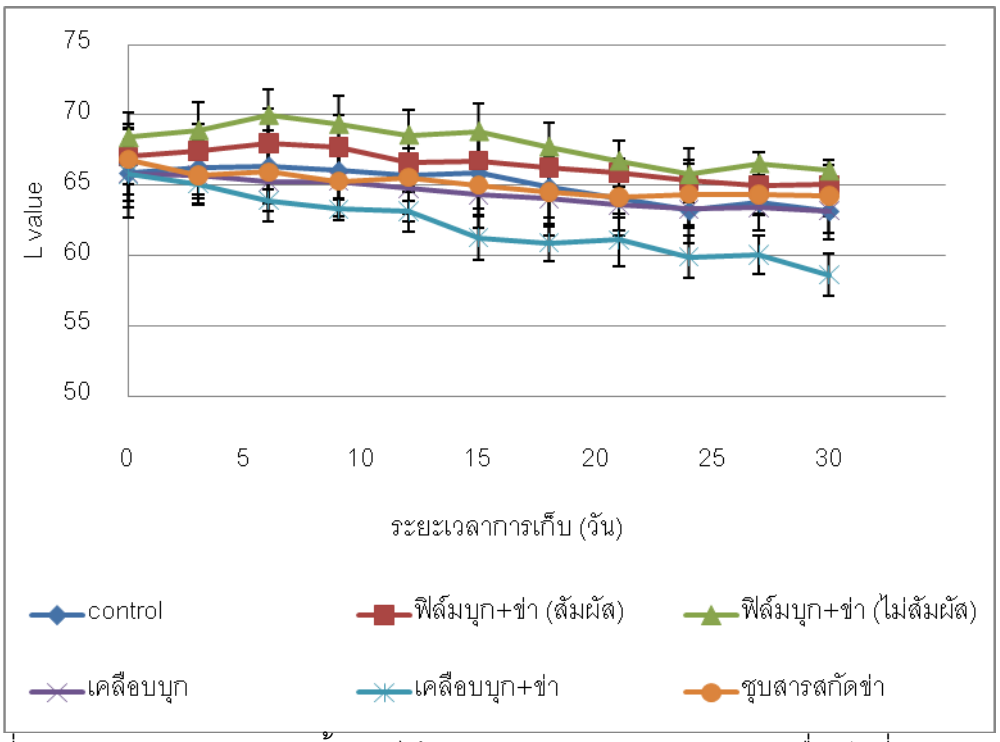
การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของสีเปลือกมะม่วง ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมะม่วงทุกชุดการทดลองมีค่า hue angle ต่ำสุดเมื่อสิ้นสุดการทดลองคือในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ในช่วงวันที่ 18-30 ของการเก็บรักษา มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกมีค่า hue angle มากกว่ามะม่วงชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) 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±1°C

ค่า *L*

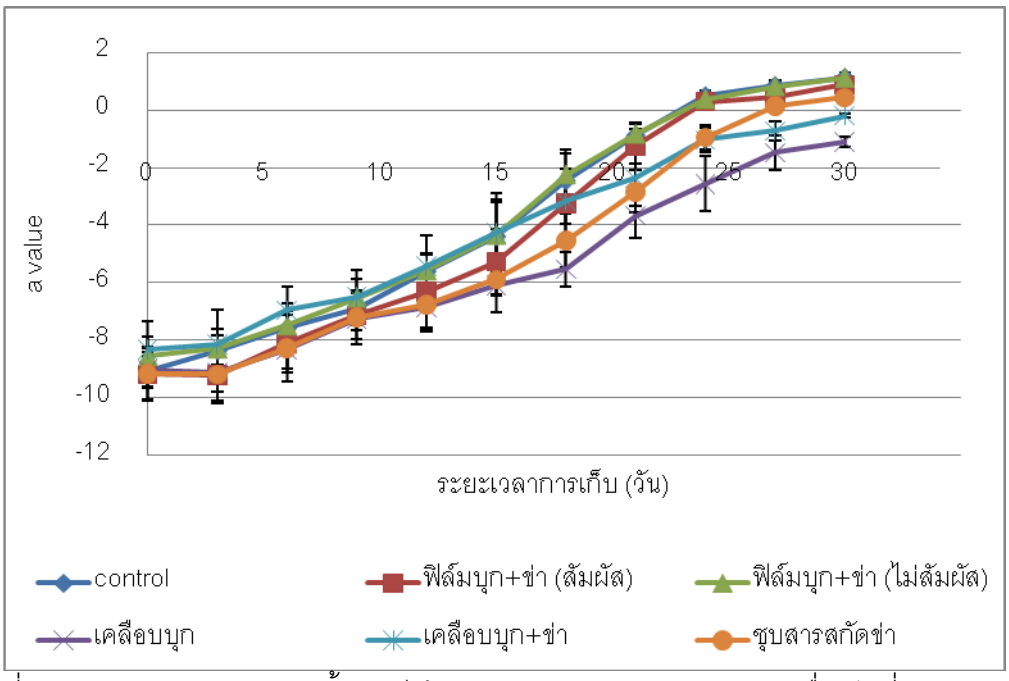
มะม่วงมีค่า *L* ในวันเริ่มต้นในช่วง 65.81 - 68.40 การเปลี่ยนแปลงค่า *L* ของสีเปลือกมะม่วง ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมะม่วงทุกชุดการทดลองมีค่า *L* ต่ำที่สุดเมื่อสิ้นสุดการทดลองคือในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ในช่วงวันที่ 15-30 ของการเก็บรักษามะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยบุกผสมสารสกัดจากข่า 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±1°C

ค่า *a*

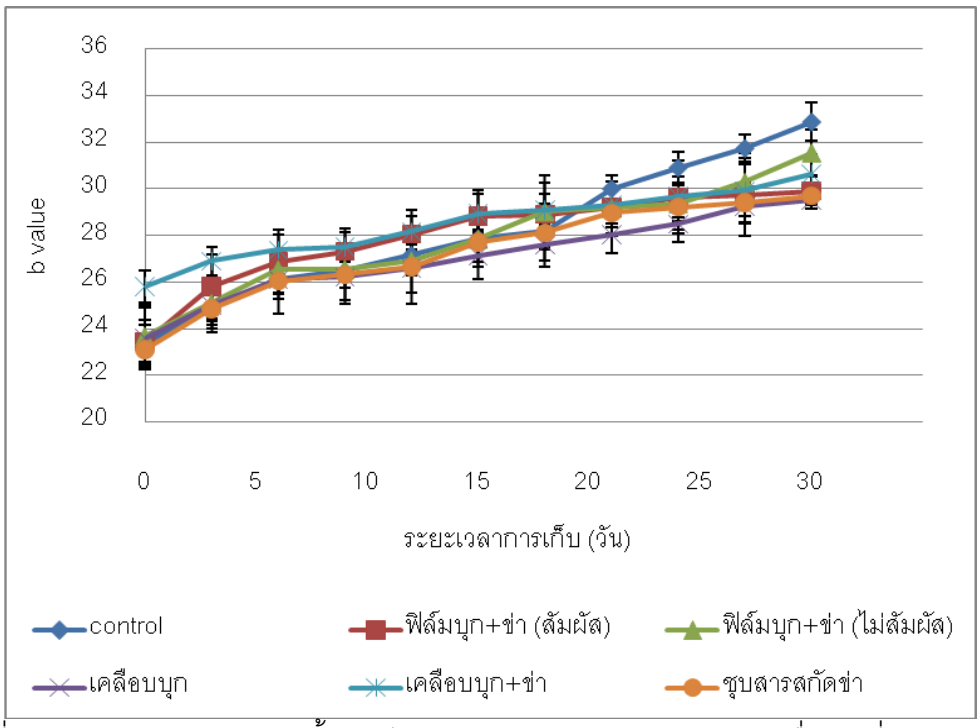
มะม่วงมีค่า *a* ในวันเริ่มต้นในช่วง -8.33 ถึง -9.18 การเปลี่ยนแปลงค่า *a* ของสีเปลือกของมะม่วง ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมะม่วงทุกชุดการทอลองมีค่า *a* สูงสุดเมื่อสิ้นสุดการทดลองคือในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ในช่วงวันที่ 18-30 ของการเก็บรักษา มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยบุกมีค่า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



ภาพที่ 4.7 ค่า *a* ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ค่า *b*

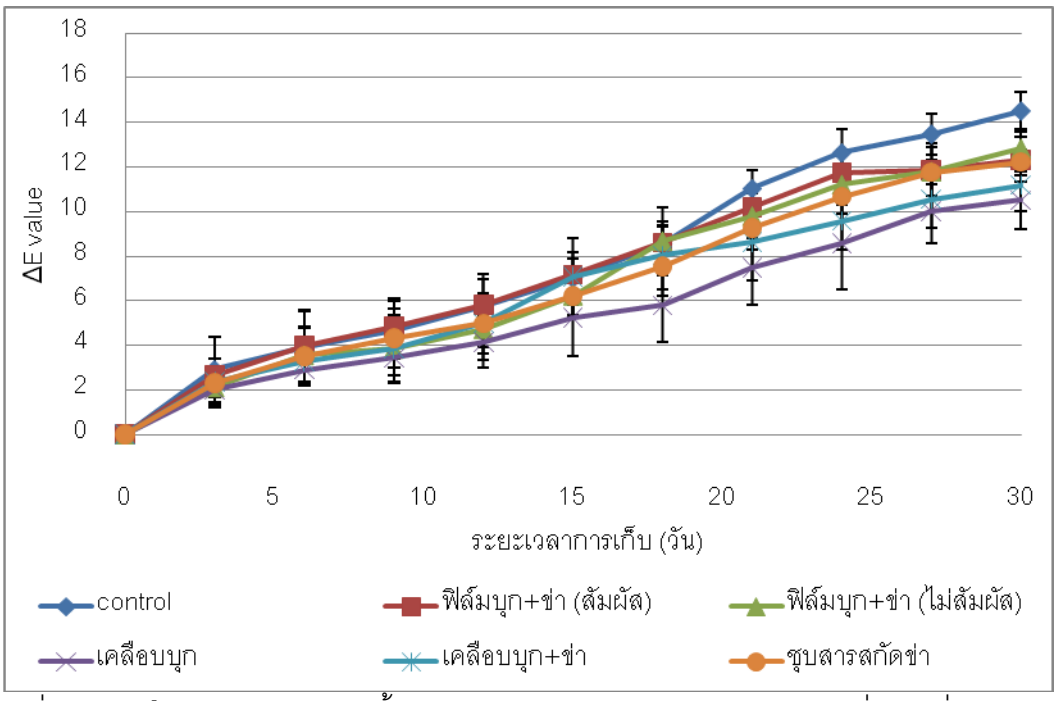
การเปลี่ยนแปลงค่า *b* ของสีเปลือกของมะม่วง ในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมะม่วงทุกชุดการทดลองมีค่า *b* สูงสุดเมื่อสิ้นสุดการทดลองคือในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยบุกมีค่า *b* น้อยกว่ามะม่วงชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า *b* ที่น้อยที่สุด ในขณะที่มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดจากข่า 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±1°C

ค่า ΔE

การเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ค่า ΔE) ไปจากค่าเริ่มต้นของสีเปลือกมะม่วงในทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE น้อยที่สุด โดยในช่วงวันที่ 18-30 ของการเก็บรักษา มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกมีการเปลี่ยนแปลงของค่า ΔE น้อยกว่ามะม่วงที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดจากข่ามีการเปลี่ยนแปลงของค่า 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±1°C

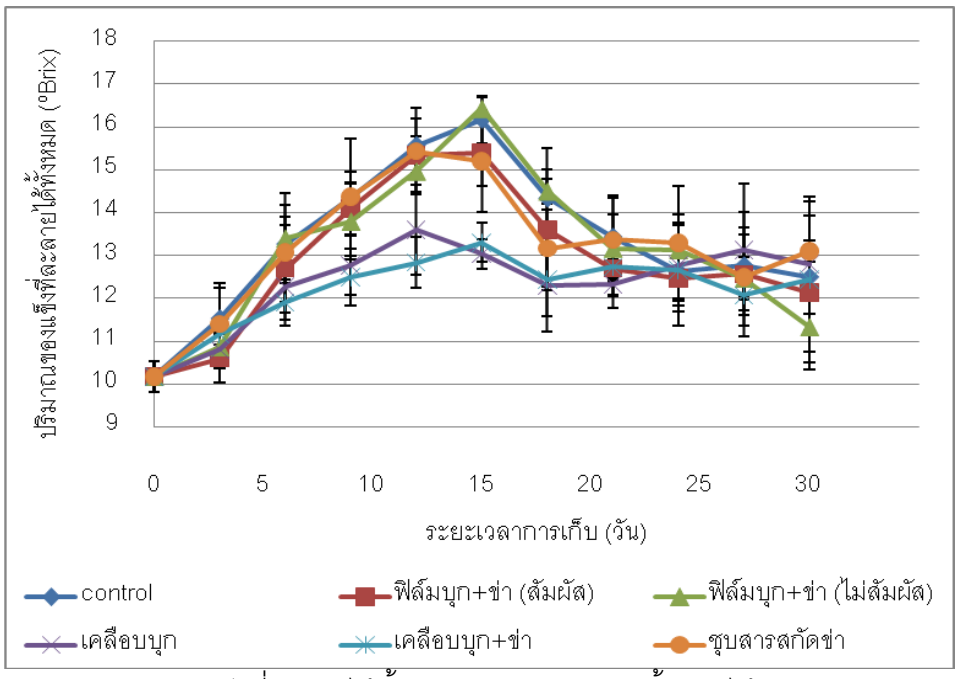
สีเปลือกของมะม่วงมีสีเขียวเมื่อยังไม่สุก และมีสีเหลืองเมื่อสุกมากขึ้น โดยมะม่วงที่ใช้ทำการทดลองก็มีการเปลี่ยนจากสีเขียวของเปลือกไปเป็นสีเหลืองเมื่อมีการสุกมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่า *a* และ ค่า *b* ของเปลือกที่เพิ่มมากขึ้น และค่า hue angle ของเปลือกที่ลดลง ซึ่งมะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกและสารละลายบุกผสมสารสกัดข่า มีการเปลี่ยนแปลงค่า *a*, *b*, hue angle และ ค่า ΔE ของเปลือกน้อยกว่าชุดการทดลองที่ไม่ได้เคลือบผิว แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบผิวจากบุกและสารละลายบุกผสมสารสกัดข่าสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะม่วงได้

