การผลิตฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า (*Musa x paradisiaca* L.) ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (*Garcinia mangostana* L.) เพื่อถนอมรักษาผลไม้

ธนากร ปัญโญป้อ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต และปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยา
พฤษภาคม 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การผลิตฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า (*Musa x paradisiaca* L.) ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (*Garcinia mangostana* L.) เพื่อถนอมรักษาผลไม้

ธนากร ปัญโญป้อ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต และปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยา
พฤษภาคม 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

PRODUCTION OF CELLULOSE FILMS FROM PSEUDO-STEM OF NAMWA BANANA (*MUSA X PARADISIACA* L.) MIXED WITH CRUDE EXTRACT OF MANGOSTEEN PEEL (*GARCINIA MANGOSTANA* L.) FOR FRUIT PRESERVATION.

THANAKORN PANYOPO

A Thesis Submitted to University of Phayao

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Bachelor of Science and Master of Science Degree in Biology

May 2023

Copyright 2023 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การผลิตฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า (*Musa x paradisiaca* L.) ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (*Garcinia mangostana* L.) เพื่อถนอมรักษาผลไม้

ของ ธนากร ปัญโญป้อ

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต และปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ ธานี)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิศักดิ์ ปิ่นมงคลกุล)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญช่วง บุญสุข)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา
(รองศาสตราจารย์ ดร. นุจิรา ทาตัน)

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชยันต์ บุณยรักษ์)

เรื่อง: การผลิตฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า (*Musa x paradisiaca* L.) ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (*Garcinia mangostana* L.) เพื่อถนอมรักษาผลไม้

ผู้วิจัย: ธนากร ปัญโญป้อ, วิทยานิพนธ์: วท.บ. (ชีววิทยา) และ วท.ม. (ชีววิทยา), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2565

อาจารย์ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิศักดิ์ ปิ่นมงคลกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญช่วง บุญสุข

คำสำคัญ: กล้วยน้ำว้า, ลำต้นเทียมกล้วย, ฟิล์มเซลลูโลส, สารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติ (ความแข็งแรงต่อแรงดึง, ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด, อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และอัตราการซึมผ่านของก๊าซ), ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพฟิล์มเซลลูโลสเพื่อถนอมรักษาผลมะม่วงและกล้วย, ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ และศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า (*Musa x paradisiaca* L.) ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) จากการศึกษาพบว่าฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยแรงดึง เท่ากับ 0.24 ± 0.03 เมกะปาสคาล และค่าเฉลี่ยร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด เท่ากับ 191.95 ± 3.19% โดยค่าแรงดึง และร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์มเซลลูโลสลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดเพิ่มขึ้น อัตราการส่งผ่านไอน้ำและอัตราการซึมผ่านของก๊าซ เท่ากับ 1,635.83 ± 42.79 g/ (m^2.24h) และ 11,932.54 ± 1,098.79 g/ (m^2.24h) ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อัตราการส่งผ่านไอน้ำและอัตราการซึมผ่านของก๊าซที่สูง สามารถปลดปล่อยไอน้ำและเอทิลีนสูง ทำให้ฟิล์มเซลลูโลสสามารถลดดัชนีสี ดัชนีโรค และน้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงและกล้วยได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสทดสอบโดยวิธีการฝังกลบ ผลปรากฏว่าฟิล์มเซลลูโลสสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีมากภายในเวลา 6 สัปดาห์ เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้การศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์โดยทำการทดสอบกับเชื้อทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella typhimurium* พบว่าการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B.*

cereus, *S. aureus* และ *S. typhimurium* มีการต้านเชื้อที่สูงในฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 7.7 ± 0.7, 16.0 ± 3.0 และ 7.5 ± 0.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้นฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด จึงเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยลดโรค ชะลอการสุกของผลไม้ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศต่าง ๆ บนโลกของเราในปัจจุบันและในอนาคตต่อไปได้

Title: PRODUCTION OF CELLULOSE FILMS FROM PSEUDO-STEM OF NAMWA BANANA (*MUSA X PARADISIACA* L.) MIXED WITH CRUDE EXTRACT OF MANGOSTEEN PEEL (*GARCINIA MANGOSTANA* L.) FOR FRUIT PRESERVATION.

Author: Thanakorn Panyopo, Thesis: B.Sc. (Biology) and M.Sc. (Biology), University of Phayao, 2022

Advisor: Associate Professor Dr. SITTHISAK PINMONGKHOLGUL Co-advisor Assistant Professor Dr.Boonchuang Boonsuk

Keywords: Namwa banana, Pseudo-stem, Cellulose films, Crude extract of mangosteen peel

ABSTRACT

The objectives of this study were investigation of the properties (tensile strength, elongation at break, water vapor transmission rate and gas permeability rate), the comparative study of cellulose films efficiency for the preservation of mango and banana fruits, the biodegradation and antimicrobial activity of cellulose films from pseudo-stem of Namwa banana (*Musa x paradisiaca* L.) mixed with crude extracts of mangosteen peel (*Garcinia mangostana* L.) (0, 10, 100 และ 500 mg/ml). The results showed that the cellulose films from pseudo-stem of Namwa banana mixed with crude extract of mangosteen peel at the concentration of 500 mg/ml had tensile strength and elongation at break were 0.24 ± 0.03 Mpa and 191.95 ± 3.19%, respectively. The tensile strength and elongation at break of cellulose films were decreased when the concentrations of crude mangosteen peel were increased. The water vapor transmission rate and gas permeability rate of cellulose films mixed with crude extract of mangosteen peel at the concentration of 500 mg/ml were 1,635.83 ± 42.79 g/ (m^2.24h) and 11,932.54 ± 1,098.79 g/ (m^2.24h), respectively, which were significantly higher than those of commercial polyethylene films ($p \leq 0.05$). The high-water vapor transmission rate and high gas permeability rate released the water vapor and ethylene. Consequently, the cellulose films significantly reduced the color index, disease index and weight loss of mango and banana fruits ($p \leq 0.05$). In addition, the biodegradation of cellulose film was also studied using landfill method. The

results revealed that cellulose films showed high biodegradation within 6 weeks compared to the commercial polyethylene films. Moreover, the antimicrobial activity of the cellulose films was tested against *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella typhimurium*. The cellulose films mixed with crude extract of mangosteen peel at the concentration of 500 mg/ml showed antimicrobial activity on the inhibition zone of *B. cereus*, *S. aureus* and *S. typhimurium* at 7.7 ± 0.7, 16.0 ± 3.0 and 7.5 ± 0.4 mm, respectively, Therefore, it can be concluded that the cellulose films from pseudo–stem of Namwa banana mixed with crude extract of mangosteen peel using for packaging can decrease the disease, extend fruit ripening. The cellulose films from pseudo–stem of Namwa banana and mangosteen peel could be used as environmentally friendly product in present and future world.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิศักดิ์ ปิ่นมงคลกุล ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญช่วง บุญสุข กรรมการที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา และการสนับสนุน ตลอดจนตรวจสอบปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำงานวิจัย และการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ธานี ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.นุจิรา ทาตัน อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำที่ดี รวมถึงการตรวจทาน ปรับปรุงแก้ไขการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้ความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ ณ ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ศวท–มช.) ที่ทำการทดสอบฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรค

ขอขอบคุณบุคลากรของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ช่วยดำเนินการทำเรื่องสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณทางมหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา และมารดา ที่คอยเป็นแรงผลักดัน เป็นกำลังใจ ในการศึกษาหาความรู้ในครั้งนี้ และสนับสนุนมาโดยตลอด

ธนากร ปัญโญป้อ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย 3

4. ขอบเขตการวิจัย 4

5. สมมุติฐานของการวิจัย 5

6. ข้อตกลงเบื้องต้น 5

7. นิยามศัพท์เฉพาะ 5

8. ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย 8

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

1. แนวคิดเกี่ยวกับพลาสติกบรรจุภัณฑ์ 9

2. แนวคิดเกี่ยวกับพอลิเอทิลีน (Polyethylene) 12

3. แนวคิดเกี่ยวกับกล้วยน้ำว้า 18

4. แนวคิดเกี่ยวกับการผลิตฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า 20

5. แนวคิดเกี่ยวกับมังคุด 27

6. แนวคิดเกี่ยวกับการสกัดสารสกัดหยาบของเปลือกมังคุด 31
7. แนวคิดเกี่ยวกับฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้ 36
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....44
1. กระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด 44
2. การเตรียมเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า.....45
3. กระบวนการสกัดเซลลูโลส 45
4. การสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 46
5. การหาปริมาณผลผลิตร้อยละของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 47
6. การหาปริมาณผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส.....47
7. การวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนจากเปลือกมังคุด 48
8. การเตรียมฟิล์มเซลลูโลส.....48
9. ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มเซลลูโลส จากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด..... 51
10. ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลส (Ai et al., 2021)..... 51
11. การเก็บถนอมรักษาผลมะม่วงกับกล้วยด้วยฟิล์มเซลลูโลส (Ai et al., 2021).....56
12. การประเมินความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลส 63
13. การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้.....64
14. การวิเคราะห์ทางสถิติ 69
บทที่ 4 ผลการวิจัย..... 71
1. กระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด 71
2. กระบวนการสกัดเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า 73
3. การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 78
4. ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลส.....82
5. การเก็บถนอมรักษาผลมะม่วงกับกล้วยด้วยฟิล์มเซลลูโลส.....86

6. ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า 107
7. การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้.....118
บทที่ 5 บทสรุป 126
1. สรุปผลการวิจัย..... 126
1.1 กระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด 126
1.2 กระบวนการสกัดเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า..... 127
1.3 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 128
1.4 ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลส 129
1.5 การเก็บถนอมรักษาผลมะม่วงกับกล้วยด้วยฟิล์มเซลลูโลส 130
1.6 ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า..... 133
1.7 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้ 134
2. อภิปรายผลการวิจัย 135
2.1 กระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด 135
2.2 กระบวนการสกัดเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า 136
2.3 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 138
2.4 ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลส..... 139
2.5 การเก็บถนอมรักษาผลมะม่วงกับกล้วยด้วยฟิล์มเซลลูโลส..... 142
2.6 ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 147
2.7 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้..... 149
บรรณานุกรม 151
ภาคผนวก..... 158

ภาคผนวก ก 159
ภาคผนวก ข 165
ภาคผนวก ค 170
ภาคผนวก ง 177
ภาคผนวก จ 182
ภาคผนวก ฉ 185
ภาคผนวก ช 187
ภาคผนวก ซ 189
ภาคผนวก ฌ 222
ประวัติผู้วิจัย 224

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ค่าความหนาแน่นและดัชนีการไหลละลายของพอลิเอทิลีน 12

ตาราง 2 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของกล้วยน้ำว้า 19

ตาราง 3 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของมังคุด 27

ตาราง 4 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *E. coli* 38

ตาราง 5 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *B. cereus* 39

ตาราง 6 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *P. aeruginosa* 40

ตาราง 7 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *S. aureus* 42

ตาราง 8 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *S. typhimurium* 43

ตาราง 9 การออกแบบการทดสอบความหนาของฟิล์มเซลลูโลส 52

ตาราง 10 การออกแบบการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์มเซลลูโลส 53

ตาราง 11 การออกแบบการทดสอบอัตราการส่งผ่านไอน้ำของฟิล์มเซลลูโลส 54

ตาราง 12 การออกแบบการทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซของฟิล์มเซลลูโลส 56

ตาราง 13 การออกแบบทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องด้วยฟิล์ม เซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้น 57

ตาราง 14 การออกแบบทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้น 58

ตาราง 15 การออกแบบทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้น 59

ตาราง 16 การออกแบบทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้น 60

ตาราง 17 การออกแบบการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลส....64
ตาราง 18 การออกแบบการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. coli*....65
ตาราง 19 การออกแบบการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B. cereus*....66
ตาราง 20 การออกแบบการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa*....67
ตาราง 21 การออกแบบการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. aureus*....67
ตาราง 22 การออกแบบการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. typhimurium*....68
ตาราง 23 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด....79
ตาราง 24 การทดสอบความหนาของฟิล์มเซลลูโลส....82
ตาราง 25 การทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด....84
ตาราง 26 การทดสอบคุณสมบัติอัตราการส่งผ่านไอน้ำ....85
ตาราง 27 การทดสอบคุณสมบัติอัตราการซึมผ่านของก๊าซ....86
ตาราง 28 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. coli*....119
ตาราง 29 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B. cereus*....120
ตาราง 30 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa*....122
ตาราง 31 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. aureus*....123
ตาราง 32 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. typhimurium*....125
ตาราง 33 ผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อก่อโรคของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร....150
ตาราง 34 ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานแซนโทนที่ความยาวคลื่น A243....179
ตาราง 35 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความยาวคลื่น A243....181
ตาราง 36 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 7 วัน....192
ตาราง 37 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 7 วัน....193

ตาราง 38 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 14 วัน 196
ตาราง 39 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 14 วัน..... 197
ตาราง 40 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 7 วัน 200
ตาราง 41 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 7 วัน.... 201
ตาราง 42 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 14 วัน 204
ตาราง 43 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 14 วัน .205
ตาราง 44 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 7 วัน.....208
ตาราง 45 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 7 วัน 209
ตาราง 46 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 14 วัน..... 212
ตาราง 47 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 14 วัน..... 213
ตาราง 48 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 7 วัน 216
ตาราง 49 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 7 วัน 217
ตาราง 50 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 14 วัน 220
ตาราง 51 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 14 วัน ... 221

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 คาดการณ์ปริมาณขยะพลาสติกจากการจัดส่งอาหารออนไลน์ 11

ภาพ 2 โครงสร้างทางโมเลกุลของ LLDPE 14

ภาพ 3 โครงสร้างทางโมเลกุลของ LDPE 15

ภาพ 4 โครงสร้างทางโมเลกุลของ HDPE 17

ภาพ 5 ลักษณะทั่วไปของกล้วยน้ำว้า 18

ภาพ 6 ภาพตัดขวางของลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า 20

ภาพ 7 เส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า 21

ภาพ 8 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส 22

ภาพ 9 กระบวนการสกัดเซลลูโลสเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าตามวิธีการกำจัดลิกนิน 23

ภาพ 10 เส้นใยเซลลูโลสของลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าไม่ผ่านกระบวนการฟอกสี 24

ภาพ 11 เซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าที่ผ่านกระบวนการฟอกขาว 25

ภาพ 12 โครงสร้างทางเคมีของ (a) [Bmim][Cl], (b) [Amim][Cl] และ(c) [Emim][Ac] 26

ภาพ 13 ลักษณะทั่วไปของผลมังคุด 28

ภาพ 14 โครงสร้างทางเคมีของ (a)โครงสร้างโมเลกุลของกลุ่มสารแซนโทน (α– mangostin), (b) โครงสร้างโมเลกุลของรงควัตถุชนิดแอนโธไซยานิน และ (c) โครงสร้างโมเลกุลของแทนนิน 30

ภาพ 15 เปลือกมังคุดที่ผ่านการอบแห้ง 31

ภาพ 16 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก 32

ภาพ 17 เครื่องระเหยสุญญากาศ 33

ภาพ 18 เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน 36

ภาพ 19 ลักษณะรูปร่างของเชื้อ *E. coli* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด 37

ภาพ 20 ลักษณะรูปร่างของเชื้อ *B. cereus* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด 39

ภาพ 21 ลักษณะรูปร่างของเชื้อ *P. aeruginosa* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด 40

ภาพ 22 ลักษณะรูปร่างของเชื้อ *S. aureus* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด41

ภาพ 23 ลักษณะรูปร่างของเชื้อ *S. typhimurium* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด 43

ภาพ 24 ขั้นตอนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด.....49

ภาพ 25 ขั้นตอนการสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและขึ้นรูปฟิล์ม.....50

ภาพ 26 แผนภาพการออกแบบของ (a) การทดสอบการถนอมผลมะม่วงใอุณหภูมิห้อง (b) การทดสอบการถนอมผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็น (c) การทดสอบการถนอมผลกล้วยในอุณหภูมิห้อง (d) การทดสอบการถนอมผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็น.....63

ภาพ 27 เทคนิคการหมักแช่ของเปลือกมังคุดแห้ง 71

ภาพ 28 ผงสารสกัดหยาบของเปลือกมังคุด 72

ภาพ 29 เส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าไม่ผ่านการฟอกสี 73

ภาพ 30 กระบวนการฟอกสีเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า.....74

ภาพ 31 เส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผ่านการฟอกสีและอบแห้ง 74

ภาพ 32 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สร้างจากเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า.....75

ภาพ 33 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ(a) เส้นใยเซลลูโลสลักษณะรูปร่างกลมยาวกำลังขยาย 100 ไมโครเมตร (b) เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเซลลูโลสลักษณะรูปร่างกลมยาวกำลังขยาย 100 ไมโครเมตร (c) เส้นใยเซลลูโลสลักษณะรูปร่างแบนยาวกำลังขยาย 100 ไมโครเมตร และ (d) เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเซลลูโลสลักษณะรูปร่างแบนยาวกำลังขยาย 100 ไมโครเมตร 76

ภาพ 34 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ(a) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกำลังขยาย 500 ไมโครเมตร (b) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกำลังขยาย 300 ไมโครเมตร (c) คาร์บอกซีเมทิล

เซลลูโลสกำลังขยาย 100 ไมโครเมตร และ(d) ผิวคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกำลังขยาย 100 ไมโครเมตร 78

ภาพ 35 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด(a) 0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร, (b) 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร, (c) 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ(d) 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร..... 81

ภาพ 36 ผลการทดสอบดัชนีสีของผลมะม่วงในอุณหภูมิห้อง.....87

ภาพ 37 ลักษณะการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ของเปลือกมะม่วง 89

ภาพ 38 ผลการทดสอบดัชนีโรคของผลมะม่วงในอุณหภูมิห้อง 90

ภาพ 39 ผลการชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงในอุณหภูมิห้อง 91

ภาพ 40 ผลการทดสอบดัชนีสีของผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็น 93

ภาพ 41 ผลการทดสอบดัชนีโรคของผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็น.....95

ภาพ 42 เปลือกผลมะม่วงเกิดการช้ำเป็นปื้นสีน้ำตาลจากการแช่เย็น 95

ภาพ 43 ผลการชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงในแช่เย็น 97

ภาพ 44 ผลการทดสอบดัชนีสีของผลกล้วยในอุณหภูมิห้อง.....98

ภาพ 45 ลักษณะการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ของเปลือกกล้วย..... 100

ภาพ 46 ผลการทดสอบดัชนีโรคของผลกล้วยในอุณหภูมิห้อง 100

ภาพ 47 ผลการชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยในอุณหภูมิห้อง..... 102

ภาพ 48 ผลการทดสอบดัชนีสีของผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็น 103

ภาพ 49 ผลการทดสอบดัชนีโรคของผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็น..... 105

ภาพ 50 เปลือกผลกล้วยเกิดการช้ำเป็นปื้นสีน้ำตาลและดำจากการแช่เย็น..... 105

ภาพ 51 ผลการชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็น 107

ภาพ 52 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์จากการย่อยสลายทางชีวภาพ 108

ภาพ 53 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดจากการย่อยสลายทางชีวภาพ (a) สัปดาห์ที่ 3 (b) สัปดาห์ที่ 4 (c) สัปดาห์ที่ 5 และ (d) สัปดาห์ที่ 6 109

ภาพ 54 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการย่อยสลายทางชีวภาพ (a) สัปดาห์ที่ 3 (b) สัปดาห์ที่ 4 (c) สัปดาห์ที่ 5 และ (d) สัปดาห์ที่ 6 110

ภาพ 55 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการย่อยสลายทางชีวภาพ (a) สัปดาห์ที่ 3 (b) สัปดาห์ที่ 4 (c) สัปดาห์ที่ 5 และ (d) สัปดาห์ที่ 6 111

ภาพ 56 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการย่อยสลายทางชีวภาพ (a) สัปดาห์ที่ 3 (b) สัปดาห์ที่ 4 (c) สัปดาห์ที่ 5 และ (d) สัปดาห์ที่ 6 112

ภาพ 57 ผลการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ภายใน 6 สัปดาห์ ...113

ภาพ 58 ผลการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ภายใน 6 สัปดาห์ 114

ภาพ 59 ผลการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ภายใน 6 สัปดาห์ 115

ภาพ 60 ผลการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ภายใน 6 สัปดาห์ 116

ภาพ 61 ผลการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ภายใน 6 สัปดาห์ 117

ภาพ 62 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. coli* 1) ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 2) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 3) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 4) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 118

ภาพ 63 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B. cereus* 1) ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 2) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 3) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 4) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 120

ภาพ 64 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa* 1) ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 2) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 3) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 4) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 121

ภาพ 65 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ S. aureus 1) ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 2) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 3) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 4) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 123

ภาพ 66 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. typhimurium* 1) ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 2) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 3) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 4) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 124

ภาพ 67 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพถนอมรักษาผลมะม่วงของฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์กับฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ;Room temperature คือ อุณหภูมิห้อง; Chilled คือ อุณหภูมิแช่เย็น 144

ภาพ 68 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพถนอมรักษาผลกล้วยของฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์กับฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ;Room temperature คือ อุณหภูมิห้อง; Chilled คือ อุณหภูมิแช่เย็น 146

ภาพ 69 ผลการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์เปรียบเทียบกับฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยวิธีการฝังกลบในดิน..... 148

ภาพ 70 การเตรียมเปลือกมังคุดสด 166

ภาพ 71 กระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด..... 168

ภาพ 72 ขั้นตอนละลายความเข้มข้นของผงสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 169

ภาพ 73 การเตรียมเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า..... 172

ภาพ 74 ขั้นตอนการสกัดเซลลูโลส 174

ภาพ 75 ขั้นตอนการสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส..... 176

ภาพ 76 สารเคมีที่ใช้ในการทดลองวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนจากเปลือกมังคุด..... 178

ภาพ 77 กราฟมาตรฐานแซนโทน 180

ภาพ 78 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 184

ภาพ 79 ขั้นตอนการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 186

ภาพ 80 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด 188

ภาพ 81 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 7 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร(e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร.....191

ภาพ 82 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 14 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร..... 195

ภาพ 83 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 7 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อ

มิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร.....199

ภาพ 84 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 14 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร.....203

ภาพ 85 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 7 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร.....208

ภาพ 86 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 14 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร.....211

ภาพ 87 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 7 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อ

มิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร..... 216

ภาพ 88 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 14 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร..... 220

ภาพ 89 การทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลส..... 223

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหาร ผัก และผลไม้ มีการใช้กันอย่างแพร่หลายและพลาสติกบรรจุภัณฑ์เป็นพลาสติกที่ใช้ครั้งเดียวทิ้ง (Single-use Plastic) ซึ่งเกิดปัญหาเป็นวงกว้างอย่างมหาศาล โดยมูลนิธิ Macarthur ได้ประมาณการในปี พ.ศ. 2559 ไว้ว่ามีการผลิตพลาสติกบรรจุภัณฑ์ 78 ล้านตันทั่วโลก (Axelsson and Van Sebille, 2017) ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศต่าง ๆ บนโลกของเรา โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนในระบบนิเวศทางทะเล ขยะทะเลนับว่าเป็นปัญหาของประเทศไทยและระดับโลก ซึ่งประเทศไทยถูกจัดเป็นอันดับที่ 6 ในการปล่อยขยะลงสู่ทะเล (ทิพวรรณ บุญเพ็ชร, 2564) และขยะพลาสติกยังสามารถย่อยสลายแตกออกเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ เรียกว่า ไมโครพลาสติก ซึ่งเป็นชิ้นส่วนพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร หรือมีขนาดเพียง 1 นาโนเมตร ถึง 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้

พลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหาร ผัก และผลไม้ที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมมีหลากหลายประเภท เช่น ถุงหิ้ว กล่องพลาสติก ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ เป็นต้น ซึ่งฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (Commercial polyethylene films) เป็นหนึ่งในปัญหาของสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการห่อถนอมรักษาผลไม้และขนส่งระยะทางไกลจำนวนมาก ซึ่งฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์เป็นพอลิเมอร์ที่ใช้เวลาในการย่อยสลายนาน ก่อให้เกิดสารพิษตกค้างในสิ่งมีชีวิตหรือผู้บริโภคในลำดับที่สูงขึ้นจากการถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหารอย่างสมบูรณ์ และสะสมในสิ่งแวดล้อมทั้งในดินตะกอน น้ำ และสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะในสัตว์ทะเลที่กรองกินอาหาร เช่น หอยฝาเดียว หอยสองฝา และเพรียงทะเล เป็นต้น (Thushari et al., 2017)

ซึ่งในปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับฟิล์มเซลลูโลสเป็นจำนวนมากเพื่อทดแทนฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ โดย Ai et al., (2021) ได้ศึกษาฟิล์มเซลลูโลสที่สามารถย่อยสลายได้จากลำต้นเทียมกล้วยโดยการใช้ของเหลวไอออนิกในการบำบัดเพื่อถนอมรักษามะม่วง ซึ่งมีคุณสมบัติความแข็งแรงต่อแรงดึง ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และอัตราการซึมผ่านของก๊าซ เท่ากับ 3.1 ± 0.4 เมกะปาสคาล, 77.0 ± 2.5% และ 9,325.8 ± 526.9 g/(m^2 .24h) ตามลำดับ และการศึกษาการถนอมรักษามะม่วงด้วยฟิล์มเซลลูโลสพบว่าสามารถชะลอการสุกของมะม่วงและดัชนีโรคลดลง ส่วนฟิล์ม

เซลลูโลสสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีมากภายในเวลา 4 สัปดาห์ ซึ่งดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถนำมาสร้างเป็นบรรจุภัณฑ์ถนอมรักษาผลไม้และสร้างเป็นพลาสติกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการผลิตฟิล์มเซลลูโลส โดยใช้ลำต้นเทียม (Pseudo-stem) จากกล้วยน้ำว้า (*Musa x paradisiaca* L.) เนื่องจากเป็นพืชไม้ล้มลุกที่ผสมทางพันธุกรรมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี (Sudhanyaratana et al., 2016) ซึ่งพบมากในประเทศไทยและประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ กล้วยน้ำว้าเป็นพืชที่มีเส้นใยเซลลูโลสที่สูง มีความทนทาน สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และยังเป็นพืชที่ออกผลผลิตเพียงครั้งเดียว หลังจากนั้นก็จะเกิดการเน่าเสียซึ่งเป็นส่วนที่กินไม่ได้ รวมทั้งลำต้นและใบคิดเป็น 90% ของน้ำหนักทั้งต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้กล้วยน้ำว้าให้เกิดคุณค่าและเกิดประโยชน์อันสูงสุด โดยนำมาสร้างเป็นฟิล์มเซลลูโลสที่สามารถถนอมรักษาผลไม้และทดแทนฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน เนื่องจากฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์เป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีการซึมผ่านของก๊าซไม่ดีมากนักทำให้ผลไม้มีอัตราการสุกที่เร็วขึ้น

งานวิจัยนี้ฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าจะเพิ่มสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (*Garcinia mangostana* L.) ซึ่งเปลือกมังคุดมีสารประกอบสำคัญ ได้แก่ กลุ่มสารแซนโทน (Xanthone) ซึ่งกลุ่มสารนี้มีฤทธิ์ในการป้องกันโรค ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ลดการอักเสบ และต้านอนุมูลอิสระได้ (Zhu, 2020) โดยทดสอบในผลมะม่วงแก้วขมิ้นและกล้วยน้ำว้า ซึ่งมะม่วงแก้วขมิ้นเป็นผลไม้เมืองร้อนที่ไวต่อสภาพอากาศ หลังจากการเก็บเกี่ยวมักใช้เวลา 6-7 วันที่อุณหภูมิห้องทำให้คุณภาพความสดของผลลดลง อัตราการเป็นโรคก็เพิ่มมากขึ้น และเน่าเสียในที่สุด (Su et al., 2001) ส่วนผลกล้วยน้ำว้าเป็นผลไม้ที่มีการบริโภคกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีประโยชน์ทางโภชนาการ วิตามิน และแร่ธาตุที่สำคัญ อย่างไรก็ตามกล้วยเป็นผลไม้ที่มีการย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่สูง และติดเชื้อได้ง่ายจากเชื้อก่อโรคต่าง ๆ ซึ่งส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของกล้วยที่สั้นลง (Maqbool et al., 2010) ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงวัสดุบรรจุภัณฑ์ในการถนอมรักษาผลไม้เพราะเป็นขั้นตอนที่สำคัญต่อการรักษาความสด และรักษาคุณภาพทางโภชนาการในการขนส่งระยะทางไกลให้เก็บรักษาได้นานมากขึ้น (Guillard et al., 2018; Mangaraj et al., 2009)

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

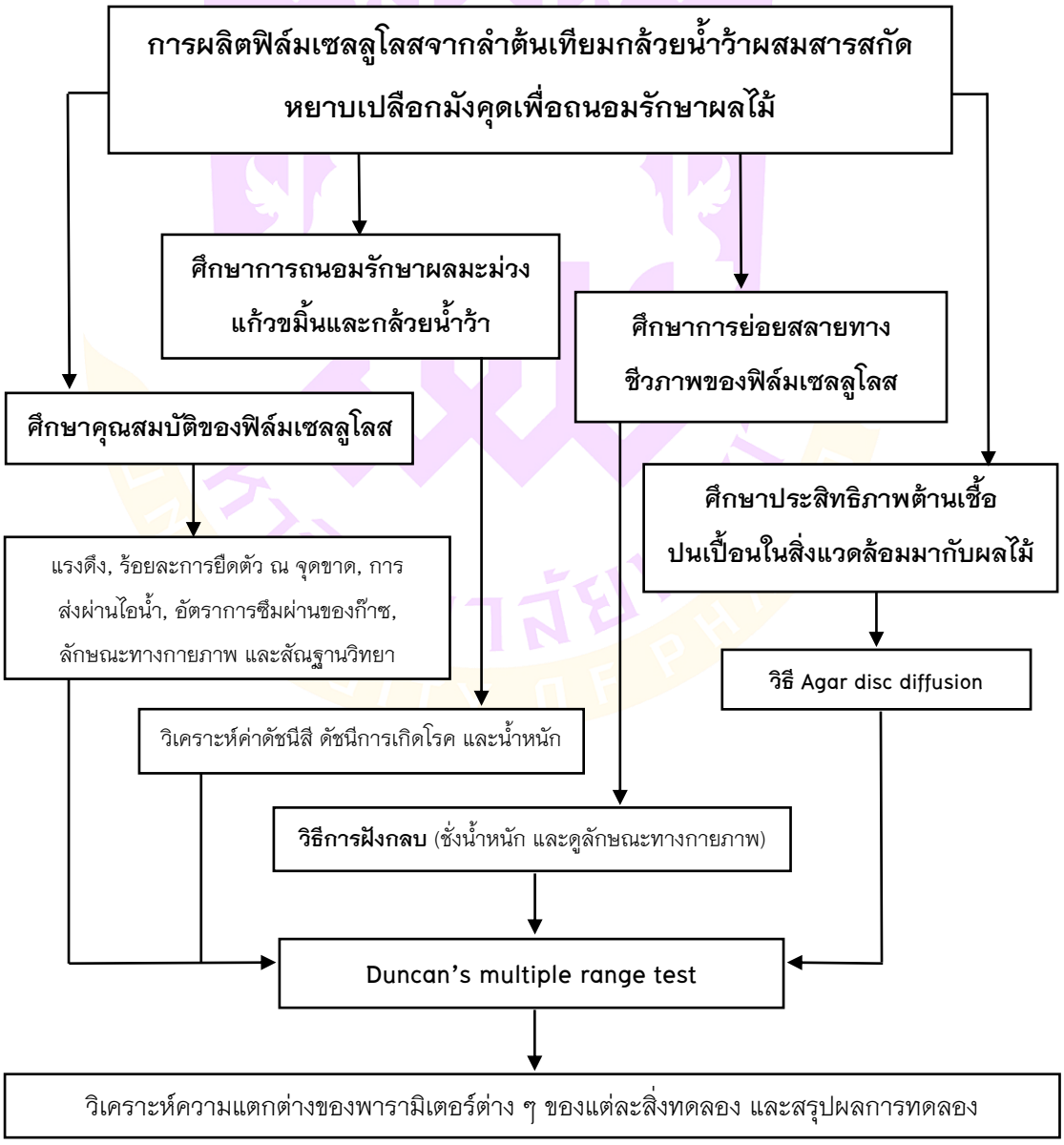
1. ศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดเพื่อถนอมรักษาผลมะม่วงและกล้วย

3. ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

4. ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ผสมในฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าเพื่อต้านเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการผลิตฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด เพื่อถนอมรักษาผลไม้ ซึ่งมีการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร, 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยนำไปทดสอบแรงดึง การส่งผ่านไอน้ำ การซึมผ่านของก๊าซ และศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลส รวมถึงศึกษาการถนอมรักษาผลมะม่วงแก้วขมิ้นและกล้วยน้ำว้าจากฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้น โดยวิเคราะห์ค่าดัชนีสี ดัชนีการเกิดโรค และน้ำหนักที่หายไป และยังศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้น โดยวิธีการฝังกลบ วัดน้ำหนักก่อนและหลัง และลักษณะทางกายภาพของการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลส และศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้นต่อการต้านเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้ โดยวิธี Agar disc diffusion ซึ่งผลการทดลองทั้งหมดจะวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS (Statistical Product and Service Solutions) รุ่น 26.0 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิเคราะห์ความแตกต่างของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแต่ละสิ่งทดลอง และสรุปผลการทดลอง

4. ขอบเขตการวิจัย

1. ขอบเขตด้านวิธีการทดลอง

1.1 ตัวแปรต้น

1.1.1 ฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

1.1.2 ปริมาณสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดผสมในฟิล์มเซลลูโลส

1.2 ตัวแปรตาม

1.2.1 ผลมะม่วงแก้วขมิ้นและกล้วยน้ำว้ามีอัตราการสุกและอัตราการเกิดโรคช้าลง

1.2.2 การย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลส

1.2.3 ประสิทธิภาพในการต้านเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้

2. ขอบเขตด้านเวลา

เดือนเมษายน 2565 – พฤษภาคม 2566

3. ขอบเขตด้านสถานที่

ห้องปฏิบัติการ SC2305 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

5. สมมุติฐานของการวิจัย

1. ฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้ามีคุณสมบัติแรงดึง การยืดตัว การซึมผ่านของไอน้ำ และการซึมผ่านของก๊าซได้ดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

2. ฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าสามารถทำให้ผลมะม่วงแก้วขมิ้นและกล้วยน้ำว้า มีอัตราการสุกและการเกิดโรคลดลง

3. ฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

4. สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ผสมในฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าสามารถต้านเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้

6. ข้อตกลงเบื้องต้น

เก็บข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลสในเดือนกรกฎาคม – กันยายน 2565 และเก็บข้อมูลดัชนีสี (color index) ดัชนีโรค (Disease index) และอัตราผลที่เป็นโรคในการทดสอบการถนอมผลมะม่วงแก้วขมิ้นและกล้วยน้ำว้า โดยวิธีการวางแผนแบบ CRD (Completely Randomized Design) ในเดือนกันยายน – พฤศจิกายน 2565

7. นิยามศัพท์เฉพาะ

พลาสติกบรรจุภัณฑ์ เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากวัตถุดิบแหล่งปิโตรเคมีเป็นหลัก และนิยมผลิตนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งมีคุณสมบัติทางเชิงกล คือ โพลีพอพิลีน (Polypropylene: PP) และนำมาเข้ากระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกที่เรียกว่า ฟิล์มโพลีพอพิลีน (Biaxial Oriented Polypropylene Film ; BOPP) (สุกานดา พรมเทพ และสมใจ แสงสกุลไทย, 2554)

พอลิเอทิลีน เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ถูกคิดค้นด้วยนักวิจัยเมื่อ 100 ปีที่แล้ว และนำมาประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรม เนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีที่เรียบง่าย ไม่ซับซ้อน และสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นพลาสติกหลาย ๆ รูปแบบ เช่น แผ่นฟิล์ม ท่อน้ำ ขวดน้ำ และแบบเม็ด เป็นต้น ซึ่งพลาสติกเหล่านี้ใช้กันอย่างแพร่หลายไปทั่วโลกจนถึงปัจจุบัน รวมถึงหาได้ง่าย สะดวกต่อการใช้งานและราคาถูก (Huang et al., 2007)

ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ เป็นพอลิเมอร์ประเภท Low-density polyethylene (LDPE) หรือ โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ซึ่งมีความหนาแน่นต่ำโดยมีโครงสร้างทางโมเลกุลจำนวนกิ่งก้านสาขาค่อนข้างยาว ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์เป็นที่รู้จักกันอย่างดีหาได้ง่ายตามร้านสะดวกซื้อทั่วไปและมีราคาถูก จากคุณสมบัติดังกล่าวพลาสติกชนิดนี้จึงเหมาะสมที่โรงงานอุตสาหกรรมจะนำมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มห่ออาหาร ผัก และผลไม้ เนื่องจากสามารถยืดได้ (Huang et al., 2007)

กล้วยน้ำว้า เป็นพืชไม้ล้มลุกที่พบมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีการผสมทางพันธุกรรมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี ชื่อสามัญของกล้วยน้ำว้าคือ Cultivated banana อยู่ในวงศ์ Musaceae โดยมีลักษณะลำต้นตั้งตรงสีเขียวปื้นดำเล็กน้อย ความสูงประมาณ 5-9 เมตร มีลำต้นใต้ดิน (rhizome) เรียกว่า เหง้า ใบมีลักษณะเป็นขนนกใบเดี่ยว มีหัวปลีเป็นช่อดอกขนาดใหญ่ และออกผลเป็นแผงเรียกว่าหวี (Imam and Akter, 2011; โชติอนันต์, 2551)

ลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า เป็นส่วนของลำต้นสีเขียวปื้นดำมีโครงสร้างของเซลลูโลสที่แข็งแรง รวมถึงมีลิกนิน (Lignin) ,เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ,โปรตีน (Protein), แป้ง (Starch), น้ำตาล (Sugar), กรดอินทรีย์ (Organic acid) และเพคติน (Pectin) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า และส่วนประกอบบางชนิดก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหลากหลายด้าน เช่น เภสัชกรรม คอสเมติก อุตสาหกรรม เป็นต้น ลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้ายังสามารถใช้เป็นประโยชน์ทางด้านพลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) เช่น บรรจุภัณฑ์ ฟิล์ม แผ่นแปะสิว เป็นต้น (Wright et al., 2013)

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นโครงสร้างหลักที่สำคัญของผนังเซลล์พืชซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรทที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และไม่สามารถละลายในน้ำได้ รวมถึงเซลลูโลสยังเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติซึ่งประกอบด้วยโซ่สายยาวของ anhydro-D-glucopyranose units (AGU) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) เป็นหมู่หลัก (Bochek, 2003)

ฟิล์มเซลลูโลส เป็นนวัตกรรมใหม่ที่เกี่ยวข้องกับ BCG (Bio-Circular-Green Economy) ซึ่งจะใช้วัสดุเซลลูโลสจากธรรมชาติ เช่น กล้วย ชานอ้อย สาหร่าย เป็นต้น นำมาขึ้นรูปเป็น

แผ่นฟิล์ม ซึ่งในปัจจุบันนักวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับฟิล์มเซลลูโลสเป็นจำนวนมากเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น เนื่องจากฟิล์มเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติ มีความแข็งแรง ทนทาน สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถทดแทนพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนในอนาคตได้ (Ai et al., 2021)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นเซลลูโลสมีการผ่านกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างหมู่ของเซลลูโลส โดยใช้สารละลายกรดคลอโรอะซิติกในการเปลี่ยนหมู่คาร์บอนิลซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ ให้เป็นหมู่คาร์บอกซีเมทิลซึ่งสามารถละลายน้ำได้ (กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ และวิทวัส จิรัฐพงศ์, 2554)

เปลือกมังคุด มีสรรพคุณทางยาเนื่องจากเปลือกมังคุดมียางสีเหลืองที่ประกอบด้วยสารแซนโทน (Xanthone) ซึ่งพบปริมาณมากกว่าทุก ๆ ส่วนของมังคุด ประมาณ 80–90 % ซึ่งสารแซนโทนสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์หรือแบคทีเรีย และเชื้อราก่อโรคต่าง ๆ เช่น ท้องเสีย โรคกระเพาะ โรคบิด แผลเปื่อย มะเร็ง ผิวหนังติดเชื้อ ต้านเชื้อก่อการเกิดสิว เป็นต้น (Darntrakoon and Nagumo, 1997)

แซนโทน เป็นกลุ่มสารที่มีฤทธิ์ในการป้องกันโรค ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ลดการอักเสบและต้านอนุมูลอิสระ (Zhu, 2020)

สารสกัดหยาบเปลือกมังคุด เป็นสารสกัดรวมที่ได้จากกระบวนการสกัดจากเปลือกมังคุดซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เทคนิคการสกัดแบบแช่หมัก (maceration) เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยจะมีการแช่ตัวอย่างพืชในระยะเวลาประมาณ 7 วัน แช่ด้วยตัวทำละลาย 95% เอทานอล แล้วระเหยตัวทำละลายให้แห้งด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ (rotary evaporator) ก็จะได้สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ต้องการ ซึ่งสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดส่วนใหญ่จะเป็นยางสีเหลืองที่ประกอบด้วยสารแซนโทน และสารแทนนิน (Tannin) ซึ่งพบมากบริเวณเปลือก โดยทั้ง 2 สารเรียกรวมกันว่าสารแมงโกสติน (mangostin) สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์หรือแบคทีเรีย และเชื้อราก่อโรคต่าง ๆ เช่น ท้องเสีย โรคกระเพาะ โรคบิด แผลเปื่อย มะเร็ง ผิวหนังติดเชื้อ ต้านเชื้อก่อการเกิดสิว เป็นต้น และสารสกัดเปลือกมังคุดยังนิยมนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านต่าง ๆ เช่น เครื่องสำอาง ยา อาหาร ทางการเกษตร เป็นต้น

8. ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบผลความแข็งแรงต่อแรงดึง ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และอัตราการซึมผ่านก๊าซของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า ซึ่งสามารถสร้างเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่สามารถห่อผลไม้ และสามารถชะลอการสุกได้

2. ทราบผลประสิทธิภาพการถนอมรักษาผลมะม่วงและกล้วยของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

3. ทราบผลการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า ซึ่งสามารถสร้างเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

4. ทราบผลฤทธิ์การต้านเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้ของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ผสมในฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดเกี่ยวกับพลาสติกบรรจุภัณฑ์

1.1 ความหมายพลาสติกบรรจุภัณฑ์

พลาสติกบรรจุภัณฑ์ ตามคำนิยามหมายถึงสารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นใช้แทนวัสดุธรรมชาติ บางชนิดเมื่อได้รับความเย็นก็จะแข็งตัว บางชนิดเมื่อได้รับความร้อนก็จะอ่อนตัว บางชนิดก็แข็งตัวถาวร เช่น ฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหาร ผัก ผลไม้ เป็นต้น

พลาสติก เป็นรากศัพท์จากภาษากรีกว่า “Plastikos” หมายถึงวัสดุที่สามารถขึ้นโครงร่างต่าง ๆ ได้ ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวเรียกว่า “High Molecular Weight” ที่สังเคราะห์จากวัตถุดิบที่เป็นสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ เช่น ออกซิเจน คาร์บอน ไฮโดรเจน คลอไรด์ เป็นต้น พลาสติกที่สังเคราะห์จะนำมาใช้ประโยชน์ต่าง ๆ โดยเฉพาะนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ของอาหาร ผัก และผลไม้

พลาสติกบรรจุภัณฑ์ หมายถึงสารประกอบอินทรีย์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาไม่สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษมากมาย เช่น มลพิษทางบก มลพิษทางอากาศ มลพิษทางน้ำ เป็นต้น รวมถึงส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตหรือผู้บริโภคในลำดับที่สูงขึ้นจากการถ่ายทอดตามห่วงโซ่อาหาร

พลาสติกบรรจุภัณฑ์ เป็นพลาสติกใช้ครั้งเดียวทิ้ง (Single-use Plastic) และพลาสติกที่ใช้ได้หลายครั้ง (Multi-use Plastic) ประกอบด้วยสารเคมีหลายประเภท ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาทั่วโลกรวมถึงส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศต่าง ๆ โดยเฉพาะระบบนิเวศทางทะเล

พลาสติกบรรจุภัณฑ์เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากวัตถุดิบแหล่งปิโตรเคมีเป็นหลัก และนิยมผลิตนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งมีคุณสมบัติทางเชิงกล คือ โพลีพอพิลีน (Polypropylene: PP) และนำมาเข้ากระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกที่เรียกว่าฟิล์มโพลีพอพิลีน (Biaxial Oriented Polypropylene Film ; BOPP) (สุกานดา พรมเทพ และสมใจ แสงสกุลไทย, 2554)

1.2 ผลกระทบจากพลาสติกบรรจุภัณฑ์

1.2.1 ผลกระทบภาวะโลกร้อน

ภาวะโลกร้อนส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศต่าง ๆ บนโลกของเราเป็นอย่างมาก เนื่องจากปัญหาหลัก ๆ ของภาวะโลกร้อน คือ การใช้พลังงานจาก

ฟอสซิล การคมนาคม การก่อสร้าง อุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกบรรจุภัณฑ์ การทิ้งขยะพลาสติก และกระบวนการกำจัดขยะพลาสติกที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งการอุตสาหกรรม การคมนาคม การเกษตรกรรม และการเผาไหม้อื่น ๆ จะทำให้เกิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน มีเทน และก๊าซอื่น ๆ สู่ชั้นบรรยากาศของโลกอย่างมหาศาล รวมถึงการเกิดภาวะเรือนกระจกทำให้โลกมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลถึง หิมะ ธารน้ำแข็ง และน้ำแข็งขั้วโลกกำลังละลาย ระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น Permafrost ที่อุ่นขึ้น เกิด (Climate change) รังสีความร้อนที่รุนแรง และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ปะการังที่กำลังจะตายจากภาวะฟอกขาว (Coral bleaching) ซึ่งปัญหาเหล่านี้ถ้ายังไม่มีการตระหนักถึงหรือได้รับการแก้ไขปัญหาอย่างล่าช้าก็อาจทำให้สิ่งมีชีวิตบนโลกนี้ได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงและอาจสูญพันธุ์ได้ในอนาคต

1.2.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

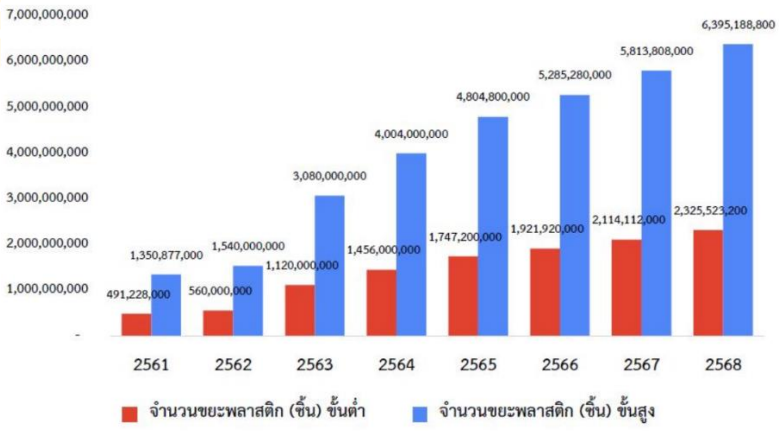
ปัญหาจากพลาสติกบรรจุภัณฑ์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ทำให้นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกให้ความสนใจและกังวลเรื่องของการย่อยสลายของพลาสติก เนื่องจากพลาสติก 1 ใบ จะใช้เวลาในการย่อยสลายถึง 450 – 1000 ปี ซึ่งมันคงสภาพอยู่เป็นเวลาหลายชั่วอายุคน และนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกยังสนใจในเรื่องของมลพิษทางทะเลที่เกิดจากการใช้ชีวิตของมนุษย์สะดวกสบายเกินไปและไม่คำนึงถึงผลกระทบที่ตามมา เนื่องจากขยะพลาสติกบรรจุภัณฑ์จากกิจกรรมของมนุษย์ไม่มีการกำจัดอย่างถูกต้อง สุดท้ายแล้วน้ำทะเลก็เกิดการปนเปื้อนของสารพอลิเมอร์ที่ย่อยและสลายเป็นไมโครพลาสติกชิ้นเล็ก ๆ โดยกระบวนการย่อยสลายพลาสติกขนาดใหญ่เป็นพลาสติกขนาดเล็ก ซึ่งส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตทางทะเล โดยเฉพาะสัตว์ทะเลเล็ก ๆ เช่น plankton ซึ่งมีอยู่ 2 กลุ่มหลัก คือ phytoplankton และ zooplankton สิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้สามารถจับโมเลกุลของไมโครพลาสติกไว้ ซึ่งส่งผลต่อปลาทะเลที่มากิน plankton ซึ่งสารเคมีจากไมโครพลาสติกอาจทำให้สัตว์ใหญ่ตายได้ และไมโครพลาสติกยังสะสมในสัตว์ทะเลที่กรองกินอาหาร เช่น กุ้ง หอย เพรียงทะเล เป็นต้น ถ้าหากมนุษย์กินสัตว์พวกนี้เข้าไปอาจส่งผลต่อสุขภาพในระยะยาวได้

นอกจากนี้ขยะพลาสติกบรรจุภัณฑ์ยังทำลายทัศนียภาพของสถานที่ท่องเที่ยว โดยเฉพาะแหล่งท่องเที่ยวในประเทศไทย เช่น เกาะลันตา จังหวัดกระบี่ หาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต ชายหาดพัทยา ชาดหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ซึ่งตามชายหาด โขดหิน แนวปะการัง ป่าโกงกาง มีเศษขยะเป็นจำนวนมากและยังเป็นสิ่งที่สกปรกในสายตา ซึ่งทำให้ความสนใจของนักท่องเที่ยวลดลงและอาจส่งผลกระทบต่อปัญหาทางด้านเศรษฐกิจตามมาได้ (สิตารีว์ ธีรวิรุฬห์, 2560)

1.2.3 ผลกระทบต่อมนุษย์

ในปัจจุบันขยะพลาสติกบรรจุภัณฑ์จำนวนมากมีการกำจัดที่ไม่เหมาะสมและถูกวิธี เช่น การเผาไหม้ การฝังกลบ อาจทำให้สารพิษล่องลอยสู่ชั้นบรรยากาศ และปนเปื้อนในระบบนิเวศต่าง ๆ เมื่อมนุษย์ได้สัมผัสสารพิษผ่านทางหู ตา จมูก และปาก อาจส่งผลต่อสุขภาพในเรื่องของระบบทางเดินหายใจ ระบบหมุนเวียนเลือด ระบบทางเดินอาหาร ระบบผิวหนัง ระบบประสาท เป็นต้น นอกจากนี้การเผาไหม้และการฝังกลบยังก่อสารพิษที่ทำให้เกิดเซลล์มะเร็งในร่างกาย ซึ่งอันตรายมาก ๆ ถ้าหากมนุษย์ยังไม่มีการแก้ไขปัญหาการกำจัดขยะที่ถูกต้อง

ปัจจุบันสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด 19 ทำให้ขยะพลาสติกบรรจุภัณฑ์อาหาร ผัก และผลไม้เพิ่มจำนวนมากขึ้น เนื่องจากมีมาตรการในการกักกันโรค ประชาชนจึงหันมาสั่งซื้ออาหารแบบออนไลน์ (Food Delivery) กันมากขึ้น ซึ่งประชาชนส่วนใหญ่มักจะทิ้งขยะโดยไม่คัดแยกประเภทของขยะและกำจัดขยะไม่ถูกวิธี ขยะพลาสติกบรรจุภัณฑ์ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้จึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์เป็นอย่างมาก นอกจากนี้ปริมาณจำนวนขยะจากการสั่งซื้ออาหารแบบออนไลน์ในสถานการ์ณการแพร่ระบาดของโรคโควิด 19 เท่ากับ 560 ล้านชิ้นต่อปี (Jitpleecheep, 2019) และบุญชนิต ว่องประพิณกุล และสุจิตรา วาสนาดำรงดี (2564) ได้คาดการณ์ปริมาณขยะพลาสติกจากการจัดส่งอาหารออนไลน์แสดงได้ดังภาพ 1 โดยในปีพ.ศ. 2565 มีจำนวนขยะ 1,747 – 4,804 พันล้านชิ้นและจำนวนขยะจะเพิ่มสูงขึ้นถึง 2,325 – 6,395 พันล้านชิ้น ในปีพ.ศ. 2568 คิดเป็นน้ำหนัก 34,883 – 95,928 ตัน



ภาพ 1 คาดการณ์ปริมาณขยะพลาสติกจากการจัดส่งอาหารออนไลน์

ที่มา: บุญชนิต ว่องประพิณกุล และสุจิตรา วาสนาดำรงดี, 2564

2. แนวคิดเกี่ยวกับพอลิเอทิลีน (Polyethylene)

2.1 ความหมายของพอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่ถูกคิดค้นด้วยนักวิจัยเมื่อ 100 ปีที่แล้ว และนำมาประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรม เนื่องจากมีโครงสร้างทางเคมีที่เรียบง่าย ไม่ซับซ้อน และสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นพลาสติกหลาย ๆ รูปแบบ เช่น แผ่นฟิล์ม ท่อน้ำ ขวดน้ำ และแบบเม็ด เป็นต้น พอลิเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ประกอบไปด้วยกลุ่มคาร์บอนเป็นหลัก และสามารถขึ้นรูปเป็นพอลิเมอร์แข็งและอ่อนได้ ซึ่งพอลิเอทิลีนมีหลากหลายประเภทโดยแต่ละประเภทจะเปรียบเทียบจากค่าความหนาแน่นและดัชนีการไหลละลายแสดงได้ดังตาราง 1

1. very low-density polyethylene (VLDPE)
2. linear low-density polyethylene (LLDPE)
3. low-density polyethylene (LDPE)
4. medium-density polyethylene (MDPE)
5. high-density polyethylene (HDPE)

Huang et al., (2007) อธิบายและรายงานว่าพอลิเอทิลีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดในโลก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ยอดเยี่ยม เช่น การนำไปใช้เพิ่มความเหนียวของตัวบรรจุภัณฑ์ การดูดซับความชื้นได้ดี ความเฉื่อยทางเคมี (chemical inertness) ดีเยี่ยม ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ และการนำไฟฟ้าต่ำ เป็นต้น

ตาราง 1 ค่าความหนาแน่นและดัชนีการไหลละลายของพอลิเอทิลีน

ประเภทของ PE	ความหนาแน่น (g cm^{-3})	ดัชนีการไหลละลาย (g/10 min)
HDPE	0.941-0.965	0.2-3.0
MDPE	0.926-0.940	1-2.0
LDPE	0.915-0.925	0.3-2.6
LLDPE	0.915-0.925	0.1-10.0
VLDPE	0.870-0.914	0.026-0.1

ที่มา: Huang et al., 2007

2.2 ประเภทของพอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกที่ประชาชนทั่วโลกนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งพอลิเอทิลีนเป็นกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนและไฮโดรเจนสามารถขึ้นรูปเป็นพลาสติกได้ง่าย โดยมีคุณสมบัติเหนียว ทนต่อความร้อน ทนต่อสารเคมี และยืดหยุ่นได้ดีจึงเหมาะสำหรับนำไปใช้งานทางด้านบรรจุภัณฑ์อาหาร ผัก และผลไม้ และยังสามารถนำไปใช้เป็นฉนวนกันไฟฟ้าในวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อีกด้วย ซึ่งนักวิจัยจำนวนมากศึกษาและได้ทำการวิจัยในการผลิต โดยได้ระบุแบ่งประเภทของพอลิเอทิลีนตามค่าความหนาแน่นและดัชนีการไหลละลายรวมถึงศึกษาคุณสมบัติทางกลต่าง ๆ ได้แก่ ความแข็งแรงต่อแรงดึง ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และอัตราการซึมผ่านของน้ำ ซึ่งผลการทดลองเหล่านี้เป็นประโยชน์ต่อการผลิตพลาสติกโพลิอีทิลีน โดยประเภทของพอลิเอทิลีนที่นิยมใช้มีอยู่ 4 ประเภทหลัก ๆ ดังนี้ (Huang et al., 2007)

1. Linear Low-Density Polyethylene (LLDPE) หรือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเป็นพอลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นเท่ากับพลาสติกชนิด LLDPE โดยมีโครงสร้างทางโมเลกุลจำนวนสายโซ่เรียบง่าย ไม่ซับซ้อน แสดงดังภาพ 2 ซึ่งโครงสร้าง LLDPE มีอนุภาคโมเลกุลจับกันแบบหลวมหรือน้อยกว่าโดยคุณสมบัติของ LLDPE มีดังนี้

1.1 ความหนาแน่นต่ำ 0.92-0.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

1.2 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่า LDPE MDPE และ HDPE

1.3 ความแข็งแรงต่อแรงดึงต่ำ

1.4 ยืดหยุ่นสูง

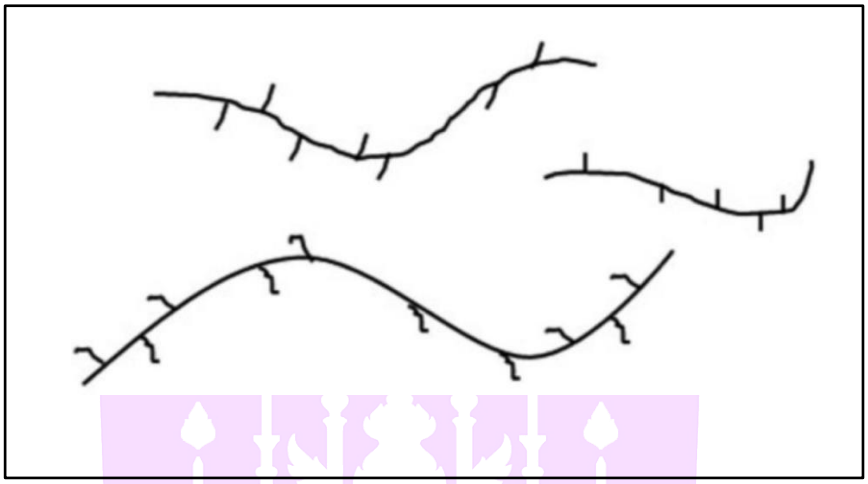
1.5 สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม

1.6 ทนทานต่อความร้อนและสารเคมี

1.7 ตัวพลาสติกมีความโปร่งใสวาว

นอกจากนี้พอลิเมอร์ LLDPE นิยมใช้กันทั่วโลกในหลากหลายด้าน เช่น ด้านทางการแพทย์ ด้านอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งปัจจุบัน LLDPE นิยมนำมาผลิตเป็นฟิล์มเนื่องจากมีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง โปร่งใสมันวาว พลาสติกชนิดนี้จึงสามารถยืดตัวได้

อย่างดีเยี่ยมเหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เก็บถนอมรักษาอาหาร ผัก และผลไม้เพื่อปลอดเชื้อจุลินทรีย์ไม่ให้ส่งผลเสียต่อผู้บริโภคเอง



ภาพ 2 โครงสร้างทางโมเลกุลของ LLDPE

ที่มา: Huang et al., 2007

2. Low-density polyethylene (LDPE) หรือพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ เป็นพอลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นต่ำโดยมีโครงสร้างทางโมเลกุลจำนวนกิ่งก้านสาขาค่อนข้างยาว แสดงดังภาพ 3 เพื่อไม่ให้โมเลกุลจับกันแน่นเกินไปจึงทำให้พอลิเอทิลีนชนิดนี้มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งคุณสมบัติของ LDPE มีดังนี้

2.1 ความหนาแน่นต่ำ 0.91-0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2.2 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่า MDPE และ HDPE แต่ต่ำกว่า LLDPE

2.3 ความแข็งแรงต่อแรงดึงต่ำ

2.4 ยืดหยุ่นยอดเยี่ยม

2.5 ลักษณะเป็นแผ่นบาง โปร่งแสงได้

2.6 ทนทานต่อความร้อนและสารเคมี

นอกจากนี้ พอลิเมอร์ LDPE เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง หาได้ง่ายตามร้านสะดวกซื้อทั่วไป และมีราคาถูก นิยมใช้ จากคุณสมบัติดังกล่าวพลาสติกชนิดนี้ จึงเหมาะสมที่โรงงานอุตสาหกรรมนำมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มห่ออาหาร ผัก และผลไม้ เนื่องจากสามารถยืดได้ และสามารถป้องกันฝุ่น สารเคมี และเชื้อจุลินทรีย์ เพื่อถนอมเก็บรักษาอาหารไว้ให้นานยิ่งขึ้น รวมถึงยังสามารถใช้เก็บถนอมรักษาอาหารในระหว่างการขนส่งระยะไกลได้อีกด้วย

ภาพ 3 โครงสร้างทางโมเลกุลของ LDPE

ที่มา: Huang et al., 2007

3. Medium-density polyethylene (MDPE) หรือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง MDPE เป็นพลาสติกพอลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นสูงกว่า LDPE โดยมีโครงสร้างทางโมเลกุลจำนวนกิ่งก้านสาขาน้อยกว่า LDPE แต่มากกว่า HDPE ซึ่งคุณสมบัติของ MDPE มีดังนี้

3.1 ความหนาแน่นต่ำ 0.92-0.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำสูงกว่า HDPE แต่น้อยกว่า LLDPE และ LDPE

3.3 ความแข็งแรงยอดเยี่ยม

3.4 ยืดหยุ่น ฉีกขาดยาก

3.5 สามารถขึ้นรูปเป็นท่อและแผ่นฟิล์มได้

3.6 ทนทานต่อความร้อนและสารเคมี

3.7 ตัวพลาสติกมีความโปร่งแสงและใส

นอกจากนี้ พอลิเมอร์ MDPE เป็นหนึ่งพลาสติกที่ประชาชนทั่วโลกนิยมนำมาใช้ในภาคครัวเรือน เนื่องจากสะดวกในการใช้งานหาซื้อได้ง่ายตามร้านสะดวกซื้อทั่วไป และมีราคาไม่แพง MDPE จึงมักถูกนำมาใช้งาน และนำมาผลิตจำหน่ายจำนวนมาก โดย MDPE มีคุณสมบัติด้านความแข็งแรง ความทนทาน และประสิทธิภาพของการจับตัวกันของอนุภาคอะตอมคาร์บอนที่ยอดเยี่ยม บริษัทหรือโรงงานอุตสาหกรรมจึงนำมาผลิตเป็นถุงพลาสติก ฝาขวด ขวดพลาสติก กระสอบ และแผ่นฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหาร

4. High-density polyethylene (HDPE) หรือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเป็นชนิดพลาสติกพอลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นสูงกว่า LDPE และ MDPE โดยมีโครงสร้างทางโมเลกุลประกอบด้วยสายโซ่ยาวที่ปราศจากสายโซ่หลัก โดย 1 กิ่งมีจำนวนอะตอมของคาร์บอน 200 อะตอม แสดงดังภาพ 4 จึงทำให้อนุภาคโมเลกุลของอะตอมจับตัวกันแน่น รวมถึงทำให้พอลิเอทิลีนชนิดนี้มีความหนาแน่นของผลึกโมเลกุลที่สูง ความแข็งแรงของโครงสร้างที่ยอดเยี่ยม และโมเลกุลของ HDPE เป็นการจัดเรียงของโมเลกุลมอนอเมอร์แบบแทกติซิตี โดยคุณสมบัติของ LDPE มีดังนี้

4.1 ความหนาแน่นต่ำ 0.94-0.97 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

4.2 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำกว่า MDPE LDPE และ LLDPE

4.3 ความแข็งแรงต่อแรงดึงสูง

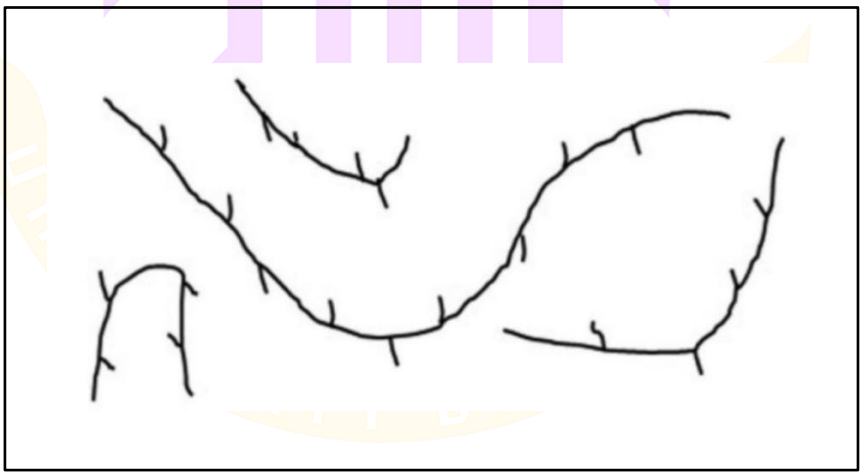
4.4 ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด ต่ำ

4.5 สามารถขึ้นรูปเป็นท่อและถังภาชนะได้

4.6 ทนทานต่อความร้อนและสารเคมี

4.7 โปร่งแสงได้น้อยหรือทึบแสง

นอกจากนี้พอลิเมอร์ HDPE เป็นพลาสติกที่เหมาะสำหรับกิจกรรมที่ทนต่อการใช้งานอย่างหนักในระยะยาว ประชาชนส่วนใหญ่จึงเลือกพลาสติกชนิดนี้กันมากในด้านภาคครัวเรือน เช่นเดียวกับทางด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ เนื่องจากเนื้อพลาสติกชนิดนี้มีความแข็งแรงมาก ทนทานต่ออุณหภูมิ การกัดกร่อนของสารเคมี ทนทานต่อความร้อน ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้เป็นสิ่งที่ดีในการนำไปใช้ประโยชน์และประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาหรือสร้างเป็นนวัตกรรมใหม่ในอนาคตต่อไปได้ HDPE เป็นพลาสติกที่มีขายกันทั่วโลกและมีราคาไม่แพง เนื่องจากกระบวนการผลิตพลาสติกชนิดนี้ราคาต่ำและสามารถผลิตออกมาได้ง่าย ซึ่ง MDPE มักถูกผลิตขึ้นใช้งานในด้านอุตสาหกรรมทางการแพทย์ คอสเมติก และบรรจุภัณฑ์ ซึ่งวัสดุอุปกรณ์ที่ผลิตจากพลาสติกชนิดนี้ส่วนใหญ่จะเป็นขวด จานชาม ท่อแก๊ส รวมถึงอุปกรณ์ขนาดใหญ่ เช่น อ่าง ถังขยะ ถังน้ำ เก้าอี้ เป็นต้น



ภาพ 4 โครงสร้างทางโมเลกุลของ HDPE

ที่มา: Huang et al., 2007

3. แนวคิดเกี่ยวกับกล้วยน้ำว้า

3.1 ลักษณะทั่วไปของกล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้าเป็นพืชที่พบมากในประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น อินโดนีเซีย มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ กัมพูชา ลาว ไทย เป็นต้น โดยมีชื่อสามัญคือ Cultivated banana และชื่ออื่น ๆ ได้แก่ กล้วยใต้ กล้วยมะลิอ่อง กล้วยกะลิอ่อง กล้วยอ่อง กล้วยตานีอ่อง น้ำว้าขาว น้ำว้าแดง น้ำว้าเหลือง กล้วยไข่ กล้วยส้ม กล้วยหอม กล้วยนาก กล้วยเล็บมือ กล้วยหอมจันทร์ กล้วยหักมุก เจก ยาไข่ สะกุย เป็นต้น กล้วยน้ำว้าอยู่ในวงศ์ Musaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Musa x paradisiaca* L. (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545) เป็นพืชไม้ล้มลุกที่ผสมทางพันธุกรรมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี (Sudhanyaratana et al., 2016) โดยมีลำต้นเทียมสูงตั้งตรง ความสูงประมาณ 5-9 เมตร มีสีเขียวเข้ม อ่อน และมีปื้นดำเล็กน้อย ส่วนแกนด้านในมีสีเขียวอ่อน และขาว เรียกว่า หยวกกล้วย ส่วนลำต้นใต้ดิน (rhizome) เรียกว่า เหง้า ใบมีลักษณะขนนกเป็นใบเดี่ยวขนาดใหญ่ มีช่อดอกขนาดใหญ่ห้อยลงมา มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลแดงสามารถนำไปทำอาหารรับประทานได้ เรียกว่า หัวปลี และผลมีลักษณะรูปรี ผิวเรียบปลายเป็นจุกสีดำเมื่อสุก ออกผลเป็นแผงเรียงกันเป็นแนวนอน เรียกว่า หวี เมื่อผลสุกจะมีรสชาติหวาน กลิ่นหอมอ่อน ๆ สามารถนำไปทำเป็นของหวานรับประทานได้ และเปลือกผลจะหนากว่ากล้วยชนิดพันธุ์อื่น ๆ (Imam and Akter, 2011; โชติอนันต์, 2551) (ภาพ 5)

ภาพ 5 ลักษณะทั่วไปของกล้วยน้ำว้า

ข้อมูลในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยมีบริเวณพื้นที่ในการเพาะปลูกกล้วยน้ำว้ารวมถึง 454,549 ไร่ และให้ผลผลิต 619,515 ตัน นับเป็นพืชที่มีพื้นที่เพาะปลูกสูงสุดและให้ผลผลิตสูงที่สุดในประเทศอีกด้วย (Extension, 2021) และกล้วยน้ำว้ายังเป็นพืชที่พบมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และพบทั่วไปในทุกภูมิภาคของประเทศไทย กล้วยน้ำว้ายังเป็นพืชที่มีการขยายพันธุ์ด้วยการแตกหน่อได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงนิยมนำไปรับประทานและนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ทางการแพทย์ อุตสาหกรรม นวัตกรรม เป็นต้น โดยมีการจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของกล้วยน้ำว้าสามารถแสดงได้ดังตาราง 2

ตาราง 2 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของกล้วยน้ำว้า

Domain	Eukaryote
Kingdom	Plantae
Division	Magnoliophyta
Class	Liliopsida
Order	Zingiberales
Family	Musaceae
Genus	*Musa*
Species	*Musa x paradisiaca* L.