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

โดยปกติในผลไม้มักจะมีคาโรทีนและแซนโทฟิลล์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย แต่ถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ ต่อเมื่อผลไม้เข้าสู่ระยะสุกแก่ เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ จึงทำให้สีของคาโรทีนอยด์ปรากฏให้เห็น ซึ่งสาเหตุของการสลายตัวของคลอโรฟิลล์สาเหตุหนึ่งคือ double bond ในวงแหวน porphyrin ถูกทำลายลง ซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยการออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ดังนั้นการเคลือบผิวจึงช่วยชะลอการสูญเสียคลอโรฟิลล์ได้ เนื่องจากการเคลือบผิวทำให้เกิดสภาพบรรยากาศที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ สอดคล้องกับ Hoa และ Ducamp (2008) ที่รายงานว่าการเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ Cat Hoa Loc ด้วยสารเคลือบผิวจาก Soybean lecithin ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของมะม่วงได้ดีกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน

4.3.4 **ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด** (TSS)

มะม่วงมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 10.17°Brix และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาจนถึงประมาณวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงเล็กน้อย และมีค่าใกล้เคียงกันในวันที่ 21 จนถึงวันสุดท้ายของการทดลอง โดยมะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกหรือสารละลายบุกผสมสารสกัดข่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดช้ากว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว 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 แป้งที่สะสมในผลมะม่วงเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารหรือพลังงานในการหายใจ โดยอาศัยกระบวนการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส (amylase) ไปสลายแป้งให้กลายเป็นน้ำตาล (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะม่วงจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น และมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุดประมาณวันที่ 15 ของการเก็บรักษา หลังจากวันที่ 15 ของการเก็บรักษา ผลมะม่วงจะเข้าสู่ระยะการสุกที่มากขึ้น โดยมะม่วงจะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงมากขึ้น เนื่องจากมะม่วงเป็นผลไม้ประเภทไคลเมคเทอริค (climacteric friut) คือมีอัตราการหายใจที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อผลมีการสุก (ดนัย บุณยเกียรติ, 2540) ทำให้การนำโมเลกุลน้ำตาลที่สะสมไว้ในผลเพื่อใช้ในการหายใจจึงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มะม่วงมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดค่อยๆ ลดต่ำลง

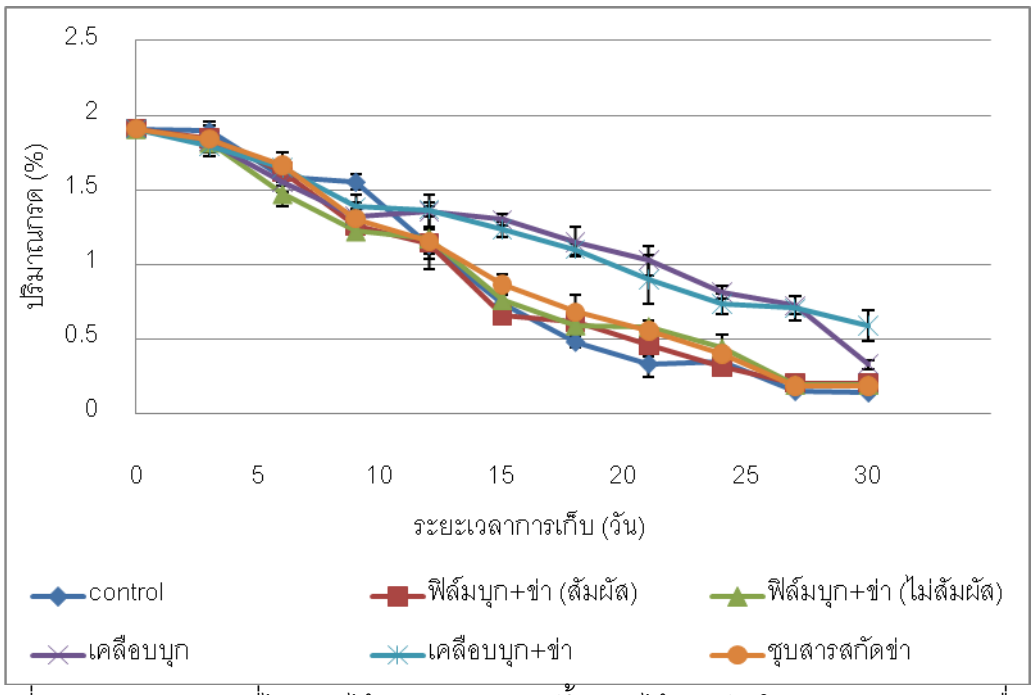
Vasquez-Caicedo และคณะ (2002) รายงานว่าน้ำตาลที่พบมากที่สุดในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 คือ ซูโครส รองลงมาได้แก่ฟรุคโตส และกลูโครส ตามลำดับ นิธิยา รัตนาปนนท์ และดนัย บุณยเกียรติ (2533) รายงานว่าน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสที่สะสมไว้ในผลมะม่วงมีปริมาณลดลงเนื่องจากถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไพรูวิค (pyruvic acid) โดยเอนไซม์หลายชนิดใน

กระบวนการไกลโคไลสิส (glycolysis pathway) เพื่อใช้ในกระบวนการหายใจ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธีระ วัฒนศิริเวช (2545) ที่รายงานว่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสในเนื้อมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่สุกหลังการเก็บเกี่ยว มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อผลมะม่วงสุกพอดี แต่จะมีปริมาณลดลงเมื่อผลมะม่วงสุกจัด ส่งผลให้มะม่วงมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดต่ำลง

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

4.3.5 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (TA)

มะม่วงมีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้เมื่อเริ่มต้นเท่ากับ 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±1°C

ในกระบวนการ Kreb's cycle ของกระบวนการหายใจที่เกิดขึ้นในผลไม้มีกรดอินทรีย์หลายชนิดที่เกี่ยวข้อง โดยกรดอินทรีย์เหล่านี้ถูกสร้างขึ้นจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต และถูกใช้ไประหว่างกระบวนการหายใจภายในเซลล์ ซึ่งกรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุดในมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 คือ กรดซิตริก (citric) รองลงมาคือกรดมาลิก (malic) และกรดซัคซินิค (succinic) ตามลำดับ (Vasquez-Caicedo *et al*; 2002) โดยทั่วไปในขณะที่มะม่วงเมื่อยังอ่อนจะมีปริมาณกรดอยู่สูง แต่เมื่อมะม่วงเริ่มแก่จัดและเข้าสู่การสุก ปริมาณกรดส่วนใหญ่จะลดลง เนื่องจากถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจเพื่อสร้างพลังงาน นอกจากนี้ยังอาจถูกใช้ในการสังเคราะห์สารประกอบอื่นๆ อีกด้วย เช่น ketoglutaric acid อาจถูกนำไปใช้ในการสร้างคลอโรฟิลล์ หรือถูกใช้ในการสร้าง glutamic acid และ glutamine นอกจากนี้ succinyl CoA อาจถูกใช้ในการสังเคราห์ไซโตโครมด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) จึงทำให้ปริมาณกรดในมะม่วงลดลงในระหว่างการสุก

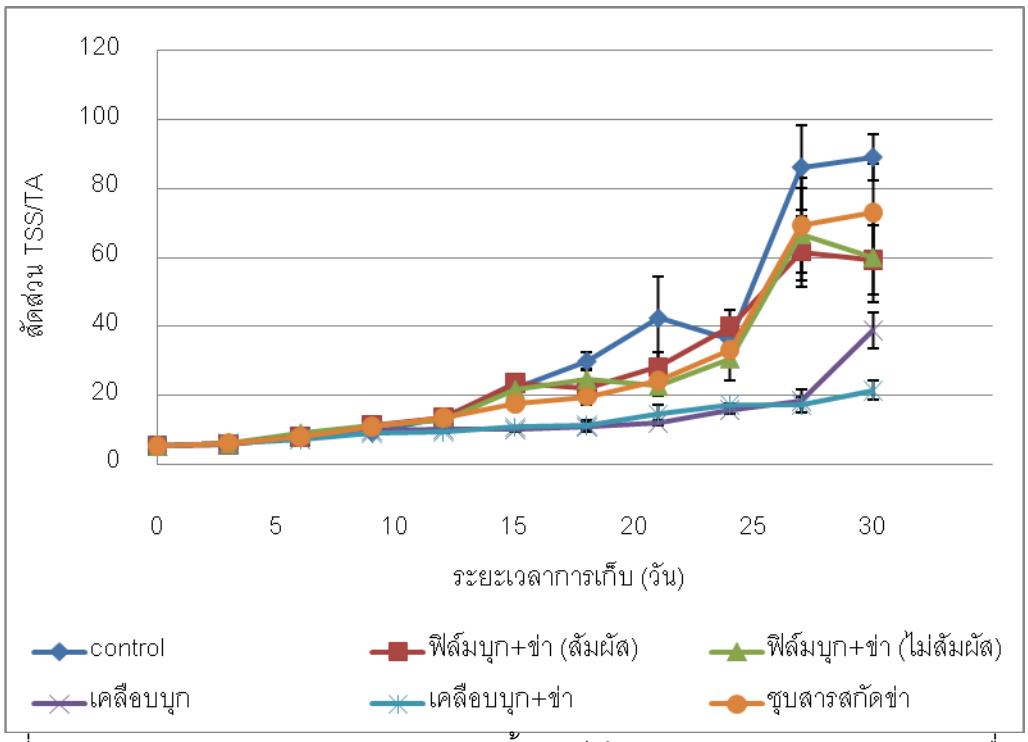
จากผลการทดลอง มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกมีการลดลงของปริมาณกรดช้ากว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว เพราะการเคลือบผิวทำให้ผลิตผลชะลอการหายใจ ดังนั้นการใช้กรดไปในการหายใจจึงเกิดอย่างช้าๆ ทำให้ผลมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกมีการลดลงของปริมาณกรด

เป็นไปอย่างช้าๆ 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) ที่ใช้สารเคลือบผิวจากไคโตซาน เคลือบผิวมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 พบว่ามะม่วงที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานมีการลดลงของปริมาณกรดช้ากว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C เป็นเวลา 40 วัน อีกทั้ง Hoa และ Ducamp (2008) ที่รายงานว่าการเคลือบผิวมะม่วงพันธุ์ Cat Hoa Loc ด้วยสารเคลือบผิวจาก Soybean lecithin ช่วยชะลอการลดลงของปริมาณกรดได้มากกว่าผลมะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน

4.3.6 **อัตราส่วน** TSS/TA

เมื่อมะม่วงเริ่มสุกจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TSS) ที่มากขึ้น และมีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (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



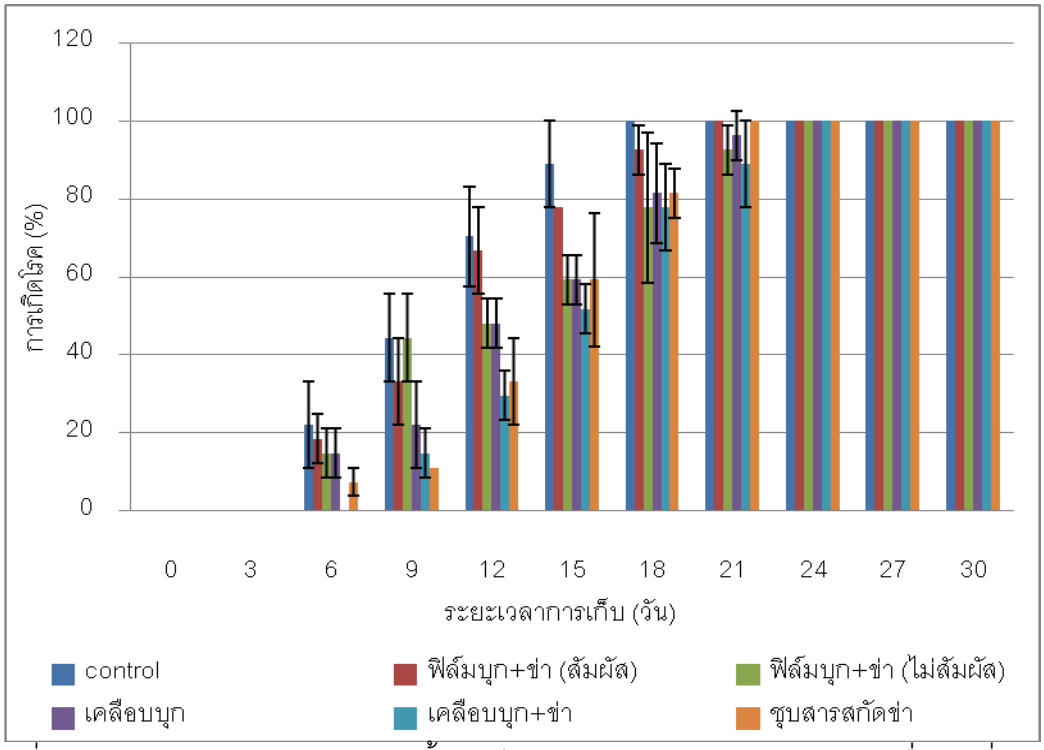
ภาพที่ 4.12 อัตราส่วน TSS/TA ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