3.2 การใช้ประโยชน์จากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

ลำต้นเทียมของกล้วยน้ำว้าเป็นส่วนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหลากหลาย เช่น การผลิตยา เครื่องสำอาง อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น รวมถึงอุตสาหกรรมทางด้านพลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) (ภาพ 6) ซึ่งในปัจจุบันนักวิจัยได้ศึกษาและสนใจในเรื่องของวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่สร้างจากพลาสติกเป็นพลาสติกที่ใช้ครั้งเดียวทิ้ง และสิ่งที่น่ากังวลก็คือขยะพลาสติกสามารถเป็นชิ้นส่วนพลาสติกที่มีขนาดเล็กจนไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ หรือเรียกว่าไมโครพลาสติก ซึ่งสามารถเข้าสู่ระบบนิเวศต่าง ๆ โดยทางอ้อมจากการย่อยสลายของพลาสติกขนาดใหญ่หรือเข้าสู่ระบบนิเวศต่าง ๆ โดยทางตรงจากการทิ้งขยะของอุตสาหกรรมจากการผลิตพลาสติก (Wright et al., 2013) ผู้วิจัยจำนวนมากจึงสนใจลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าเพื่อสร้างเป็นฟิล์มเซลลูโลสขึ้นมา เนื่องจากเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า มีความ

ทนทาน และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ รวมถึงยังสามารถระบายก๊าซได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงเหมาะที่จะนำมาสร้างเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร ผัก และผลไม้

ภาพ 6 ภาพตัดขวางของลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

4. แนวคิดเกี่ยวกับการผลิตฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

4.1 การเตรียมเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

การเตรียมเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าเป็นกระบวนการที่สำคัญมากเพื่อเข้าสู่กระบวนการสกัดเซลลูโลส โดยวิธีการเตรียมเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าจะใช้ต้นที่ออกผลผลิตไปแล้ว เนื่องจากกล้วยเป็นพืชที่ออกผลผลิตเพียงครั้งเดียวจากนั้นก็จะเกิดการเน่าเสีย ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมและดีในการใช้พืชให้เกิดคุณค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยการเตรียมเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าจะนำลำต้นเทียมเข้าเครื่องสับอเนกประสงค์เพื่อให้ได้เส้นใยออกมาและล้างให้สะอาด จากนั้นใช้ผ้าขาวบางบีบเอาน้ำออกจากเส้นใยลำต้นเทียมแล้วนำไปอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (Ai et al., 2021; Akpabio et al., 2012) ได้เส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าแห้งแสดงได้ดังภาพ 7

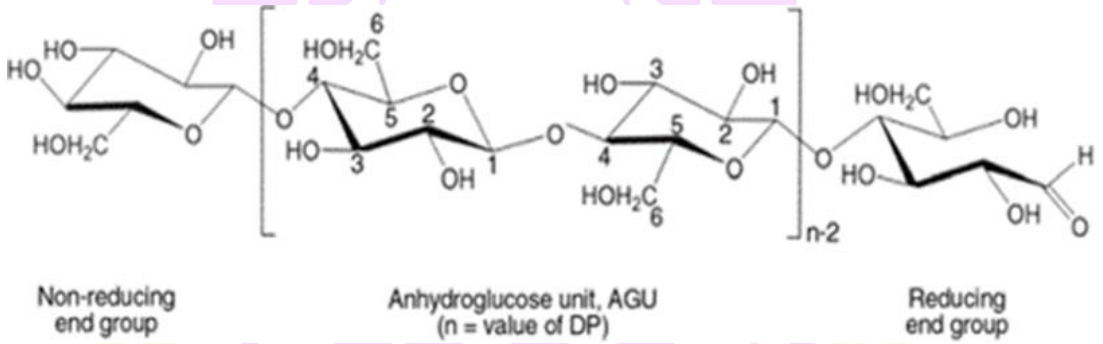
ภาพ 7 เส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

ที่มา: Akpabio et al., 2012

4.2 กระบวนการสกัดเซลลูโลสจากเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นโครงสร้างหลักที่สำคัญของผนังเซลล์พืชซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรทที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและไม่สามารถละลายในน้ำได้ รวมถึงเซลลูโลสยังเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วยโซ่สายยาวของ anhydro-D-glucopyranose units (AGU) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) เป็นหมู่หลัก (Bochek, 2003) โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสแสดงได้ดังภาพ 8 ปัจจุบันเซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลสได้นำไปใช้ประโยชน์ในหลากหลายด้าน เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เภสัชกรรม เครื่องสำอาง สี และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ซึ่งกระบวนการสกัดเซลลูโลสเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าจะใช้วิธีการกำจัดลิกนิน (Detergent fiber method) ดัดแปลงจาก Soest and Wine (1967) ดังภาพ 9 โดยขั้นตอนแรกนำเส้นใยเซลลูโลสต้มใน NaOH ระยะเวลา 2 ชั่วโมง บนเครื่องเตาหลุมให้ความร้อน (Heating mantle) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นกรองแยกเส้นใยด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 โดยใช้เครื่องกรองระบบสุญญากาศ ล้างกากเส้นใยเซลลูโลสให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นกลาง จากนั้นนำกากเส้นใยเซลลูโลสอบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งจะได้กากเส้นใยเซลลูโลสที่เป็น Neutral detergent fiber (NDF) ประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose), เซลลูโลส และลิกนิน (Lignin) ส่วนที่กรองทิ้งประกอบด้วย โปรตีน, แป้ง, น้ำตาล, กรดอินทรีย์ และเพคติน จากนั้นนำกากเส้นใย

เซลลูโลสที่เป็น NDF แช่ในสารละลายกรด H_2O_2 เวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นกรองแยกเส้นใยด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 โดยกรองแยกเส้นใยด้วยเครื่องกรองระบบสุญญากาศ ล้างกากเส้นใยเซลลูโลสให้ความเป็นกรด–เบสเป็นกลาง อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จนได้กากเส้นใยเซลลูโลสที่เป็น Acid detergent fiber (ADF) ประกอบด้วยเซลลูโลส และลิกนิน แสดงได้ดังภาพ 10 ส่วนที่กรองทิ้งประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส แล้วนำกากเส้นใยเซลลูโลสที่เป็น ADF ฟอกขาว โดยแช่ในสารละลาย 12% NaOCl และCH_3COOH 12% โดยใช้อัตรา 1:1 ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองแยกเส้นใยด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 โดยใช้เครื่องกรองระบบสุญญากาศล้างกากเส้นใยเซลลูโลสให้ค่ากรดเบสเป็นกลาง จากนั้นนำกากเส้นใยเซลลูโลสอบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งจะได้เซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าสีขาวบริสุทธิ์เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนสร้างฟิล์มเซลลูโลสต่อไปแสดงได้ดังภาพ 11



ภาพ 8 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

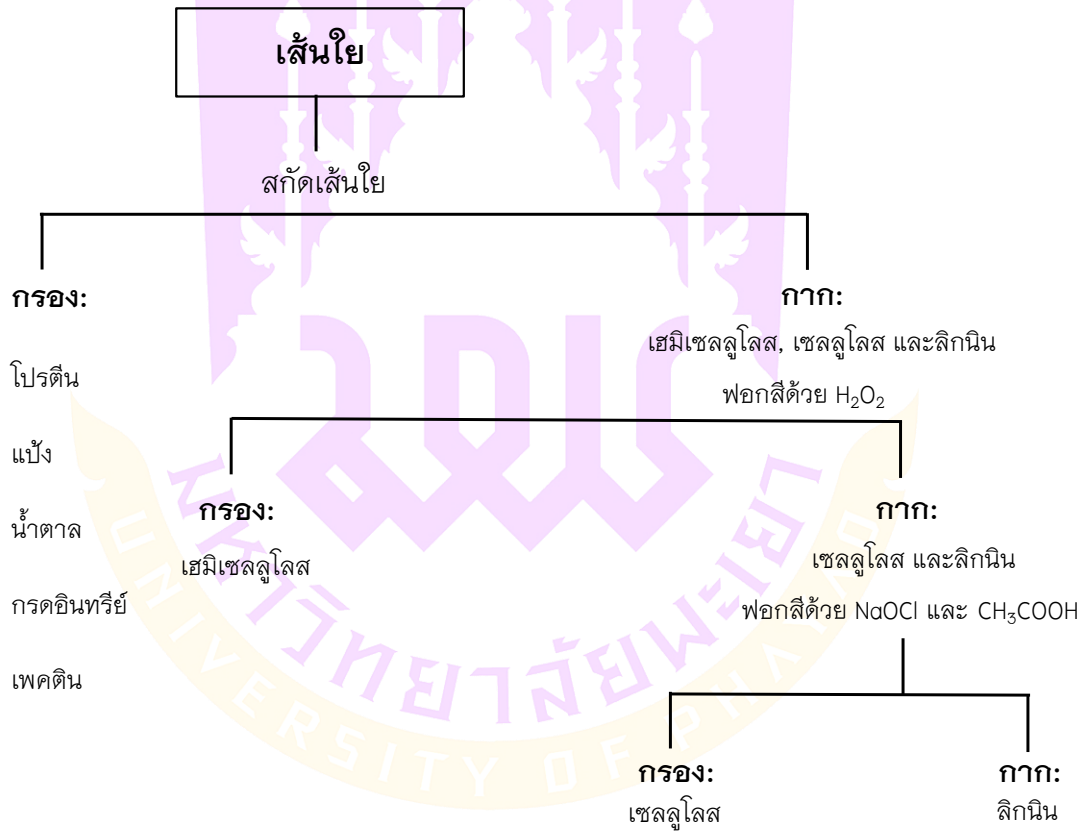
ที่มา: Kamel et al., 2008

4.3 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลส

4.3.1 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสโดยของเหลวไอออนิก (Ionic liquids)

การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการสร้างฟิล์มเซลลูโลสเพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร ผัก และผลไม้ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ถ้าหากมีการเตรียมฟิล์มไม่เป็นไปตามกระบวนการที่กำหนดก็สามารถเกิด

ข้อผิดพลาดและไม่สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ จึงต้องมีการศึกษาค้นคว้าก่อนลงมือทำการทดลอง โดยกระบวนการสร้างฟิล์มเซลลูโลสจะใช้เซลลูโลสสกัดผสมกับสารเหลวไอออนิก เนื่องจากสารเหลวไอออนิกเป็นสารจำพวกเกลืออินทรีย์ที่มีสถานะเป็นของเหลว มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นประจุบวกและประจุลบ ระเหยยาก สามารถทนต่อความร้อนได้มากกว่า 300–350 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ของเหลวไอออนิกยังมีความเสถียรภาพทางไฟฟ้าเคมีที่กว้าง และเป็นตัวทำละลายที่ดีสามารถละลายได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ นอกจากนี้ยังสามารถละลายสารชีวพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีโครงสร้างแข็งแรง อย่างเช่นเซลลูโลสจากพืช (Zare et al., 2013)



ภาพ 9 กระบวนการสกัดเซลลูโลสเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าตามวิธีการกำจัดลิกนิน

ที่มา: Soest and Wine, 1967

นอกจากนี้ของเหลวไอออนิกเป็นสารที่ใช้มานานนับกว่าร้อยปีโดยมีการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาโครงสร้างให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งในปัจจุบันของเหลวไอออนิกที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเป็นจำนวนมากได้แก่ 1–Butyl–3–methyl–imidazolium–chloride [Bmim][Cl], 1–Allyl–3–methylimidazolium– chloride [Amim][Cl] และ 1 – Ethyl – 3 – methy–limidazolium – acetate [Emim][Ac] (ภาพ 12) โดย Xu et al., (2020) รายงานไว้ว่าของเหลวไอออนิกชนิด 1–Allyl–3–methylimidazolium – chloride [Amim][Cl] สามารถละลายเซลลูโลสได้อย่างมีประสิทธิภาพ พื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสมีความโปร่งใส เรียบสม่ำเสมอ และการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด ซึ่งการเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจะใช้เซลลูโลสสกัดผสมกับของเหลวไอออนิกบรรจุลงในขวดก้นกลมให้ความร้อนด้วยเครื่องเตาหลุมให้ความร้อนอุณหภูมิ 80 – 90 องศาเซลเซียส เขย่า 200 รอบต่อนาที 3 – 4 ชั่วโมง (Ai et al., 2021) จากนั้นเทลงบนแผ่นกระจกที่เตรียมไว้แล้วเกลี่ยให้ได้ความหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นนำแผ่นกระจกที่เกลี่ยแช่ทันทีในสารละลายเอทานอล 20% เพื่อสร้างไฮโดรเจลเซลลูโลส (cellulose hydrogel) จากนั้นนำไฮโดรเจลเซลลูโลสล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อขจัดของเหลวไอออนิกแล้วทำให้แห้งในอุณหภูมิห้องจากนั้นก็จะได้ฟิล์มเซลลูโลสที่ต้องการ

ภาพ 10 เส้นใยเซลลูโลสของลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าไม่ผ่านกระบวนการฟอกสี

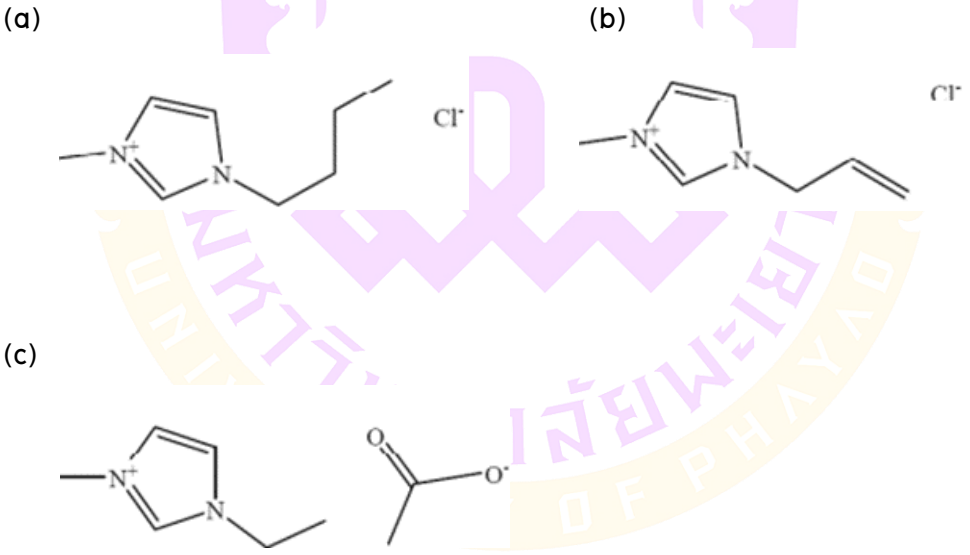
ภาพ 11 เซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าที่ผ่านกระบวนการฟอกขาว

4.3.2 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสแบบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose: CMC)

การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสแบบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและกว้างขวางทางด้านงานวิจัยพลาสติกชีวภาพ เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสไม่สามารถที่จะละลายน้ำได้ จึงต้องมีการเปลี่ยนหมู่ของโมเลกุลเซลลูโลสให้สามารถละลายน้ำได้ โดยเปลี่ยนจากหมู่คาร์บอนิลเป็นหมู่คาร์บอกซีเมทิลซึ่งขั้นตอนการเตรียมฟิล์มเซลลูโลสแบบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ขั้นตอนแรกนำผงเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า 8 กรัม เติมสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) กวนให้เข้ากันประมาณครึ่งชั่วโมงโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมคลอโรอะซิติก (Chloroacetic acid) เนื่องจากคลอโรอะซิติกทำให้เซลลูโลสเกิดเป็นเจลคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสขึ้นมา โดยกวนให้เข้ากันประมาณครึ่งชั่วโมงแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นสังเกตการเกิดเจลคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสแล้วใช้

สารละลายกรดอะซิติกแอซิดในการปรับค่ากรดเบสให้เป็นกลาง และนำเจลคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสแช่ในสารละลายเอทานอลแล้วล้างด้วยสารละลายเมทานอล จากนั้นนำเจลคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ก็จะได้ผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสบริสุทธิ์

การขึ้นรูปฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต้องนำผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมกับน้ำกลั่นตามปริมาตรที่กำหนดไว้โดยใช้เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน (Hotplate Stirrer) กวนให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 80–90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10–20 นาที จากนั้นเติมกลีเซอรอลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยืดหยุ่นของฟิล์ม เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นพลาสติไซเซอร์ที่สามารถทำให้ฟิล์มฉีกขาดยากขึ้นและยืดตัวได้สูง กลีเซอรอลจึงเหมาะสมที่จะนำมาเพิ่มประสิทธิคุณสมบัติทางกล จากนั้นเทลงแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้โดยพักให้เย็นและรอขึ้นรูปฟิล์มที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ก็จะได้ฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เราต้องการ (พรชัย ราชตนะพันธุ์, 2550)



ภาพ 12 โครงสร้างทางเคมีของ (a) [Bmim][Cl], (b) [Amim][Cl] และ(c) [Emim][Ac]

ที่มา: Shamsuri and Daik, 2015

5. แนวคิดเกี่ยวกับมังคุด

5.1 ลักษณะทั่วไปของมังคุด

มังคุดเป็นพืชที่พบมากอย่างแพร่หลายในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เนื่องจากมังคุดเป็นพืชที่เจริญได้ดีในเขตร้อนชื้นในประเทศที่ใกล้จุดเส้นเส้นศูนย์สูตร เช่น อินโดนีเซีย มาเลเซีย ไทย เป็นต้น โดยมังคุดอยู่ในวงศ์ Guttiferae หรือ Clusiaceae ชื่อสามัญ Mangosteen และเป็นผลไม้ที่คนไทยมักนิยมนำมารับประทานโดยได้ตั้งชื่อฉายานามว่าราชินีแห่งผลไม้ (Queen of Fruits) เนื่องจากเนื้อมังคุดที่รับประทานเป็นชั้นเอนโดคาร์ป (Endocarp) ซึ่งมีลักษณะสีขาวเหมือนปุยนุ่นรสชาติหวานฉ่ำอมเปรี้ยวเล็กน้อย เมื่อรับประทานจะมีรสสัมผัสที่นุ่มลิ้น มังคุดเป็นพืชไม้ยืนต้นลักษณะลำต้นตั้งตรงสูง 10–20 เมตร ใบมีลักษณะเป็นรูปไข่ ใบเดี่ยว โดยใบด้านบนมีสีเขียวเข้มมันวาวส่วนใบด้านล่างเป็นสีเหลืองอ่อน ๆ ส่วนเปลือกของมังคุดมีโครงสร้างที่แข็งแรง เปลือกมังคุดยังมียางสีเหลืองที่ประกอบด้วยสารแซนโทน และแทนนิน หรือเรียกรวมทั้ง 2 สารว่าแมงโกสตินซึ่งเป็นสารที่ออกฤทธิ์ทางยา สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้ ส่วนลักษณะผลมีรูปร่างลักษณะกลมสีเขียวและสีม่วงแดงเมื่อผลดิบและสุก ตามลำดับ ซึ่งนักอนุกรมวิธานยังสามารถจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของมังคุดแสดงได้ดังตาราง 3

ตาราง 3 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของมังคุด

Domain	Eukaryote
Kingdom	Plantae
Division	Spermatophyta
Subphylum	Angiospermae
Class	Dicotyledonae
Order	Theales
Family	Guttiferae
Genus	*Garcinia*
Species	*Garcinia mangostana* L.

มังคุดเป็นผลไม้เขตร้อนชื้นที่มีองค์ประกอบของน้ำตาล แป้ง เฮมิเซลลูโลส และยังมีสารประกอบเพคติน ซึ่งพบมากในบริเวณเซลล์ชั้นผนังเชื่อมยึดระหว่างเซลล์ (middle lamella) ของเปลือกมังคุดรวมถึงยังมีสารอาหาร วิตามิน และเกลือแร่อื่นๆ หลากหลายชนิด ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น น้ำตาล แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และกรดอินทรีย์ รวมถึงเปลือกมังคุดยังมีสรรพคุณทางยาเนื่องจากเปลือกมังคุดมียางสีเหลืองที่ประกอบด้วยสารแซนโทนซึ่งพบปริมาณมากกว่าทุก ๆ ส่วนของมังคุด ประมาณ 80-90 % ซึ่งสารแซนโทนสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียและเชื้อราก่อโรคต่าง ๆ เช่น ท้องเสีย โรคกระเพาะ โรคบิด แผลเปื่อย มะเร็ง ผิวหนังติดเชื้อ ต้านเชื้อก่อการเกิดสิว เป็นต้น และเปลือกมังคุดยังนิยมนำมาใช้ทางด้านการเกษตร โดยนำเปลือกมังคุดมาสกัด ซึ่งปัจจุบันจะเห็นมีน้ำหมักจากเปลือกมังคุดสามารถทำลายสปอร์ของเชื้อราวมถึงแบคทีเรียที่ก่อโรคในพืช ผัก ผลไม้ และยังสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยหมักชีวภาพเพื่อเสริมการเจริญเติบโตของพืชผลทางการเกษตรได้อีกด้วย (Darntrakoon and Nagumo, 1997) (ภาพ 13)

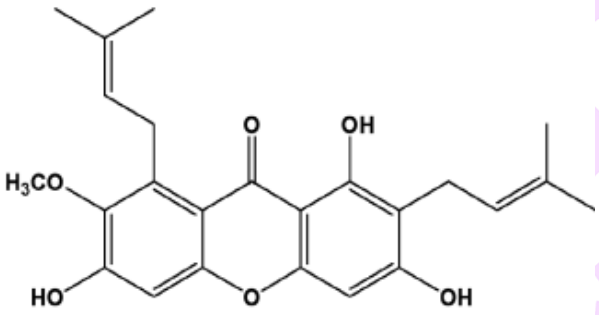
ภาพ 13 ลักษณะทั่วไปของผลมังคุด

ที่มา: Akao et al., 2008

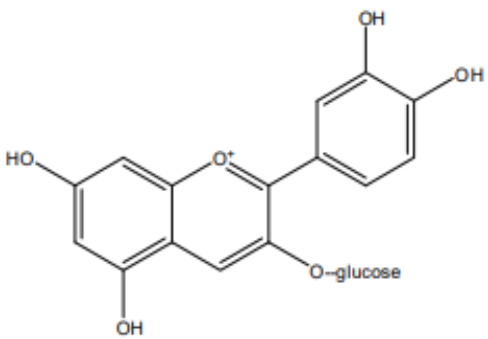
5.2 ประโยชน์ของเปลือกมังคุด

เปลือกมังคุดจัดเป็นพืชสมุนไพรไทยที่อยู่ในตำรายาไทยและตำรายาแผนจีนมาตั้งแต่สมัยโบราณ รวมถึงยังเป็นส่วนที่ใช้รักษาโรคต่าง ๆ ที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อรา ซึ่งในเปลือกมังคุดมีส่วนประกอบของสารทุติยภูมิที่สามารถช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ในปัจจุบันมีการศึกษาค้นคว้าและทำการวิจัยกันอย่างแพร่หลาย โดยพบว่าเปลือกมังคุดมีสารประกอบสำคัญทั้งหมด 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ กลุ่มสารแซนโทน กลุ่มรงควัตถุชนิดแอนโธไซยานิน (Anthocyanin) และกลุ่มสารแทนนิน (ภาพ 14) ซึ่งกลุ่มสารเหล่านี้มีฤทธิ์ในการป้องกันโรค ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ลดการอักเสบ และต้านอนุมูลอิสระ (Zhu, 2020) ปัจจุบันทางการเกษตรได้นำส่วนต่าง ๆ ของมังคุดนำมาสกัดสารสำคัญเพื่อใช้ต้านแบคทีเรียก่อโรคต่าง ๆ ในพืชผัก ผลไม้ เนื่องจากเปลือกมังคุดมีกลุ่มสารดังกล่าวปริมาณมากกว่าส่วนอื่น ๆ และมีฤทธิ์ทางยาที่มีประสิทธิภาพมาก เปลือกมังคุดจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์และนำมาเป็นนวัตกรรมทางการเกษตรที่สามารถต่อยอดในอนาคตต่อไปได้

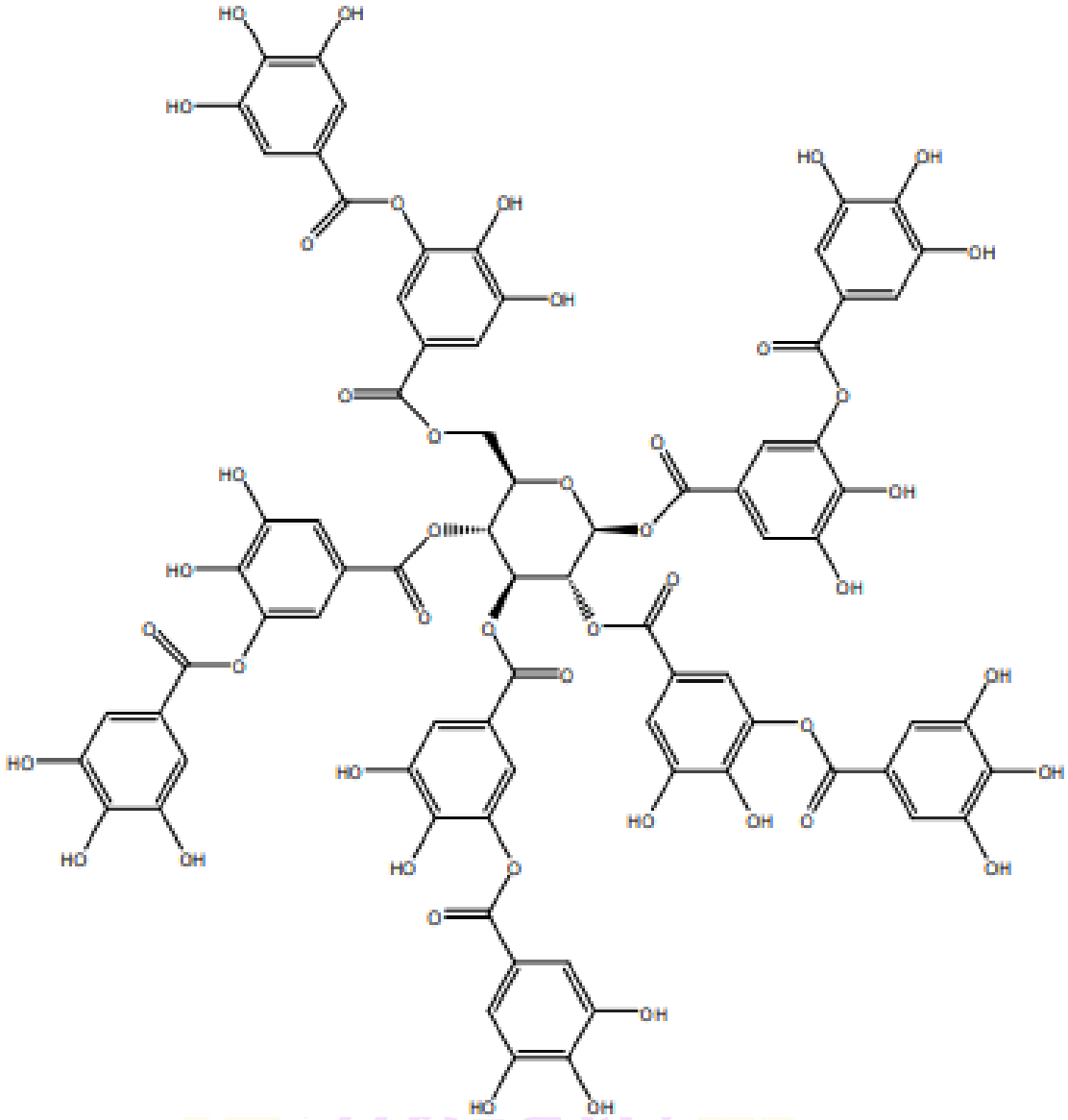
(a)



(b)



(c)



ภาพ 14 โครงสร้างทางเคมีของ (a)โครงสร้างโมเลกุลของกลุ่มสารแซนโทน (α-mangostin), (b) โครงสร้างโมเลกุลของรงควัตถุชนิดแอนโธไซยานิน และ (c) โครงสร้างโมเลกุลของแทนนิน

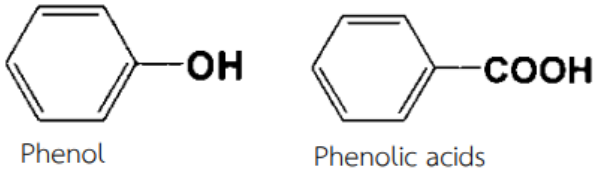
ที่มา: Kusumawati et al., 2017; Yodhnu et al., 2009

6. แนวคิดเกี่ยวกับการสกัดสารสกัดหยาบของเปลือกมังคุด

6.1 การเตรียมเปลือกมังคุด

การเตรียมเปลือกมังคุดเป็นขั้นตอนแรกที่จะเข้าสู่กระบวนการสกัดเพื่อทดสอบฤทธิ์ยาหรือออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มาจากสารทุติยภูมิในเปลือกมังคุด โดยมังคุดที่จะใช้ในการสกัดต้องมีการคัดเลือกอายุของผลมังคุด เนื่องจากปริมาณสารสำคัญขึ้นอยู่กับปัจจัยของอายุมังคุด ซึ่งถ้าหากมังคุดมีผลดิบสารสกัดที่ได้ออกมาก็จะได้ปริมาณที่น้อยกว่าหรือสารสกัดที่เราต้องการบางชนิดอาจจะไม่มีหรือไม่สร้างขึ้นในระยะช่วงนั้น เพราะมีงานวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับสารสำคัญของเปลือกมังคุด พบว่าผลมังคุดสุกจะมีเปลือกเป็นสีม่วงแดงซึ่งประกอบไปด้วยสารกลุ่มสารแซนโทน และกลุ่มสารแทนนิน หรือแมงโกสตินปริมาณที่สูง และยังพบสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic) (ภาพ 16) ที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ก่อโรคได้ การเตรียมเปลือกมังคุดเพื่อเข้าสู่กระบวนการสกัดจึงมีความสำคัญในขั้นตอนการเตรียมเปลือกมังคุดจะใช้เปลือกที่มีสีม่วงแดง (ภาพ 15) โดยแกะเปลือกออกแล้วล้างน้ำสะอาดซับให้แห้ง จากนั้นนำเปลือกมังคุดอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็น ระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเปลือกมังคุดไปบดให้หยาบเพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

ภาพ 15 เปลือกมังคุดที่ผ่านการอบแห้ง



ภาพ 16 โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก

ที่มา: Balasundram et al., 2006

6.2 การสกัดสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

ในยุคอดีตพืชเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ๆ ของมนุษย์เนื่องจากสามารถนำไปเป็นยารักษาโรคและอาหารบำรุงเพื่อสุขภาพให้อายุยืน ซึ่งในสมัยจีนโบราณรวมถึงชาวโรมันก็ยังมีตำรับยาที่อยู่ในแผนพฤกษศาสตร์ โดยมีการศึกษาค้นพบเกี่ยวกับฤทธิ์ยาที่มาจากสารทุติยภูมิในพืชแต่ละชนิดซึ่งเป็นสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยถูกสร้างขึ้นจากพืชได้เองตามธรรมชาติ รวมถึงยังมีการค้นพบเกี่ยวกับวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืชและการทดสอบฤทธิ์ยา โดยวิธีการสกัดที่มีมานานและใช้กันจนถึงปัจจุบัน นั้นก็คือการสกัดแบบแช่หมัก (maceration)

การสกัดแบบแช่หมักเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในงานวิจัยหลากหลายด้าน เช่น เครื่องสำอาง ยา อาหาร เป็นต้น ซึ่งการสกัดด้วยเทคนิคนี้มีขั้นตอนที่ง่าย ประหยัดค่าใช้จ่าย และสามารถทำให้สารสำคัญไม่สลายมากเกินไป แต่การสกัดด้วยเทคนิคนี้จะมีการแช่ตัวอย่างพืชในระยะเวลานานประมาณ 3-7 วัน แช่ด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมและเหมาะกับการสกัดชนิดของสารทุติยภูมิที่ต้องการ ในการแช่ตัวอย่างพืชก็ควรที่จะปิดปากภาชนะด้วยฝาขวดเกลียว พาราฟิล์ม และกระดาษฟรอย เมื่อแช่ตัวอย่างพืชครบตามกำหนดก็นำมากรองเอากากทิ้งและนำสารสกัดหยาบที่ผสมกับตัวทำละลายมาเข้าเครื่องระเหยสุญญากาศ (ภาพ 17) เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยจนหมดเหลือแต่สารสกัดหยาบจากพืชที่ต้องการ

การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาผสมกับตัวอย่างพืชเพื่อทำปฏิกิริยาการละลายและแยกสารสำคัญออกมา ซึ่งก่อนการสกัดสารสำคัญต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับความเหมาะสมของตัวทำละลายที่สามารถแยกชนิดสารสำคัญออกมาตามที่ต้องการ โดยการเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมต่อการสกัดสารสำคัญมีดังนี้

1. เลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมกับตัวอย่างพืชและสามารถแยกสารสำคัญโดยไม่ปนกัน

2. ศึกษาหลักทฤษฎีของความมีขั้ว (Polarity) ของตัวทำละลาย เพราะความมีขั้วของตัวทำละลายมีผลต่อปริมาณชนิดของสารสำคัญที่สกัดออกมา

3. ตัวทำละลายที่ใช้ ต้องสามารถแยกสีกลิ่นได้

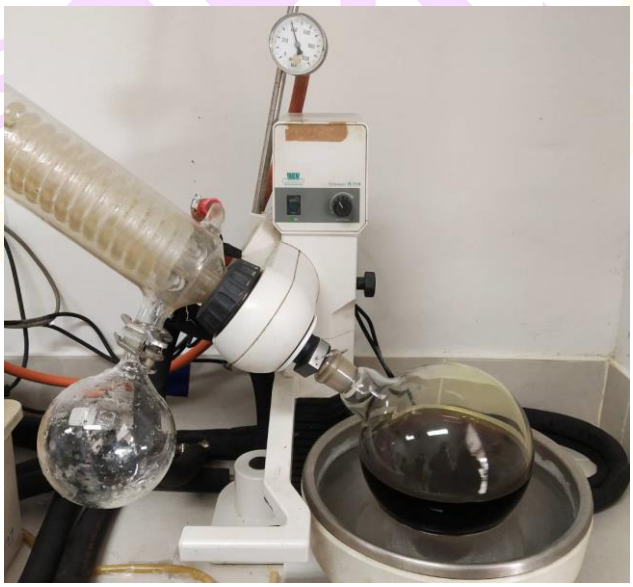
4. ตัวทำละลายสามารถแยกสารสำคัญที่ต้องการในปริมาณที่มาก ส่วนสารสำคัญที่ไม่ต้องการต้องได้ออกมาในปริมาณที่น้อย

5. ตัวทำละลายที่ใช้เมื่อผ่านการระเหยออก ต้องสามารถระเหยได้และไม่ระเหยออกง่ายเกินไป

6. ราคาไม่แพงและสามารถหาซื้อได้ง่าย

7. ตัวทำละลายต้องมีจุดเดือดที่ต่ำเพื่อสามารถให้ตัวทำละลายระเหยออกจากสารสำคัญได้

8. มีฤทธิ์เป็นกรดที่ต่ำและไม่ระคายเคืองผิวหนัง ตา จมูก



ภาพ 17 เครื่องระเหยสุญญากาศ

นอกจากนี้การสกัดด้วยตัวทำละลายจะต้องอาศัยหลักทฤษฎีของความมีขั้ว เนื่องจากความมีขั้วของตัวทำละลายมีความสำคัญต่อการแยกชนิดของสาระสำคัญ และสารสำคัญจะสามารถละลายในตัวทำละลายได้ก็ต่อเมื่อความเป็นขั้วของตัวทำละลายกับสารสำคัญต้องมีค่าที่ใกล้เคียงกันจึงสามารถที่จะแยกชนิดสารสำคัญที่ต้องการได้ โดยถ้าหากสารสกัดนั้นหรือตัวถูกละลายมีขั้วจะสามารถละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วเพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีขั้วมีโครงสร้างพันธะเป็นแรงไดโพล-ไดโพล (Dipole-Dipole) แต่ถ้าหากสารสกัดหรือตัวถูกละลายไม่มีขั้วจะสามารถละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วมีโครงสร้างพันธะเป็นแรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waals Force) เหมือนกัน ซึ่งในปัจจุบันชนิดของตัวทำละลายที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมีดังนี้

1. เอทานอล (Ethanol)

เอทานอล หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) เป็นตัวทำละลายที่เป็นของเหลวขาวใส ไม่มีสี และมีโครงสร้างทางเคมีเป็นแอลกอฮอล์ (Alcohol) ที่นิยมใช้กันมากในการนำมาสกัดแบบแช่หมัก เนื่องจากเอทานอลมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี มีจุดเดือดต่ำ ระเหยได้ดี ซึ่งสามารถแยกสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางยาออกจากตัวอย่างพืชได้ง่าย รวมถึงไม่มีฤทธิ์กัดกร่อน ไม่อันตรายต่อการระคายเคืองผิวหนัง ราคาถูก และเป็นตัวทำละลายได้ทั้งสารสำคัญที่มีขั้วและไม่มีขั้ว

2. เมทานอล (Methanol)

เมทานอล หรือ เมทิล แอลกอฮอล์ (Methyl alcohol) เป็นตัวทำละลายที่เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นแรงกว่าเอทานอล และมีโครงสร้างทางเคมีเป็นแอลกอฮอล์นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในด้านเภสัชกรรม ใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดเป็นส่วนประกอบของยา และเวชภัณฑ์ เนื่องจากเมทานอลมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี มีจุดเดือดต่ำ ระเหยได้ดี และราคาถูก รวมถึงเมทานอลเป็นตัวทำละลายได้ทั้งสารสำคัญที่มีขั้วและไม่มีขั้ว

3. เฮกเซน (Hexane)

เฮกเซนเป็นสารที่ผลิตได้จากกระบวนการกลั่นของน้ำมันดิบ หรือการแยกก๊าซปิโตรเลียมเหลว และยังสามารถนำมาเป็นตัวทำละลายที่เป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน และเป็นสารประกอบอัลเคน นิยมใช้เป็นตัวทำละลาย หรือ สกัดสารสำคัญจากพืช สมุนไพร และธัญพืชต่าง ๆ เนื่องจากเฮกเซนมีคุณสมบัติจุดเดือดต่ำ ระเหยได้ดี ซึ่งสามารถ

แยกสารสำคัญที่ออกจากตัวอย่างพืช ซึ่งเหมาะสำหรับการนำเป็นตัวทำละลายสารสำคัญไม่มีขั้ว เช่น ฟลาวานอยด์ แอลคาลอยด์ กรดไขมัน เป็นต้น

4. อีเทอร์ (Ether)

อีเทอร์เป็นตัวทำละลายที่เป็นของเหลวใส ไม่มีสี และมีโครงสร้างทางเคมีเหมือนแอลกอฮอล์และฟีนอล (Phenol) นิยมใช้ละลายกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งคุณสมบัติของอีเทอร์มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ประสิทธิภาพละลายน้ำได้ต่ำ มีจุดเดือดต่ำ ระเหยได้ดี ซึ่งเหมาะสำหรับการนำเป็นตัวทำละลายสารสำคัญไม่มีขั้ว ในกลุ่ม ฟลาวานอยด์

5. คลอโรฟอร์ม (Chloroform)

คลอโรฟอร์มเป็นตัวทำละลายที่เป็นของเหลวขาวใส ไม่มีสี กลิ่นหอม โดยมีคุณสมบัติเป็นทำละลายน้ำได้ดี มีจุดเดือดต่ำ ระเหยได้ดี แต่มี selectivity น้อย สามารถเกิดอีมัลชัน (Emulsion) และเหมาะสำหรับการนำเป็นตัวทำละลายสารสำคัญไม่มีขั้ว ในกลุ่มของฟลาวานอยด์

การสกัดสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดส่วนมากจะใช้เทคนิคการสกัดแบบแช่ โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล เนื่องจากเป็นตัวทำละลายได้ทั้งสารสำคัญที่มีขั้วและไม่มีขั้ว รวมถึงเอทานอลสามารถละลายสารแทนนินและฟลาวานอยด์ ซึ่งพบมากในเปลือกมังคุดถึง 80-90% ขั้นตอนการสกัดนำเปลือกมังคุดที่บดไว้หมักใน 95 % เอทานอลประมาณ 7 วัน จากนั้นกรองแยกเอากากเปลือกมังคุดออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 แล้วเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (Centrifuge) เพื่อปั่นเหวี่ยงให้กากเปลือกมังคุดที่เหลือตกตะกอน (ภาพ 18) จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาระเหยด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส เพื่อให้ตัวทำละลาย 95 % เอทานอล ระเหยออกจนหมดให้เหลือแต่สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ต้องการ จากนั้นนำมาปั่นแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็ง (freeze dry) เพื่อให้สารสกัดเกิดการแข็งและกระจายตัวอยู่ขอบก้นขวดแล้วเข้าเครื่องระเหิดแห้ง (lyophilizer) เพื่อระเหิดให้สารสกัดหยาบกลายเป็นผง

ภาพ 18 เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน

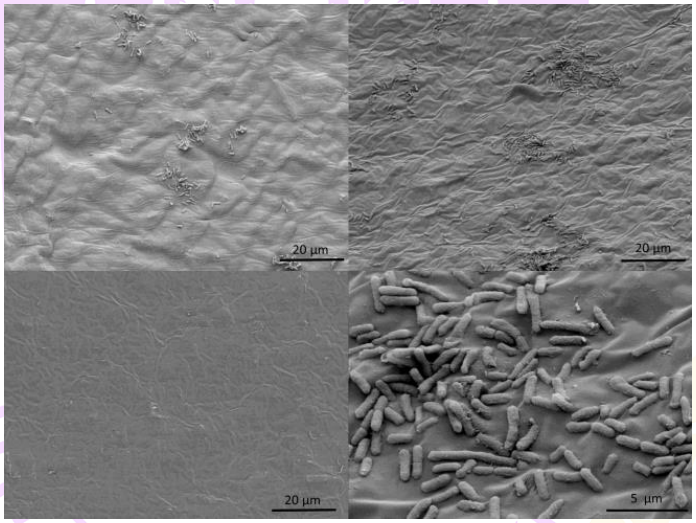
จากข้อมูลดังกล่าวเกี่ยวกับแนวคิดการสกัดสารสกัดหยาบของเปลือกมังคุดเป็นประโยชน์อย่างมากในด้านอุตสาหกรรมและเภสัชกรรม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อยอดในการผลิตยารวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสกัดพืชสมุนไพร และยังสามารถนำไปทดสอบเกี่ยวกับฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในอาหาร เพราะปัจจุบันโรคที่เกี่ยวกับทางเดินอาหาร เช่น โรคบิด ลำไส้อักเสบ ท้องเสีย โรคกระเพาะ เป็นต้น ล้วนติดเชื้อจากอาหารที่ปนเปื้อนจากแบคทีเรีย นักวิจัยจึงมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องและพัฒนาเทคนิคในการสกัดให้เกิดคุณภาพที่สูงขึ้นเพื่อยับยั้งเชื้อแบคทีเรียให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

7. แนวคิดเกี่ยวกับฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้

อดีตจนถึงปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับแบคทีเรียก่อโรคเป็นสิ่งที่ให้ความสนใจ ทั้งในเรื่องของโทษจากเชื้อจุลชีพและวิธีการรักษา ซึ่งนักวิจัยให้ความสนใจการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรต่าง ๆ เพื่อทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลชีพ เพื่อประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม และเภสัชกรรม รวมถึงศาสตร์ทางด้านสัตว์วิทยาและปรสิตวิทยา โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในอาหาร จากฟิล์มเซลลูโลสลำต้นเทียกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทดสอบกับเชื้อแบคทีเรีย 5 เชื้อดังนี้

7.1 *Escherichia coli*

E. coli เป็นแบคทีเรียพบมากได้ทั่วไปตามธรรมชาติทั้งในแหล่งน้ำและบนดิน โดยลักษณะทั่วไปเป็นแบคทีเรียแกรมลบ (Gram negative) รูปทรงแท่ง (Rod shape) (ภาพ 19) สามารถเจริญในสภาวะแบบมีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (Facultative anaerobe) และจะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 35–40 องศาเซลซียส รวมถึงสามารถก่อโรคทางเดินอาหารในสัตว์และมนุษย์ เมื่อสัมผัสเชื้อด้วยการกินอาหารที่ปนเปื้อนเชื้อเข้าไป ซึ่งถ้าหากเชื้อเจริญอยู่บริเวณลำไส้ใหญ่ปริมาณมากก็จะทำให้เกิดโรคอุจจาระร่วง (Diarrheagenic) เกิดอาการปวดท้องบิด และถ้าหากเชื้อมีการแพร่กระจายไปส่วนอื่น ๆ อาจทำให้เกิดโรคร้ายแรงได้ เช่น เยื่อหุ้มสมองอักเสบ ติดเชื้อในกระเพาะปัสสาวะ เป็นต้น



ภาพ 19 ลักษณะรูปร่างของเชื้อ *E. coli* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด

ที่มา: Vila et al., 2016

E. coli เป็นเชื้อที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางและถูกค้นพบมานาน นักวิทยาศาสตร์ก็ได้นำไปใช้ประโยชน์ในทางด้านงานวิจัยมากมาย เช่น ทางการแพทย์

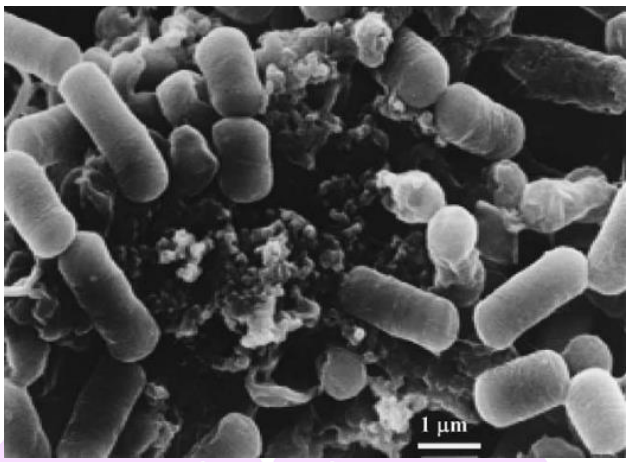
อุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากนี้นักอนุกรมวิธานยังสามารถจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *E. coli* แสดงได้ดังตาราง 4

ตาราง 4 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *E. coli*

Domain	Bacteria
Kingdom	Eubacteria
Phylum	Proteobacteria
Class	Gammaproteobacteria
Order	Enterobacteriaceae
Family	Enterobacteriaceae
Genus	*Escherichia*
Species	*E. coli*

7.2 *Bacillus cereus*

B. cereus เป็นแบคทีเรียพบมากได้ทั่วไปตามธรรมชาติ เช่น ธัญพืช ข้าว สัตว์ เป็นต้น โดยลักษณะทั่วไปเป็นแบคทีเรียแกรมบวก (Gram positive) รูปทรงแท่ง สามารถสร้างสปอร์ได้ (ภาพ 20) รวมถึงสามารถเจริญในสภาวะแบบมีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจนในอุณหภูมิ 30–37 องศาเซลซียส และบางชนิดยังสามารถเจริญได้ดีในอุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียส ซึ่งส่วนมากสัตว์และมนุษย์จะเกิดอาการของโรคจากเชื้อนี้ได้ โดยมาจากการรับประทานอาหารพวกนม ผัก แป้ง และธัญพืชต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนเชื้อ ซึ่งเชื้อ *B. cereus* จะไปก่อโรคทางเดินอาหารทำให้เกิดโรคอุจจาระร่วง รวมถึงโรคอาหารเป็นพิษ (food poisoning) ซึ่งจะมีอาการวิงเวียนศีรษะ อาเจียน และท้องเสีย เนื่องจากตัวเชื้อสามารถสร้างสารพิษบนบริเวณอาหารเมื่อรับประทานเข้าไปก็จะได้รับสารพิษเข้าสู่ร่างกายซึ่งสารพิษจากเชื้อจะทำให้เกิดอาการของโรคขึ้นมานั้นเอง ถ้าหากรับสารพิษเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากก็จะส่งผลกระทบต่อร่างกายมากถึงขั้นเกิดอาการที่รุนแรงได้ ในการป้องกันก็ควรที่จะนำอาหารผ่านกระบวนการปรุงสุกในความร้อนที่สามารถทำลายสารพิษที่เชื้อสร้างขึ้นมา ทางการวิจัยจะใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง 100–121 องศาเซลเซียสก็สามารถทำลายสารพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้นักอนุกรมวิธานยังสามารถจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *B. cereus* แสดงได้ดังตาราง 5



ภาพ 20 ลักษณะรูปร่างของเชื้อ *B. cereus* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด

ที่มา: Kuroki et al., 2009

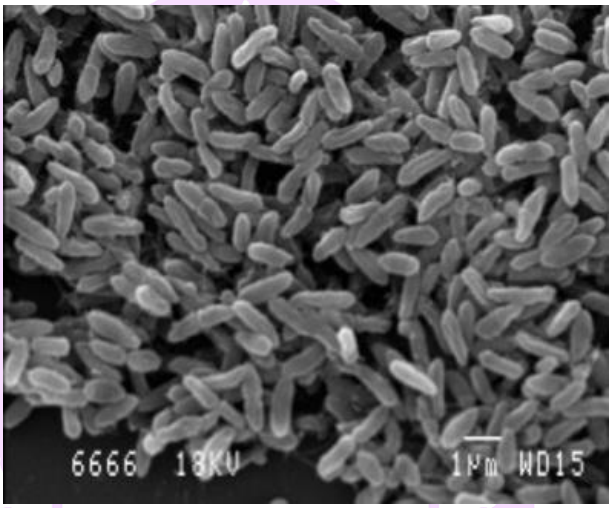
ตาราง 5 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *B. cereus*

Domain	Bacteria
Kingdom	Eubacteria
Phylum	Bacillota
Class	Bacilli
Order	Bacillales
Family	Bacillaceae
Genus	*Bacillus*
Species	*B. cereus*

7.3 *Pseudomonas aeruginosa*

P. aeruginosa ลักษณะทั่วไปเป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปทรงแท่ง ไม่สามารถสร้างสปอร์ได้ (ภาพ 21) และสามารถเจริญในสภาวะแบบมีออกซิเจน (aerobic bacteria) ในอุณหภูมิต่ำ (Psychrophilic bacteria) เป็นแบคทีเรียพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำและบนดินซึ่งสามารถก่อโรคในพืชผักผลไม้ เช่น โรคเน่า เป็นต้น แต่ส่วนมากจะพบเชื้อ *P. aeruginosa*

ในโรงพยาบาล เช่น เครื่องมือทางการแพทย์ เป็นต้น ซึ่งถ้าหากสัตว์และมนุษย์ภูมิคุ้มกันตกก็จะทำให้สามารถเกิดการติดเชื้อได้ง่าย รวมถึงจะทำให้เกิดโรคปอดบวม โรคปอดอักเสบ เยื่อหุ้มสมองอักเสบ เป็นต้น ซึ่งถ้าหากเชื้อดื้อต่อการรักษาก็อาจจะทำให้เชื้อแพร่กระจายไปส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้ ถ้าหากมีอาการมากก็ถึงขั้นโคม่าและเสียชีวิตในที่สุด ดังตาราง 6



ภาพ 21 ลักษณะรูปร่างของเชื้อ *P. aeruginosa* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด

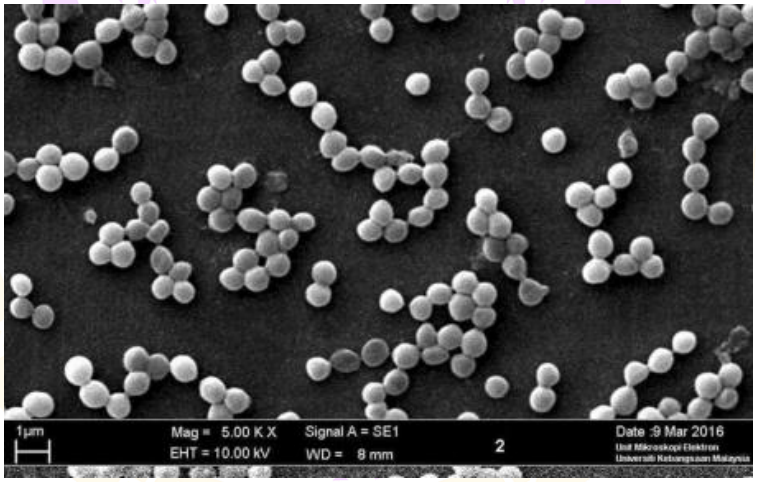
ที่มา: Deligianni et al., 2010

ตาราง 6 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *P. aeruginosa*

Domain	Bacteria
Kingdom	Eubacteria
Phylum	Proteobacteria
Class	Gamma Proteobacteria
Order	Pseudomonadales
Family	Pseudomonadaceae
Genus	*Pseudomonas*
Species	*P. aeruginosa*

7.4 *Staphylococcus aureus*

S. aureus เป็นแบคทีเรียพบมากได้ทั่วไปตามธรรมชาติ ส่วนมากจะพบในผลิตภัณฑ์แปรรูป เช่น เนื้อสัตว์ เนย ไส้กรอกแฮม เป็นต้น *S. aureus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปทรงกลม (Coccus shape) ไม่สามารถสร้างสปอร์ได้ (ภาพ 22) สามารถเจริญในสภาวะแบบมีออกซิเจนกับไม่ออกซิเจนในอุณหภูมิ 30–37 องศาเซลซียส และเชื้อยังสามารถสร้างสารพิษที่ทนต่อความร้อนสูงสุดถึง 50–60 องศาเซลเซียส ถ้าหากรับสารพิษเข้าสู่ร่างกายจะส่งผลเสียต่อโฮสต์ ซึ่งส่วนมากสัตว์และมนุษย์จะเกิดโรคอาหารเป็นพิษซึ่งมีอาการวิงเวียน ศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย และอ่อนเพลีย ในการป้องกันก็ควรที่จะนำผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปผ่านความร้อน 60 องศาเซลเซียส นานถึง 12 ชั่วโมง แต่ถ้าหากจะฆ่าเชื้ออย่างมีประสิทธิภาพควรให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสถึงจะทำลายสารพิษที่เชื้อสร้างขึ้นมาจนหมด นอกจากนี้นักอนุกรมวิธานยังสามารถจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *S. aureus* แสดงได้ดังตาราง 7



ภาพ 22 ลักษณะรูปร่างของเชื้อ *S. aureus* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด

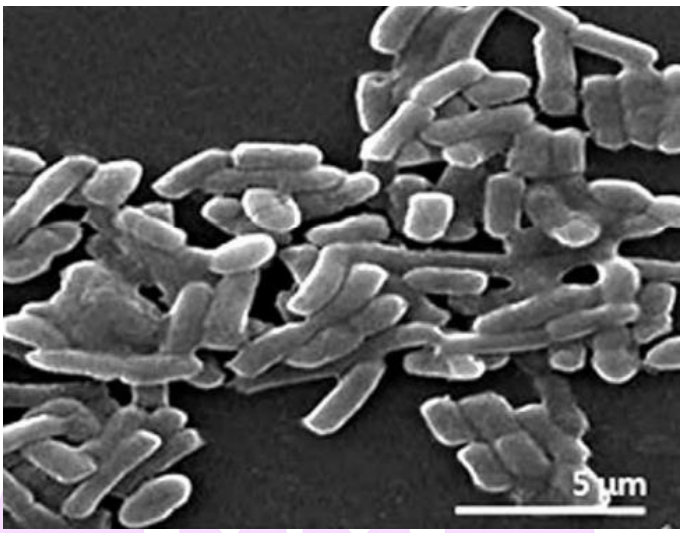
ที่มา: Kong et al., 2018

ตาราง 7 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *S. aureus*

Domain	Bacteria
Kingdom	Eubacteria
Phylum	Bacillota
Class	Bacilli
Order	Bacillales
Family	Staphylococcaceae
Genus	*Staphylococcus*
Species	*S. aureus*

7.5 *Salmonella typhimurium*

S. typhimurium เป็นแบคทีเรียที่พบมากในสัตว์ปีก เช่น นก ไก่ เป็นต้น โดยเป็นแบคทีเรียย้อมติดสีแกรมลบ รูปทรงแท่ง ไม่สามารถสร้างสปอร์ได้ (ภาพ 23) สามารถเจริญในสภาวะแบบมีออกซิเจน ซึ่งแบคทีเรียชนิดนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิ 37 องศาเซลซียส ส่วนมากเชื้อ *S. typhimurium* จะเจริญอยู่บนผิวไข่ของสัตว์ปีก เครื่องในไก่ เนื้อไก่ และนมวัวดิบ (Coburn et al., 2007) รวมถึงอุจจาระของสัตว์ฟันแทะ เช่น หนู เป็นต้น ซึ่งถ้าหากสัตว์และมนุษย์ได้สัมผัสเชื้อโดยตรงหรือทางอ้อมก็สามารถรับเชื้อแพร่เข้าสู่ทุก ๆ ส่วนของร่างกายที่สำคัญ เช่น ลำไส้ใหญ่ โลหิต เป็นต้น โดยเชื้อสามารถทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน อ่อนเพลีย และเกิดสภาวะขาดน้ำได้ รวมถึงยังเกิดความผิดปกติของทางเดินอาหารทำให้เกิดโรคท้องร่วง อาการของโรคถ่ายเหลวบ่อย ปวดท้อง บิด ซึ่งในอุจจาระของสัตว์หรือมนุษย์ที่ติดเชื้อก็สามารถแพร่กระจายติดต่อสู่สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ได้เช่นกัน นอกจากนี้เชื้อ *S. typhimurium* สามารถสร้างสารพิษได้และทนต่ออุณหภูมิที่สูง การที่ได้รับสารพิษเข้าสู่ร่างกายปริมาณมากก็อาจทำให้อาการของโรครุนแรง สามารถติดเชื้อในกระแสเลือดถึงขั้นเสียชีวิตได้เช่นกัน โดยการป้องกันกินอาหารที่ปรุงสุกจากการผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไปก็สามารถรับประทานได้ ถ้าหากกำจัดเชื้อทางด้านอุตสาหกรรมและทางการแพทย์จะใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง 121 องศาเซลเซียส ก็สามารถทำลายเชื้อ *S. typhimurium* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้นักอนุกรมวิธานยังสามารถจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *S. typhimurium* แสดงได้ดังตาราง 8



ภาพ 23 ลักษณะรูปร่างของเชื้อ *S. typhimurium* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด

ที่มา: Chauhan and Kang, 2014

ตาราง 8 การจัดจำแนกทางอนุกรมวิธานของเชื้อ *S. typhimurium*

Domain	Bacteria
Kingdom	Eubacteria
Phylum	Pseudomonadota
Class	Gammaproteobacteria
Order	Enterobacterales
Family	Enterobacteriaceae
Genus	*Salmonella*
Species	*S. typhimurium*

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด

กระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดแสดงได้ดังภาพ 24 และมีขั้นตอนการสกัดดังนี้

1.1 เตรียมเปลือกมังคุดสุกที่มีเปลือกสีม่วงแดง โดยแกะเปลือกออกแล้วล้างน้ำสะอาดซับให้แห้ง จากนั้นนำเปลือกมังคุดอบให้แห้งในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเปลือกมังคุดไปบดให้หยาบด้วยเครื่องปั่น

1.2 นำเปลือกมังคุดที่บดไว้แล้ว 0.5 กิโลกรัม มาสกัดด้วยเทคนิคการหมักแช่ด้วยตัวทำละลาย 95% เอทานอล ปริมาณ 2 ลิตร เป็นระยะเวลา 7 วัน

1.3 กรองแยกเปลือกมังคุดออกด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 จากนั้นนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน 3,800 รอบ/นาที อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที เพื่อให้เศษเปลือกมังคุดที่ยังเหลือตกตะกอน

1.4 นำสารละลายที่ได้มาระเหยตัวทำละลายให้แห้งด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศที่อุณหภูมิ 45 – 47 องศาเซลเซียสให้เหลือแต่สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ต้องการ จากนั้นนำมาปั่นแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็งเพื่อให้สารสกัดเกิดการแข็ง และกระจายตัวอยู่ขอบก้นขวดแล้วเข้าเครื่องระเหิดแห้งเพื่อระเหิดให้สารสกัดหยาบกลายเป็นผง ดัดแปลงจาก นุศวดี พจนานุกิจ และสมใจ ขจรชีพพันธ์งาม (2553)

1.5 ชั่งน้ำหนัก คำนวณปริมาณผลผลิตร้อยละ และใช้ 1% DMSO [$(CH_3)_2SO$)] ละลายผงสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดให้ได้ 3 ความเข้มข้นดังนี้

1.5.1 สูตร 1 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

1.5.2 สูตร 2 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

1.5.3 สูตร 3 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2. การเตรียมเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

มีขั้นตอนการเตรียมเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าดังนี้

2.1 นำลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าที่ออกผลผลิตไปแล้ว ล้างน้ำให้สะอาด เช็ดให้แห้งด้วยผ้าสะอาด จากนั้นนำลำต้นเทียมเข้าเครื่องสับอเนกประสงค์เพื่อให้ได้เส้นใยที่ละเอียดออกมาและล้างเส้นใยให้สะอาด จากนั้นใช้ผ้าขาวบางบีบเอาน้ำออกจนหมด

2.2 นำเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าอบแห้งในตู้อบแห้ง (Oven dry) ที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง (Ai et al., 2021; Akpabio et al., 2012)

2.3 กำจัดไขมันจากเส้นใยกล้วยน้ำว้าโดยชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 60 กรัมในบีกเกอร์ เติมเอทานอล 90% ปริมาตรต่อปริมาตร 200 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

2.4 กรองแยกเส้นใยกล้วยน้ำว้าด้วยชุดกรองแบบสุญญากาศและล้างด้วยน้ำกลั่น 600 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง

3. กระบวนการสกัดเซลลูโลส

มีขั้นตอนการสกัดดังนี้

3.1 กำจัดโปรตีนจากเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าโดยจะเข้าขั้นตอนตามวิธีการกำจัดลิกนิน (Soest and Wine, 1967) นำเส้นใยต้มใน 15% NaOH 300 มิลลิลิตร 2 ชั่วโมง บนเครื่องเตาหลุมให้ความร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส คนสารเป็นระยะเวลา 3- 4 ชั่วโมง จากนั้นกรองแยกกากเส้นใยด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่าเส้นใยที่ได้จะมีค่าความเป็นกรด-เบสให้เป็นกลางแล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

3.2 กรองแยกเส้นใยกล้วยน้ำว้าด้วยชุดกรองแบบสุญญากาศ และล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่าเส้นใยที่ได้จะมีค่าความเป็นกรด-เบสให้เป็นกลางโดยใช้กระดาษลิตมัส (Lismut) ในการวัด

3.3 นำกากเส้นใยเซลลูโลสแช่ในสารละลาย 12% H_2O_2 ปริมาตรต่อปริมาตรที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อกำจัดโปรตีนที่เหลืออยู่

3.4 กรองแยกกากเส้นใยด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 และล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่ากากเส้นใยที่ได้จะมีค่าความเป็นกรด-เบสให้เป็นกลาง แล้วอบให้แห้งในตู้อบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

3.5 นำกากเส้นใยเซลลูโลสแช่ด้วยสารละลาย 12% NaOCl และ 12% CH_3CHOOH ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้อัตราส่วน 1:1 เพื่อฟอกสีของเซลลูโลส จากนั้นกรองแยกกากเส้นใยด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 และล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่ากากเส้นใยที่ได้จะมีค่าความเป็นกรด-เบสให้เป็นกลาง แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวาลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นให้กลายเป็นผงด้วยเครื่องปั่น ซึ่งจะได้ผงเซลลูโลสบริสุทธิ์สีขาวที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนสร้างฟิล์มเซลลูโลสต่อไป

4. การสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ขั้นตอนการสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ดัดแปลงจาก พรชัย ราชตนะพันธุ์ (2550) แสดงได้ดังภาพ 25 และมีขั้นตอนการสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสดังนี้

4.1 ชั่งน้ำหนักผงเซลลูโลสที่ผ่านกระบวนการสกัดและฟอกสี 8 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร เติมสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอร์ (C_3H_8O) 250 มิลลิลิตร คนสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อนเป็นระยะเวลา 30 นาที

4.2 จากนั้นเติมกรดคลอโรอะซิติก ($C_2H_3ClO_2$) 10 กรัม กวนสารละลายให้เข้ากันเป็นระยะเวลา 30 นาที

4.3 นำบีกเกอร์ที่มีสารปิดปากภาชนะด้วยกระดาษฟอยล์อะลูมิเนียม (Aluminium foil) อบในตู้อบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง

4.4 นำสารที่เป็นของเหลวเทออกให้เหลือสารที่เป็นเจลไว้ในบีกเกอร์ จากนั้นเติมสารละลายเมทานอล (CH_3OH) ปริมาตรต่อปริมาตร 60 มิลลิลิตร และกรองแยกด้วยชุดกรองแบบสุญญากาศปรับสารละลายให้มีค่าความเป็นกรด-เบสให้เป็นกลางโดยเติมสารละลาย 90% กรดอะซิติก (CH_3COOH) ใช้กระดาษลิตมัสในการวัด

4.5 นำสารละลายที่ได้แช่ใน 70% เอทานอล ปริมาตรต่อปริมาตร 200 มิลลิลิตร เป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นกรองเอาเจลด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ทำทั้งหมด 3-5 ครั้ง

4.6 นำเจลแช่ด้วยเมทานอล 300 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองเจลที่ได้ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 แล้วนำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ก็จะได้ผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสบริสุทธิ์

4.7 จากนั้นนำผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสคำนวณหาปริมาณผลผลิตร้อยละและศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM)

5. การหาปริมาณผลผลิตร้อยละของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

5.1 นำเปลือกมังคุดที่อบแห้งแล้วโดยไม่ผ่านกระบวนการสกัด ชั่งน้ำหนักเปลือกมังคุด 4 กิโลกรัม แล้วบันทึกผล

5.2 นำเปลือกมังคุดที่ผ่านการสกัดด้วยวิธีการแช่หมักแล้วนำมาชั่งนำหนัก บันทึกผลและคำนวณหาปริมาณผลผลิตร้อยละตามสูตรดังนี้

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = (W_2 / W_1) \times 100$$

เมื่อ W_1 คือน้ำหนักตัวอย่างจริง (กรัม)

W_2 คือน้ำหนักตัวอย่างหลังสกัด (กรัม)

6. การหาปริมาณผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

6.1 นำตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการสกัด โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 100 กรัมในบีกเกอร์และนำตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดไขมัน โปรตีน และฟอกสี นำมาชั่งนำหนัก บันทึกผล

6.2 การคำนวณหาปริมาณผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสดังสมการ

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = (W_2 / W_1) \times 100$$

เมื่อ W_1 คือน้ำหนักตัวอย่างจริง (กรัม)

W_2 คือน้ำหนักตัวอย่างหลังสกัด (กรัม)

7. การวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนจากเปลือกมังคุด

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนมีดังนี้

7.1 เตรียมสารมาตรฐานแซนโทนเจือจางความเข้มข้นให้เป็น 2, 4, 6, 8, และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นดูดสารละลายแต่ละความเข้มข้นต่าง ๆ มา 3 มิลลิลิตร ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ (Mayefis et al., 2019)

7.2 เตรียมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดูดสารละลายมา 3 มิลลิลิตร ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ

7.3 นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 243 นาโนเมตร (OD243) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) นำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารแซนโทน โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน

7.4 การเขียนกราฟมาตรฐานสารแซนโทน โดยกราฟมาตรฐานจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายแซนโทน มาตรฐานโดยอยู่ในแกน (x) และค่าการดูดกลืนแสงจะอยู่ในแกน (y) ซึ่งผลของสารแซนโทนจะแสดงค่าปริมาณเป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

8. การเตรียมฟิล์มเซลลูโลส

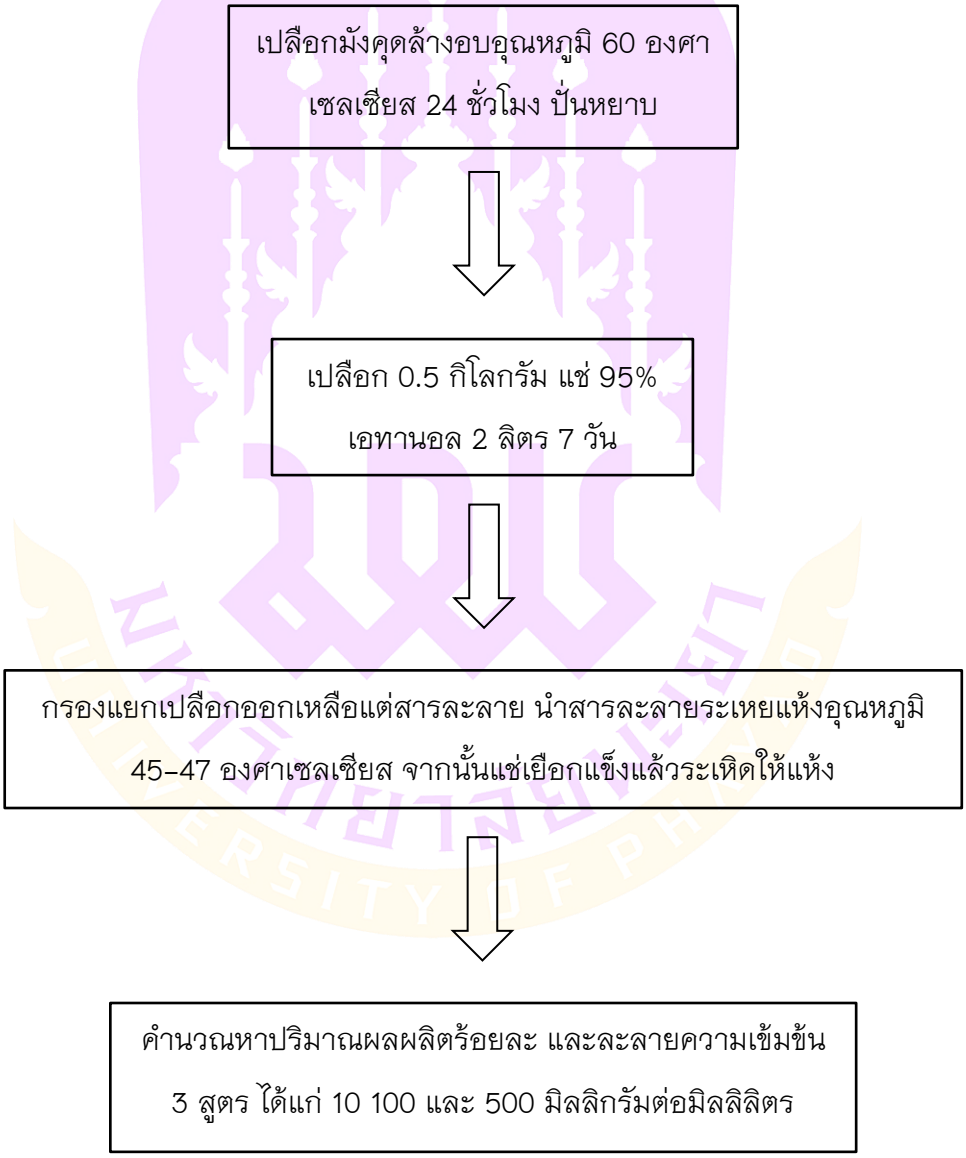
กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ และวิทวัส จิรัฐพงศ์ (2554) ได้ระบุขั้นตอนการเตรียมฟิล์มเซลลูโลสดังนี้

8.1 ชั่งน้ำหนักผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า 1 กรัม เติมน้ำกลั่น 33 มิลลิลิตร จากนั้นเปิดเครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อนอุณหภูมิ 90–95 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที

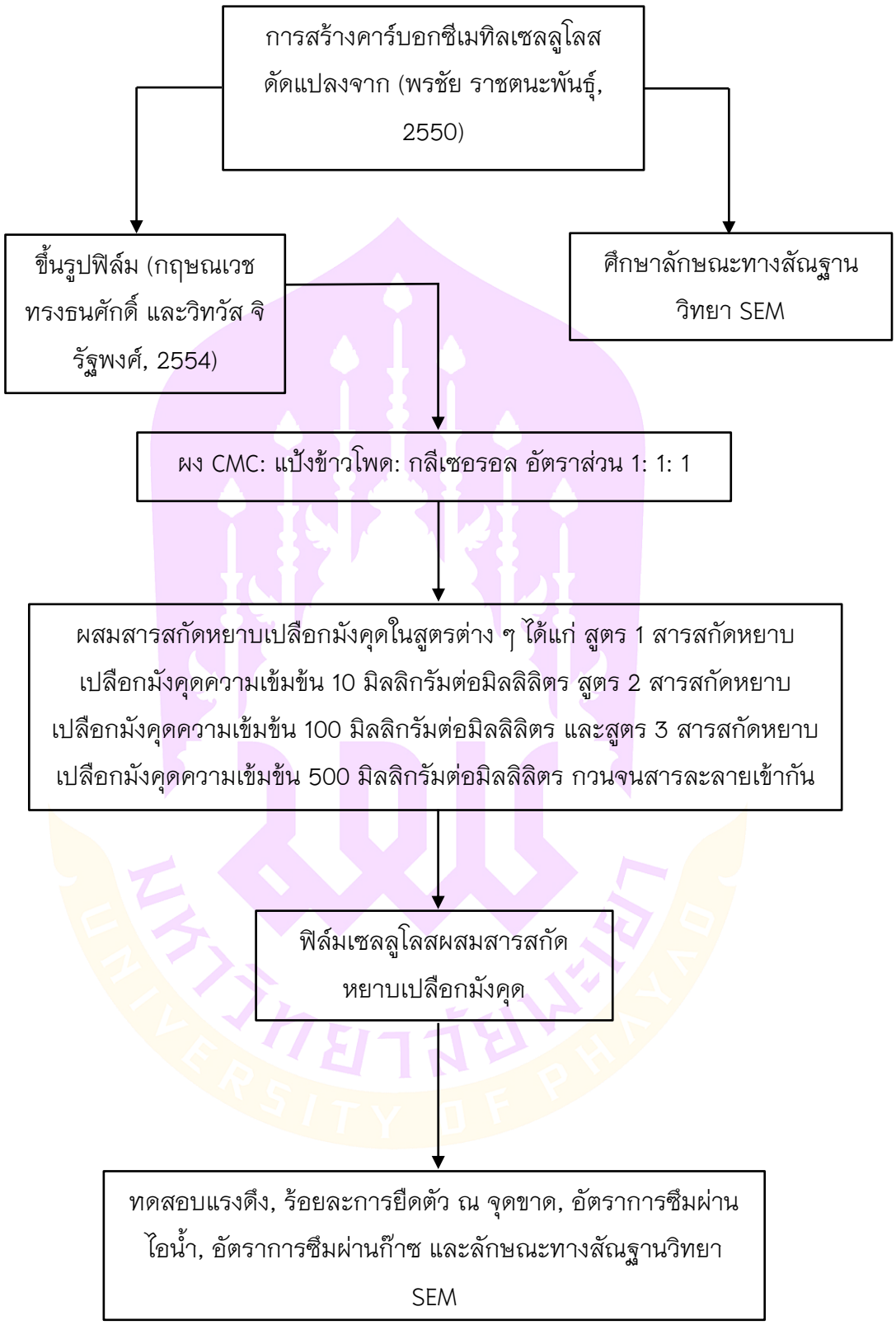
8.2 ลดอุณหภูมิให้เหลือ 60 องศาเซลเซียส เติมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในสูตรต่าง ๆ ได้แก่ สูตร 1 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สูตร 2 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสูตร 3 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กวนจนสารละลายเข้ากัน ดัดแปลงจาก ธนวุฒิ โชตินุกูล และคณะ (2564)