โดยอัตราส่วน TSS/TA เป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวมะม่วง เป็นตัวชี้วัดการสุก และรสชาติของมะม่วง โดยมะม่วงที่มีอัตราส่วน TSS/TA สูงเป็นการบ่งบอกว่ามะม่วงนั้นมีรสหวานมากกว่า (Mizrach *et al.*, 1999) การใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำตาลกับปริมาณกรดที่ไตเตรทได้มีความสัมพันธ์กับวัยของผลไม้มากกว่า โดยเฉพาะในผลไม้ที่มีการสะสมทั้งน้ำตาลและกรดในปริมาณที่สูง (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

4.3.7 การเกิดโรค

ตั้งแต่วันแรกจนถึงวันที่ 3 ของการเก็บรักษา มะม่วงทุกชุดการทดลองไม่ปรากฏอาการของโรคแอนแทรคโนส แต่หลังจากการเก็บรักษานาน 6 วัน จะเริ่มปรากฏอาการของโรคบนผิวเปลือกของมะม่วง แต่มะม่วงที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดจากข่าเริ่มเกิดโรคในวันที่ 9 ของการเก็บรักษา และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการเกิดโรคน้อยที่สุด มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรค 100 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 24 ของการเก็บรักษา รองลงมาคือมะม่วงที่เคลือบด้วยสารสกัดจากข่า และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก ในขณะที่มะม่วงชุดควบคุมมีอัตราการ

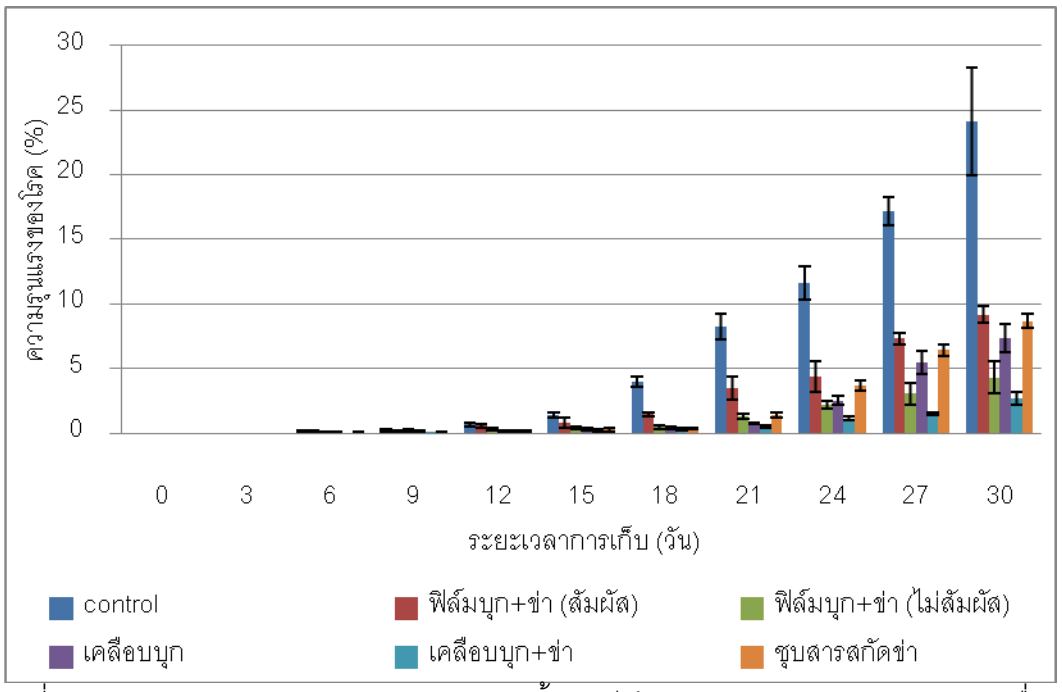
เพิ่มขึ้นของการเกิดโรคมากที่สุด และมีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคครบ 100 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 18 ของการเก็บรักษา ซึ่งมีการเกิดโรคที่เร็วกว่ามะม่วงชุดการทดลองอื่น ดังแสดงในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 การเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ในแต่ละชุดการทดลอง เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

4.3.8 **ความรุนแรงของโรค**

ความรุนแรงของโรคแอนแทรคโนสบนผลมะม่วง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมะม่วงชุดควบคุมมีการเพิ่มขึ้นของความรุนแรงของโรคมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในช่วงวันที่ 15-30 ของการเก็บ รองลงมาได้แก่ มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ก้นพื้นกล่อง (แผ่นฟิล์มสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) มะม่วงที่เคลือบด้วยสารสกัดข่า มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วสารละลายบุกผสมสารสกัดจากข่า 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±1°C

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

อีกทั้งผนังเซลล์ของผลิตผลมีความแข็งแรงเมื่อเก็บเกี่ยวมาใหม่ๆ หรือเมื่อกระบวนการสุกยังไม่เกิดขึ้น โมเลกุลของ pectin, hemicellulose และ cellulose ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์เกาะยึดกันแน่น เชื้อโรคเข้าทำลายได้ยาก แต่ภายหลังการเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะเมื่อมีกระบวนการสุกเกิดขึ้น โครงสร้างของผนังเซลล์เริ่มเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของ pectin และ hemicellulose ถูกเอนไซม์ย่อยสลาย การยึดเกาะกันของโมเลกุลต่างๆ และการยึดเกาะกันระหว่างเซลล์ลดลง เปิดโอกาสให้เชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ บุกรุกเข้าไปภายในผลิตผลนั้นๆ ได้ นอกจากนี้ผลิตผลทุกชนิดยังมีช่องเปิดตามธรรมชาติได้แก่ ปากใบ (stomata) และเลนติเซล (lenticel) ซึ่งใช้

เป็นช่องทางในการระบายอากาศ ก๊าซต่างๆ และน้ำผ่านเข้าออกได้ จึงเป็นจุดอ่อนที่เชื้อจุลินทรีย์อาจเข้าทำลายทางช่องเปิดเหล่านี้ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

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

ดังนั้นการใช้สารเคลือบผิวก็จะไปปกคลุม ทับ หรือทดแทนไขที่เคยมีอยู่ ช่วยปิดช่องเปิดต่างๆ ตามธรรมชาติของผลไม้ ทำให้เชื้อโรคเข้าทำลายผลผลิตได้น้อยลงกว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิว อีกทั้งมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกผสมสารสกัดข่า มีองค์ประกอบของสารสกัดข่าที่มีฤทธิ์ช่วยยับยั้งเชื้อรา *C. gloeosporioides* อยู่แล้ว ก็ยิ่งสามารถควบคุมการเกิดโรคและชะลอความรุนแรงของโรคแอนแทรคโนสบนผลมะม่วงได้ดียิ่งขึ้น

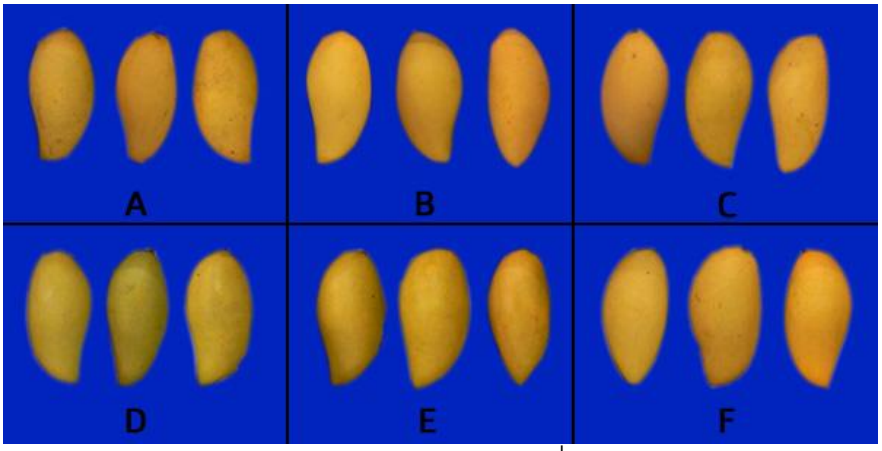
Park และคณะ (2006) ที่รายงานว่า การเคลือบผิวผลสตรอเบอรี่ด้วย Chitosan ผสม Potassium sorbate 0.3% (w/v) สามารถยับยั้งเชื้อรา *Cladosporium sp.* และ *Rhizopus sp*. ได้ดี ที่อุณหภูมิ 5°C โดยสามารถยั้บยั้งเชื้อราได้ดีกว่าสารเคลือบผิวไคโตซาน ที่ไม่ได้ผสม Potassium sorbate และสตรอเบอรี่ที่ไม่ได้เคลือบผิวมีปริมาณเชื้อราดังกล่าวมากที่สุด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

นอกจากนั้นยังมีการใช้ฟิล์มบริโภคได้ต้านจุลินทรีย์กับผลไม้ตัดแต่ง 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 โดยสารเคลือบที่เติมน้ำมันหอมระเหยทุกชนิด สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้มากกว่าสารเคลือบที่ไม่เติมน้ำมันหอมระเหย เช่นเดียวกับ Raybaudi-

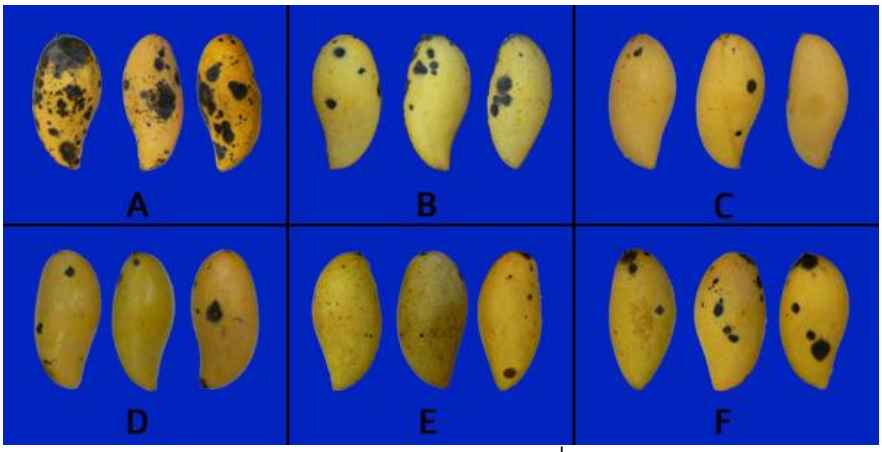
Massilia และคณะ (2008) ศึกษาผลของการเติมน้ำมันหอมระเหย (cinnamon, palmarosa และ lemongrass) และสารสกัดออกฤทธิ์ (eugenol, geraniol และ citral) ลงในสารเคลือบที่บริโภคได้ alginate ต่อการลดลงของปริมาณเชื้อ *Salmonella* Enteritidis ที่ถ่ายลงไปบนชิ้นเมลอนตัดแต่ง ตลอด 21 วันของการเก็บรักษา พบว่า ชิ้นเมลอนตัดแต่งที่เคลือบด้วยสารเคลือบ alginate ที่เติมน้ำมันหอมระเหย และสารสกัดออกฤทธิ์ทุกชนิด มีปริมาณเชื้อ *S.* Enteritidis บนชิ้นเมลอนต่ำกว่าชิ้นเมลอนที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบที่ไม่ได้เติมสารต้านจุลินทรีย์ และชิ้นเมลอนที่ไม่ได้เคลือบด้วยสารเคลือบ alginate โดยสารเคลือบ alginate ที่มี Cinnamon (0.7% v/v) สามารถลดปริมาณเชื้อได้มากที่สุดในช่วงแรกของการเก็บ

ในขณะที่การใช้แผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าที่นำไปวางในกล่องเก็บรักษามะม่วง ให้ผลว่าสามารถลดความรุนแรงของโรคแอนแทรคโนสได้ เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่ของสารสกัดข่าซึ่งประกอบด้วยพวก monoterpene และ sesquiterpene (Mayachiew and Devahastin, 2008) ซึ่งสามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิธรรมดา (รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2550) จึงระเหยและแพร่กระจายออกจากฟิล์ม มีผลมายับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ แต่พบว่ามะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ก้นกล่อง มีความรุนแรงของโรคมากกว่ามะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ฝากล่อง เนื่องจากแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าที่วางอยู่ก้นกล่องจะโดนมะม่วงทับ ทำให้มีพื้นที่ในการระเหยของสารสกัดข่าได้น้อยกว่าแผ่นฟิล์มที่ติดไว้ที่ฝากล่อง แผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าที่อยู่พื้นกล่องจึงมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราได้น้อยกว่า 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) รายงานว่าได้ใช้สารเคลือบ 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

อีกทั้งการใช้สารสกัดข่าชุบผลมะม่วงโดยตรงก่อนการเก็บรักษา ก็สามารถลดความรุนแรงของโรคแอนแทรคโนสได้ดีเช่นกัน อนุวัฒน์ จรัสรัตนไพบูลย์ (2545) ได้ใช้สารสกัดจากข่า ความเข้มข้น 100 ppm ชุบมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่าสามารถลดเปอร์เซนต์การเข้าทำลายของโรคแอนแทรคโนสได้เกือบประมาณ 2 เท่า หากเปรียบเทียบกับมะม่วงที่ไม่ได้ชุบสารสกัด เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 วัน



ภาพที่ 4.15 ลักษณะปรากฏของมะม่วงชุดควบคุม (A), มะม่วงที่สัมผัสกับแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าโดยตรง (B), มะม่วงที่ไม่ได้สัมผัสกับแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าโดยตรง (C), มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก (D), มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดข่า (E) และ มะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดข่า (F) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1°C เป็นเวลา 3 วัน



ภาพที่ 4.16 ลักษณะปรากฏของมะม่วงชุดควบคุม (A), มะม่วงที่สัมผัสกับแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าโดยตรง (B), มะม่วงที่ไม่ได้สัมผัสกับแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าโดยตรง (C), มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก (D), มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดข่า (E) และ มะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดข่า (F) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13±1°C เป็นเวลา 30 วัน

สารเคลือบผิวจากบุกช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงได้ โดยสารเคลือบผิวจากบุก และสารเคลือบผิวจากบุกผสมสารสกัดข่าสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรด และช่วยลดความรุนแรงของโรคแอนแทรคโนสได้ ในขณะที่แผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าก็สามารถลดความรุนแรงในการเกิดโรคแอนแทรคโนสได้เช่นเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน

นอกจากการพิจารณาความสามารถในการช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพและการเกิดโรคของมะม่วงแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงผลของการใช้ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรต่อลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสควบคู่ด้วยเพื่อให้เป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภค

4.3.9 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±1°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+ข่า (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+ข่า (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+ข่า	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}
ชุบสารสกัดข่า	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 ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ตารางที่ 4.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เปรียบเทียบกับมะม่วงที่สุกและมีคุณภาพดี เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°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+ข่า (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+ข่า (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+ข่า	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}
ชุบสารสกัดข่า	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 ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

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

สีเปลือก

คะแนนการยอมรับสีเปลือกของมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดด้วยแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก มีคะแนนการยอมรับที่ดีที่สุดไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เนื่องจากมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่แปะแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ฝากล่อง ไม่ได้ผ่านการเคลือบหรือชุบสารสกัดใดๆ จึงยังคงลักษณะปรากฏที่ดีของสีเปลือกมะม่วงตามธรรมชาติไว้ได้ ส่วนเปลือกมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกนั้นมีลักษณะผิวที่มันเงากว่ามะม่วงที่ไม่ได้เคลือบผิวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน ในขณะที่มะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดข่า มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ก้นกล่อง (แผ่นฟิล์มสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกผสมสารสกัดข่ามีคะแนนการยอมรับสีเปลือกที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากสารสกัดข่าทำให้เกิดลักษณะปรากฏที่ไม่พึง

ประสงค์เกิดขึ้นที่ผิวของมะม่วง จึงทำให้คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่ำ ในขณะที่มะม่วงชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับของสีเปลือกน้อยที่สุดคือ 1.76 คะแนน (ตารางที่ 4.4) หากเปรียบเทียบระหว่างมะม่วงในแต่ละชุดการทดลองกับมะม่วงที่สุกและมีคุณภาพดี พบว่าคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงในชุดการทดลองต่างๆ นั้นมีแนวโน้มของคะแนนการยอมรับทางด้านสีเปลือกลดลงเล็กน้อย ซึ่งมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดด้วยแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกมีคะแนนการยอมรับที่ดีที่สุดไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ในช่วง 5.36-5.92 คะแนน รองลงมาคือมะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดข่า มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกผสมสารสกัดข่า และมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ก้นกล่อง (แผ่นฟิล์มสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) มีคะแนนการยอมรับของสีเปลือกอยู่ในช่วง 3.32-4.12 คะแนน ในขณะที่มะม่วงชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับของสีเปลือกน้อยที่สุดคือ 1.72 คะแนน (ตารางที่ 4.5)

สีเนื้อ

มะม่วงชุดควบคุม และมะม่วงที่เคลือบบุกผสมสารสกัดข่า มีคะแนนการยอมรับด้านสีของเนื้อต่ำที่สุดคือ 5.20 คะแนนเท่ากัน ในขณะที่มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่แปะแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ฝากล่อง และมะม่วงที่ชุบสารสกัดข่า 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 เละ มากกว่าเนื้อของมะม่วงชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลการ

ทดลองความแน่นเนื้อที่พบว่าในวันที่ 30 ของการเก็บรักษา มะม่วงชุดควบคุมมีความแน่นเนื้อต่ำที่สุด ในขณะที่มะม่วงชุดการทดลองอื่นๆ มีคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในช่วง 5.28-6.08 คะแนน (ตารางที่ 4.5)

กลิ่น

มะม่วงชุดควบคุม มะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดข่า มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ก้นกล่อง (แผ่นฟิล์มสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) และมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดด้วยแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) มีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นดีสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในช่วง 7.56-8.00 คะแนน ในขณะที่มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดข่ามีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นต่ำสุดคือ 2.84 คะแนน ส่วนมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกมีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่น 4.44 คะแนน (ตารางที่ 4.4) หากเปรียบเทียบระหว่างมะม่วงในแต่ละชุดการทดลองกับมะม่วงที่สุกและมีคุณภาพดี พบว่าคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงในชุดการทดลองต่างๆ นั้นมีแนวโน้มของคะแนนการยอมรับทางด้านกลิ่นลดลงเล็กน้อย โดยมะม่วงชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นสูงสุดคือ 7.48 คะแนน โดยมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดข่ายังคงมีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นต่ำสุดคือ 2.52 คะแนน และมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกมีคะแนนการยอมรับด้านกลิ่น 4.40 คะแนน (ตารางที่ 4.5)

ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับคุณภาพด้านกลิ่นของมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกหรือสารละลายบุกผสมสารสกัดข่า เพราะมะม่วงดังกล่าวเกิดกลิ่นแปลกปลอม และกลิ่นหมักในระดับที่ผู้ทดสอบสัมผัสได้ เนื่องจากการเคลือบผิวผลไม้ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซลดน้อยลง ปริมาณออกซิเจนภายในผลลดลงเพราะถูกใช้ไปในการหายใจ และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น การที่ปริมาณออกซิเจนภายในผลต่ำเกินไปจะเป็นอันตรายต่อผลิตผลได้ เช่น อาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้เกิดการสะสมของแอลกอฮอล์ และแอลดีไฮด์ ทำให้ผลผลิตมีอาการผิดปกติ ทำให้เกิดกลิ่น และรสชาติผิดปกติไปด้วย (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549)

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

การยอมรับโดยรวม

คะแนนการยอมรับโดยรวมของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงในแต่ละชุดการทดลองพบว่า มะม่วงที่มีคะแนนการยอมรับโดยรวมมากที่สุดคือ มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) โดยได้คะแนน 6.32 คะแนน มะม่วงที่มีคะแนนการยอมรับโดยรวมต่ำที่สุดคือ มะม่วงชุดควบคุม มีคะแนนการยอมรับโดยรวมเท่ากับ 2.76 คะแนน (ตารางที่ 4.4) หากเปรียบเทียบระหว่างมะม่วงในแต่ละชุดการทดลองกับมะม่วงที่สุกและมีคุณภาพดี พบว่าคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงในชุดการทดลองต่างๆ นั้นมีแนวโน้มของคะแนนการยอมรับโดยรวมลดลงเล็กน้อย ซึ่งมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) มีคะแนนการยอมรับโดยรวมมากที่สุดคือ 5.76 คะแนน ในขณะที่มะม่วงชุดควบคุมมีคะแนนการยอมรับโดยรวมต่ำที่สุดคือ 2.80 คะแนน (ตารางที่ 4.5)

ซึ่งจากการทดสอบคะแนนการยอมรับด้านสีของเปลือก และเนื้อสัมผัส มีคะแนนการยอมรับที่ต่ำที่สุด จึงส่งผลต่อการยอมรับโดยรวมของมะม่วงชุดควบคุมให้มีการยอมรับที่ต่ำที่สุดด้วย ในขณะที่คะแนนด้านกลิ่นหมักของมะม่วงที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุก หรือสารละลายบุกผสมสารสกัดข่า มีคะแนนค่อนข้างสูง จึงส่งผลต่อการยอมรับโดยรวมของมะม่วงในชุดการทดลองดังกล่าว ทำให้มีการยอมรับที่ต่ำลง อีกทั้งมะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่พื้นกล่อง (แผ่นฟิล์มสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) มะม่วงที่เคลือบผิวด้วยบุกผสมสารสกัดข่า และมะม่วงที่ชุบด้วยสารสกัดข่า มีคะแนนการยอมรับด้านสีของเปลือกค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเกิดลักษณะปรากฏไม่พึงประสงค์ขึ้นที่ผิวเปลือกที่เกิดจากการเคลือบด้วยสารสกัดข่าที่ผิว ส่งผลต่อการยอมรับโดยรวมที่ต่ำลงไป

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

สารสกัดจากกระชายหรือข่าที่สกัดด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ได้ดีที่สุด โดยทั้งสองสารสกัดมีค่า MIC และ MFC เท่ากับ 2,500 µg/ml ผลการยับยั้งเชื้อราของสารละลายบุกที่ผสมสารสกัดจากกระชายและข่า พบว่าความเข้มข้น 10,000 µg/ml เป็นความเข้มข้นต่ำที่สุดที่เกิดบริเวณยับยั้ง ส่วนความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราของฟิล์มบุกที่ผสมสารสกัดจากข่าคือที่ความเข้มข้น 10,000 µg/ml ในขณะที่ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากกระชายความเข้มข้น 20,000 µg/ml เป็นความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ เมื่อนำฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากกระชายหรือข่ามาวัดสมบัติเชิงกลของฟิล์มพบว่ามีค่าความต้านทานแรงดึง ค่าการยืดตัว และค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำน้อยกว่าฟิล์มบุกที่ไม่ผสมสารสกัด

เมื่อนำฟิล์มบริโภคได้จากสารละลายบุกความเข้มข้น 1% w/v ผสมสารสกัดจากข่าความเข้มข้น 30,000 µg/ml ไปใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13°C พบว่า สารเคลือบผิวจากสารละลายบุกช่วยลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงได้ โดยสารเคลือบผิวจากสารละลายบุก และสารเคลือบผิวจากสารละลายบุกผสมสารสกัดข่าสามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ความแน่นเนื้อ ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรด และช่วยลดความรุนแรงของโรคแอนแทรคโนสได้ แต่สารเคลือบผิวส่งผลให้มะม่วงเกิดกลิ่นหมัก ส่วนแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าสามารถลดความรุนแรงในการเกิดโรคได้ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน

ผลการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ที่เคลือบผิวด้วยสารละลายบุกผสมสารสกัดข่า พบว่ามีการยอมรับที่ดีในด้านสีของเนื้อ และเนื้อสัมผัส แต่มีการยอมรับที่ต่ำในด้านสีของเปลือก กลิ่น และการยอมรับโดยรวม ในขณะที่มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่ติดด้วยแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่ฝากล่อง (แผ่นฟิล์มไม่ได้สัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) มีการยอมรับที่ดีในทุกด้านจากผู้บริโภค ดังนั้นการใช้ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรจึงน่าจะเป็น

แนวทางที่เลือกนำมาใช้ในการรักษาคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้พันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 ได้ แต่ต้องไม่ให้ฟิล์มบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง เพราะจะเกิดลักษณะปรากฏที่ไม่พึงประสงค์ขึ้นที่ผิวเปลือกของมะม่วง ทำให้การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อมะม่วงลดลง

5.2 **ข้อเสนอแนะ**

ฟิล์มบุกความเข้มข้น 1 % w/v ผสมสารสกัดจากสมุนไพรที่ได้มีความแข็งแรงลดลงและขาดง่ายกว่าฟิล์มบุกที่ไม่ผสมสารสกัด จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฟิล์ม เพื่อให้ได้ฟิล์มที่มีความแข็งแรงและยืดตัวที่ดีขึ้น เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานได้ดีขึ้น

การใช้สารเคลือบผิวจากบุกเคลือบผลมะม่วง ควรมีการศึกษาถึงความเข้มข้นของสารละลายบุกที่เหมาะสมด้วย เพื่อให้ได้สารเคลือบผิวจากบุกที่ไม่ส่งผลให้มะม่วงเกิดกลิ่นหมัก

มะม่วงที่บรรจุลงในกล่องที่วางแผ่นฟิล์มบุกผสมสารสกัดข่าไว้ที่พื้นกล่อง (แผ่นฟิล์มสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง) จะทำให้มะม่วงมีลักษณะปรากฏไม่พึงประสงค์ขึ้นที่ผิวเปลือกที่เกิดจากการสารสกัดข่า ส่งผลต่อการยอมรับที่ต่ำลงไป ควรมีการหุ้มโฟมเน็ตให้มะม่วงก่อนการบรรจุลงกล่องกระดาษ เพื่อป้องกันรอยเปื้อนสีน้ำตาลจากสารสกัดข่านั้นสัมผัสกับมะม่วงโดยตรง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กมลทิพย์ เอกธรรมสุทธิ์ และอดิศักดิ์ เอกโสวรรณ. 2543. ฟิล์มแป้งบุกชนิดบริโภคได้ : การเตรียม สมบัติบางประการ และการนำไปใช้ประโยชน์. อาหาร 30(1) : 44-51.

กรมอนามัย. 2535. คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. โภชนาการ, กอง. สาธารณสุข, กระทรวง.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 6 กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลอ ชำนาญพิทักษ์. 2539. โรคไม้ผลและการป้องกัน กำจัด. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : อักษรสยามการพิมพ์.

ชยันต์ พิเชียรสุนทร และวิเชียร จีรวงส์. 2545. คู่มือเภสัชกรรมแผนไทย เล่ม 2 เครื่องยาพฤกษวัตถุ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์อมรินทร์.

ชูสิทธิ์ หงษ์กุลทรัพย์. 2549. การผลิตผงบุกโดยการสกัดแบบเปียกร่วมกับการทำแห้งแบบพ่นกระจายและการประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาชมพู่ทับทิมจันท์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฐิติยา รัตนไตรภพ. 2546. การพัฒนาสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามังคุด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาคพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดนัย บุณยเกียรติ. 2540. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวของพืชสวน. เชียงใหม่ : คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ถนอมศรี วงศ์รัตนาสถิตย์. 2538. เอกลักษณ์สมุนไพร. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล.