8.3 ลดอุณหภูมิให้เหลือ 60 องศาเซลเซียส เติมแป้งข้าวโพด 1 กรัม กวนด้วยเครื่องกวนสารจนแป้งข้าวโพดละลายแล้วเติมกลีเซอรอล ($C_3H_8O_3$) 1 กรัม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยืดหยุ่นของฟิล์มและลดอุณหภูมิ เทลงบนแผ่นกระจกขนาด 10×10 เซนติเมตร ความลึก 0.5 มิลลิลิตร แล้วเกลี่ยให้ได้ความหนาที่เราต้องการ

8.4 นำสารละลายที่เทแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จะได้แผ่นฟิล์มเซลลูโลสใช้ในขั้นตอนต่อไป



ภาพ 24 ขั้นตอนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด



ภาพ 25 ขั้นตอนการสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและขึ้นรูปฟิล์ม

9. ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

ขั้นตอนการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดมีดังนี้

9.1 เตรียมตัวอย่างเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร อย่างละ 1 ตัวอย่าง

9.2 เข้าเครื่องเคลือบทองบนผิวของตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้าโดยใช้ระยะเวลา 90 วินาที

9.3 นำตัวอย่างที่เคลือบทองวางไว้บนแท่นส่องภาพในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากนั้นยิงกวาดอิเล็กตรอนไปยังตัวอย่างที่จะศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

9.4 เลือกภาพลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ต้องการ จากนั้นกดบันทึกภาพลงแผ่นซีดีเพื่อนำไปใช้ศึกษาและวิเคราะห์ในงานวิจัยต่อไป

10. ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลส (Ai et al., 2021)

10.1 ทดสอบความหนา

การทดสอบความหนาของแผ่นฟิล์มเซลลูโลสโดยใช้ไมโครมิเตอร์ในการวัดเฉลี่ย 5 จุดต่อแผ่น ซึ่งมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 9)

10.1.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

10.1.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ไม่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

10.1.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

10.1.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

10.1.5 สิ่งทดลองที่ 5 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 9 การออกแบบการทดสอบความหนาของฟิล์มเซลลูโลส

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_5)	$T_5 R_1$	$T_5 R_2$	$T_5 R_3$	$T_5 R_4$	$T_5 R_5$

10.2 การทดสอบคุณสมบัติแรงดึง และร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด

การทดสอบคุณสมบัติแรงดึง และร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด ของฟิล์มเซลลูโลส ใช้เครื่องทดสอบแรงดึง Universal Testing Machine (UTM) โดยเตรียมตัวอย่างฟิล์มแต่ละสิ่งทดลองขนาด 2 × 10 เซนติเมตร โดยใช้ตัววัดแรงดึง (Load Cell) 1 กิโลนิวตัน ความเร็วในการทดสอบ (Crosshead Speed) 10 มิลลิเมตร/นาที ซึ่งมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 10)

10.2.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

10.2.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ไม่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

10.2.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

10.2.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

10.2.5 สิ่งทดลองที่ 5 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

การทดสอบคุณสมบัติแรงดึง และร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด ของฟิล์มเซลลูโลสสามารถคำนวณตามสูตรดังนี้ (ธัญลักษณ์ ศรีสุข และคณะ, 2564)

ความแข็งแรงต่อแรงดึง = $P_{fracture} / A_0$

เมื่อ $P_{fracture}$ = แรงกระทำสุดท้ายที่เกิดการฉีก

A_0 = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง

ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด = $(L_f - L_0) \times 100$

เมื่อ L_f = ความยาวสุดท้ายของตัวอย่าง

L_0 = ความยาวเริ่มต้นของตัวอย่าง

ตาราง 10 การออกแบบการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์มเซลลูโลส

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_5)	$T_5 R_1$	$T_5 R_2$	$T_5 R_3$	$T_5 R_4$	$T_5 R_5$

10.3 การทดสอบอัตราการส่งผ่านไอน้ำ

การทดสอบอัตราการส่งผ่านไอน้ำ ใช้วิธี sheet – cup method โดยใช้เครื่องทดสอบ Water Vapor Transmission Rate Test System (WVTR) โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 11)

10.3.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

10.3.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ไม่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

10.3.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

10.3.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรl

10.3.5 สิ่งทดลองที่ 5 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

การทดสอบอัตราการส่งผ่านไอน้ำของฟิล์มเซลลูโลสสามารถคำนวณตามสูตรดังนี้ (Ai et al., 2021)

อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ = $24 \times \Delta m / A \times t$

โดยที่

Δm = น้ำหนักในช่วงเวลา t

A = พื้นที่ของตัวอย่าง

t = เวลาที่ใช้ในการเข้าถึงจุดสมดุล

ตาราง 11 การออกแบบการทดสอบอัตราการส่งผ่านไอน้ำของฟิล์มเซลลูโลส

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_5)	$T_5 R_1$	$T_5 R_2$	$T_5 R_3$	$T_5 R_4$	$T_5 R_5$

10.4 การทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซ

การทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซใช้เครื่องทดสอบ Water Vapor Transmission Rate Test System (WVTR) โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 12)

10.4.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

10.4.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ไม่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

10.4.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

10.4.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

10.4.5 สิ่งทดลองที่ 5 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

การทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซของฟิล์มเซลลูโลสสามารถคำนวณตามสูตรดังนี้ (Ai et al., 2021)

$$\text{อัตราการซึมผ่านของก๊าซ} = \Delta p/\Delta t \times V/S \times T_0/p_0T \times 24/P_1-p_2$$

โดยที่

$\Delta p/\Delta t$ = ค่าเฉลี่ยของความดันที่เปลี่ยนแปลงของตู้ความดันที่ต่ำในหน่วยเวลาหลังจากการซึมผ่านของออกซิเจนคงที่

V = ปริมาตรของตู้ความดันที่ต่ำ

S = พื้นที่ทดสอบของตัวอย่าง

P_0 = ความดันมาตรฐาน (1.01 × 105 Pa)

T = อุณหภูมิห้องที่ทดสอบ

T_0 = อุณหภูมิมาตรฐาน (273.15 K)

P_1-p_2 = ความแตกต่างของความดันระหว่างทั้งสองข้างของตัวอย่าง

ตาราง 12 การออกแบบการทดสอบอัตราการซึมผ่านของก๊าซของฟิล์มเซลลูโลส

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_5)	$T_5 R_1$	$T_5 R_2$	$T_5 R_3$	$T_5 R_4$	$T_5 R_5$

11. การเก็บถนอมรักษาผลมะม่วงกับกล้วยด้วยฟิล์มเซลลูโลส (Ai et al., 2021)

ขั้นตอนแรกซื้อผลมะม่วงแก้วขมิ้นและกล้วยน้ำว้ามาจากตลาดแม่ต๋ำ อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา โดยมะม่วงแก้วขมิ้นและกล้วยน้ำว้าใช้อายุ 4 เดือน ผลไม่ใส่สารถนอมอาหาร มีลักษณะใกล้เคียงกัน สีเหมือนกัน ไม่ถูกแมลงหนอนเจาะกิน และไม่มีเชื้อราแบคทีเรียก่อโรคขึ้นตามผิว แล้วนำผลมะม่วงแก้วขมิ้นและกล้วยไปล้างด้วยน้ำสะอาด 1 นาที เช็ดให้แห้งด้วยกระดาษดูดซับ จากนั้นทดสอบการเก็บถนอมรักษาผลไม้โดยแบ่งตามขั้นตอนดังนี้

11.1 นำบรรจุในฟิล์มเซลลูโลสที่เตรียมไว้ โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 13)

11.1.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์มทดสอบในอุณหภูมิห้อง

11.1.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ทดสอบในอุณหภูมิห้อง

11.1.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดทดสอบในอุณหภูมิห้อง

11.1.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบในอุณหภูมิห้อง

11.1.5 สิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบในอุณหภูมิห้อง

11.1.6 สิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบในอุณหภูมิห้อง

ตาราง 13 การออกแบบทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้น

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
ไม่ห่อด้วยฟิล์ม (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_5)	$T_5 R_1$	$T_5 R_2$	$T_5 R_3$	$T_5 R_4$	$T_5 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_6)	$T_6 R_1$	$T_6 R_2$	$T_6 R_3$	$T_6 R_4$	$T_6 R_5$

11.2 นำบรรจุในฟิล์มเซลลูโลสที่เตรียมไว้โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 14)

11.2.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์มทดสอบในอุณหภูมิแช่เย็น

11.2.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ทดสอบในอุณหภูมิแช่เย็น

11.2.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดทดสอบในอุณหภูมิแช่เย็น

11.2.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบในอุณหภูมิแช่เย็น

11.2.5 สิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบในอุณหภูมิแช่เย็น

11.2.6 สิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบในอุณหภูมิแช่เย็น

ตาราง 14 การออกแบบทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้น

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
ไม่ห่อด้วยฟิล์ม (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_5)	$T_5 R_1$	$T_5 R_2$	$T_5 R_3$	$T_5 R_4$	$T_5 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_6)	$T_6 R_1$	$T_6 R_2$	$T_6 R_3$	$T_6 R_4$	$T_6 R_5$

11.3 นำบรรจุในฟิล์มเซลลูโลสที่เตรียมไว้ โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 15)

11.3.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลกล้วยไม่ห่อด้วยฟิล์มทดสอบในอุณหภูมิห้อง

11.3.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ทดสอบในอุณหภูมิห้อง

11.3.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดทดสอบในอุณหภูมิห้อง

11.3.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบในอุณหภูมิห้อง

11.3.5 สิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบในอุณหภูมิห้อง

11.3.6 สิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบในอุณหภูมิห้อง

ตาราง 15 การออกแบบทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้น

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
ไม่ห่อด้วยฟิล์ม (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_5)	$T_5 R_1$	$T_5 R_2$	$T_5 R_3$	$T_5 R_4$	$T_5 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_6)	$T_6 R_1$	$T_6 R_2$	$T_6 R_3$	$T_6 R_4$	$T_6 R_5$

11.4 นำบรรจุในฟิล์มเซลลูโลสที่เตรียมไว้ โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 16)

11.4.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลกล้วยไม่ห่อด้วยฟิล์มทดสอบในอุณหภูมิแช่เย็น

11.4.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลกล้วยที่ห่อฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ทดสอบในอุณหภูมิแช่เย็น

11.4.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดทดสอบในอุณหภูมิแช่เย็น

11.4.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบในอุณหภูมิแช่เย็น

11.4.5 สิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบในอุณหภูมิแช่เย็น

11.4.6 สิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบในอุณหภูมิแช่เย็น

ตาราง 16 การออกแบบทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้น

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
ไม่ห่อด้วยฟิล์ม (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_5)	$T_5 R_1$	$T_5 R_2$	$T_5 R_3$	$T_5 R_4$	$T_5 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_6)	$T_6 R_1$	$T_6 R_2$	$T_6 R_3$	$T_6 R_4$	$T_6 R_5$

จากนั้นแต่ละสิ่งทดลองจะวัดดัชนีสี (Color index), ดัชนีโรค (Disease index) และอัตราผลที่เป็นโรค โดยวัดในวันที่ 7 และ14 คำนวณตามสูตรของ Gong et al., (1994) ดังนี้

Color index = $\sum$ (Color score × Fruit number) / (The highest color score ×Total number of fruit) × 100

โดยที่ดัชนีสี

0 คะแนน คือ ผลทั้งหมดมีสีเขียว หรือดิบ (อัตราการสุกน้อยกว่า 5%)

1 คะแนน คือ มีสีเหลืองบริเวณขั้วของผล (อัตราการสุกน้อยกว่า 20%)

2 คะแนน คือ มีสีเหลืองครึ่งผล (อัตราการสุกมากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50%)

3 คะแนน คือ มีสีเหลืองเกือบหมดผล (อัตราการสุกมากกว่า 80%)

4 คะแนน คือ มีสีเหลืองหมดทั้งผล (อัตราการสุก 100%)

Disease index = $\sum$ (Disease score × Fruit number) / (The highest Disease score ×Total number of fruit) × 100

โดยที่ดัชนีโรค

0 คะแนน คือ ไม่มีการเน่า

1 คะแนน คือ เน่าน้อยกว่า 1%

2 คะแนน คือ เน่าน้อยกว่า 20%

3 คะแนน คือ เน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50%

4 คะแนน คือ เน่ามากกว่า 50%

จากสูตรดัชนีโรคดังกล่าวของ Gong et al., (1994) ยังสามารถนำมาวิเคราะห์คำนวณในเรื่องของอัตราผลที่เป็นโรคได้ด้วย โดยจะวิเคราะห์ตามคะแนนเกิดโรค (disease score) ดังนี้

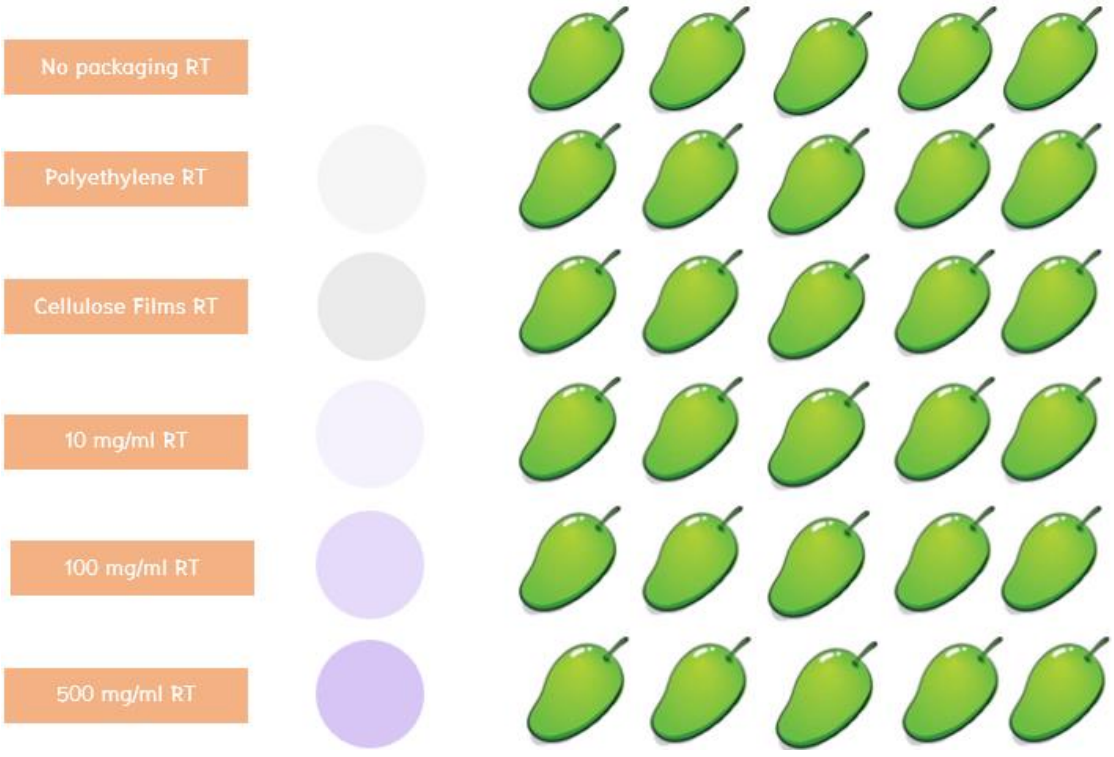
โดยที่ระดับคะแนนโรค

0–1 คะแนน คือ ไม่สามรถจำหน่ายขายได้

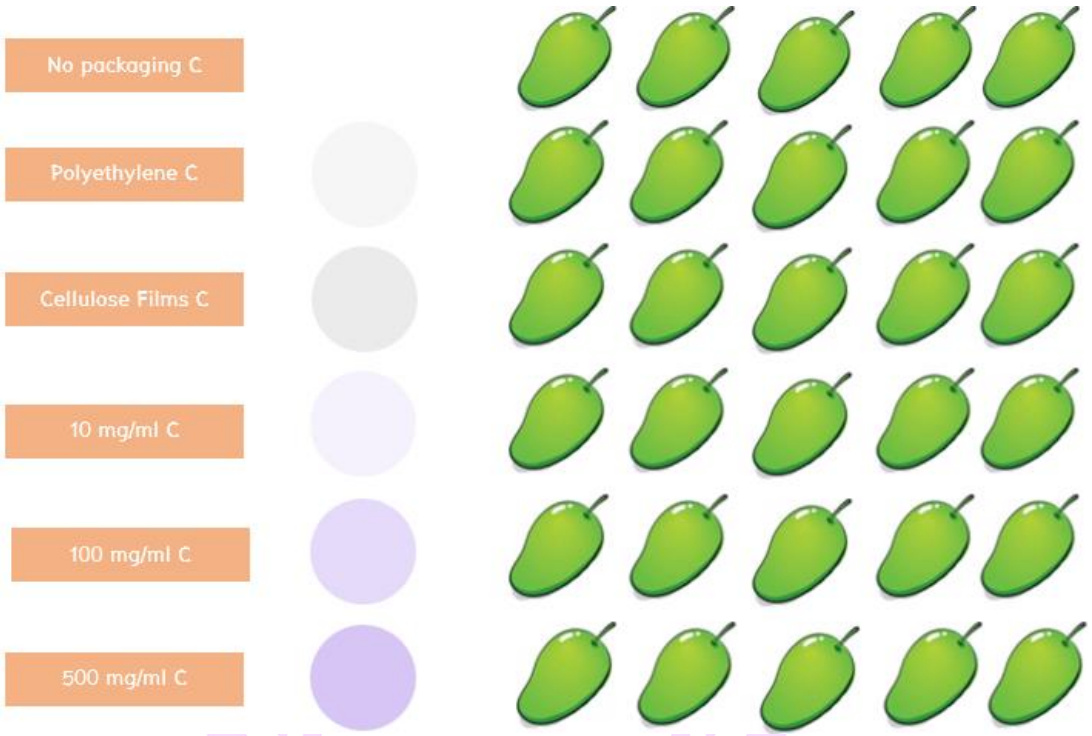
2–4 คะแนน คือ ผลมีอัตราที่เป็นโรค

การออกแบบทดสอบการเก็บถนอมรักษาผลมะม่วงกับกล้วยด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดแสดงได้ดังภาพ 26

(a)



(b)


No packaging C
Polyethylene C
Cellulose Films C
10 mg/ml C
100 mg/ml C
500 mg/ml C

(c)

No packaging RT
Polyethylene RT
Cellulose Films RT
10 mg/ml RT
100 mg/ml RT
500 mg/ml RT

(d)

ภาพ 26 แผนภาพการออกแบบของ (a) การทดสอบการถนอมผลมะม่วงใอุณหภูมิห้อง (b) การทดสอบการถนอมผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็น (c) การทดสอบการถนอมผลกล้วยในอุณหภูมิห้อง (d) การทดสอบการถนอมผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็น

12. การประเมินความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลส

ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้ (Ai et al., 2021)

12.1 เตรียมดินบรรจุในภาชนะตู้ปลาขนาด 20 นิ้ว ประมาณ 10 เซนติเมตร และให้ความชื้นในดิน 50% โดยเติมน้ำกลั่นลงไป

12.2 นำแผ่นฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้นมาฝังกลบในดินที่เตรียมไว้ ฝังกลบในดินประมาณอีก 10 เซนติเมตร โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 17)

12.2.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

12.2.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

12.2.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

12.2.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

12.2.5 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

12.3 เก็บข้อมูลตัวอย่างทุก ๆ สัปดาห์ และล้างดินที่เกาะด้วยน้ำกลั่น โดยศึกษาลักษณะทางกายภาพ และวัดน้ำหนักที่หายไป (Gautam and Kaur, 2013; Maran et al., 2014; Rudnik and Briassoulis, 2011)

ตาราง 17 การออกแบบการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลส

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_5)	$T_5 R_1$	$T_5 R_2$	$T_5 R_3$	$T_5 R_4$	$T_5 R_5$

13. การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้

นำแผ่นฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมกับสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดทั้ง 3 สูตร ทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อก่อโรคด้วยวิธี Agar disc diffusion ส่งทดสอบการยับยั้งเชื้อก่อโรคที่ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ศวท-มช.) โดยมีการทดสอบกับเชื้อทั้งหมด 5 เชื้อ ได้แก่ *Escherichia coli, Bacillus cereus, Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus* และ *Salmonella typhimurium*

13.1 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. coli*

การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* ด้วยวิธี Agar disc diffusion วางแผนการทดลองแบบ CRD 4 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 18)

13.1.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดทดสอบกับ *E. coli*

13.1.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *E. coli*

13.1.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *E. coli*

13.1.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *E. coli*

ตาราง 18 การออกแบบการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. coli*

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$

13.2 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B. cereus*

การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B. cereus* ด้วยวิธี Agar disc diffusion วางแผนการทดลองแบบ CRD 4 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 19)

13.2.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดทดสอบกับ *B. cereus*

13.2.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *B. cereus*

13.2.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *B. cereus*

13.2.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *B. cereus*

ตาราง 19 การออกแบบการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B. cereus*

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$

13.3 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa*

การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa* ด้วยวิธี Agar disc diffusion วางแผนการทดลองแบบ CRD 4 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 20)

13.3.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดทดสอบกับ *P. aeruginosa*

13.3.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *P. aeruginosa*

13.3.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *P. aeruginosa*

13.3.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *P. aeruginosa*

ตาราง 20 การออกแบบการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa*

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$

13.4 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. aureus*

การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ด้วยวิธี Agar disc diffusion วางแผนการทดลองแบบ CRD 4 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 21)

13.4.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดทดสอบกับ *S. aureus*

13.4.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *S. aureus*

13.4.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *S. aureus*

13.4.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *S. aureus*

ตาราง 21 การออกแบบการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. aureus*

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$

100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$

13.5 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. typhimurium*

การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. typhimurium* ด้วยวิธี Agar disc diffusion วางแผนการทดลองแบบ CRD 4 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ ดังนี้ (ตาราง 22)

13.5.1 สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดทดสอบกับ *S. typhimurium*

13.5.2 สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *S. typhimurium*

13.5.3 สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *S. typhimurium*

13.5.4 สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *S. typhimurium*

ตาราง 22 การออกแบบการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. typhimurium*

สิ่งทดลอง (T)	จำนวนซ้ำ (R)				
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_1)	$T_1 R_1$	$T_1 R_2$	$T_1 R_3$	$T_1 R_4$	$T_1 R_5$
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_2)	$T_2 R_1$	$T_2 R_2$	$T_2 R_3$	$T_2 R_4$	$T_2 R_5$
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_3)	$T_3 R_1$	$T_3 R_2$	$T_3 R_3$	$T_3 R_4$	$T_3 R_5$
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (T_4)	$T_4 R_1$	$T_4 R_2$	$T_4 R_3$	$T_4 R_4$	$T_4 R_5$

14. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษาคุณสมบัติความแข็งแรงต่อแรงดึง ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และอัตราการซึมผ่านของก๊าซในฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ โดยพิจารณา 5 สิ่งทดลอง คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ ฟิล์มเซลลูโลสที่ไม่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดเพื่อถนอมรักษาผลมะม่วงและกล้วย วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ โดยพิจารณา 5 สิ่งทดลอง คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ ฟิล์มเซลลูโลสที่ไม่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า วางแผนการทดลองแบบ CRD จำนวน 5 ซ้ำ โดยพิจารณา 5 สิ่งทดลอง คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ ฟิล์มเซลลูโลสที่ไม่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ผสมในฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าความเข้มข้น 10 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเพื่อต้านเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้ วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยทดสอบเชื้อแบคทีเรียก่อโรค 5 เชื้อ คือ *E. coli, B. cereus, P. aeruginosa, S. aureus* และ *S. typhimurium* จำนวน 5 ซ้ำ

การทดสอบที่กล่าวมาข้างต้นวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม SPSS (Statistical Product and Service Solutions) รุ่น 26.0 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DMRT (Duncan's multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

บทที่ 4

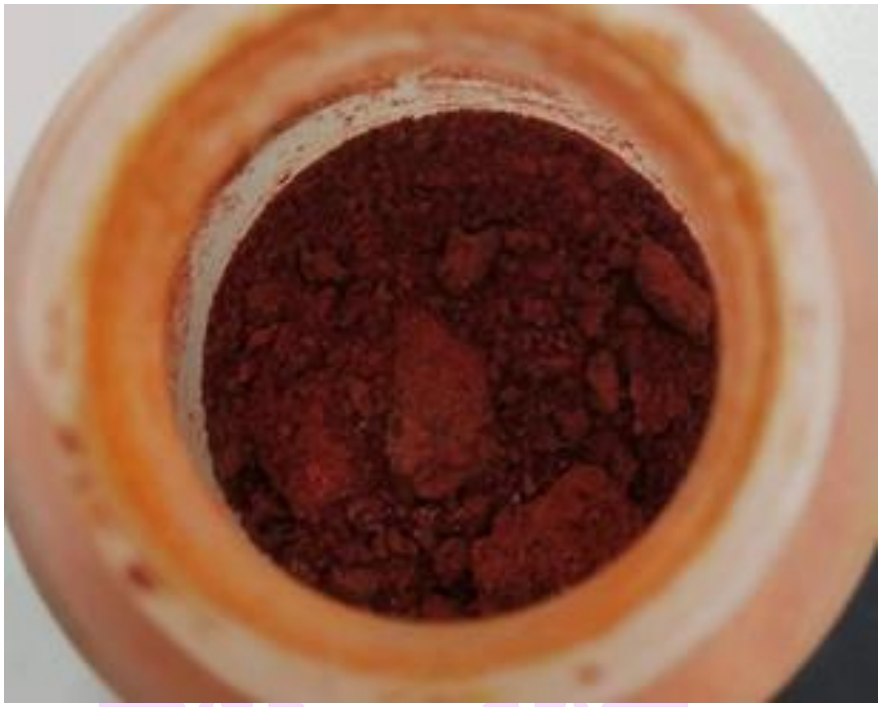
ผลการวิจัย

1. กระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด

1.1 การหาปริมาณผลผลิตร้อยละของสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด

จากกระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดโดยใช้เทคนิคการหมักแช่ด้วยตัวทำละลาย 95% เอทานอล ประมาณ 7 วัน (ภาพ 27) และระเหยตัวทำละลายให้แห้งให้เหลือแต่สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ต้องการ จากนั้นแช่เยือกแข็งและเข้าเครื่องระเหิดแห้งเพื่อระเหิดให้สารสกัดหยาบกลายเป็นผง ซึ่งผงสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ได้มีลักษณะเป็นผงจับกันเป็นก้อน มีสีน้ำตาลแดง และละลายในน้ำได้ไม่ค่อยดีแสดงได้ดังภาพ 28 ซึ่งเปลือกมังคุดบดแห้งน้ำหนัก 4 กิโลกรัม สามารถสกัดสารสำคัญออกมาได้ 555.77 กรัม และสามารถคำนวณหาปริมาณผลผลิตร้อยละของสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดเท่ากับ 13.89%

ภาพ 27 เทคนิคการหมักแช่ของเปลือกมังคุดแห้ง



ภาพ 28 ผงสารสกัดหยาบของเปลือกมังคุด

1.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนจากสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

สารแซนโทนพบมากในเปลือกมังคุดซึ่งเป็นสารทุติยภูมิที่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคได้ จากการทำกราฟมาตรฐานสารละลายแซนโทนโดยใช้เทคนิคการใช้เครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ความยาวคลื่น 243 นาโนเมตร ใช้ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ผลปรากฏว่าสมการการถดถอยเชิงเส้นของสารละลายมาตรฐานแซนโทน เท่ากับ $y = 0.0715x + 0.1049$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9876

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนจากสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด โดยใช้เทคนิคการใช้เครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ความยาวคลื่น 243 นาโนเมตร ผลปรากฏว่าสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีปริมาณสารแซนโทน เท่ากับ 0.135 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2. กระบวนการสกัดเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

2.1 การหาปริมาณผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

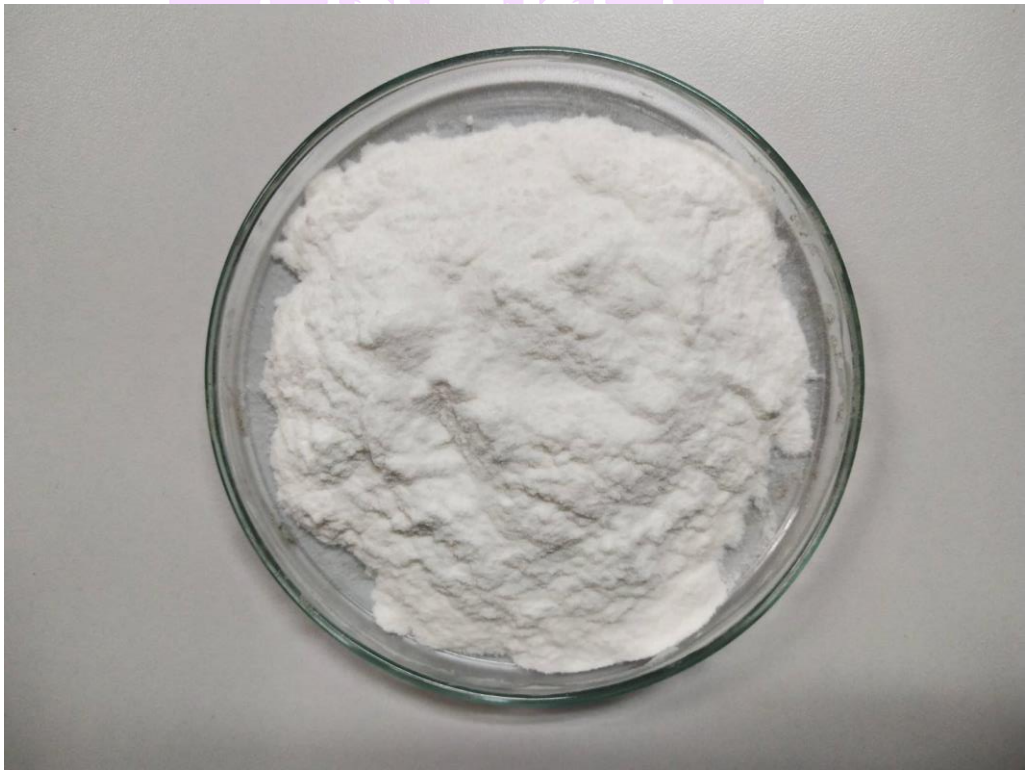
จากกระบวนการสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า โดยจะนำเส้นใยเซลลูโลสแห้งสีน้ำตาลอ่อนที่ผ่านการบดเชิงกลและอบแห้งแล้ว ดังภาพ 29 เข้าสู่ขั้นตอนตามวิธีการกำจัดลิกนิน (Soest and Wine, 1967) เพื่อกำจัดโปรตีน ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และไขมันออกจากเส้นใยเซลลูโลส จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการฟอกสีโดยกระบวนการการฟอกสีจะใช้สารละลายที่มีฤทธิ์ทางเคมีกัดกร่อน คือ NaOCl และ CH_3CHOOH โดยใช้อัตราส่วน 1:1 แช่ที่อุณหภูมิห้องจะได้สารสกัดเส้นใยเซลลูโลสที่มีลักษณะสีขาว และมีเส้นใยที่บวมพองดังภาพ 30 จากนั้นกรองล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่ากากเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จะมีค่าความเป็นกรด–เบสให้เป็นกลางแล้วอบให้แห้งจะได้สารสกัดเซลลูโลสบริสุทธิ์สีขาวแสดงได้ดังภาพ 31 ในการทดสอบครั้งนี้ใช้เส้นใยเซลลูโลสแห้งสีน้ำตาลอ่อน 100 กรัม เมื่อผ่านขั้นตอนวิธีการกำจัดลิกนินและการฟอกสี จะเหลือสารสกัดเซลลูโลสบริสุทธิ์เท่ากับ 47.33 กรัม ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสได้เท่ากับ 47.33%

ภาพ 29 เส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าไม่ผ่านการฟอกสี

ภาพ 30 กระบวนการฟอกสีเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

ภาพ 31 เส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผ่านการฟอกสีและอบแห้ง

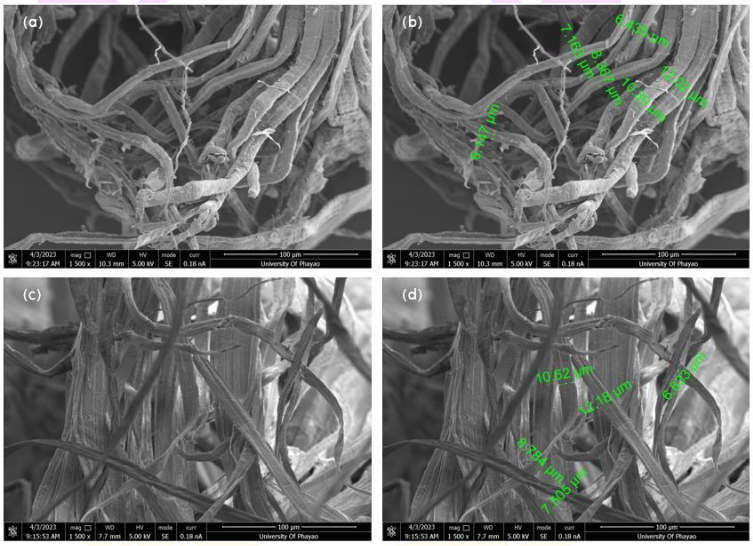
จากกระบวนการกำจัดลิกนินและการฟอกสี เมื่อได้สารสกัดเซลลูโลสบริสุทธิ์ยังไม่สามารถนำมาขึ้นรูปฟิล์มได้ เนื่องจากยังไม่สามารถละลายน้ำได้จึงต้องนำสารสกัดเซลลูโลสเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยการเปลี่ยนหมู่ของโครงสร้างเซลลูโลสจะใช้สารละลายกรดคลอโรอะซิติก ($C_2H_3ClO_2$) เนื่องจากสามารถเปลี่ยนจากหมู่คาร์บอนิลที่ไม่สามารถละลายน้ำได้เป็นหมู่คาร์บอกซีเมทิลซึ่งสามารถละลายน้ำได้ เพื่อง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์และสามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ง่าย จากการทดลองพบว่าลักษณะของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ได้ มีลักษณะสีขาว และจับกันเป็นก้อน แสดงได้ดังภาพ 32 การทดลองใช้สารสกัดเซลลูโลสบริสุทธิ์ 10 กรัม สามารถสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้นมาเท่ากับ 14.71 กรัม ซึ่งสามารถคำนวณร้อยละการได้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกลับคืนเท่ากับ 67.98%



ภาพ 32 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สร้างจากเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

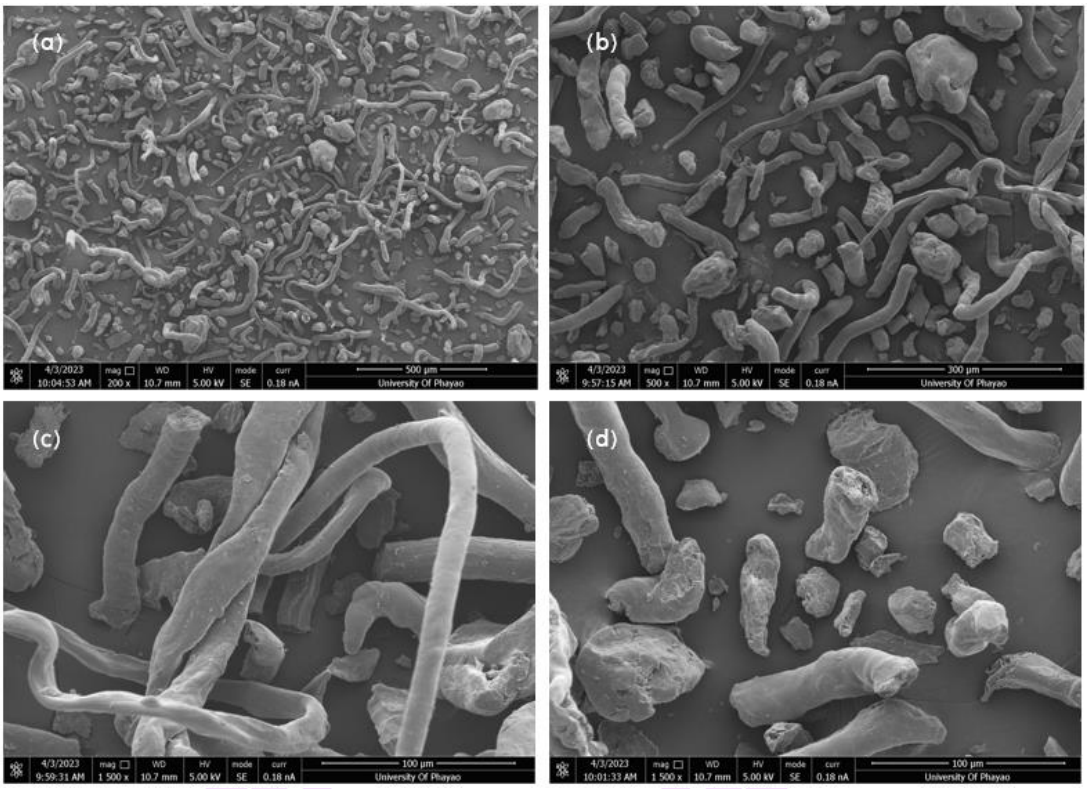
2.2 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

จากศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ากำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสบางส่วนแยกเป็นเส้นเดี่ยว ลักษณะพื้นผิวลายขรุขระ และมีรอยฉีกขาดจากการบดเชิงกล รวมถึงเส้นใหญ่บางส่วนยังมีลักษณะสัณฐานวิทยาที่มัดรวมกันเป็นแผ่น ซึ่งการรวมตัวกันเป็นมัดบ่งบอกว่าเส้นใยเซลลูโลสของลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้ามีความแข็งแรงและทนทานสูง ซึ่งเหมาะนำไปใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม นอกจากนี้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเซลลูโลสลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้ายังสามารถบอกถึงประสิทธิภาพของความแข็งแรงต่อแรงดึงในการนำไปใช้ในเรื่องของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเส้นใยเซลลูโลสลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 6.10 ถึง 12.20 ไมโครเมตร แสดงได้ดังภาพ 33



ภาพ 33 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ(a) เส้นใยเซลลูโลสลักษณะรูปร่างกลมยาวกำลังขยาย 100 ไมโครเมตร (b) เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเซลลูโลสลักษณะรูปร่างกลมยาวกำลังขยาย 100 ไมโครเมตร (c) เส้นใยเซลลูโลสลักษณะรูปร่างแบนยาวกำลังขยาย 100 ไมโครเมตร และ(d) เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเซลลูโลสลักษณะรูปร่างแบนยาวกำลังขยาย 100 ไมโครเมตร

จากศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีลักษณะเส้นใยสีขาวและจับกันเป็นก้อน เมื่อทดสอบด้วยการยิงกวาดอิเล็กตรอนบนตัวอย่าง พบว่ากำลังขยาย 500 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นกำลังขยายที่ให้มองเห็นภาพมุมกว้างของลักษณะทางสัณฐานวิทยาคาร์บอกซีเมทิลของเซลลูโลสแต่ละลักษณะ โดยจะเห็นว่าบางเส้นใยมีลักษณะเป็นท่อนสั้น ๆ บางส่วนมีขนาดเป็นเส้นใยยาวและโค้งงอ รวมถึงมีลักษณะรูปร่างกลมและมีพื้นผิวที่ขรุขระ เมื่อเพิ่มกำลังขยาย 300 ไมโครเมตร จะเห็นได้ว่าสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน มีลักษณะเป็นท่อนสั้น ลักษณะเส้นใยยาว และรูปร่างกลม รวมถึงมีแผ่นเศษเล็ก ๆ กระจัดกระจายเต็มทั่วบริเวณ ซึ่งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีลักษณะเบื้องต้น เนื่องจากเซลลูโลสมีการผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหมู่ของเซลลูโลสโดยใช้สารละลายกรดคลอโรอะซิติก ($C_2H_3ClO_2$) ในการเปลี่ยนหมู่หมู่คาร์บอนิลซึ่งเป็นหมู่หลักของเซลลูโลสที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ให้เป็นหมู่คาร์บอกซีเมทิลซึ่งสามารถละลายน้ำได้ เมื่อมีการเปลี่ยนหมู่ของเซลลูโลสจะเห็นได้ว่ากำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีความหนา จับตัวเป็นก้อน พื้นผิวขรุขระอย่างชัดเจน ลักษณะแบบนี้เป็นลักษณะที่ดีในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากพื้นผิวที่ขรุขระบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการละลายน้ำได้ดี จากการเปลี่ยนหมู่หลักของเซลลูโลสและการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิล ซึ่งผลลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในครั้งนี้เป็นที่น่าพอใจเนื่องจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถละลายในน้ำ มีการดูดซึมน้ำ และขึ้นรูปฟิล์มได้ดี รวมถึงเมื่อเพิ่มสารละลายพลาสติไซเซอร์ในการผสมขึ้นรูปฟิล์ม ทำให้สามารถทนต่อแรงดึง และร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด ดีมากขึ้น



ภาพ 34 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ(a) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกำลังขยาย 500 ไมโครเมตร (b) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกำลังขยาย 300 ไมโครเมตร (c) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกำลังขยาย 100 ไมโครเมตร และ(d) ผิวคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกำลังขยาย 100 ไมโครเมตร

3. การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

3.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

จากการเตรียมขึ้นรูปฟิล์มเซลลูโลสโดยใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผ่านการบำบัดด้วยสารละลายกรดคลอโรอะซิติก ในการเปลี่ยนโครงสร้างหมู่ของเซลลูโลสซึ่งสามารถละลายน้ำได้ จากนั้นขึ้นรูปฟิล์มแล้วเติมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในสูตรต่าง ๆ ได้แก่ สูตร 1 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สูตร 2 สารสกัดหยาบ

เปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสูตร 3 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วเพิ่มแป้งข้าวโพดเพื่อช่วยการเพิ่มประสิทธิภาพให้ทนต่อแรงดึง และเติมกลีเซรอลเพื่อเพิ่มร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด โดยจากการทดสอบมีผลลักษณะทางกายภาพดังตาราง 23

ตาราง 23 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

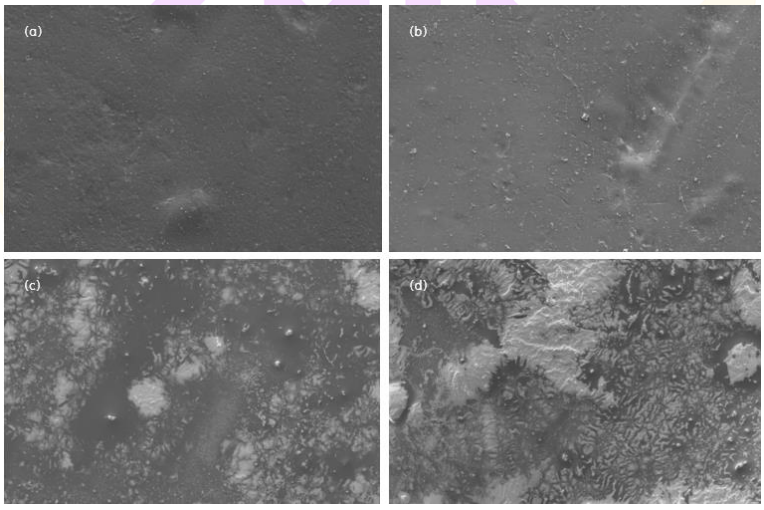
ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพ		
	ตัวกลางของแสง	พื้นผิว	สี
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	โปร่งแสง	เรียบ	ขาวใส
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	โปร่งแสง	เรียบ	ขาวอมเหลือง

 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	โปร่งแสง	เรียบ	เหลืองอ่อน
 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	โปร่งแสง	เรียบ	น้ำตาลอมแดง

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้น พบว่าฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร หรือฟิล์มไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด มีลักษณะทางกายภาพที่โปร่งแสง พื้นผิวที่เรียบ และสีของฟิล์มขาวใส ส่วนฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีลักษณะโปร่งแสง พื้นผิวที่เรียบ และฟิล์มมีสีขาวอมเหลือง ส่วนฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีลักษณะโปร่งแสง พื้นผิวที่เรียบ และฟิล์มมีสีเหลืองอ่อน และส่วนฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีลักษณะโปร่งแสง พื้นผิวที่เรียบ และฟิล์มมีสีน้ำตาลอ่อน

3.2 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

จากศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ฟิล์มมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบกว่าตัวอย่างอื่น มีรูพรุน และไม่มีผลึกของสารสกัดเปลือกมังคุดแสดงได้ดังภาพ 34(a) ส่วนฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ฟิล์มมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระเล็กน้อย มีรูพรุน และมีผลึกของสารสกัดเปลือกมังคุดเล็กน้อยแสดงได้ดังภาพ 34(b) ส่วนฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ฟิล์มมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีรูพรุนจำนวนมาก และมีผลึกของสารสกัดเปลือกมังคุดจำนวนมากแสดงได้ดังภาพ 34 (c) และฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ฟิล์มมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระมาก มีรูพรุนจำนวนมาก และมีผลึกของสารสกัดเปลือกมังคุดจำนวนมากแสดงได้ดังภาพ 34(d)



ภาพ 35 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (a) 0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร, (b) 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร, (c) 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ(d) 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

4. ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลส

4.1 ทดสอบความหนาของฟิล์มเซลลูโลส

จากการทดสอบความหนาของฟิล์มเซลลูโลสโดยใช้ไมโครมิเตอร์ในการวัดเฉลี่ย 5 จุดต่อแผ่น สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สิ่งทดลองที่ 5 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าสิ่งทดลองฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ สิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยความหนาเท่ากับ 24.16 ± 0.31, 23.74 ± 0.63, 23.30 ± 0.40, 23.66 ± 0.37 และ23.81 ± 0.21 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญแสดงได้ดังตาราง 24

ตาราง 24 การทดสอบความหนาของฟิล์มเซลลูโลส

สิ่งทดลอง	Thickness (μm)^{ns}
ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์	24.16 ± 0.31
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	23.74 ± 0.63
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	23.30 ± 0.40
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	23.66 ± 0.37
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	23.81 ± 0.21

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD (n = 5); a, b, c ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's multiple – range test); ^{ns} = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2 การทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด

จากการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด โดยจะเตรียมตัวอย่างฟิล์มแต่ละสิ่งทดลองขนาด 2 × 10 เซนติเมตร ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ใช้ตัววัดแรงดึง 1 กิโลนิวตัน ความเร็วในการทดสอบ 10 มิลลิเมตร/นาที ซึ่งมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สิ่งทดลองที่ 5 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าผลค่าแรงดึงของสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0 และ10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยค่าแรงดึงเท่ากับ 0.61 ± 0.02 และ 0.63 ± 0.03 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าแรงดึงไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ และสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยค่าแรงดึงเท่ากับ 0.24 ± 0.03 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าแรงดึงน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ รวมถึงจะเห็นได้ว่าผลค่าแรงดึงของฟิล์มเซลลูโลสจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดเพิ่มขึ้น ส่วนการทดสอบหาค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด พบว่าผลค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของสิ่งทดลองฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ มีค่าเฉลี่ยร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดเท่ากับ 261.15 ± 3.81% ซึ่งมีค่าสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดเท่ากับ 191.95 ± 3.19% ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ รวมถึงจะเห็นได้ว่าผลของค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์มเซลลูโลสจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดเพิ่มขึ้น จึงจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดมีความสัมพันธ์กับค่าแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด แบบแปรผันตามดังตาราง 25

ตาราง 25 การทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด

สิ่งทดลอง	Tensile strength (Mpa)*	Elongation at break (%)*
ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์	0.68 ± 0.02[a]	261.15 ± 3.81[a]
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.61 ± 0.02[a]	214.88 ± 2.79[b]
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.63 ± 0.03[a]	211.79 ± 2.40[b]
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.45 ± 0.03[b]	205.00 ± 3.63[c]
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.24 ± 0.03[c]	191.95 ± 3.19[d]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD (n = 5); a, b, c, d ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's multiple – range test); * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3 การทดสอบคุณสมบัติอัตราการส่งผ่านไอน้ำ

จากการทดสอบคุณสมบัติอัตราการส่งผ่านไอน้ำโดยใช้ใช้วิธี sheet – cup method ซึ่งมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สิ่งทดลองที่ 5 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าผลอัตราการส่งผ่านไอน้ำของสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยอัตราการส่งผ่านไอน้ำเท่ากับ 1,522.96 ± 46.29, 1,531.43 ± 31.89, 1,587.84 ± 33.08 และ 1,635.83 ± 42.79 g/ (m^2.24h) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติและมีอัตราการส่งผ่านไอน้ำที่ดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงได้ดังตาราง 26

ตาราง 26 การทดสอบคุณสมบัติอัตราการส่งผ่านไอน้ำ

สิ่งทดลอง	Water vapor transmission rate, g/ (m^2.24h)*
ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์	989.18 ± 35.38[b]
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	1,522.96 ± 46.29[a]
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	1,531.43 ± 31.89[a]
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	1,587.84 ± 33.08[a]
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	1,635.83 ± 42.79[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD (n = 5); a, b, c ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's multiple – range test); * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.4 การทดสอบคุณสมบัติอัตราการซึมผ่านของก๊าซ

จากการทดสอบคุณสมบัติอัตราการซึมผ่านของก๊าซ โดยใช้เครื่องทดสอบ Water Vapor Transmission Rate Test System (WVTR) ซึ่งมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ สิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สิ่งทดลองที่ 5 คือ ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าผลอัตราการซึมผ่านของก๊าซในสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยอัตราการซึมผ่านของก๊าซเท่ากับ 11,698.37 ± 1,758.69, 12,465.53 ± 1,573.39, 11,610.75 ± 1,232.94 และ 11,932.54 ± 1,098.79 g/ (m^2. 24h) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติและมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซที่ดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงได้ดังตาราง 27

ตาราง 27 การทดสอบคุณสมบัติอัตราการซึมผ่านของก๊าซ

สิ่งทดลอง	Gas permeability rate g/ (m^2. 24h)*
ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์	7,286.97 ± 204.84[b]
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	11,698.37 ± 1,758.69[a]
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	12,465.53 ± 1,573.39[a]
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	11,610.75 ± 1,232.94[a]
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	11,932.54 ± 1,098.79[a]

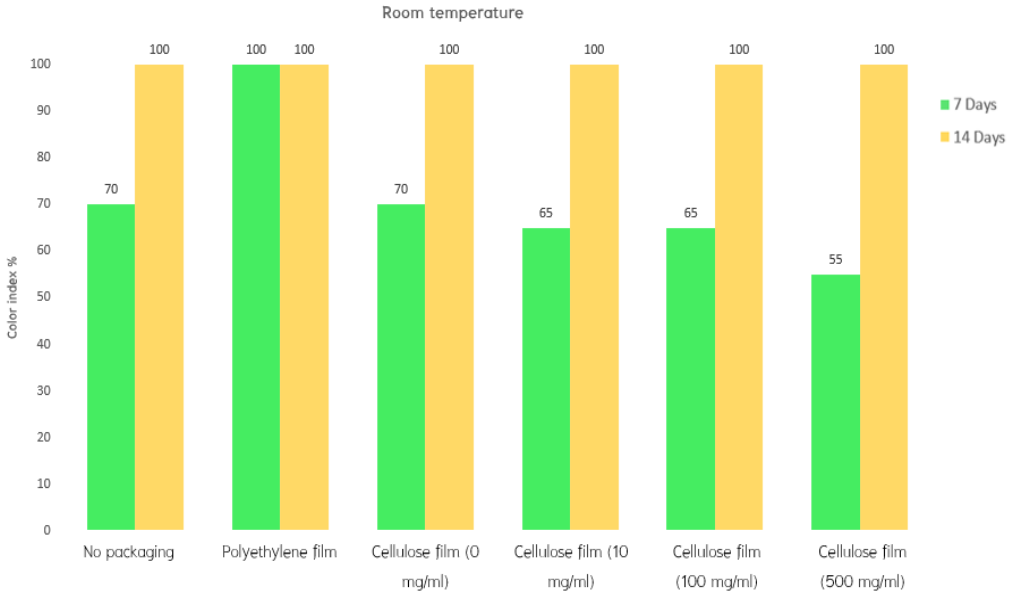
หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD (n = 5); a, b, c ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's multiple – range test); * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5. การเก็บถนอมรักษาผลมะม่วงกับกล้วยด้วยฟิล์มเซลลูโลส

5.1 ทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้อง

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องโดยวัดดัชนีสี และดัชนีโรค บันทึกผลในวันที่ 7 และ14 คำนวณตามสูตรของ Gong et al., (1994) รวมถึงชั่งน้ำหนักที่หายไป วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าดัชนีสีของสิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม ในวันที่ 7 ดัชนีสีเท่ากับ 70% และวันที่ 14 ดัชนีสีเท่ากับ 100% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีสีเหลืองครึ่งผลทั้งหมด 1 ผล มีสีเหลืองเกือบหมดผลอีก 4 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีสีเหลืองหมดทั้งผล ทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ พบว่าในวันที่ 7 และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 100% ซึ่งผลมะม่วงทั้ง 5 ผล มีสีเหลืองหมดทั้งผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีสีเท่ากับ 70% และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 100% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีสีเหลืองครึ่งผลทั้งหมด 1 ผล มีสีเหลืองเกือบหมดผลอีก 4 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีสีเหลืองหมดทั้งผล ทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่ง

ทดลองที่ 4 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีสีเท่ากับ 65% และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 100% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีสีเหลืองครึ่งผลทั้งหมด 2 ผล มีสีเหลืองเกือบหมดผลอีก 3 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีสีเหลืองหมดทั้งผล ทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีสีเท่ากับ 65% และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 100% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีสีเหลืองครึ่งผลทั้งหมด 2 ผล มีสีเหลืองเกือบหมดผลอีก 3 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีสีเหลืองหมดทั้งผล ทั้งหมด 5 ผล และสิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีสีเท่ากับ 55% และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 100% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีสีเหลืองครึ่งผลทั้งหมด 4 ผล มีสีเหลืองเกือบหมดผลอีก 1 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีสีเหลืองหมดทั้งผล ทั้งหมด 5 ผล ซึ่งจะเห็นได้ว่าฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถชะลอการสุกได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงได้ดังภาพ 36

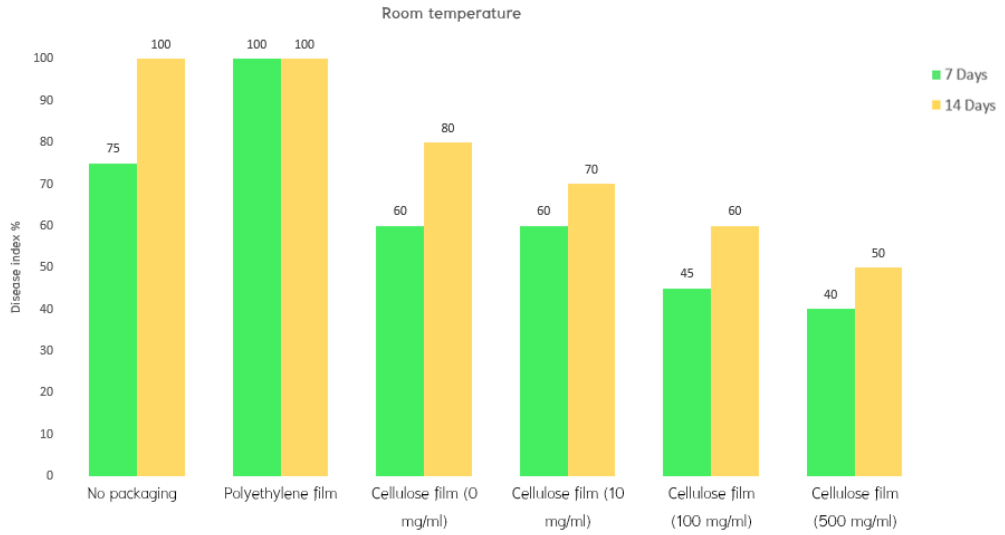


ภาพ 36 ผลการทดสอบดัชนีสีของผลมะม่วงในอุณหภูมิห้อง

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องโดยวัดดัชนีโรค คำนวณตามสูตรของ Gong et al., (1994) บันทึกผลในวันที่ 7 และ14 และวางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม ในวันที่ 7 ดัชนีโรคเท่ากับ 75% และวันที่ 14 ดัชนีโรคเท่ากับ 100% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% ทั้งหมด 5 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 50% ทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ พบว่าในวันที่ 7 และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 100% ซึ่งผลมะม่วงทั้ง 5 ผล มีลักษณะจุดสีดำ และมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 50% ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 60% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 80% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 3 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 2 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% ทั้งหมด 4 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 50% อีก 1 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 60% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 70% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 3 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 2 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 1 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 4 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 45% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 60% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 1 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 4 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 3 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 2 ผล และสิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 40% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 50% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 2 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 3 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า

20% ทั้งหมด 5 ผล และจะเห็นได้ว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีอัตราการเกิดโรคหรือติดเชื้อจุลินทรีย์ที่สูง โดยผิวเปลือกของผลมะม่วงมีลักษณะติดเชื้อ ลักษณะเป็นวงสีดำจำนวนมาก (ภาพ 37) ถ้าหากเก็บไว้เป็นระยะเวลานานจะเกิดการเน่าเสียที่เพิ่มมากขึ้นฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์จึงไม่เหมาะที่จะนำมาสร้างเป็นบรรจุภัณฑ์ถนอมรักษาผลไม้ในระยะยาว รวมถึงเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เก็บความชื้นไว้สูง จึงทำให้มีผลต่อการติดเชื้อและเน่าเสียที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถลดการเกิดโรคของผลมะม่วงได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด และยังพบว่าฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถลดการเกิดโรคจากการติดเชื้อ และสามารถชะลอการเน่าเสียของผลมะม่วงได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องแสดงได้ดังภาพ 38

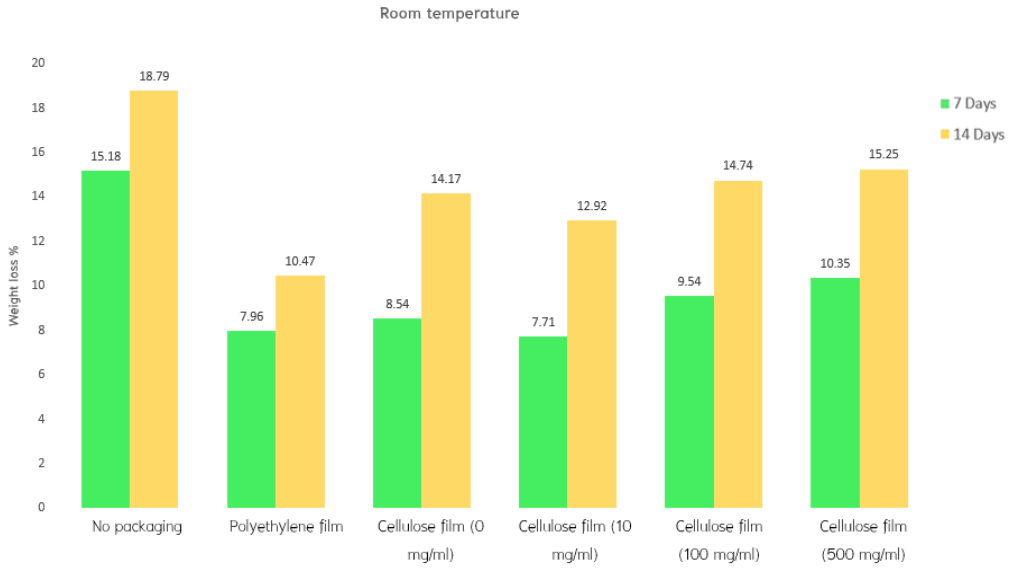
ภาพ 37 ลักษณะการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ของเปลือกมะม่วง



ภาพ 38 ผลการทดสอบดัชนีโรคของผลมะม่วงในอุณหภูมิห้อง

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องโดยชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วง ซึ่งเป็นปัจจัยที่สามารถบ่งบอกถึงอัตราการสุกและอัตราการเกิดโรคได้ พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม ในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 15.18% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 18.79% ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 7.96% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 10.47% ซึ่งมีน้ำหนักลดลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ที่ห่อผลมะม่วงยังมีไอน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 8.54% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 14.17% ซึ่งบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเซลลูโลสสิ่งทดลองนี้มีไอน้ำเกาะอยู่เล็กน้อย ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 7.71% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 12.92% ซึ่งบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเซลลูโลสสิ่งทดลองนี้มีไอน้ำเกาะอยู่เล็กน้อย ส่วนสิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 9.54% และ

วันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 14.74% ซึ่งบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเซลลูโลสสิ่งทดลองนี้ไม่มีไอน้ำเกาะอยู่ และสิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 10.35% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 15.25% ซึ่งบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเซลลูโลสสิ่งทดลองนี้ไม่มีไอน้ำเกาะอยู่ และมีน้ำหนักของผลมะม่วงที่หายไปมากกว่าสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรอย่างมีนัยสำคัญ จากการทดสอบในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีไอน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมากในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งส่งผลต่อผลมะม่วง ทำให้มีอัตราการสุกที่สูง และเกิดการติดเชื้อได้ง่าย จึงทำให้ผลมะม่วงเกิดการเน่าเสียที่เร็วขึ้น ส่วนผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการชะลอการสุกและลดการติดเชื้อ เนื่องจากสามารถระบายไอน้ำได้เหมาะสม ดังนั้นฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถระบายไอน้ำในผลมะม่วงได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงได้ดังภาพ 39

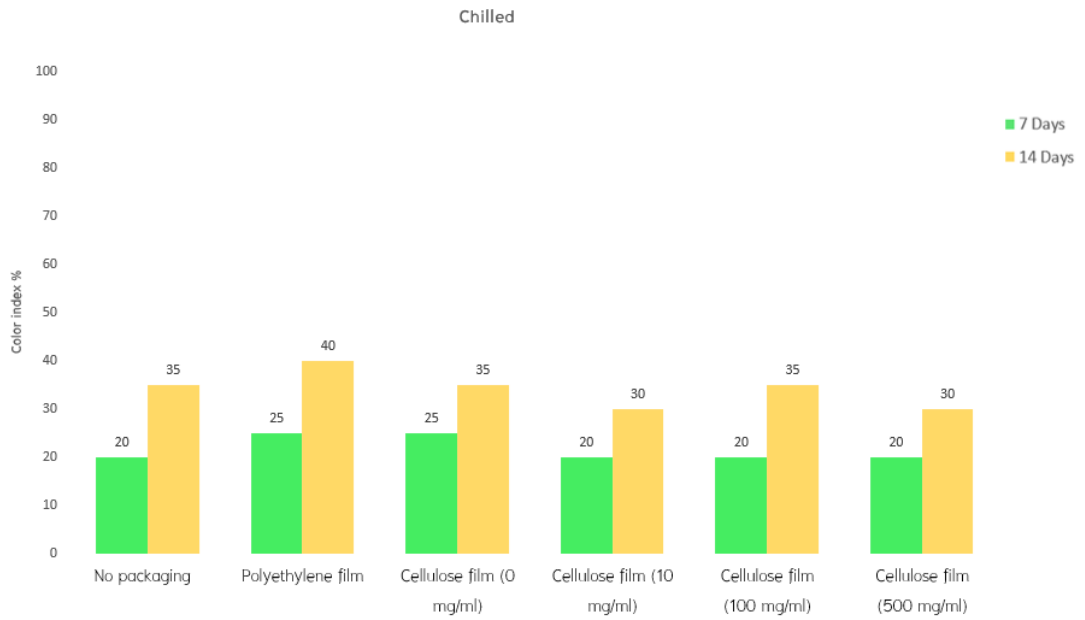


ภาพ 39 ผลการชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงในอุณหภูมิห้อง

5.2 ทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็น

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นโดยวัดดัชนีสีและดัชนีโรค บันทึกผลในวันที่ 7 และ14 คำนวณตามสูตรของ Gong et al., (1994) รวมถึงชั่งน้ำหนักที่หายไป วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าดัชนีสีของสิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม ในวันที่ 7 ดัชนีสีเท่ากับ 20% และวันที่ 14 ดัชนีสีเท่ากับ 35% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีสีเขียวดิบ 1 ผล มีสีเหลืองบริเวณขั้วของผล 4 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีสีเหลืองบริเวณขั้วของผล 3 ผลมีสีเหลืองครึ่งผล 2 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ พบว่าในวันที่ 7 ดัชนีสีเท่ากับ 25% และวันที่ 14 ดัชนีสีเท่ากับ 40% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงทั้ง 5 ผล มีสีเหลืองบริเวณขั้วของผลทั้งหมด และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีสีเหลืองบริเวณขั้ว 2 ผล สีเหลืองครึ่งผล 3 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด พบว่าในวันที่ 7 ดัชนีสีเท่ากับ 25% และวันที่ 14 ดัชนีสีเท่ากับ 35% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงทั้ง 5 ผล มีสีเหลืองบริเวณขั้วของผลทั้งหมด และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีสีเหลืองบริเวณขั้วของผล 3 ผลมีสีเหลืองครึ่งผล 2 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 ดัชนีสีเท่ากับ 20% และวันที่ 14 ดัชนีสีเท่ากับ 30% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีสีเขียวดิบ 1 ผล มีสีเหลืองบริเวณขั้วของผล 4 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีสีเหลืองบริเวณขั้ว 4 ผล สีเหลืองครึ่งผล 1 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีสีเท่ากับ 20% และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 35% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีสีเขียวดิบ 1 ผล มีสีเหลืองบริเวณขั้วของผล 4 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีสีเหลืองบริเวณขั้ว 3 ผล สีเหลืองครึ่งผล 2 ผล และสิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีสีเท่ากับ 20% และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 30% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีสีเขียวดิบ 1 ผล มีสีเหลืองบริเวณขั้วของผล 4 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีสีเหลืองบริเวณขั้ว 4 ผล สีเหลืองครึ่งผล 1 ผล จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้น ณ อุณหภูมิแช่เย็น สามารถชะลอการสุกของผลมะม่วงได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์ม

พอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และอุณหภูมิแช่เย็นยังสามารถช่วยชะลอการสุกของผลมะม่วงเหมาะกับการเก็บถนอมรักษาในระยะยาวแสดงได้ดังภาพ 40

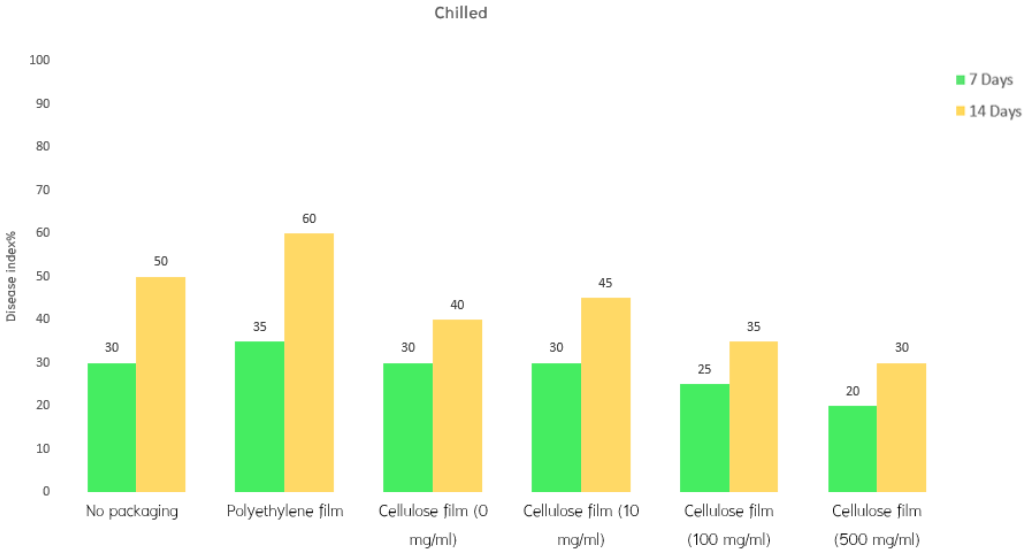


ภาพ 40 ผลการทดสอบดัชนีสีของผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็น

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นโดยวัดดัชนีโรคคำนวณตามสูตรของ Gong et al., (1994) บันทึกผลในวันที่ 7 และ14 และวางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม ในวันที่ 7 ดัชนีโรคเท่ากับ 30% และวันที่ 14 ดัชนีโรคเท่ากับ 50% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 4 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 1 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ พบว่าในวันที่ 7 ดัชนีโรคเท่ากับ 35% และวันที่ 14 ดัชนีโรคเท่ากับ 60% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 3 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 2 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 3 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 2 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 30% และ

วันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 40% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 4 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 1 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 2 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 3 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 30% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 45% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 4 ผล มี ระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 1 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 1 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 4 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 25% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 35% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 5 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 3 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 2 ผล และสิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 20% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 30% ซึ่งในวันที่ 7 ผลมะม่วงมีระดับคะแนนเกิดโรคไม่มีการเน่า ทั้งหมด 1 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% อีก 4 ผล และในวันที่ 14 ผลมะม่วงมี ระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 4 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 1 ผล จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีอัตราการเกิดโรคหรือติดเชื้อจุลินทรีย์ที่สูง โดยผิวเปลือกของผลมะม่วงมีลักษณะติดเชื้อ ลักษณะเป็นวงสีดำจำนวนมาก (ภาพ 36) ถ้าหากเก็บไว้เป็นระยะเวลานานจะเกิดการเน่าเสียที่เพิ่มมากขึ้นฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์จึงไม่เหมาะที่จะนำมาสร้างเป็นบรรจุภัณฑ์ถนอมรักษาผลไม้ในระยะยาว รวมถึงเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เก็บความชื้นไว้สูงจึงทำให้มีผลต่อการติดเชื้อและเน่าเสียที่เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถลดการเกิดโรคของผลมะม่วงได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด และยังพบว่าฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถลดการเกิดโรคจากการติดเชื้อและสามารถชะลอการเน่าเสียของผลมะม่วงได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิง

พาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นแสดงได้ดังภาพ 41 และอุณหภูมิแช่เย็นยังสามารถช่วยชะลอการเกิดโรคของผลมะม่วงมีจุดดำลดลง แต่ข้อเสียถ้าหากเก็บไว้ในอุณหภูมิแช่เย็นเป็นระยะเวลานานจะทำให้เนื้อเยื่อของเปลือกผลมะม่วงเกิดการบาดเจ็บมีลักษณะช้ำเป็นปื้นสีน้ำตาลดังภาพ 42

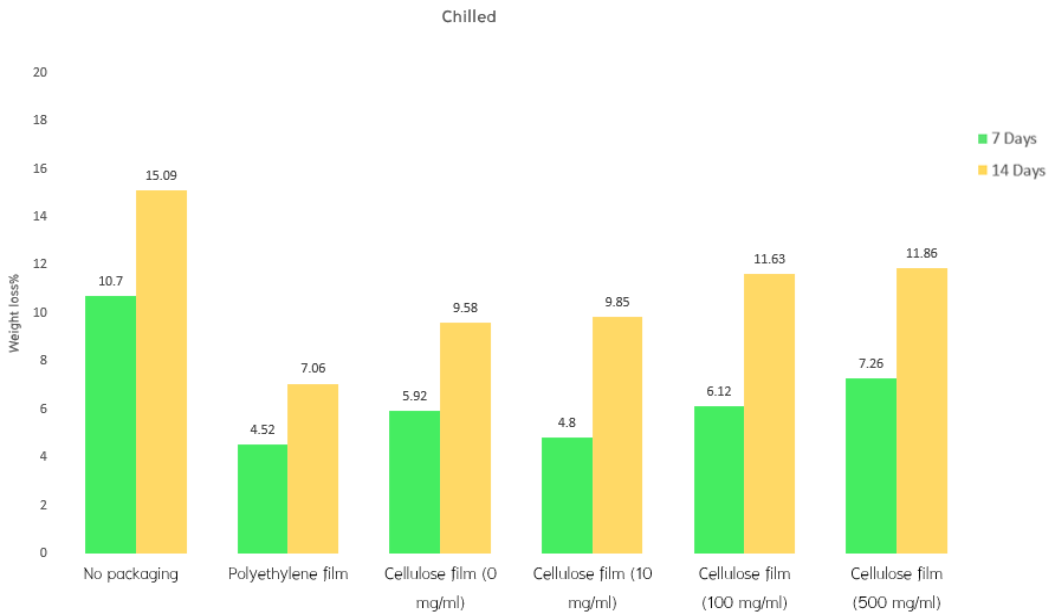


ภาพ 41 ผลการทดสอบดัชนีโรคของผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็น