ทวี รักษ์ศรีทอง. 2533. ผลของการห่อฟิลม์พลาสติกและอุณหภูมิต่ำต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เทอดธวัช โสภณดิลก. 2552. ผลของสารเคลือบผิวบริโภคได้ร่วมกับกรดซาลิไซลิกต่อการสุกของมะละกอพันธุ์เรดมาราดอล์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธีระ วัฒนศิริเวช. 2545. การศึกษาชนิดและปริมาณสารหอมระเหย น้ำตาล และกรดบางชนิดในมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองที่มีระยะการสุกและสภาวะการสุกแตกต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาเทคโนยีทางอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นวรัตน์ พัฒนศิริ. 2544. ผลของการใช้สารเคลือบผิวที่รับประทานได้ต่ออายุการเก็บรักษาของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นิจศิริ เรืองรังษี. 2534. เครื่องเทศ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิติพงษ์ วงศ์นิมิตรกุล, เบญจมาศ อุ้ยหา และปริทัศน์ ฤกษ์ฤทัยรัตน์. 2551. ศึกษาการผลิตฟิล์มบริโภคได้จากบุกผสมน้ำมันกานพลูเพื่อยืดอายุการเก็บมะเขือเทศ. โครงงานวิทยาศาสตร์ปริญญาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิธิยา รัตนาปนนท์ และดนัย บุณยเกียรติ. 2533. “มะม่วง” วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้เศรษฐกิจ. เชียงใหม่ : คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิวัติ เรืองพานิช. 2534. นิเวศวิทยาทรัพยากรธรรมชาติ. ใน โครงการตำราชุดการจัดการและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ เล่มที่ 2, หน้า 25-35. กรุงเทพฯ : คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บังอร แสนคาน. 2540. ประสิทธิภาพของสารสกัดด้วยน้ำและน้ำมันพืชในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บรรณ บูรณะชนบท. 2543. โรคและแมลงศัตรูมะม่วง. พิมพ์ครั้งที่ 4. นนทบุรี : ศูนย์ผลิตตำราเกษตรเพื่อชนบท.

บุญเลิศ สอาดสิทธิศักดิ์. 2532. ประวัติมะม่วงและความสำคัญ. ใน เอกสารวิชาการที่ 1 เรื่องมะม่วง, หน้า 1-3. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ประทีป คุณาศล. 2532. พันธุ์และลักษณะประจำพันธุ์. ใน เอกสารวิชาการที่ 1 เรื่องมะม่วง, หน้า 8-12. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เพ็ญนภา ทรัพย์เจริญ และกัญจนา ดีวิเศษ. 2542. สมุนไพรกับวัฒนธรรมไทย ตอนที่ 2 ไม้ริมรั้ว. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

ภูวนาถ นนทรี. 2542. มะม่วง. กรุงเทพฯ : เอดิสันเพรสโปรดักส์ จำกัด.

มงคล เกษประเสริฐ. 2547. บุกและการใช้ประโยชน์จากบุกในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.

มงคล เกษประเสริฐ และอรนุช เกษประเสริฐ. 2540. การผลิตบุกเนื้อทรายหรือบุกเพื่อการอุตสาหกรรมที่ครบวงจร. กรุงเทพฯ : กองพฤษศาสตร์และวัชพืช. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

มณฑาทิพย์ ยุ่นฉลาด. 2535. ฟิล์มและสารเคลือบที่รับประทานได้. อาหาร 22 (1) : 1-6.

รัตนา อินทรานุปกรณ์. 2550. การตรวจสอบและการสกัดสารสำคัญจากสมุนไพร 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ราชบัณฑิตยสถาน. 2542. พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตสถาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์นานมีบุ๊คส์.

รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ. 2540. พืชเครื่องเทศและสมุนไพร. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮาส์.

วันดี กฤษณพันธุ์. 2541. สมุนไพรน่ารู้. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

วิจิตร วังใน. 2529. มะม่วง. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ศรีสมบัติ.

วิไลรัตน์ ศรีนนท์, ธีรพล วันทิตย์ และเกษม สร้อยทอง. 2552. การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) สาเหตุโรคแอนแทรคโนสมะม่วงของสารสกัดจากพืชสมุนไพรด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกัน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40 (1) : 75-78.

สกลวัฒน์ โอสิริ. 2543. การควบคุมโรคผลเน่าของมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และผลต่อการชักนำให้เกิดสารยับยั้งการเจริญของเชื้อรา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สนั่น ขำเลิศ. 2533. การทำสวนมะม่วง. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. สรีรวิทยาของพืช. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมศิริ แสงโชติ. 2546 โรคภายหลังการเก็บเกี่ยวของผักผลไม้และการจัดการ ใน เอกสารประกอบการอบรมเรื่องการจัดการโรคภายหลังการเก็บเกี่ยวของผักผลไม้เพื่อการส่งออก, หน้า 1-4.

สายชล เกตุษา. 2528. สรีรวิทยาหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. สถิติการส่งออกมะม่วงสด. เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php, 20 กันยายน 2554.

สุภัทรา จามกระโทก, ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล, ชลิดา เล็กสมบูรณ์, นวลวรรณ ฟ้ารุ่งสาง และอุดม ฟ้ารุ่งสาง. 2549. ผลของสารสกัดหยาบจากพืชสมุนไพรวงศ์ขิงในการต่อต้านราสาเหตุโรคพืชหลังการเก็บเกี่ยว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 37 (2) : 98-101.

อนุวัฒน์ จรัสรัตนไพบูลย์. 2545. ผลของสารสกัดหยาบจากข่าต่อโรคแอนแทรคโนสและการเจริญเติบโตของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรทัย ขำค้า, อรพิน เกิดชูชื่น และณัฏฐา เลาหกุลจิตต์. 2552. การพัฒนาฟิล์มแป้งมันสำปะหลังร่วมกับสารสกัดพืชวงศ์ส้มสำหรับใช้ในส้มโอพร้อมบริโภค. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40 (1) : 385-388.

อรุณี พวงมี. 2530. การควบคุมโรคผลเน่าของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ระยะก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อังสุมา ชยสมบัติ. 2530. โรคหลังการเก็บเกี่ยวของมะม่วงที่เกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* และการควบคุม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อิงฟ้า คำแพง, อรพิน เกิดชูชื่น และณัฏฐา เลาหกุลจิตต์. 2552. คุณสมบัติและประสิทธิภาพในการต้านทานเชื้อจุลินทรีย์ของฟิล์มที่บริโภคได้. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40 (1) : 103-106.

ภาษาอังกฤษ

American Standard for Testing and Materials. 1999. Standard Test Method for Water Vapor Transmission of Materials. ASTM E 96-95. Philadelphia : Annual book of ASTM standard.

A.O.A.C. 2006. Office Method of Analysis. Maryland : AOAC International.

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.

Banker, G.S. 1966. Water vapor transmission properties of free polymer films. Journal of Pharmacological Sciences 18 : 457-472.

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.

Burt, S. 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: a review. International Journal of Food Microbiology 94 : 223-253.

Cagri, A., Ustunol, Z., and Ryser, E.T. 2004. Antimicrobial edible films and coatings. Journal of Food Protection 67 (4) : 833-848.

Chen, C.C. and Ho, C.T. 1986. Chromatographic analyses of isomeric shogaol compounds derived from isolated gingerol compounds of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe.). Journal of Chromatography 360 : 175-184.

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.

Cooksey, K. 2001. Antimicrobial food packaging material. Additives for Polymer 22 : 6-10.

Cutter, C.N. 2006. Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods. Meat Science 74 : 131-142.

Dahlgren, R.M.T., Clifford, H.T., and Yeo, P.F. 1985. The Families of the Monocotyledon : Structure Evolution and Taxonomy. Phytochemistry 24 (11) : 2,782-2,783.

David, G.C., and Hammond, H.D. 1988. Floristic Inventory of Tropical Countries : The New York Botanical Garden. U.S.A. : New York Press.

Edney, K.L., and Burchill, R.T. 1967. The Use of Heat to Control The Rotting of Cox's Orange Pippin Apples by Gloeosporium spp. Annals of Applied Biology 59 : 389-400.

El-Goorani, M.A., and Sommer, N.F. 1981. Effects of Modified Atmospheres on Postharvest Pathogens of Fruits and Vegetables. Hortic Rev 3 : 412-461.

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.

Guilbert, S. 1986. Technology and application of edible film. In Mathlouthi, M. Food packaging and preservation theory and practice, London : Elsevier Applied Science Publisher.

Han, J. H. 2003. Antimicrobial Food Packaging. In Ahvenainen, R. (ed.). Novel Food Packaging Technique, pp. 50-70. Cambridge, UK : Woodhead Publishing Ltd.

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.

Jagtiani, J., Chan, H.T., and Sakai, W.S. 1988. Tropical fruit processing. San Diego : Academic press.

Jaipetch, H., Kanghae, S., Pancheroen, S., Patrick, V.A., Reutrakul, V., Tantichwuttikul, P., and White, A.H. 1982. Constituents of Bosenbergia pandurata (syn. *Kaempferia pandurata*) : isolation crystal structure and synthesis of boesenbergin A. Australian Journal of Chemistry 35 : 351-361.

Jeffeies, P., Dodd, J.C., Jeger, M.J., and Plumbley, R.A. 1990. The biology and control of *Colletotrichum sp*. on tropical fruit crops. Plant Pathology 39 : 343-366.

Kader, A.A. 1982. Application of Food Irradiation : Fruit and Vegetable. In Food irradiation update short course, pp. 25-28. University of California.

Kato, K., and Matsuda, K. 1970. Studies on the chemical structure of konjac mannan part II. Isolation and characterization of oligosaccharides from the partial acid hydrolysate of the mannan. Agricultural and Biological Chemistry 34 (4) : 532-539.

Kester, J.J., and Fennema, O.R. 1986. Edible films and coatings. Food Technology 40 (12) : 47-59.

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.

Krishanmurthy, S., and Subramanyam, H. 1970. Respiratory climacteric and chemical changes in mango fruit. Journal of American Society for Horticultural Science 15 : 333-337.

Krochta, J.M., Baldwin, E.A., and Nissperos-Carriedo, M.O. 1994. Edible Coating and Films to Improve Food Quality. New York : Technomic Publishing.

Krochta, J.M., and Mulder-Johnston, C.D. 1997. Edible films solve problems. Food Technology 51(2) : 60-74.

Masoko, P. 2007. Characterization of antifungal compounds isolated from *Combretum* and *Terminalia* species (Combretaceae). Doctoral dissertation, 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.

Nishinari, K., Kim, K.Y., and Kohyama, K. 1987. Solution properties of konjac mannan. In Abstracts of 2nd International Workshop on Plant Polysaccharides, 23 p. Grenoble.

Nishinari, K., Williams, P.A., and Phillips, G.O. 1992. Review of the physico-chemical characteristics and properties of konjac mannan. Food Hydrocolloids 6 : 199-222.

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.

Parikh, H.R., Nair, G.M., and Modi, V.V. 1990. Some structural changes during ripening of mangoes by abscisic acid treatment. Annals of Botany 65 : 121-127.

Park, S., Stan, S., Daeschel, M., and Zhao, Y. 2006. Antifungal coatings on fresh strawberries (fragaria × ananassa) to control mold growth during cold storage. Journal of Food Microbiology and Safety 70 : 202-207.

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-Wissencharft und- Technologie 36 : 679-684.

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 coinfected 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.

Salunhke, 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 Bayondrl, 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.

Tye, R.J. 1991. Konjac flour : Properties and application. Food Technology 45 (3) : 86-92.

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.

Whistler, R.J., and Daneil, R. 1990. Function of polysaccharides in foods, In Branen, A.L., Davidson, P.M., and Salinen, S. (eds.), Food Additives, pp. 395-423. New York : Marcel Dekker.

Yaman, O., and Bayondrl, L. 2002. Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 35 : 146–150.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

วิธีการวิเคราะห์

ก.1 การทดสอบค่าการต้านทานแรงดึงขาดและการยืดตัว (Tensile strength and elongation)

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ Instron Texture Analyzer รุ่น 5565 บริษัท Instron ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ประกอบด้วยหัวทดสอบมีลักษณะเป็นหัวหนีบ 2 หัว ตั้งระยะห่างระหว่างหัวหนีบ 3 เซนติเมตร

ตัดฟิล์มตัวอย่างให้มีขอบเรียบจำนวน 10 ชิ้นให้มีความกว้าง 30 ± 0.01 มิลลิเมตร และยาว 100 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ 67 ± 2 % เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

วิธีการทดสอบ ยึดปลายข้างหนึ่งของชิ้นตัวอย่างกับหัวทดสอบให้แน่น แล้วจึงยึดปลายอีกด้านหนึ่ง ไม่ควรจับชิ้นตัวอย่างส่วนที่อยู่ระหว่างที่ยึด เริ่มทดสอบโดยปรับเครื่องทดสอบให้มีค่าอัตราเร็วในการดึง 30 มิลลิเมตรต่อนาที และมีค่า load cell เท่ากับ 5 kN บันทึกเฉพาะค่าที่ชิ้นตัวอย่างขาดบริเวณกึ่งกลาง ถ้าชิ้นตัวอย่างเลื่อนหรือขาดตรงขอบที่ยึดขณะทดสอบ แสดงว่ามีแรงตามแนวกว้างของชิ้นตัวอย่างไม่สม่ำเสมอให้ตัดค่าที่อ่านได้ทิ้งไป รายงานค่าการต้านทานแรงดึงขาดและค่าการยืดตัว

ก. 2 การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์ม ตามวิธี ASTM E 96-95

อุปกรณ์และสารเคมี เดซิเคเตอร์ ถ้วยทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำ น้ำกลั่น พาราฟิล์ม และซิลิกาเจลที่อบแห้งแล้ว

ตัดชิ้นตัวอย่างฟิล์มที่มีความหนา 0.050 ± 0.005 มิลลิเมตร เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร (ให้มีขนาดใหญ่กว่าถ้วยทดสอบเล็กน้อย) ตัวอย่างละ 10 ชิ้น ต้องไม่มีรอยพับ ขีด รูรั่วที่มองเห็นได้ เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง และภายในตู้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 67± 2 % เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