ภาพ 42 เปลือกผลมะม่วงเกิดการช้ำเป็นปื้นสีน้ำตาลจากการแช่เย็น

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นโดยชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วง วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม ในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 10.7% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 15.09% ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 4.52% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 7.06% ซึ่งบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ที่ห่อผลมะม่วงมีไอน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก และมีน้ำหนักลดลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 5.92% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 9.58% ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 4.8% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 9.85% ส่วนสิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 6.12% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 11.63% ซึ่งบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเซลลูโลสสิ่งทดลองนี้ไม่มีไอน้ำเกาะอยู่ และสิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 7.26% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงเท่ากับ 11.86% ซึ่งบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเซลลูโลสสิ่งทดลองนี้ไม่มีไอน้ำเกาะอยู่ และมีน้ำหนักของผลมะม่วงที่หายไปมากกว่าสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรอย่างมีนัยสำคัญ จากการทดสอบพบว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีไอน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมากในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งส่งผลต่อผลมะม่วงทำให้มีอัตราการสุกที่สูงและเกิดการติดเชื้อได้ง่ายจึงทำให้ผลมะม่วงเกิดการเน่าเสียที่เร็วขึ้น ส่วนผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการชะลอการสุกและลดการติดเชื้อ เนื่องจากสามารถระบายไอน้ำได้เหมาะสม ดังนั้นฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถระบาย

ไอน้ำในผลมะม่วงได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงได้ดังภาพ 43

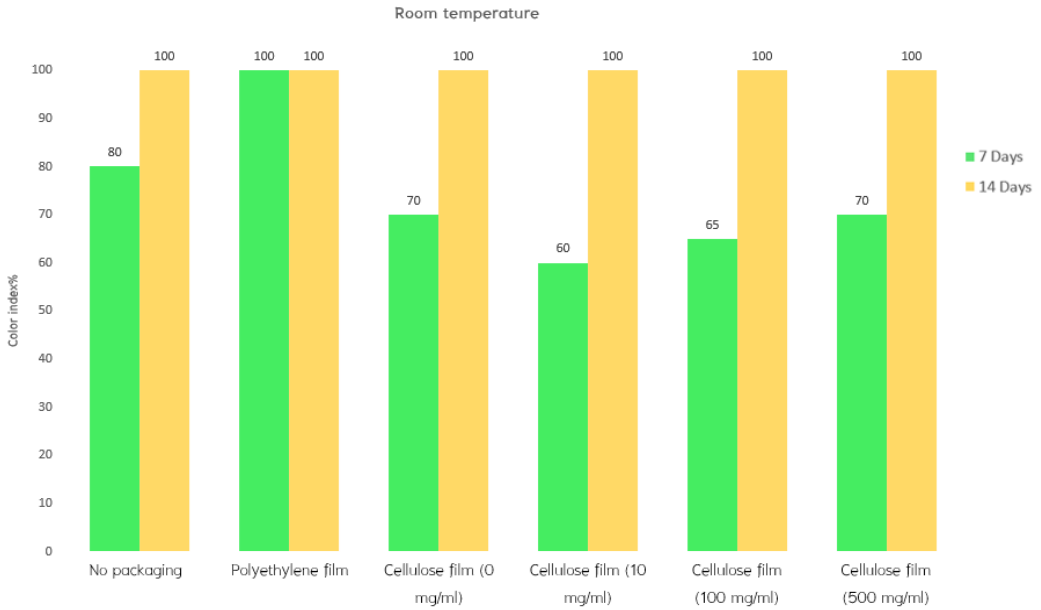


ภาพ 43 ผลการชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงในแช่เย็น

5.3 ทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้อง

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องโดยวัดดัชนีสี วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าดัชนีสีของสิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลกล้วยไม่ห่อด้วยฟิล์ม ในวันที่ 7 ดัชนีสีเท่ากับ 80% และวันที่ 14 ดัชนีสีเท่ากับ 100% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีสีเหลืองเกือบหมดผล ทั้งหมด 4 ผล มีสีเหลืองหมดทั้งผลอีก 1 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีสีเหลืองหมดทั้งผล ทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ พบว่าในวันที่ 7 และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 100% ซึ่งผลกล้วยทั้ง 5 ผล มีสีเหลืองหมดทั้งผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีสีเท่ากับ 70% และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 100% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีสีเหลืองครึ่งผลทั้งหมด 1 ผล มีสีเหลืองเกือบหมดผลอีก 4 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีสีเหลืองหมดทั้งผล ทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์ม

เซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีสีเท่ากับ 60% และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 100% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีสีเหลืองครึ่งผลทั้งหมด 3 ผล มีสีเหลืองเกือบหมดผลอีก 2 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีสีเหลืองหมดทั้งผล ทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีสีเท่ากับ 65% และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 100% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีสีเหลืองครึ่งผลทั้งหมด 2 ผล มีสีเหลืองเกือบหมดผลอีก 3 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีสีเหลืองหมดทั้งผล ทั้งหมด 5 ผล และสิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีสีเท่ากับ 70% และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 100% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีสีเหลืองครึ่งผลทั้งหมด 1 ผล มีสีเหลืองเกือบหมดผลอีก 4 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีสีเหลืองหมดทั้งผล ทั้งหมด 5 ผล ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าสามารถชะลอการสุกของผลกล้วยได้ดีกว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงได้ดังภาพ 44

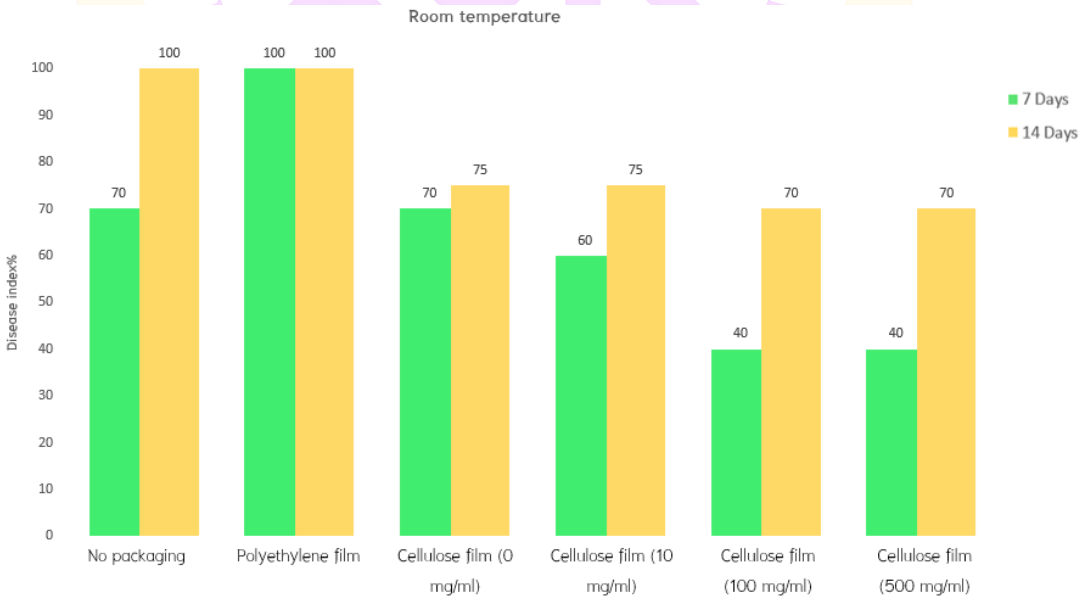


ภาพ 44 ผลการทดสอบดัชนีสีของผลกล้วยในอุณหภูมิห้อง

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องโดยวัดดัชนีโรค วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลกล้วยไม่ห่อด้วยฟิล์ม ในวันที่ 7 ดัชนีโรคเท่ากับ 70% และวันที่ 14 ดัชนีโรคเท่ากับ 100% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 1 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 4 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 50% ทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ พบว่าในวันที่ 7 และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 100% ซึ่งมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 50% ทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 70% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 75% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 1 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 4 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% ทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 60% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 75% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 3 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 2 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% ทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 40% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 70% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 2 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 3 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 1 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 4 ผล และสิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 40% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 70% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 2 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 3 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 1 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 4 ผล จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มี

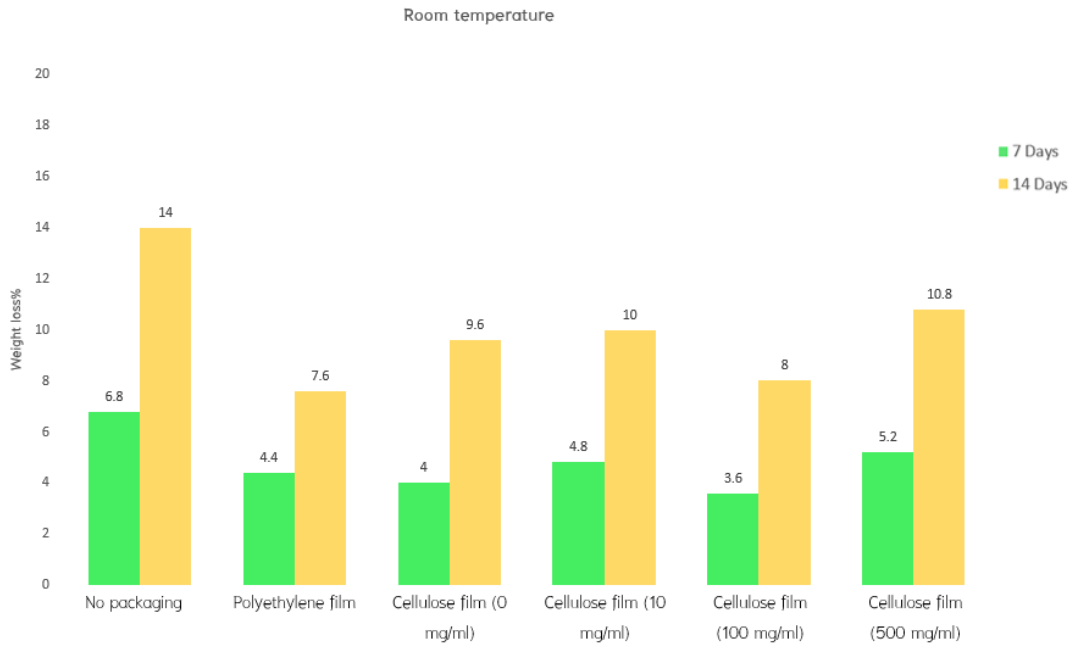
อัตราการติดเชื้อที่สูง มีลักษณะจุดราสีดำ และน้ำตาลบริเวณผิวของเปลือกกล้วย บางบริเวณเกิดการเน่า (ภาพ 45) ส่วนผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถชะลอการเกิดโรคต่อผลกล้วยได้ดีกว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงได้ดังภาพ 46

ภาพ 45 ลักษณะการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ของเปลือกกล้วย



ภาพ 46 ผลการทดสอบดัชนีโรคของผลกล้วยในอุณหภูมิห้อง

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องโดยชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลกล้วย วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลกล้วยไม่ห่อด้วยฟิล์ม ในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 6.8% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 14% ไม่มีไอน้ำเกาะอยู่บนผิวเปลือกกล้วย ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 4.4% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 7.6% เป็นสิ่งทดลองที่มีน้ำหนักลดลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ และบรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ที่ห่อผลกล้วยมีไอน้ำเกาะอยู่ข้างในเป็นจำนวนมากซึ่งตรงกับการทดสอบของผลมะม่วง ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 4% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 9.6% ซึ่งบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเซลลูโลสสิ่งทดลองนี้ไม่มีไอน้ำเกาะอยู่ ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 4.8% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 10% ซึ่งไม่มีไอน้ำเกาะอยู่ข้างใน ส่วนสิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 3.6% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 8% ซึ่งบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเซลลูโลสสิ่งทดลองนี้ไม่มีไอน้ำเกาะอยู่ และสิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 5.2% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 10.8% ซึ่งบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเซลลูโลสสิ่งทดลองนี้ไม่มีไอน้ำเกาะอยู่ จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีไอน้ำเกาะอยู่ภายในเป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้ผลกล้วยเกิดการบวมและเน่าเสีย ส่วนผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการชะลอการสุกและลดการติดเชื้อ เนื่องจากมีรูระบายไอน้ำซึ่งสามารถปลดปล่อยได้อย่างมีประสิทธิภาพและดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงได้ดังภาพ 47

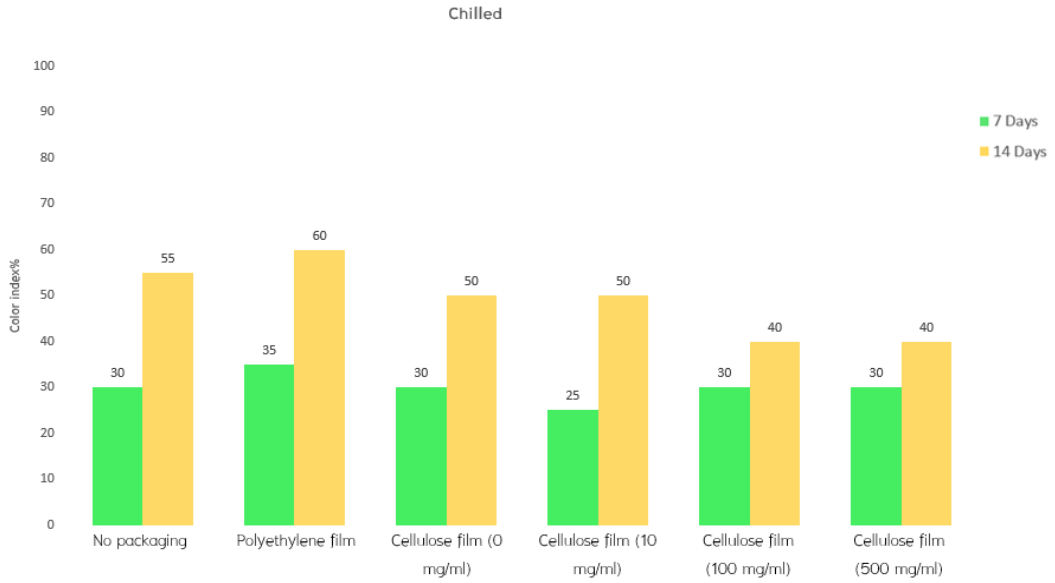


ภาพ 47 ผลการชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยในอุณหภูมิห้อง

5.4 ทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็น

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นโดยวัดดัชนีสี และดัชนีโรค บันทึกผลในวันที่ 7 และ14 คำนวณตามสูตรของ Gong et al., (1994) รวมถึงชั่งน้ำหนักที่หายไป วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าดัชนีสีของสิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลกล้วยไม่ห่อด้วยฟิล์ม ในวันที่ 7 ดัชนีสีเท่ากับ 30% และวันที่ 14 ดัชนีสีเท่ากับ 55% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีสีเหลืองบริเวณขั้วทั้งหมด 4 ผล สีเหลืองครึ่งผลอีก 1 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีสีเหลืองครึ่งผลทั้งหมด 4 ผล มีสีเหลืองเกือบหมดผลอีก 1 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ พบว่าในวันที่ 7 ดัชนีสีเท่ากับ 35% และวันที่ 14 ดัชนีสีเท่ากับ 60% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีสีเหลืองบริเวณขั้วของผลทั้งหมด 3 ผล มีสีเหลืองครึ่งผลอีก 2 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีสีเหลืองครึ่งผลทั้งหมด 3 ผล มีสีเหลืองเกือบหมดผลอีก 2 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด พบว่าในวันที่ 7 ดัชนีสีเท่ากับ 30% และวันที่ 14 ดัชนีสีเท่ากับ 50% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีสีเหลืองบริเวณขั้วทั้งหมด 4 ผล สีเหลืองครึ่งผลอีก 1 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีสีเหลืองครึ่งผลทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

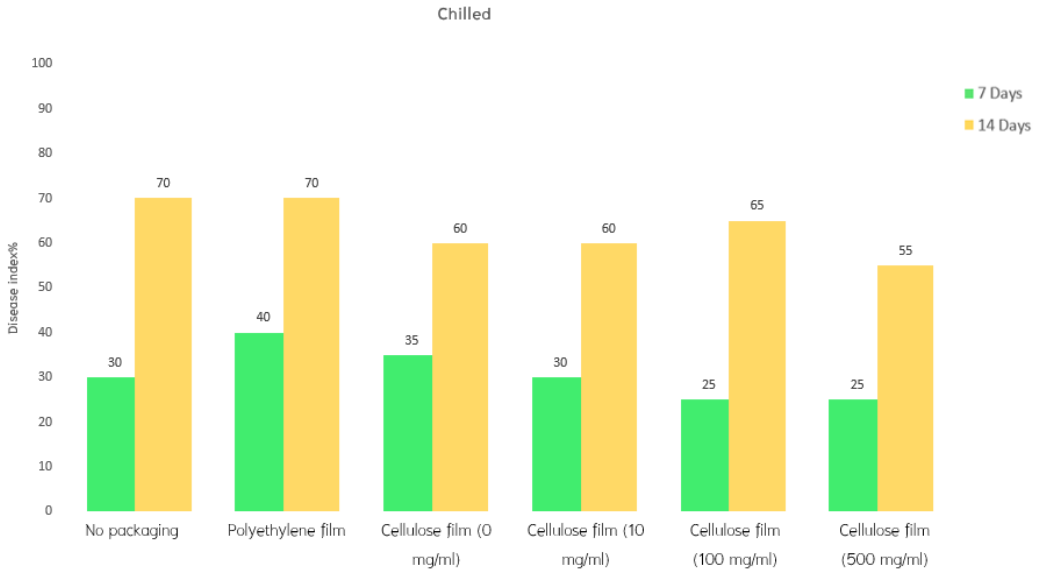
พบว่าในวันที่ 7 ดัชนีสีเท่ากับ 25% และวันที่ 14 ดัชนีสีเท่ากับ 50% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีสีเหลืองบริเวณขั้วของผลทั้งหมด 5 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีสีเหลืองครึ่งผลทั้งหมด 5 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีสีเท่ากับ 30% และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 40% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีสีเหลืองบริเวณขั้วทั้งหมด 4 ผล สีเหลืองครึ่งผลอีก 1 และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีสีเหลืองบริเวณขั้วทั้งหมด 2 ผล มีสีเหลืองครึ่งผลอีก 3 ผล และสิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีสีเท่ากับ 30% และวันที่ 14 มีดัชนีสีเท่ากับ 40% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีสีเหลืองบริเวณขั้วทั้งหมด 4 ผล สีเหลืองครึ่งผลอีก 1 และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีสีเหลืองบริเวณขั้วทั้งหมด 2 ผล มีสีเหลืองครึ่งผลอีก 3 ผล จากการทดสอบพบว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถชะลอการสุกของผลกล้วยได้ดีกว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และอุณหภูมิแช่เย็นยังสามารถช่วยชะลอการสุกของผลกล้วยเหมาะกับการเก็บถนอมรักษาในระยะยาว แสดงได้ดังภาพ 48



ภาพ 48 ผลการทดสอบดัชนีสีของผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็น

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นโดยวัดดัชนีโรค วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลกล้วยไม่ห่อด้วยฟิล์ม ในวันที่ 7 ดัชนีโรคเท่ากับ 30% และวันที่ 14 ดัชนีโรคเท่ากับ 70% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 4 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 1 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 1 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 4 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ พบว่าในวันที่ 7 ดัชนีโรคเท่ากับ 40% และวันที่ 14 ดัชนีโรคเท่ากับ 70% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 2 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 3 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 1 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 4 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 35% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 60% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 3 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 2 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 3 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 2 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 30% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 60% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 4 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% อีก 1 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 3 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 2 ผล ส่วนสิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 25% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 65% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 5 ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 2 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 3 ผล และสิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 มีดัชนีโรคเท่ากับ 25% และวันที่ 14 มีดัชนีโรคเท่ากับ 55% ซึ่งในวันที่ 7 ผลกล้วยมี ระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 1% ทั้งหมด 5

ผล และในวันที่ 14 ผลกล้วยมีระดับคะแนนเกิดโรคเน่าน้อยกว่า 20% ทั้งหมด 4 ผล มีระดับคะแนนเกิดโรคเน่ามากกว่า 20% แต่น้อยกว่า 50% อีก 1 ผล จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถชะลอการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ทำให้อัตราการเกิดโรคลดลงดีกว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สามารถแสดงได้ดังภาพ 49 และอุณหภูมิแช่เย็นสามารถช่วยชะลอการเกิดโรคของผลกล้วย แต่ข้อเสียเก็บไว้ในอุณหภูมิแช่เย็นเป็นระยะเวลานานจะทำให้เนื้อเยื่อของเปลือกผลกล้วยเกิดการช้ำเป็นปื้นสีน้ำตาลดังภาพ 50

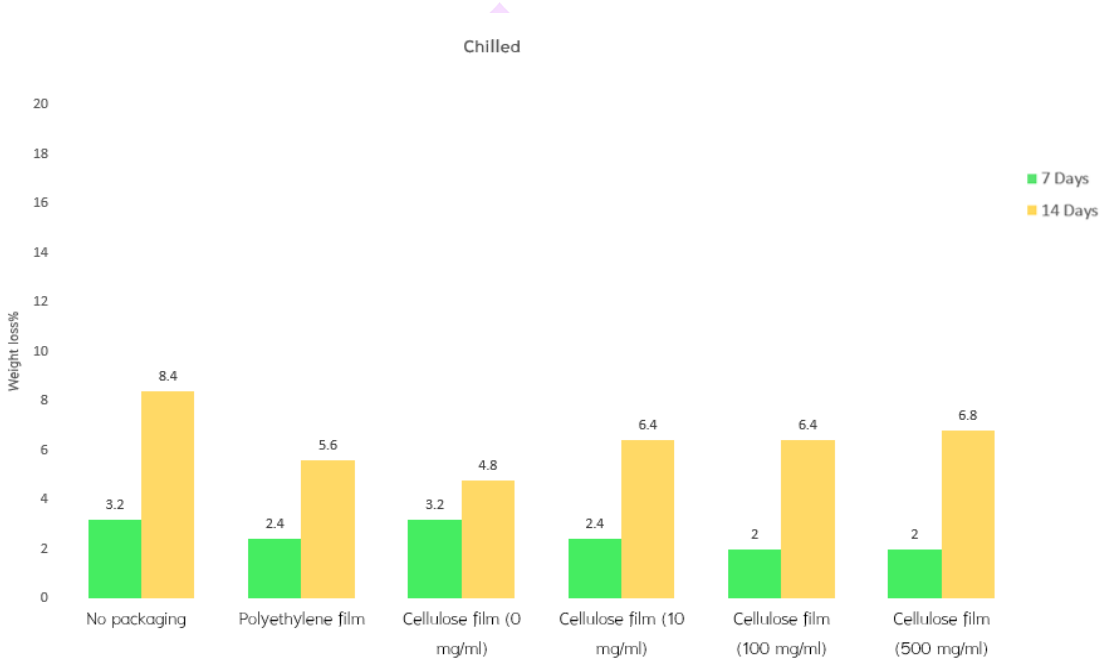


ภาพ 49 ผลการทดสอบดัชนีโรคของผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็น

ภาพ 50 เปลือกผลกล้วยเกิดการช้ำเป็นปื้นสีน้ำตาลและดำจากการแช่เย็น

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นโดยชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลกล้วย วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 คือ ผลกล้วยไม่ห่อด้วยฟิล์ม ในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 3.2% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 8.4% ไม่มีไอน้ำเกาะบนผิวเปลือกกล้วย ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 2.4% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 5.6% บรรจุภัณฑ์ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ที่ห่อผลกล้วยมีไอน้ำเกาะอยู่ภายในเป็นจำนวนมาก และมีน้ำหนักลดลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 3.2% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 4.8% ไม่มีไอน้ำเกาะอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 2.4% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 6.4% ไม่มีไอน้ำเกาะอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ ส่วนสิ่งทดลองที่ 5 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 2% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 6.4% ซึ่งบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเซลลูโลสสิ่งทดลองนี้ไม่มีไอน้ำเกาะอยู่ และสิ่งทดลองที่ 6 คือ ผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าในวันที่ 7 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 2% และวันที่ 14 น้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยเท่ากับ 6.8% ซึ่งบรรจุภัณฑ์ฟิล์มเซลลูโลสสิ่งทดลองนี้ไม่มีไอน้ำเกาะอยู่ และมีน้ำหนักของผลกล้วยที่หายไปมากกว่าสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10 และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการทดสอบพบว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีไอน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมากภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งทำให้ผลกล้วยมีอัตราการสุกที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเกิดโรคสูงจึงทำให้ผลกล้วยเกิดการเน่าเสียที่เร็วขึ้น ส่วนผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการชะลอการสุกและลดการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ เนื่องจากสามารถระบายไอน้ำได้เหมาะสม ดังนั้นฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบ

เปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถระบายไอน้ำในผลกล้วยได้ดีกว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงได้ดังภาพ 51

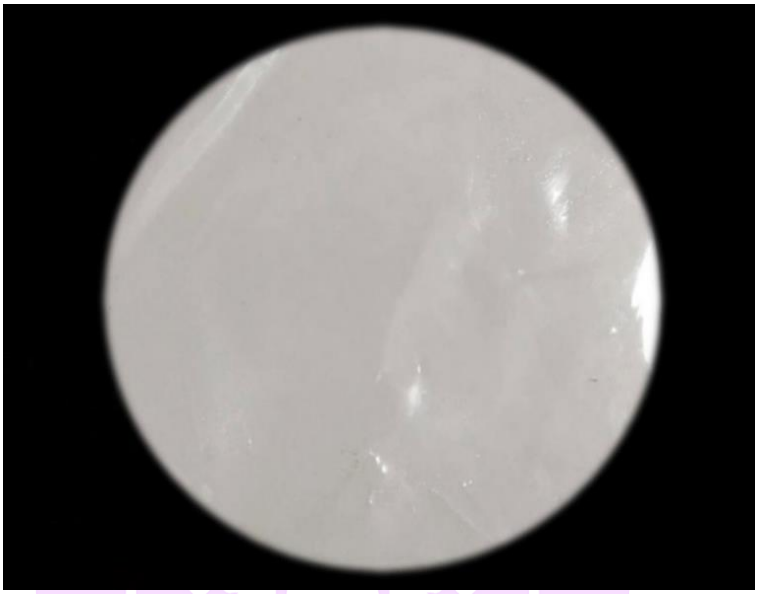


ภาพ 51 ผลการชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็น

6. ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

6.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากการย่อยสลายทางชีวภาพ

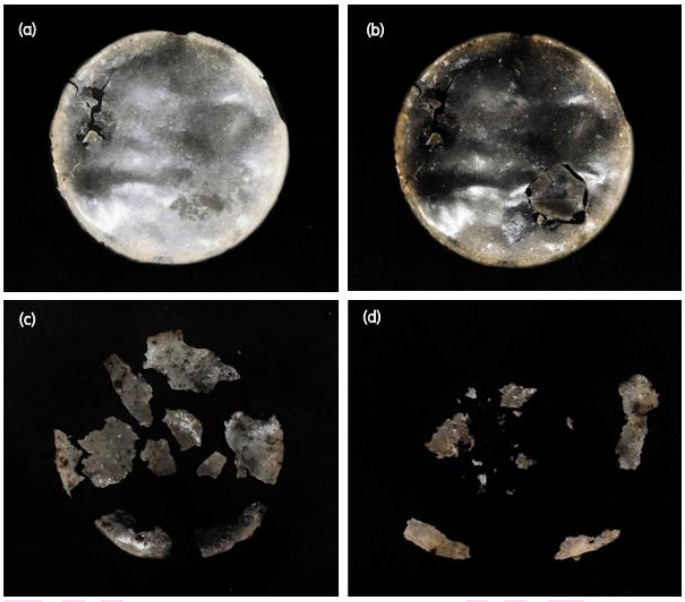
จากการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าโดยวิธีการฝังกลบ วางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ เก็บข้อมูลตัวอย่างทุก ๆ สัปดาห์ พบว่าสิ่งทดลองฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ซึ่งเป็นพลาสติกที่ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมา และเป็นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากวัตถุดิบแหล่งปิโตรเคมีเป็นหลัก จากการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ ภายใน 6 สัปดาห์ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ไม่เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ แผ่นฟิล์มมีลักษณะขาวใสไม่เกิดการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ และไม่มีรอยกัดแทะจากแมลงในดินแสดงได้ดังภาพ 52



ภาพ 52 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์จากการย่อยสลายทางชีวภาพ

สิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด จากการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่าบนผิวฟิล์มเริ่มเกิดการติดเชื้อจากจุลินทรีย์และแมลงกัดแทะในสัปดาห์ที่ 3 ซึ่งลักษณะทางกายภาพบนผิวฟิล์มมีจุดราสีดำ และสีน้ำตาลเล็กน้อย บริเวณขอบของฟิล์มมีลักษณะสีเหลืองอ่อนรวมถึงมีรอยกัดแทะจากแมลงรอบ ๆ บริเวณขอบฟิล์ม มีรอยแตกร้าวบนตัวฟิล์ม และฟิล์มมีลักษณะบางลงเล็กน้อยแสดงได้ดังภาพ 53(a) ในสัปดาห์ที่ 4 พบว่าฟิล์มมีลักษณะบางลง และเปลี่ยนสีอย่างเห็นได้ชัด บริเวณขอบของฟิล์มมีลักษณะสีเหลืองเข้ม และมีการติดเชื้อเพิ่มมากขึ้น รวมถึงบนผิวของฟิล์มมีรอยกัดแทะเป็นวงกว้างดังภาพ 53(b) ในสัปดาห์ที่ 5 พบว่าชิ้นส่วนของฟิล์มหายไปประมาณ 50% จากการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์และแมลงในดิน ซึ่งชิ้นส่วนที่เหลือมีจุดราสีดำและสีน้ำตาลเกิดขึ้นจำนวนมากแสดงดังภาพ 53(c) และในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าชิ้นส่วนของฟิล์มหายไปมากกว่า 80% ซึ่งชิ้นส่วนที่เหลือมีลักษณะแห้งสีน้ำตาลดังภาพ 53(d) จากการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดสามารถย่อยสลาย

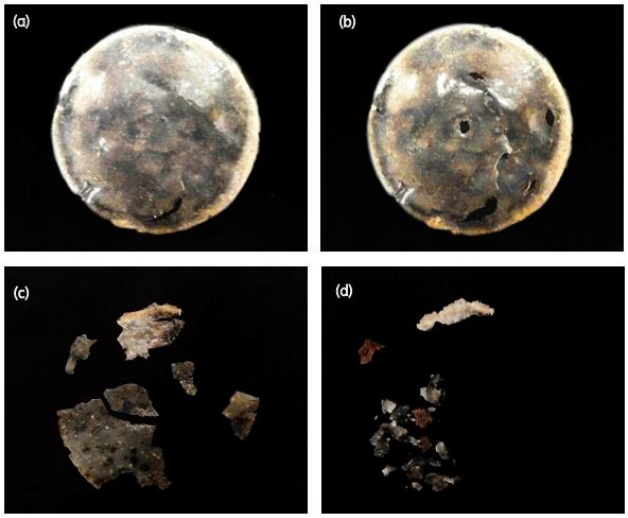
ได้ดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และสามารถย่อยสลายได้ดีภายใน 4 สัปดาห์



ภาพ 53 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดจากการย่อยสลายทางชีวภาพ (a) สัปดาห์ที่ 3 (b) สัปดาห์ที่ 4 (c) สัปดาห์ที่ 5 และ (d) สัปดาห์ที่ 6

สิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่าสัปดาห์ที่ 3 ฟิล์มเริ่มเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ บนผิวฟิล์มมีลักษณะเป็นจุดสีดำ ปื้นสีเหลือง และปื้นสีน้ำตาล รวมถึงบริเวณขอบฟิล์มมีลักษณะรอยกัดแทะและมีรอยแตกร้าวบนตัวฟิล์มเล็กน้อยแสดงได้ดังภาพ 54(a) ในสัปดาห์ที่ 4 พบว่าฟิล์มมีลักษณะเป็นปื้นสีน้ำตาล และจุดราสีดำจำนวนมาก ฟิล์มมีลักษณะบางลง และมีสีเข้มกว่าเดิม รวมถึงบนผิวฟิล์มมีรูทะลุและรอยแตกซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์และแมลงในดินแสดงได้ดังภาพ 54(b) ในสัปดาห์ที่ 5 พบว่าชิ้นส่วนของฟิล์มหายไปประมาณ 50% และชิ้นส่วนที่เหลือมีลักษณะจุดราสีดำและน้ำตาลจำนวนมาก รวมถึงลักษณะของชิ้นส่วนฟิล์มมีความบางและแห้ง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพ 54(c) และในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าชิ้นส่วนของฟิล์มหายไปมากกว่า 80% ซึ่งเศษชิ้นส่วนที่เหลือมี

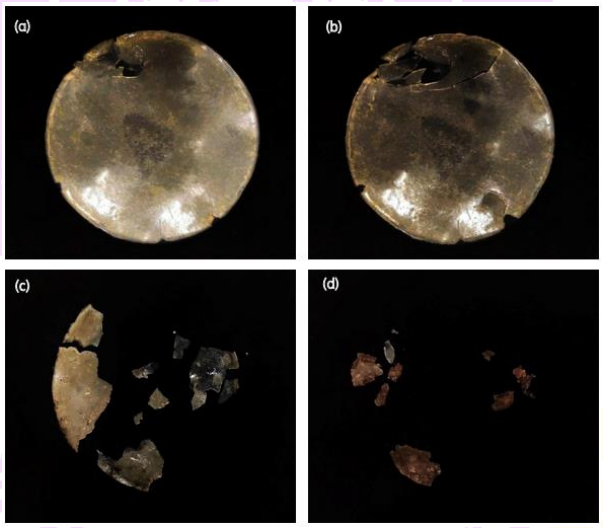
ลักษณะแห้งสีเหลืองอ่อนและน้ำตาลเข้มดังภาพ 54(d) จากการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถย่อยสลายได้ดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และสามารถย่อยสลายได้ดีภายใน 4 สัปดาห์



ภาพ 54 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการย่อยสลายทางชีวภาพ (a) สัปดาห์ที่ 3 (b) สัปดาห์ที่ 4 (c) สัปดาห์ที่ 5 และ (d) สัปดาห์ที่ 6

สิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งลักษณะฟิล์มก่อนนำไปทดสอบมีความโปร่งแสง ผิวเรียบ และมีสีเหลืองอ่อน จากการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่าสัปดาห์ที่ 3 ฟิล์มมีลักษณะบางลงและเริ่มเกิดการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ โดยมีลักษณะเป็นปื้นสีเหลืองและน้ำตาล ส่วนบริเวณขอบฟิล์มมีลักษณะรอยกัดแทะทรงบิ่น รวมถึงมีรอยแตกร้าวและรูทะลุบนตัวฟิล์มเป็นวงเล็กน้อย แสดงได้ดังภาพ 55(a) ในสัปดาห์ที่ 4 พบว่าฟิล์มมีลักษณะบางลงอย่างเห็นได้ชัดมีการติดเชื้อจากจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น บริเวณขอบฟิล์มมีลักษณะรอยกัดแทะและมีรอยแตกร้าว รวมถึงรูทะลุบนตัวฟิล์มเป็นวงกว้างมากขึ้นแสดงได้ดังภาพ 55(b) ในสัปดาห์ที่ 5 พบว่าชิ้นส่วนของฟิล์มหายไปมากกว่า 50% ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงการย่อยสลายทางชีวภาพได้อย่างมี