วิธีทดสอบ ใส่ซิลิกาเจลที่ผ่านการอบแห้งลงในถ้วยทดสอบ นำตัวอย่างมาวางปิดปากถ้วย ผนึกกรอบปากด้วยพาราฟิล์มเพื่อมิให้มีรอยรั่ว ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด เก็บที่อุณหภูมิห้องและบันทึกผลทุก 3 ชั่วโมง เป็นเวลา 5 วัน ดังแสดงในภาพที่ ก. 1

ภาพที่ ก. 1 การทดสอบความสามารถในการซึมผ่านไอน้ำของแผ่นฟิล์มภายในเดซิเคเตอร์

การคำนวณ

จากสมการ $WVTR = \frac{g}{t \times a}$

โดยที่ g = น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)

t = เวลา (ชั่วโมง)

a = พื้นที่ผิวของตัวอย่างฟิล์มที่มีการซึมผ่านของไอน้ำ (ตารางเซนติเมตร)

$\frac{g}{t}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่อเวลา

ก. 3 การสูญเสียน้ำหนัก

คัดเลือกผลมะม่วงจำนวน 9 ผลของแต่ละชุดการทดลอง บันทึกน้ำหนักในวันเริ่มต้นของแต่ละผล หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักทุก 3 วัน ของผลมะม่วงชุดเดิม แล้วคำนวนหาอัตราการสูญเสียน้ำหนัก ดังนี้

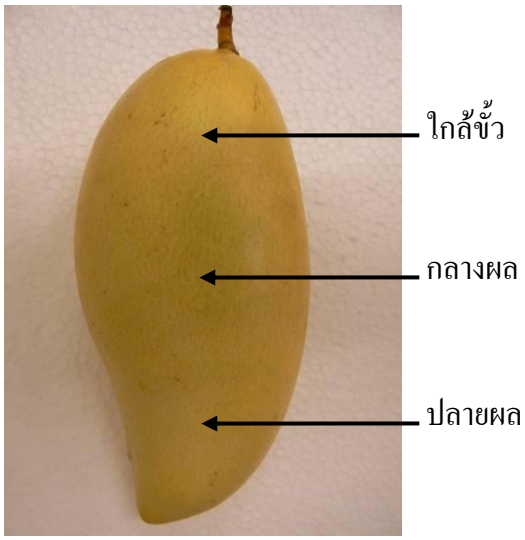
$$\text{การสูญเสียน้ำหนักสด (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา} - \text{น้ำหนักหลังการเก็บรักษา}) \times 100}{\text{น้ำหนักก่อนการเก็บรักษา}}$$

ก. 4 การวัดความแน่นเนื้อ

วัดความแน่นเนื้อโดยเครื่อง Texture Analyzer TA-XT 2 บริษัท Stable Micro Systems ประเทศอังกฤษ ใช้หัววัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร กดลงบนเนื้อมะม่วงที่ปอกเปลือกแล้วบริเวณแก้มผล ลึก 5 มิลลิเมตร รายงานผลในหน่วยของนิวตัน

ก. 5 การวัดการเปลี่ยนแปลงสีของผิวเปลือก

คัดเลือกผลมะม่วงจำนวน 9 ผลของแต่ละชุดการทดลอง วัดสีเปลือกผลมะม่วงด้วยเครื่องวัดสี Minolta Model CR-400 โดยวาง probe ให้ตั้งฉากกับผิวของผลมะม่วงบริเวณแก้มผล หลังจากนั้นวัดสีเปลือกผลมะม่วงทุก 3 วันของผลมะม่วงชุดเดิม ด้านเดิม และตำแหน่งเดิม (มะม่วง 1 ผล วัด 1 ด้าน 3 ตำแหน่ง คือ ใกล้ขั้ว กลางผล และปลายผล) ดังแสดงในภาพที่ ก. 2



ภาพที่ ก. 2 ตำแหน่งในการวัดสีเปลือกมะม่วงน้ำดอกไม้เบอร์ 4

รายงานผลการวัดสีเปลือกผลมะม่วงเป็นค่า Hunter's scale (*L*, *a*, *b*, Δ E และ Hue angle) ประกอบด้วยค่าต่างๆ โดย

ค่า *L* คือ ค่าแสดงความสว่างของสี ซึ่งค่า *L* มีค่า 0 ถึง 100 ถ้าค่า *L* มาก แสดงว่าสีสว่างมาก โดยที่ระดับ *L* เท่ากับ 0 จะเป็นสีดำ

ค่า *a* คือ ค่าแสดงระดับสีแดง-เขียว เมื่อค่า *a* มีค่าเป็นบวกจะแสดงลักษณะสีแดงและเมื่อค่าเป็นลบจะแสดงลักษณะสีเขียว โดยที่เมื่อค่าห่างจาก 0 มาก แสดงถึงค่าสีแดงหรือเขียวมากขึ้น

ค่า *b* คือ ค่าแสดงระดับสีเหลือง-น้ำเงิน เมื่อค่า *b* มีค่าเป็นบวกจะแสดงลักษณะสีเหลืองและเมื่อเป็นลบจะแสดงลักษณะสีน้ำเงิน โดยที่เมื่อค่าห่างจาก 0 มากแสดงถึงค่าสีเหลืองหรือน้ำเงินมากขึ้น

ค่า Δ E เป็นค่าที่รายงานถึงค่าความแตกต่างของสีของผลิตผลที่เปลี่ยนแปลงไปจากวันแรกที่ทำการเก็บรักษา คำนวณโดยใช้สูตร $\sqrt{(L-L_0)^2 + (a-a_0)^2 + (b-b_0)^2}$ หากค่า ΔE มากแสดงว่าสีของผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงไปจากวันแรกที่ทำการเก็บรักษามาก ค่า ΔE น้อย แสดงว่าสีของผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงไปจากวันแรกที่ทำการเก็บรักษาน้อย

โดย L_0 เป็นค่า L ที่วัดได้จากวันแรกที่เริ่มทำการเก็บรักษา; a_0 เป็นค่า a ที่วัดได้จากวันแรกที่เริ่มทำการเก็บรักษา; b_0 เป็นค่า b ที่วัดได้จากวันแรกที่เริ่มทำการเก็บรักษา

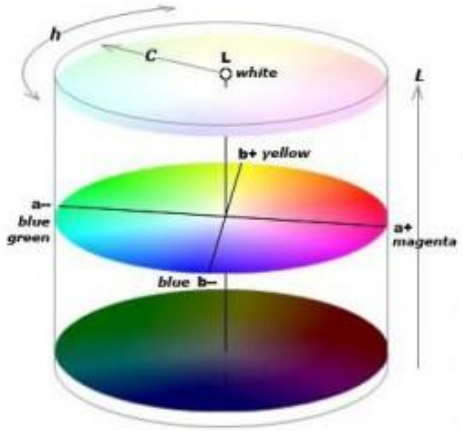
ค่า Hue angle (Degree) เป็นค่าที่รายงานถึงการเปลี่ยนแปลงของโทนสีในระดับต่างๆ ที่เปลี่ยนไปตามค่ามุม ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

Hue angle (Degree) = $(\tan^{-1} b/a)$ เมื่อค่า $a > 0$ และ $b \geq 0$

Hue angle (Degree) = $180° + (\tan^{-1} b/a)$ เมื่อค่า $a < 0$

Hue angle (Degree) = $360° + (\tan^{-1} b/a)$ เมื่อค่า $a > 0$ และ $b < 0$

โดยถ้าสีของวัตถุมีค่าเข้าใกล้มุม 90 องศา สีของวัตถุนั้นจะอยู่ในกลุ่มสีเหลือง หากมีค่าเข้าใกล้ 180 องศา สีของวัตถุนั้นจะอยู่ในกลุ่มสีเขียว



ภาพที่ ก. 3 แผนผังแสดงค่าสีที่รายงานเป็นค่า *L a b* และ ค่า Hue angle

ก. 6 การวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids; TSS)

โดยการหยดน้ำคั้นจากเนื้อมะม่วงลงบน hand refractometer ค่าที่อ่านได้มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์ (°Brix)

ก. 7 การวัดปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (titratable acidity; TA)

โดยทำการไตเตรทน้ำคั้นของเนื้อมะม่วงปริมาตร 5 มิลลิลิตร กับ 0.1 M NaOH โดยใช้สารละลายฟีนอฟทาลีน ความเข้มข้น 1 % 0.3 มิลลิลิตรเป็นอินดิเคเตอร์ จนถึงจุดยุติ คือเมื่อสารละลายมีสีชมพูอ่อนนานอย่างน้อย 30 วินาที จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ในรูปของกรดซิตริก (A.O.A.C., 2006) จากสมการ

$$\text{ปริมาณกรด (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(\text{ปริมาตรของ NaOH})(0.1\text{ M NaOH})(\text{meq.wt.ของ citric acid}) \times 100}{\text{ปริมาตรน้ำคั้นของตัวอย่าง (ml.)}}$$

โดย meq.wt.ของ citric acid = 0.070

ก. 8 การวัดการเกิดโรค

โดยนับจำนวนผลมะม่วงที่เกิดโรคแอนแทรคโนสที่ผิว (ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของโรคตั้งแต่ขนาด 2 มิลลิเมตรขึ้นไป) ต่อจำนวนผลมะม่วงทั้งหมด แล้วคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ จากสมการ

$$\text{การเกิดโรค (ร้อยละ)} = \frac{\text{จำนวนผลที่พบโรค} \times 100}{\text{จำนวนผลเริ่มต้นทั้งหมด}}$$

ก. 9 การวัดความรุนแรงของโรค

นำผลมะม่วงมาวางบนกระดาษลอกลาย ใช้ดินสอวาดตามรอยของผลมะม่วง โดยทำการวาดทั้ง 2 ด้านของผล เมื่อทำการวาดครบทุกผลจึงนำผลมะม่วงไปทำการทดลองตามที่เตรียมเอาไว้ ส่วนกระดาษให้ตัดตามรอยที่วาดไว้แล้วนำไปชั่งน้ำหนักแต่ละชิ้น เมื่อตรวจผลการเกิดโรคให้นำกระดาษแผ่นเดิมมาทาบกับผลมะม่วงผลเดิมและด้านเดิม ถ้าผลมะม่วงมีการเป็นโรคแอนแทรคโนส ให้วาดตามรอยแผลที่เกิดโรคนั้นและตัดกระดาษส่วนนั้นออกแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ก็จะ

ได้น้ำหนักกระดาษของผิวผลมะม่วงที่มีการเน่าเสีย ทำเช่นนี้จนครบทุกผลและจนสิ้นสุดการทดลอง นำน้ำหนักกระดาษที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความรุนแรงของโรค (สกลวัฒน์ โอสิริ, 2543)

ก. 10 การประเมินการยอมรับคุณภาพของผู้บริโภค

การประเมินการยอมรับคุณภาพของผู้บริโภค ที่มีต่อมะม่วงในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา คือวันที่ 30 ของการเก็บรักษา ใช้วิธี 9-Point Hedonic Scale Test ให้คะแนนตั้งแต่ 1-9 (1 คะแนน คือ ไม่ชอบมาก และ 9 คะแนน คือ ชอบมาก) ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ได้รับการฝึกฝนจำนวน 25 คน วิธีการเตรียมมะม่วงสำหรับทดสอบ โดยนำมะม่วงในแต่ละชุดการทดลองมาให้ผู้ทดสอบประเมินสีเปลือก ปลอกเปลือกออก ผ่าแบ่งเนื้อมะม่วงในแนวขวางกับความยาวของผลเป็นชิ้นๆ ให้ผู้ทดสอบประเมินสีเนื้อ เนื้อสัมผัส กลิ่น และการยอมรับโดยรวม

ตัวอย่างแบบทดสอบ

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้

เพศ..... วันที่ทดสอบ.....

คำชี้แจง กรุณาพิจารณาและประเมินตัวอย่างมะม่วงน้ำดอกไม้พร้อมวงกลมล้อมรอบที่ตรงกับความรู้สึกของท่านในแต่ละคุณลักษณะที่ต้องการทดสอบดังต่อไปนี้

รหัสตัวอย่าง .....

1. คะแนนการยอมรับ

1. **สีของเปลือกมะม่วง**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ไม่ชอบมาก								ชอบมาก

2. **สีของเนื้อมะม่วง**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ไม่ชอบมาก								ชอบมาก

3. **เนื้อสัมผัส**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ไม่ชอบมาก								ชอบมาก

4. **กลิ่น (โดยคะแนนเท่ากับ 1 คือมะม่วงมีกลิ่นแปลกปลอม เช่น กลิ่นหมัก กลิ่นเหม็น หรือ กลิ่นสมุนไพร ในระดับมากที่สุด)**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ไม่ชอบมาก								ชอบมาก

5. **ท่านคิดว่าท่านจะยอมรับมะม่วงที่ท่านเห็นในระดับไหน**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ไม่ชอบมาก								ชอบมาก

ตัวอย่างแบบทดสอบ (ต่อ)

2. การเปรียบเทียบกับมะม่วงน้ำดอกไม้สุกกำลังดี

จงให้คะแนนในข้อดังต่อไปนี้เปรียบเทียบกับมะม่วงน้ำดอกไม้สดโดยให้มะม่วงน้ำดอกไม้มีคะแนนเต็ม เท่ากับ 9

1. **สีของเปลือกมะม่วง**

   1 2 3 4 5 6 7 8 9

   ไม่ชอบมาก ชอบมาก

2. **สีของเนื้อมะม่วง**

   1 2 3 4 5 6 7 8 9

   ไม่ชอบมาก ชอบมาก

3. **เนื้อสัมผัส**

   1 2 3 4 5 6 7 8 9

   ไม่ชอบมาก ชอบมาก

4. **กลิ่น (โดยคะแนนเท่ากับ 1 คือมะม่วงมีกลิ่นแปลกปลอม เช่น กลิ่นหมัก กลิ่นเหม็น หรือ กลิ่นสมุนไพร ในระดับมากที่สุด)**

   1 2 3 4 5 6 7 8 9

   ไม่ชอบมาก ชอบมาก

5. **ท่านคิดว่าท่านจะยอมรับมะม่วงที่ท่านเห็นในระดับไหนเปรียบเทียบกับมะม่วงน้ำดอกไม้**

   1 2 3 4 5 6 7 8 9

   ไม่ชอบมาก ชอบมาก

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข. 1 การสูญเสียน้ำหนักของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ชุดการทดลอง	การสูญเสียน้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)										
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
control	0	1.45±0.37^{a}	1.96±0.68^{a}	2.78±0.85^{a}	3.46±0.71^{a}	4.28±0.57^{abc}	5.20±0.55^{b}	6.50±0.70^{c}	8.32±0.60^{d}	9.85±0.74^{c}	11.15±0.44^{c}
ฟิล์มบุก+ข่า (สัมผัส)	0	1.67±0.20^{a}	2.09±0.27^{a}	2.87±0.37^{a}	3.69±0.27^{a}	4.45±0.36^{bc}	5.17±0.35^{b}	6.02±0.51^{b}	7.00±0.39^{b}	7.80±0.56^{b}	8.83±1.00^{b}
ฟิล์มบุก+ข่า (ไม่สัมผัส)	0	1.63±0.35^{a}	2.07±0.43^{a}	2.75±0.53^{a}	3.52±0.77^{a}	4.17±0.63^{abc}	4.79±0.33^{a}	6.24±0.54^{bc}	7.14±0.61^{bc}	7.60±0.51^{b}	8.53±0.97^{b}
เคลือบบุก	0	1.51±0.28^{a}	1.86±0.33^{a}	2.61±0.44^{a}	3.30±0.36^{a}	3.88±0.47^{ab}	4.52±0.42^{a}	5.12±0.15^{a}	5.67±0.39^{a}	6.57±0.34^{a}	7.03±0.46^{a}
เคลือบบุก+ข่า	0	1.59±0.26^{a}	1.95±0.29^{a}	2.50±0.31^{a}	3.30±0.40^{a}	3.78±0.44^{a}	4.60±0.24^{a}	4.86±0.28^{a}	5.61±0.34^{a}	6.32±0.44^{a}	6.82±0.31^{a}
ชุบสารสกัดข่า	0	1.50±0.28^{a}	2.22±0.70^{a}	2.88±0.66^{a}	3.60±0.65^{a}	4.59±0.76^{c}	5.20±0.46^{b}	6.20±0.38^{bc}	7.53±0.38^{c}	8.31±0.63^{b}	9.49±0.50^{b}

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

ตารางที่ ข. 2 ความแน่นเนื้อของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ชุดการทดลอง	ความแน่นเนื้อ (นิวตัน) ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
control	72.06±3.67^{a}	69.62±2.98^{b}	59.24±2.83^{b}	48.33±3.39^{b}	23.26±1.80^{a}	13.57±2.40^{a}	10.58±1.82^{a}	8.98±0.57^{a}	4.83±0.40^{a}	2.51±0.36^{a}	1.85±0.11^{a}
ฟิล์มบุก+ข่า (สัมผัส)	72.06±3.67^{a}	68.55±1.14^{b}	52.65±3.46^{a}	43.31±0.57^{ab}	24.52±3.91^{ab}	15.07±5.30^{ab}	15.10±1.49^{ab}	9.08±3.98^{a}	5.10±1.24^{a}	3.58±0.50^{ab}	3.24±0.10^{b}
ฟิล์มบุก+ข่า (ไม่สัมผัส)	72.06±3.67^{a}	65.50±7.01^{ab}	56.70±3.41^{ab}	40.85±5.87^{a}	30.73±3.69^{ab}	18.93±5.00^{abc}	14.46±2.80^{ab}	9.59±0.19^{a}	6.32±1.55^{a}	4.45±1.02^{b}	3.65±0.64^{b}
เคลือบบุก	72.06±3.67^{a}	69.27±1.69^{b}	58.46±1.76^{ab}	48.23±1.32^{b}	31.02±7.52^{ab}	22.21±2.70^{c}	18.78±2.13^{c}	17.20±1.35^{b}	13.95±1.93^{b}	7.98±1.66^{c}	5.28±0.19^{c}
เคลือบบุก+ข่า	72.06±3.67^{a}	62.00±2.54^{a}	59.85±1.8^{b}	44.34±5.62^{ab}	32.31±2.85^{b}	24.02±2.56^{c}	19.68±4.12^{c}	15.21±1.31^{b}	12.31±1.32^{b}	9.92±1.28^{d}	5.54±1.29^{c}
ชุบสารสกัดข่า	72.06±3.67^{a}	60.06±2.08^{a}	55.25±4.43^{ab}	39.28±2.10^{a}	28.74±1.91^{ab}	20.74±1.50^{bc}	14.92±3.53^{ab}	9.14±1.20^{a}	6.47±1.36^{a}	3.17±0.23^{ab}	2.69±0.31^{ab}

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

ตารางที่ ข. 3 ค่า Hue angle ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ชุดการทดลอง	Hue angle										
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
control	107.53±0.91^{b}	104.44±2.17^{ab}	102.12±1.96^{ab}	99.41±1.32^{ab}	98.10±1.38^{a}	95.49±1.38^{a}	93.30±2.23^{a}	89.91±1.59^{a}	86.81±2.44^{a}	86.03±2.29^{a}	86.04±2.50^{a}
ฟิล์มบุก+ข่า (สัมผัส)	106.99±1.62^{b}	105.49±1.75^{b}	103.59±2.07^{bc}	100.79±1.35^{bc}	99.00±1.22^{ab}	96.99±1.59^{ab}	95.60±2.35^{ab}	92.75±2.69^{b}	91.09±2.62^{b}	89.58±2.28^{b}	89.11±1.53^{b}
ฟิล์มบุก+ข่า (ไม่สัมผัส)	106.90±1.85^{b}	104.04±1.93^{ab}	102.02±1.71^{ab}	99.01±1.38^{a}	97.84±2.04^{a}	95.41±2.07^{a}	93.05±2.22^{a}	90.00±1.26^{a}	88.52±1.50^{ab}	88.39±0.44^{ab}	87.69±0.92^{ab}
เคลือบบุก	107.37±1.36^{b}	105.25±1.35^{b}	104.96±1.56^{c}	102.78±1.38^{d}	101.37±1.15^{c}	100.82±3.01^{c}	99.24±3.33^{c}	97.42±3.69^{c}	95.65±4.41^{c}	94.55±4.58^{c}	93.75±0.64^{c}
เคลือบบุก+ข่า	105.21±1.11^{a}	103.06±2.06^{a}	101.43±1.95^{a}	98.94±1.48^{a}	97.74±2.68^{a}	95.37±3.63^{a}	94.78±3.90^{ab}	92.57±4.11^{ab}	91.35±4.09^{b}	89.64±3.73^{b}	89.43±1.86^{b}
ชุบสารสกัดข่า	107.32±1.44^{b}	105.58±1.27^{b}	103.63±1.88^{bc}	102.27±2.27^{cd}	100.24±2.52^{bc}	99.00±1.57^{bc}	96.64±1.12^{b}	93.83±1.85^{b}	91.49±1.18^{b}	89.84±0.71^{b}	89.46±0.48^{b}

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

ตารางที่ ข. 4 ค่า *L* ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ชุดการทดลอง	L value										
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
control	65.87±3.15^{a}	66.29±1.94^{ab}	66.38±2.49^{bc}	66.04±2.09^{bc}	65.73±1.88^{b}	65.85±2.47^{bc}	64.89±2.15^{bc}	64.03±1.35^{b}	63.21±1.20^{b}	63.79±0.89^{b}	63.17±2.05^{b}
ฟิล์มบุก+ข่า (สัมผัส)	67.05±2.00^{a}	67.46±1.89^{bc}	68.01±2.39^{cd}	67.70±2.30^{cd}	66.59±1.73^{b}	66.75±1.51^{c}	66.26±1.26^{cd}	65.90±0.97^{c}	65.31±1.48^{c}	64.99±1.54^{b}	65.04±1.74^{b}
ฟิล์มบุก+ข่า (ไม่สัมผัส)	68.40±1.82^{a}	68.89±1.97^{c}	69.99±1.83^{d}	69.34±2.04^{d}	68.58±1.80^{c}	68.83±1.99^{d}	67.74±1.74^{d}	66.73±1.47^{c}	65.76±1.83^{c}	66.55±0.79^{c}	66.03±0.43^{b}
เคลือบบุก	65.84±2.41^{a}	65.69±2.10^{ab}	65.23±2.81^{ab}	65.29±2.77^{ab}	64.81±2.36^{ab}	64.37±2.41^{b}	64.06±2.61^{b}	63.61±2.20^{b}	63.30±2.46^{b}	63.45±1.69^{b}	63.20±1.62^{b}
เคลือบบุก+ข่า	65.81±1.89^{a}	65.10±1.05^{a}	63.92±0.76^{a}	63.30±0.75^{a}	63.13±1.39^{a}	61.28±1.58^{a}	60.91±1.34^{a}	61.11±1.88^{a}	59.92±1.48^{a}	60.08±1.36^{a}	58.63±1.53^{a}
ชุบสารสกัดข่า	66.83±2.50^{a}	65.73±2.04^{ab}	65.95±2.24^{abc}	65.30±2.49^{ab}	65.56±2.55^{b}	65.01±2.21^{bc}	64.53±2.43^{bc}	64.15±2.38^{b}	64.37±2.19^{bc}	64.35±1.34^{b}	64.22±1.46^{b}

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

ตารางที่ ข. 5 ค่า *a* ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ชุดการทดลอง	a value										
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	-9.08±0.54^{a}	-8.36±0.51^{abc}	-7.58±0.59^{ab}	-6.91±0.57^{a}	-5.61±1.27^{b}	-4.39±1.50^{b}	-2.45±0.94^{cd}	-0.88±0.41^{c}	0.48±0.21^{c}	0.84±0.18^{d}	1.12±0.05^{c}
ฟิล์มบุก+ข่า (สัมผัส)	-9.18±0.94^{a}	-9.20±0.97^{a}	-8.12±1.01^{a}	-7.13±0.84^{a}	-6.30±1.33^{ab}	-5.28±1.15^{ab}	-3.23±1.19^{c}	-1.26±0.61^{c}	0.29±0.13^{c}	0.43±0.21^{cd}	0.88±0.41^{c}
ฟิล์มบุก+ข่า (ไม่สัมผัส)	-8.55±0.66^{a}	-8.28±0.68^{bc}	-7.49±0.79^{ab}	-6.52±0.95^{a}	-5.58±1.20^{b}	-4.35±1.25^{b}	-2.25±0.89^{d}	-0.84±0.40^{c}	0.36±0.18^{c}	0.80±0.20^{d}	1.10±0.19^{c}
เคลือบบุก	-9.03±0.63^{a}	-9.11±0.68^{ab}	-8.33±0.64^{a}	-7.25±0.41^{a}	-6.86±0.69^{a}	-6.08±0.96^{a}	-5.53±0.61^{a}	-3.68±0.75^{a}	-2.57±0.96^{a}	-1.48±0.59^{a}	-1.12±0.18^{a}
เคลือบบุก+ข่า	-8.33±1.01^{a}	-8.13±1.20^{c}	-6.96±0.82^{b}	-6.49±0.64^{a}	-5.43±0.38^{b}	-4.26±1.07^{b}	-3.18±0.77^{cd}	-2.37±0.97^{b}	-1.04±0.42^{b}	-0.73±0.33^{b}	-0.20±0.08^{b}
ชุบสารสกัดข่า	-9.16±0.90^{a}	-9.18±0.91^{a}	-8.27±1.15^{a}	-7.21±0.93^{a}	-6.75±0.95^{a}	-5.89±0.50^{a}	-4.55±0.93^{b}	-2.84±0.73^{b}	-0.96±0.41^{b}	0.15±0.05^{c}	0.43±0.06^{bc}

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

ตารางที่ ข. 6 ค่า *b* ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ชุดการทดลอง	b value										
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
Control	23.37±0.81^{a}	24.92±1.08^{a}	26.14±0.63^{a}	26.47±0.74^{ab}	27.17±0.89^{ab}	27.87±0.98^{a}	28.17±0.79^{ab}	30.01±0.58^{c}	30.92±0.68^{c}	31.75±0.59^{b}	32.88±0.84^{c}
ฟิล์มบุก+ข่า (สัมผัส)	23.44±0.91^{a}	25.79±1.37^{a}	26.87±1.40^{ab}	27.31±1.01^{bc}	28.05±0.78b^{c}	28.82±1.15^{b}	28.90±1.34^{b}	29.20±1.12^{bc}	29.63±1.56^{b}	29.75±1.77^{a}	29.90±0.60^{a}
ฟิล์มบุก+ข่า (ไม่สัมผัส)	23.69±1.33^{a}	25.10±0.76^{a}	26.54±0.67^{ab}	26.56±0.53^{ab}	26.92±0.48^{a}	27.85±0.41^{a}	29.02±1.58^{b}	29.17±0.84^{bc}	29.38±0.78^{ab}	30.29±1.01^{a}	31.54±0.98^{b}
เคลือบบุก	23.59±1.33^{a}	25.00±0.85^{a}	26.10±0.84^{a}	26.21±1.14^{a}	26.58±1.03^{a}	27.12±1.02^{a}	27.58±0.94^{a}	28.03±0.80^{a}	28.49±0.77^{a}	29.26±0.76^{a}	29.50±0.12^{a}
เคลือบบุก+ข่า	25.82±0.68^{b}	26.89±0.60^{b}	27.38±0.63^{b}	27.49±0.63^{c}	28.17±0.90^{c}	28.92±0.84^{b}	29.10±0.68^{b}	29.31±0.80^{bc}	29.66±0.88^{b}	29.92±1.11^{a}	30.64±0.83^{ab}
ชุบสารสกัดข่า	23.10±0.70^{a}	24.86±0.88^{a}	26.04±1.38^{a}	26.32±1.09^{a}	26.66±1.59^{a}	27.71±1.05^{a}	28.12±1.22^{ab}	28.97±0.98^{b}	29.22±0.97^{ab}	29.41±0.84^{a}	29.70±0.57^{a}

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

ตารางที่ ข. 7 ค่า ΔE ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ชุดการทดลอง	ΔE value										
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
control	0	2.92±1.47^{a}	3.94±1.57^{a}	4.67±1.30^{ab}	5.75±1.21^{b}	7.01±1.18^{b}	8.57±0.78^{b}	11.04±0.79^{d}	12.65±1.06^{d}	13.48±0.93^{c}	14.52±0.85^{c}
ฟิล์มบุก+ข่า (ส้มผัส)	0	2.64±0.74^{a}	3.98±1.62^{a}	4.84±1.24^{b}	5.81±1.38^{b}	7.18±0.68^{b}	8.61±0.78^{b}	10.20±0.96^{cd}	11.74±1.05^{cd}	11.87±1.18^{b}	12.33±1.01^{b}
ฟิล์มบุก+ข่า (ไม่ส้มผัส)	0	2.12±0.89^{a}	3.56±1.23^{a}	3.83±1.50^{ab}	4.73±1.39^{ab}	6.23±0.94^{ab}	8.67±1.51^{b}	9.79±1.01^{bcd}	11.20±0.92^{c}	11.78±1.09^{b}	12.83±0.75^{b}
เคลือบบุก	0	2.02±0.72^{a}	2.91±0.72^{a}	3.43±1.05^{a}	4.15±1.15^{a}	5.24±1.75^{a}	5.79±1.65^{a}	7.47±1.69^{a}	8.59±2.10^{a}	10.03±1.45^{a}	10.51±1.31^{a}
เคลือบบุก+ข่า	0	2.35±0.67^{a}	3.27±1.04^{a}	3.87±1.23^{ab}	4.99±1.06^{ab}	7.10±1.72^{b}	8.04±1.54^{b}	8.62±1.72^{ab}	9.57±1.27^{ab}	10.55±1.27^{a}	11.18±1.16^{a}
ชุบสารสกัดข่า	0	2.30±0.66^{a}	3.51±1.34^{a}	4.30±1.33^{ab}	4.98±1.35^{ab}	6.20±0.92^{ab}	7.55±1.34^{b}	9.27±1.00^{bc}	10.67±0.77^{bc}	11.77±0.55^{b}	12.22±0.57^{b}

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

ตารางที่ ข. 8 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ชุดการทดลอง	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
control	10.17±0.35 [a]	11.53±0.70 [a]	13.27±0.90 [a]	14.33±0.61 [b]	15.57±0.64 [b]	16.17±0.55 [b]	14.33±1.16 [bc]	13.43±0.97 [a]	12.63±0.68 [a]	12.77±0.72 [a]	12.50±1.76 [a]
ฟิล์มบุก+ข่า (สัมผัส)	10.17±0.35 [a]	10.60±0.56 [a]	12.70±1.20 [a]	14.10±0.60 [ab]	15.33±0.46 [b]	15.40±0.79 [b]	13.60±1.41 [abc]	12.70±0.66 [a]	12.47±0.78 [a]	12.57±1.46 [a]	12.13±1.79 [a]
ฟิล์มบุก+ข่า (ไม่สัมผัส)	10.17±0.35 [a]	10.87±0.50 [a]	13.40±0.30 [a]	13.80±0.89 [ab]	14.97±0.49 [b]	16.43±0.25 [b]	14.50±0.30 [c]	13.17±0.78 [a]	13.13±0.64 [a]	12.47±0.49 [a]	11.33±0.83 [a]
เคลือบบุก	10.17±0.35 [a]	10.80±0.40 [a]	12.27±0.35 [a]	12.77±0.70 [ab]	13.60±1.05 [a]	13.03±0.35 [a]	12.30±0.72 [a]	12.33±0.57 [a]	12.77±0.95 [a]	13.13±1.53 [a]	12.80±1.56 [a]
เคลือบบุก+ข่า	10.17±0.35 [a]	11.17±0.25 [a]	11.90±0.53 [a]	12.50±0.66 [a]	12.83±0.59 [a]	13.30±0.46 [a]	12.43±1.22 [ab]	12.73±0.65 [a]	12.67±1.30 [a]	12.07±0.35 [a]	12.43±0.81 [a]
ชุบสารสกัดข่า	10.17±0.35 [a]	11.40±0.96 [a]	13.07±1.40 [a]	14.37±1.37 [b]	15.43±1.00 [b]	15.20±1.18 [b]	13.17±0.90 [abc]	13.37±0.97 [a]	13.30±1.31 [a]	12.50±1.15 [a]	13.10±0.26 [a]

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

ตารางที่ ข. 9 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ชุดการทดลอง	ปริมาณกรด (เปอร์เซ็นต์) ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
control	1.91±0.04 ^{a}	1.89±0.06^{a}	1.59±0.06^{ab}	1.55±0.05^{c}	1.13±0.05^{a}	0.73±0.07^{a}	0.48±0.04^{a}	0.33±0.09^{a}	0.35±0.03^{ab}	0.15±0.02^{a}	0.14±0.01^{a}
ฟิล์มบุก+ข่า (สัมผัส)	1.91±0.04 ^{a}	1.85±0.05 ^{a}	1.62±0.04^{b}	1.26±0.08^{ab}	1.14±0.11^{ab}	0.66±0.06^{a}	0.61±0.03^{ab}	0.46±0.07^{ab}	0.32±0.05^{a}	0.21±0.04^{a}	0.21±0.03^{a}
ฟิล์มบุก+ข่า (ไม่สัมผัส)	1.91±0.04 ^{a}	1.82±0.09 ^{a}	1.47±0.08^{a}	1.22±0.05^{a}	1.18±0.21^{abc}	0.76±0.10^{ab}	0.59±0.07^{ab}	0.58±0.04^{b}	0.44±0.09^{b}	0.19±0.05^{a}	0.19±0.03^{a}
เคลือบบุก	1.91±0.04 ^{a}	1.82±0.06 ^{a}	1.55±0.07^{ab}	1.32±0.09^{ab}	1.35±0.11^{bc}	1.30±0.04^{c}	1.15±0.10^{c}	1.03±0.10^{c}	0.81±0.04^{c}	0.72±0.06^{b}	0.33±0.03^{b}
เคลือบบุก+ข่า	1.91±0.04 ^{a}	1.79±0.03 ^{a}	1.65±0.03^{b}	1.39±0.08^{b}	1.37±0.05^{c}	1.23±0.05^{c}	1.10±0.04^{c}	0.90±0.16^{c}	0.73±0.07^{c}	0.71±0.08^{b}	0.59±0.10^{c}
ชุบสารสกัดข่า	1.91±0.04 ^{a}	1.84±0.09 ^{a}	1.66±0.09^{b}	1.31±0.07^{ab}	1.15±0.08^{abc}	0.87±0.07^{b}	0.68±0.12^{b}	0.55±0.07^{b}	0.40±0.03^{ab}	0.18±0.03^{a}	0.18±0.04^{a}

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

ตารางที่ ข. 10 อัตราส่วน TSS/TA ของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ชุดการทดลอง	สัดส่วน TSS/TA										
	ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
control	5.33±0.26 ^{a}	6.10±0.56^{a}	8.38±0.82^{bc}	9.24±0.60^{a}	13.74±0.38^{b}	22.20±2.61^{c}	29.92±2.54^{d}	42.39±12.16^{d}	36.22±3.14^{bc}	86.13±12.17^{c}	89.04±6.67^{d}
ฟิล์มบุก+ข่า (สัมผัส)	5.33±0.26 ^{a}	5.74±0.33^{a}	7.85±0.93^{ab}	11.26±1.05^{c}	13.47±0.90^{b}	23.51±1.11^{c}	22.17±1.90^{bc}	28.25±4.42^{c}	39.85±4.80^{c}	61.67±10.13^{b}	59.42±10.06^{c}
ฟิล์มบุก+ข่า (ไม่สัมผัส)	5.33±0.26 ^{a}	6.00±0.52^{a}	9.10±0.28^{c}	11.31±1.16^{c}	12.96±2.06^{b}	21.73±2.46^{c}	24.67±3.04^{c}	22.70±2.75^{bc}	30.71±6.56^{b}	66.76±13.48^{b}	60.04±12.86^{c}
เคลือบบุก	5.33±0.26 ^{a}	5.93±0.43^{a}	7.92±0.30^{ab}	9.66±0.52^{ab}	10.07±0.85^{a}	10.03±0.42^{a}	10.78±1.51^{a}	12.06±0.69^{a}	15.70±0.99^{a}	18.30±3.29^{a}	38.89±5.16^{b}
เคลือบบุก+ข่า	5.33±0.26 ^{a}	6.24±0.08^{a}	7.22±0.22^{a}	9.02±0.27^{a}	9.39±0.35^{a}	10.79±0.21^{a}	11.34±1.53^{a}	14.47±2.92^{ab}	17.27±0.49^{a}	17.24±2.39^{a}	21.38±2.77^{a}
ชุบสารสกัดข่า	5.33±0.26 ^{a}	6.20±0.52^{a}	7.84±0.44^{ab}	10.99±0.81^{bc}	13.45±1.60^{b}	17.54±0.01^{b}	19.60±2.25^{b}	24.28±1.75^{bc}	33.36±3.94^{bc}	69.26±13.70^{bc}	73.19±13.89^{cd}

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

ตารางที่ ข. 11 การเกิดโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ชุดการทดลอง	การเกิดโรค (เปอร์เซ็นต์) ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
control	0	0	22.22±11.11^{c}	44.44±11.12^{c}	70.37±12.83^{c}	88.89±11.11^{b}	100.00±0.00^{b}	100.00±0.00^{a}	100	100	100
ฟิล์มบุก+ข่า (สัมผัส)	0	0	18.52±6.41^{bc}	33.33±11.11^{bc}	66.67±11.11^{c}	77.78±0.00^{b}	92.59±6.41^{ab}	100.00±0.00^{a}	100	100	100
ฟิล์มบุก+ข่า (ไม่สัมผัส)	0	0	14.81±6.41^{bc}	44.44±11.12^{c}	48.15±6.42^{b}	59.26±6.41^{a}	77.78±19.24^{a}	92.59±6.41^{a}	100	100	100
เคลือบบุก	0	0	14.81±6.41^{bc}	22.22±11.11^{ab}	48.15±6.42^{b}	59.26±6.41^{a}	81.48±12.83^{ab}	96.30±6.41^{a}	100	100	100
เคลือบบุก+ข่า	0	0	0.00±0.00^{a}	14.81±6.41^{a}	29.63±6.41^{a}	51.85±6.42^{a}	77.78±11.11^{a}	88.89±11.11^{a}	100	100	100
ชุบสารสกัดข่า	0	0	7.41±3.50^{ab}	11.11±0.00^{a}	33.33±11.11^{ab}	59.26±16.98^{a}	81.48±6.41^{ab}	100.00±0.00^{a}	100	100	100

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

ตารางที่ ข. 12 ความรุนแรงของโรคของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เบอร์ 4 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 13±1°C

ชุดการทดลอง	ความรุนแรงของโรค (เปอร์เซ็นต์) ระยะเวลาในการเก็บรักษา (วัน)										
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
control	0	0	0.15±0.07^{bc}	0.23±0.09^{b}	0.67±0.15^{c}	1.40±0.18^{c}	3.97±0.42^{c}	8.27±1.01^{c}	11.63±1.31^{e}	17.18±1.05^{e}	24.08±4.17^{d}
ฟิล์มบุก+ข่า (สัมผัส)	0	0	0.16±0.06^{c}	0.18±0.07^{ab}	0.56±0.17^{bc}	0.83±0.37^{b}	1.46±0.11^{b}	3.49±0.85^{b}	4.37±1.17^{d}	7.32±0.45^{d}	9.18±0.62^{c}
ฟิล์มบุก+ข่า (ไม่สัมผัส)	0	0	0.09±0.04^{abc}	0.25±0.11^{b}	0.34±0.12^{ab}	0.38±0.11^{a}	0.49±0.16^{a}	1.29±0.21^{a}	2.18±0.31^{ab}	3.05±0.82^{b}	4.31±1.25^{ab}
เคลือบบุก	0	0	0.11±0.05^{bc}	0.12±0.05^{ab}	0.15±0.06^{a}	0.29±0.08^{a}	0.40±0.08^{a}	0.76±0.09^{a}	2.54±0.32^{bc}	5.44±0.90^{c}	7.35±1.05^{bc}
เคลือบบุก+ข่า	0	0	0.00±0.00^{a}	0.03±0.01^{a}	0.12±0.05^{a}	0.19±0.08^{a}	0.30±0.08^{a}	0.51±0.08^{a}	1.12±0.15^{a}	1.52±0.12^{a}	2.72±0.51^{a}
ชุบสารสกัดข่า	0	0	0.05±0.02^{ab}	0.07±0.03^{ab}	0.15±0.07^{a}	0.28±0.13^{a}	0.36±0.07^{a}	1.42±0.17^{a}	3.66±0.42^{cd}	6.42±0.45^{cd}	8.65±0.54^{c}

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

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวจุพาพันธุ์ รัตนนิล เกิดเมื่อวันที่ 7 มกราคม พ.ศ. 2526 ที่จันทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจาก ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2549

เสนอผลงานทางวิชาการ ภาคโปสเตอร์ เรื่องประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* ของฟิล์มบริโภคได้จากผงบุกผสมสารสกัดจากสมุนไพรไทย ในการประชุมวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวแห่งชาติ ครั้งที่ 9 วันที่ 23-24 มิถุนายน พ.ศ. 2554 ณ โรงแรมพัทยาพาร์ค บีช รีสอร์ท จังหวัดชลบุรี