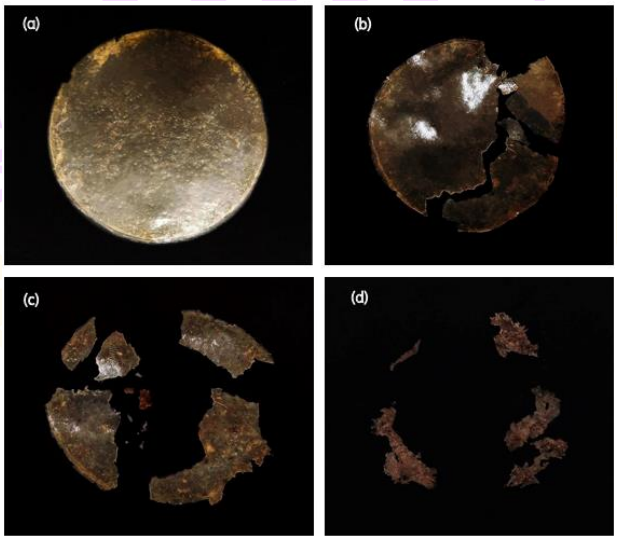
ประสิทธิภาพ ส่วนเศษชิ้นส่วนที่เหลือมีลักษณะจุดราสีดำและน้ำตาล รวมถึงลักษณะของชิ้นส่วนฟิล์มมีความบางมากและชิ้นส่วนฟิล์มมีลักษณะแห้งแสดงได้ดังภาพ 55(c) และในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าการย่อยสลายทางชีวภาพมีประสิทธิภาพเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีการย่อยสลายทำให้ชิ้นส่วนของฟิล์มหายไปมากกว่า 80% ซึ่งเศษชิ้นส่วนที่เหลือมีลักษณะเป็นชิ้นส่วนที่บางมากและชิ้นส่วนฟิล์มมีลักษณะแห้ง รวมถึงเศษชิ้นส่วนฟิล์มที่เหลือมีสีน้ำตาลเข้มดังภาพ 55(d) จากการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยวิธีการฝังกลบฟิล์มมีการย่อยสลายทางชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถย่อยสลายได้ดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รวมถึงยังสามารถย่อยสลายได้ดีภายใน 4 สัปดาห์



ภาพ 55 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการย่อยสลายทางชีวภาพ (a) สัปดาห์ที่ 3 (b) สัปดาห์ที่ 4 (c) สัปดาห์ที่ 5 และ (d) สัปดาห์ที่ 6

สิ่งทดลองที่ 5 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งลักษณะฟิล์มก่อนนำไปทดสอบมีความโปร่งแสง ผิวเรียบ และมีสีน้ำตาลอมแดง จากการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ พบว่าสัปดาห์ที่ 3 ฟิล์มเซลลูโลสเกิดการติดเชื้อจากจุลินทรีย์เล็กน้อย มีลักษณะเป็นปื้นสีเหลือง และน้ำตาล ส่วนบริเวณขอบฟิล์มมีลักษณะรอยกัดแทะ รวมถึงไม่มีรอยแตกร้าว และไม่มีรูทะลุบนตัวฟิล์มแสดงได้ดังภาพ 55(a)

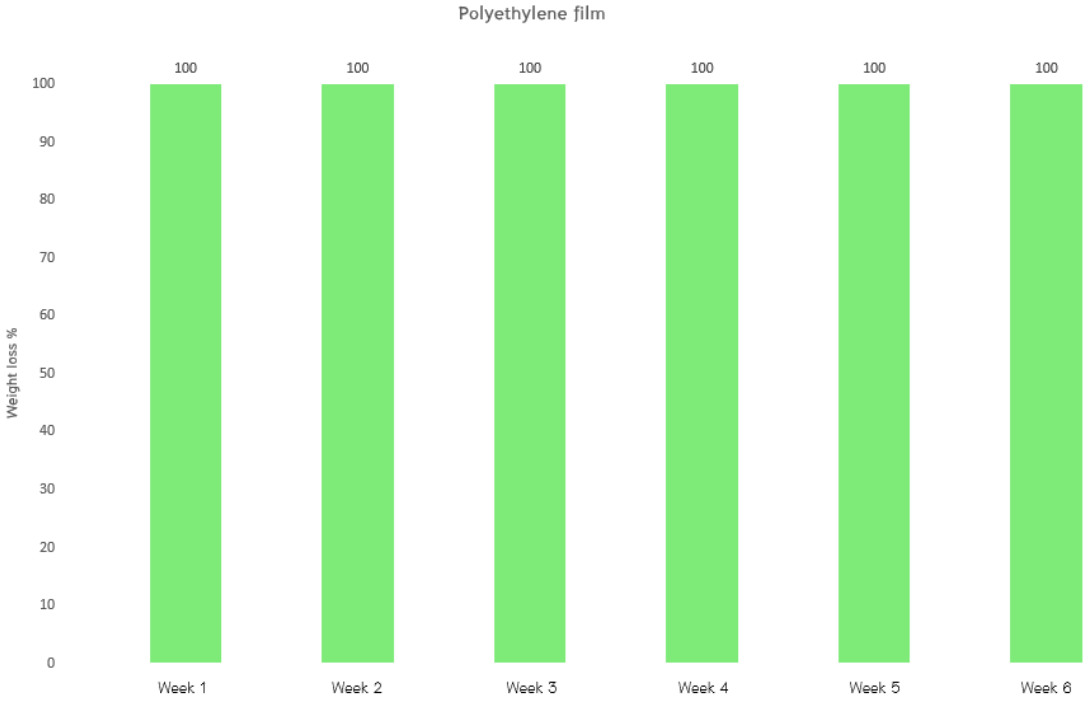
ในสัปดาห์ที่ 4 พบว่าฟิล์มมีลักษณะบางลงอย่างเห็นได้ชัด มีรอยกัดแทะจากแมลง และจุลินทรีย์เป็นวงกว้างแสดงได้ดังภาพ 55(b) ในสัปดาห์ที่ 5 พบว่าชิ้นส่วนของฟิล์มหายไปมากกว่า 50% ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงการย่อยสลายทางชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนเศษชิ้นส่วนที่เหลือมีลักษณะจุดราสีดำและน้ำตาล รวมถึงลักษณะของชิ้นส่วนฟิล์มมีความบางมากและชิ้นส่วนฟิล์มมีลักษณะแห้งแสดงได้ดังภาพ 55(c) และในสัปดาห์ที่ 6 พบว่าการย่อยสลายทางชีวภาพมีประสิทธิภาพเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีการย่อยสลายทำให้ชิ้นส่วนของฟิล์มหายไปมากกว่า 80% ซึ่งเศษชิ้นส่วนที่เหลือมีลักษณะเป็นชิ้นส่วนที่บางมาก และชิ้นส่วนฟิล์มมีลักษณะแห้ง รวมถึงเศษชิ้นส่วนฟิล์มที่เหลือมีสีน้ำตาลเข้มดังภาพ 55(d) จากการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยวิธีการฝังกลบฟิล์มมีการย่อยสลายทางชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถย่อยสลายได้ดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รวมถึงยังสามารถย่อยสลายได้ดีภายใน 4 สัปดาห์ ซึ่งการย่อยสลายที่มีประสิทธิภาพ จะเป็นแนวทางเลือกที่ดีในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคตต่อไป



ภาพ 56 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการย่อยสลายทางชีวภาพ (a) สัปดาห์ที่ 3 (b) สัปดาห์ที่ 4 (c) สัปดาห์ที่ 5 และ (d) สัปดาห์ที่ 6

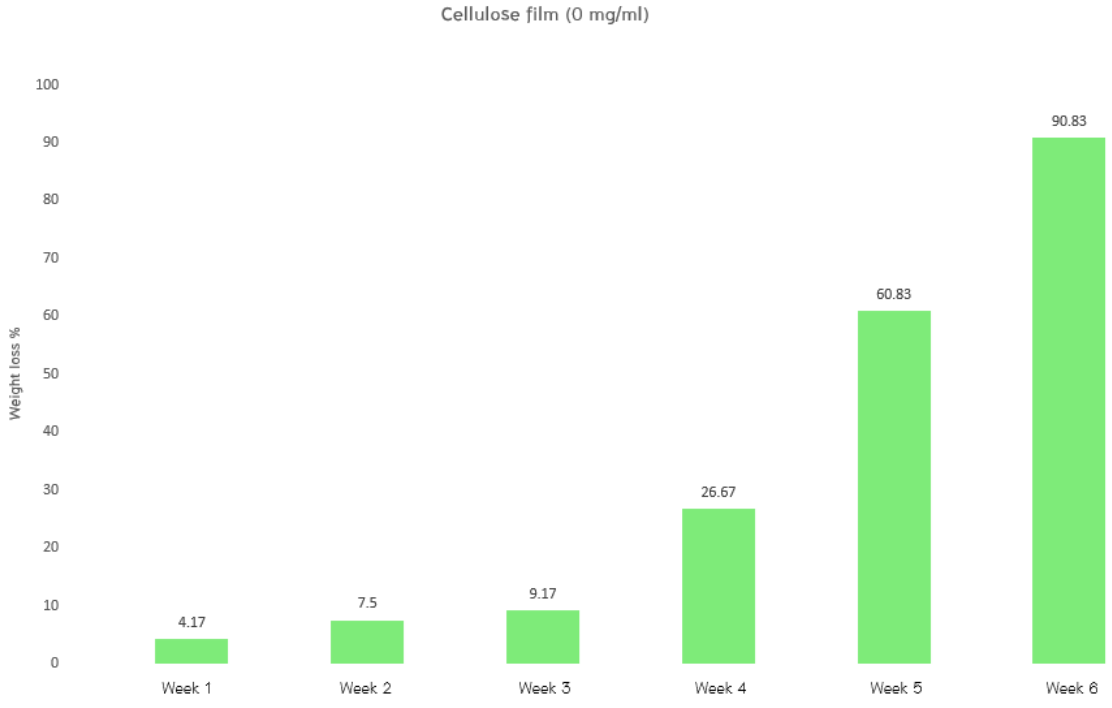
6.2 ศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มเซลลูโลสจากการย่อยสลายทางชีวภาพ

จากการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยวิธีการฝังกลบ และชั่งน้ำหนักทุก ๆ สัปดาห์ วางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่า สิ่งทดลองฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ จากการทดสอบสัปดาห์ที่ 1 น้ำหนักยังไม่หายไป เท่ากับ 100% สัปดาห์ที่ 2 ยังไม่เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ น้ำหนักเท่ากับ 100% สัปดาห์ที่ 3 ไม่เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ น้ำหนักเท่าเดิม 100% และสัปดาห์ที่ 4 ถึง 6 ยังไม่เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ น้ำหนักเท่ากับ 100% จะเห็นได้ว่าภายใน 6 สัปดาห์ ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ไม่เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ ชั่งน้ำหนักไม่หายไปแสดงได้ดังภาพ 57



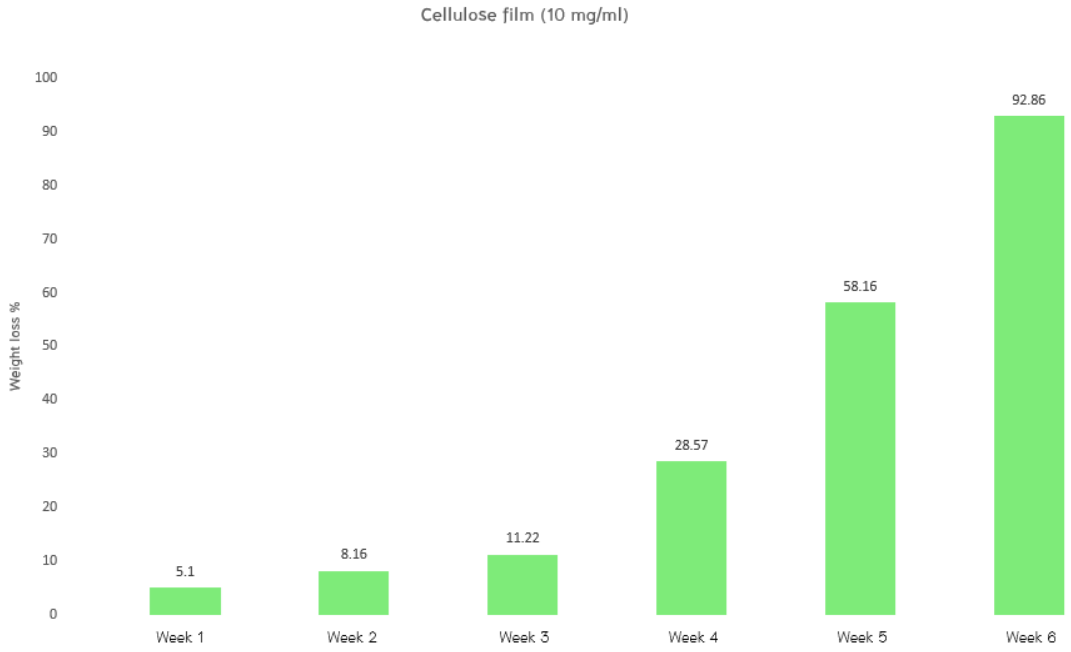
ภาพ 57 ผลการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ภายใน 6 สัปดาห์

สิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการทดสอบสัปดาห์ที่ 1 ฟิล์มมีลักษณะบางลงเล็กน้อย โดยน้ำหนักของฟิล์มที่หายไป เท่ากับ 4.17% ส่วนสัปดาห์ที่ 2 มีการย่อยสลายทางชีวภาพบริเวณขอบของฟิล์มเล็กน้อย ซึ่งน้ำหนักที่หายไป เท่ากับ 7.5% ส่วนสัปดาห์ที่ 3 เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้น ฟิล์มมีลักษณะที่บางลง และมีรอยแตกร้าวทะลุบนตัวฟิล์ม ซึ่งน้ำหนักที่หายไป เท่ากับ 9.17% ส่วนสัปดาห์ที่ 4 เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม ฟิล์มมีลักษณะบางลง และเปลี่ยนสีอย่างเห็นได้ชัด รวมถึงมีรอยแตกร้าวทะลุบนตัวฟิล์มมากขึ้น โดยน้ำหนักฟิล์มที่หายไป เท่ากับ 26.67% ซึ่งน้ำหนักหายไปถึง 3 เท่า ส่วนสัปดาห์ที่ 5 ชิ้นส่วนของฟิล์มเหลือประมาณ 50% จากการย่อยสลายทางชีวภาพของเชื้อจุลินทรีย์และแมลงในดิน ซึ่งน้ำหนักของชิ้นส่วนฟิล์มที่เหลือ เท่ากับ 60.83% และการทดสอบในสัปดาห์สุดท้าย สัปดาห์ที่ 6 ชิ้นส่วนของฟิล์มเหลือน้อยกว่า 20% มีลักษณะแห้ง ซึ่งน้ำหนักของชิ้นส่วนฟิล์มที่เหลือ เท่ากับ 90.83% แสดงได้ดังภาพ 58



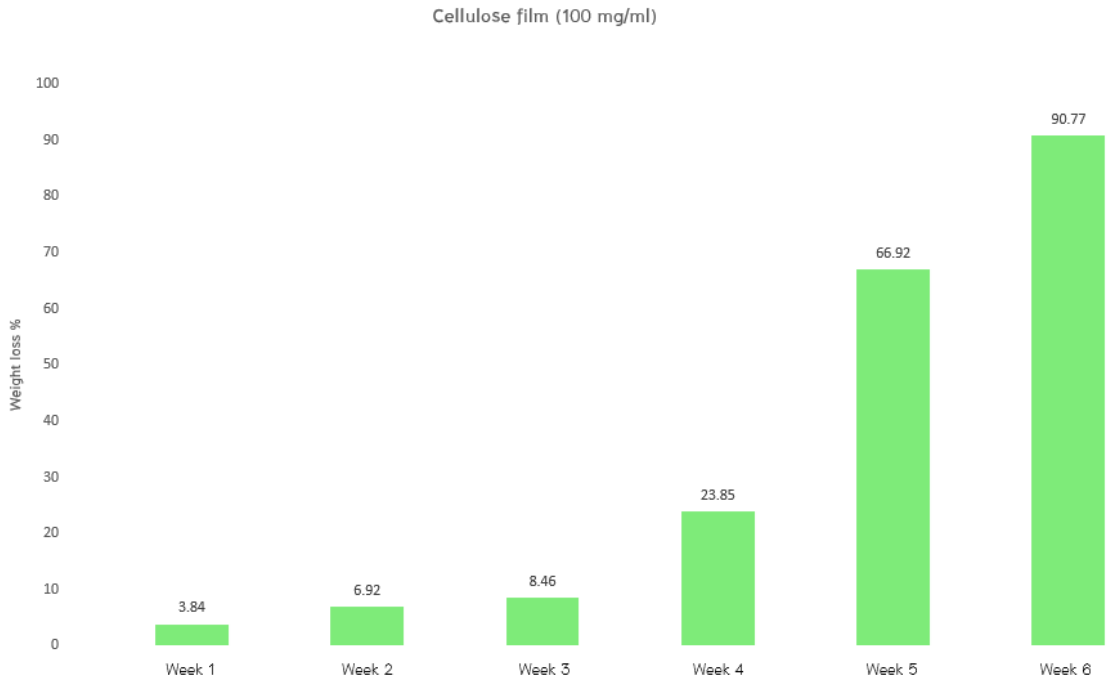
ภาพ 58 ผลการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ภายใน 6 สัปดาห์

สิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการทดสอบสัปดาห์ที่ 1 ฟิล์มมีลักษณะบางลงเล็กน้อย น้ำหนักของฟิล์มที่หายไป เท่ากับ 5.1% ส่วนสัปดาห์ที่ 2 ฟิล์มไม่มีรอยกัดแทะบริเวณขอบของฟิล์ม แต่ฟิล์มมีลักษณะบางลง โดยน้ำหนักที่หายไป เท่ากับ 8.16% ส่วนสัปดาห์ที่ 3 เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ ฟิล์มมีลักษณะบางลง และเปลี่ยนสีอย่างเห็นได้ชัด รวมถึงมีรอยแตกร้าวทะลุบนตัวฟิล์ม โดยน้ำหนักที่หายไป เท่ากับ 11.22% ส่วนสัปดาห์ที่ 4 เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มมากขึ้น ฟิล์มมีลักษณะบางลงมาก และมีรอยแตกร้าวทะลุบนตัวฟิล์มมากยิ่งขึ้น ซึ่งน้ำหนักฟิล์มที่หายไป เท่ากับ 28.57% ส่วนสัปดาห์ที่ 5 ชิ้นส่วนของฟิล์มหายไปประมาณ 50% และชิ้นส่วนที่เหลือมีลักษณะจุดราสีดำและน้ำตาลจำนวนมาก ซึ่งน้ำหนักของชิ้นส่วนฟิล์มที่เหลือเท่ากับ 58.16% และการทดสอบในสัปดาห์สุดท้าย สัปดาห์ที่ 6 ชิ้นส่วนของฟิล์มเหลือน้อยกว่า 20% มีลักษณะแห้ง ซึ่งน้ำหนักของชิ้นส่วนฟิล์มที่เหลือ เท่ากับ 92.86% แสดงได้ดังภาพ 59



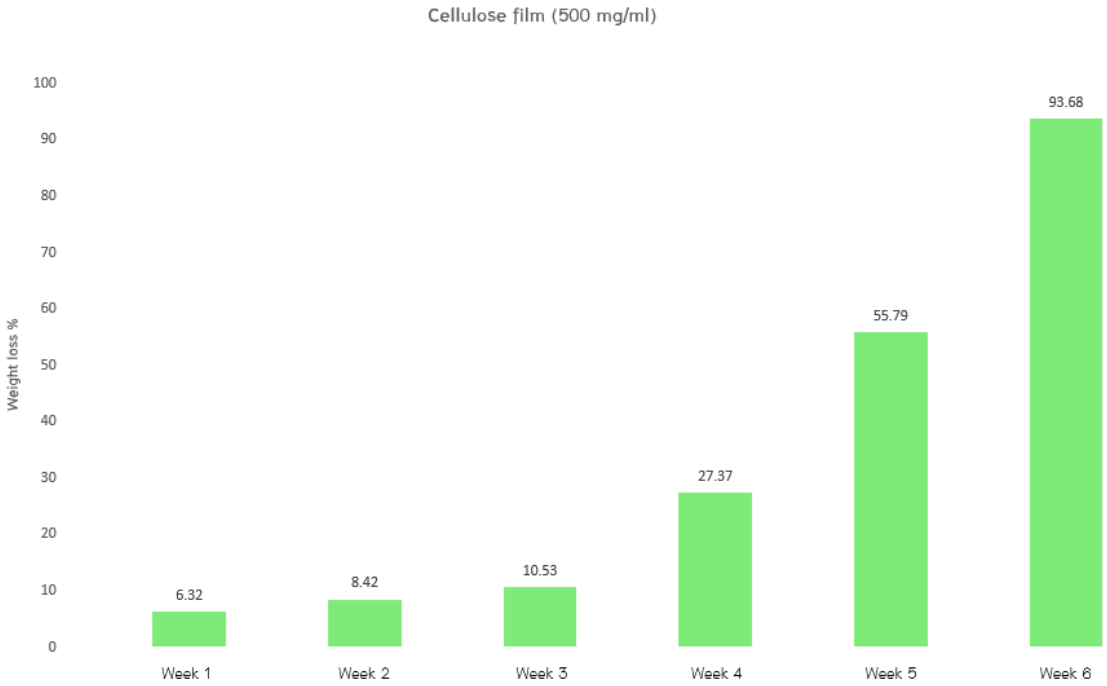
ภาพ 59 ผลการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ภายใน 6 สัปดาห์

สิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการทดสอบสัปดาห์ที่ 1 ฟิล์มมีลักษณะบางลงเล็กน้อย โดยน้ำหนักของฟิล์มที่หายไป เท่ากับ 3.84% ส่วนสัปดาห์ที่ 2 มีการย่อยสลายทางชีวภาพบริเวณขอบของฟิล์มเล็กน้อยและฟิล์มมีลักษณะบางลงเล็กน้อย ซึ่งน้ำหนักที่หายไป เท่ากับ 6.92% ส่วนสัปดาห์ที่ 3 เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้น ฟิล์มมีลักษณะบางลง และบริเวณขอบฟิล์มมีลักษณะรอยกัดแทะ รวมถึงมีรอยแตกร้าวทะลุบนตัวฟิล์มเล็กน้อย ซึ่งน้ำหนักที่หายไป เท่ากับ 8.46% ส่วนสัปดาห์ที่ 4 การติดเชื้อจากจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ฟิล์มมีรอยแตกร้าวทะลุบนตัวฟิล์ม และมีบริเวณขอบฟิล์มมีลักษณะรอยกัดแทะเพิ่มมากขึ้น โดยน้ำหนักฟิล์มที่หายไป เท่ากับ 23.85% ซึ่งน้ำหนักที่หายไปถึง 3 เท่า ส่วนสัปดาห์ที่ 5 ชิ้นส่วนของฟิล์มเหลือน้อยกว่า 50% ซึ่งน้ำหนักของชิ้นส่วนฟิล์มที่เหลือ เท่ากับ 66.92% และการทดสอบในสัปดาห์สุดท้าย สัปดาห์ที่ 6 ชิ้นส่วนของฟิล์มเหลือน้อยกว่า 20% มีลักษณะแห้งสีน้ำตาลเข้ม โดยน้ำหนักฟิล์มที่หายไป เท่ากับ 90.77% แสดงได้ดังภาพ 60



ภาพ 60 ผลการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ภายใน 6 สัปดาห์

สิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการทดสอบสัปดาห์ที่ 1 ฟิล์มมีลักษณะบางลงเล็กน้อย โดยน้ำหนักของฟิล์มที่หายไป เท่ากับ 6.32% ส่วนสัปดาห์ที่ 2 ไม่มีการย่อยสลายทางชีวภาพบริเวณขอบของฟิล์มและฟิล์มมีลักษณะบางลงเล็กน้อย ซึ่งน้ำหนักที่หายไป เท่ากับ 8.42% ส่วนสัปดาห์ที่ 3 เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพเพิ่มขึ้น ฟิล์มมีลักษณะบางลงมาก ส่วนบริเวณขอบฟิล์มมีลักษณะรอยกัดแทะ รวมถึงไม่มีรอยแตกร้าว และไม่มีรูทะลุบนตัว ซึ่งน้ำหนักที่หายไป เท่ากับ 10.53% ส่วนสัปดาห์ที่ 4 ฟิล์มมีลักษณะบางลงอย่างเห็นได้ชัด มีรอยแตกเป็นวงกว้าง โดยน้ำหนักฟิล์มที่หายไป เท่ากับ 27.37% ส่วนสัปดาห์ที่ 5 พบว่าชิ้นส่วนของฟิล์มเหลือน้อยกว่า 50% ชิ้นส่วนฟิล์มที่เหลือมีลักษณะแห้ง ซึ่งน้ำหนักของชิ้นส่วนฟิล์มที่เหลือ เท่ากับ 55.79% และการทดสอบในสัปดาห์สุดท้าย สัปดาห์ที่ 6 ชิ้นส่วนของฟิล์มเหลือน้อยกว่า 20% มีลักษณะแห้งสีน้ำตาลเข้ม โดยน้ำหนักฟิล์มที่หายไป เท่ากับ 93.68% แสดงได้ดังภาพ 61

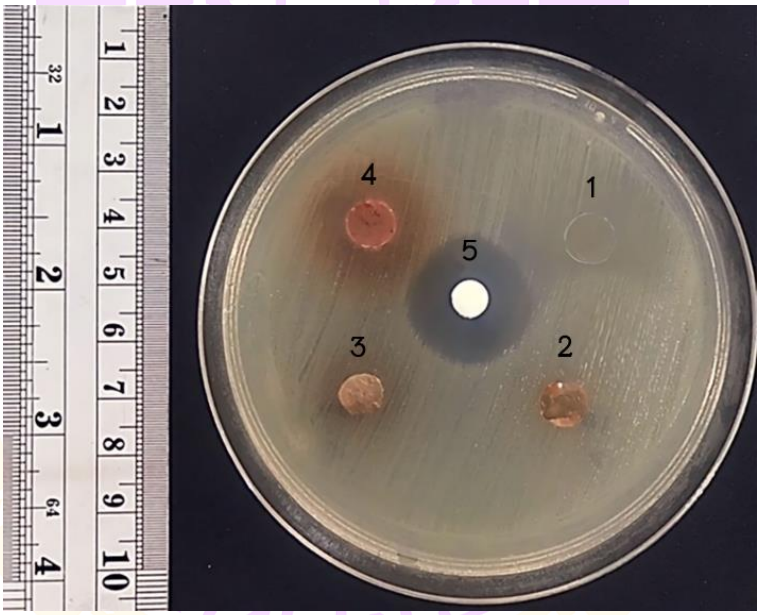


ภาพ 61 ผลการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ภายใน 6 สัปดาห์

7. การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้

7.1 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. coli*

จากการศึกษาการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. coli* พบว่าสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด และฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง และยาปฏิชีวนะ Gentamycin ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 22.3 ± 0.5 มิลลิเมตร ดังนั้นการทดสอบในครั้งนี้ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเชื้อ *E. coli* (ภาพ 62)(ตาราง 28)



ภาพ 62 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. coli* 1) ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 2) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 3) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 4) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

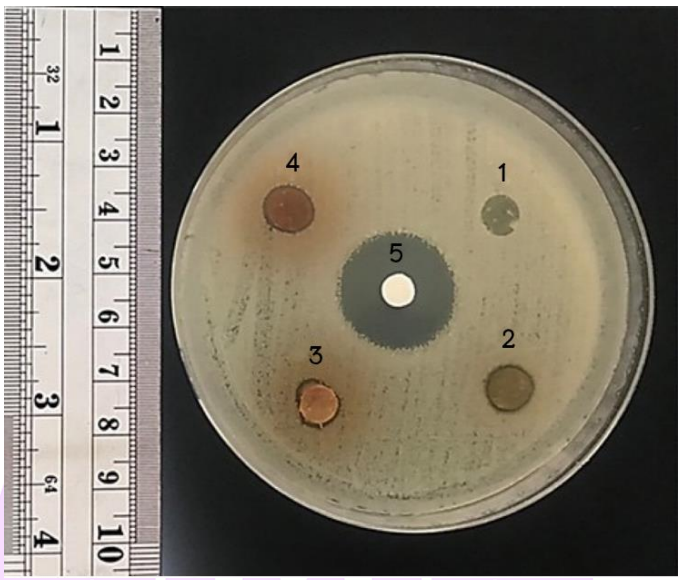
ตาราง 28 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. coli*

สิ่งทดลอง	เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง (มิลลิเมตร)^{ns}
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.0± 0.0
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.0± 0.0
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.0± 0.0
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.0± 0.0
Gentamycin (1 mg/ml)	22.3 ± 0.5

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD (n = 5); a, b, c ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's multiple – range test); ^{ns} = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

7.2 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B. cereus*

จากการศึกษาการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B. cereus* พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดไม่เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 5.1 ± 1.1 มิลลิเมตร ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 5.0 ± 0.7 มิลลิเมตร ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 7.7 ± 0.7 มิลลิเมตร และยาปฏิชีวนะ Gentamycin ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 23.0 ± 1.0 มิลลิเมตร ดังนั้นการทดสอบในครั้งนี้ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพ 63)(ตาราง 29)



ภาพ 63 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B. cereus* 1) ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 2) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 3) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 4) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

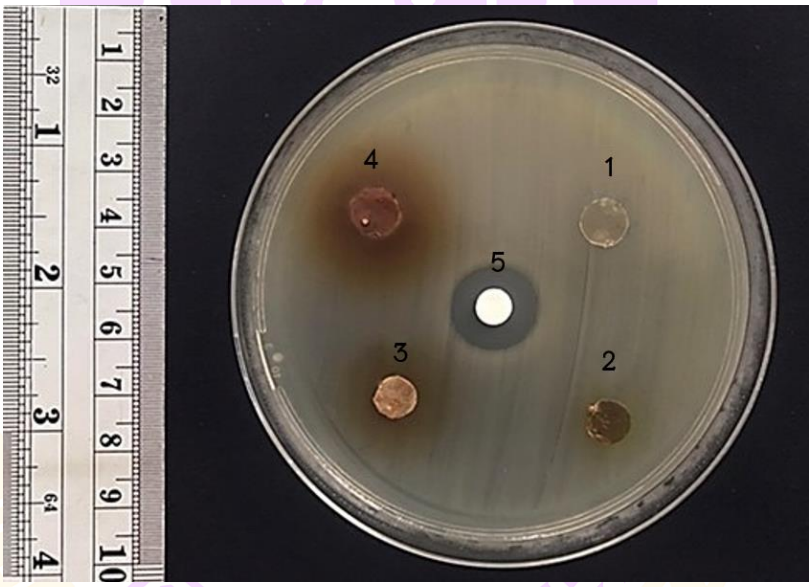
ตาราง 29 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B. cereus*

สิ่งทดลอง	เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง (มิลลิเมตร)*
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.0 ± 0.0^{c}
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	5.1 ± 1.1^{b}
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	5.0 ± 0.7^{b}
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	7.7 ± 0.7^{a}
Gentamycin (1 mg/ml)	23.0 ± 1.0

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD (n = 5); a, b, c ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's multiple – range test); * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

7.3 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa*

จากการศึกษาการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa* พบว่าสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด และฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทดสอบกับ *P. aeruginosa* ไม่เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง และยาปฏิชีวนะ Gentamycin ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 18.67 ± 1.6 มิลลิเมตร ซึ่งการทดสอบในครั้งนี้ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa* (ภาพ 64)(ตาราง 30)



ภาพ 64 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa* 1) ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 2) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 3) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 4) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

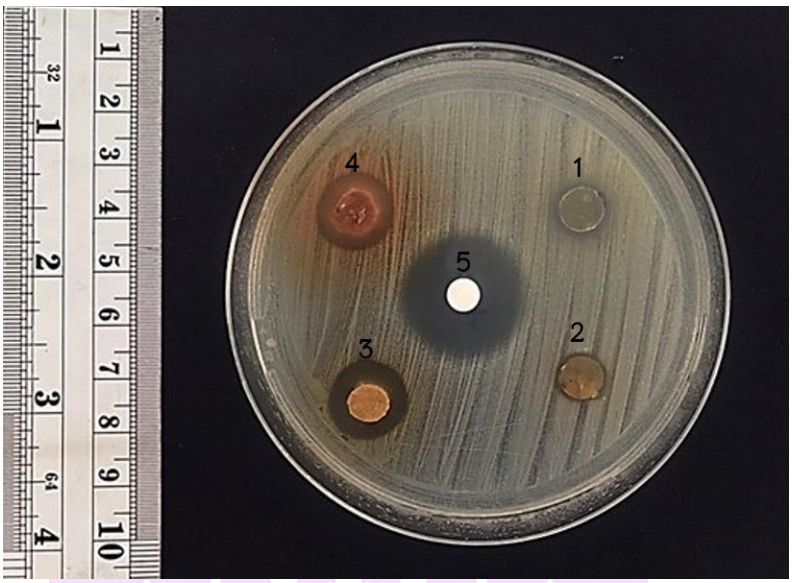
ตาราง 30 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa*

สิ่งทดลอง	เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง (มิลลิเมตร)^{ns}
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.0± 0.0
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.0± 0.0
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.0± 0.0
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.0± 0.0
Gentamycin (1 mg/ml)	18.67 ± 1.6

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD (n = 5); a, b, c ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's multiple – range test); ^{ns} = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

7.4 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. aureus*

จากการศึกษาการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. aureus* พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดไม่เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 9.7 ± 0.6 มิลลิเมตร ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 16.7 ± 2.1 มิลลิเมตร ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 16.0 ± 3.0 มิลลิเมตร และยาปฏิชีวนะ Gentamycin ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 23.0 ± 1.0 มิลลิเมตร ดังนั้นการทดสอบในครั้งนี้ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพ 65) (ตาราง 31)



ภาพ 65 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ S. aureus 1) ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 2) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 3) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 4) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

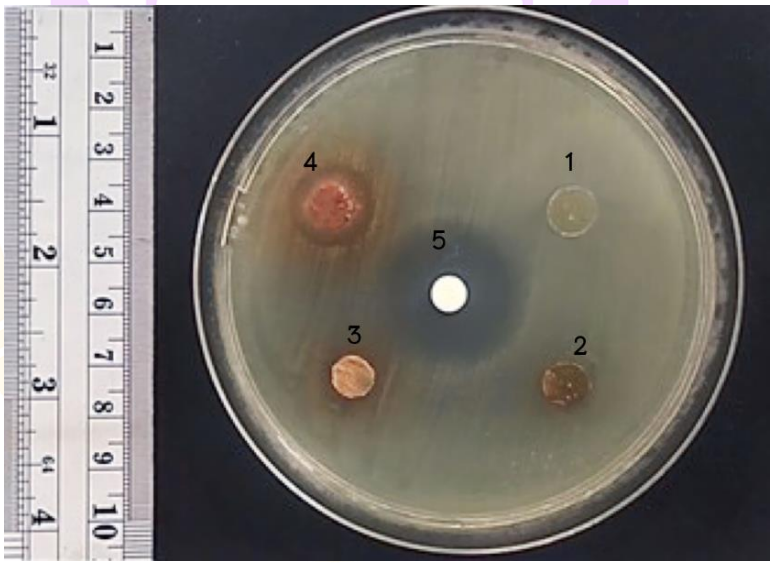
ตาราง 31 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. aureus*

สิ่งทดลอง	เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง (มิลลิเมตร)*
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.0 ± 0.0^{c}
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	9.7 ± 0.6^{b}
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	16.7 ± 2.1^{a}
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	16.0 ± 3.0^{a}
Gentamycin (1 mg/ml)	23.0 ± 1.0

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD (n = 5); a, b, c ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's multiple – range test); * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

7.5 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. typhimurium*

จากการศึกษาการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. typhimurium* พบว่าสิ่งทดลองที่ 1 คือ ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดไม่เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง ส่วนสิ่งทดลองที่ 2 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง ส่วนสิ่งทดลองที่ 3 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง ส่วนสิ่งทดลองที่ 4 คือ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 7.5 ± 0.4 มิลลิเมตร และยาปฏิชีวนะ Gentamycin ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 22.0 ± 1.7 มิลลิเมตร ซึ่งการทดสอบในครั้งนี้ ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพ 66)(ตาราง 32)



ภาพ 66 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. typhimurium* 1) ฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 2) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 3) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 4) ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 32 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. typhimurium*

สิ่งทดลอง	เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง (มิลลิเมตร)*
0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.0± 0.0[b]
10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.0 ± 0.0[b]
100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	0.0 ± 0.0[b]
500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	7.5 ± 0.4[a]
Gentamycin (1 mg/ml)	22.0 ± 1.7

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD (n = 5); a, b, c ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's multiple – range test); * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 5

บทสรุป

1. สรุปผลการวิจัย

1.1 กระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด

1.1.1 การหาปริมาณผลผลิตร้อยละของสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด

จากกระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดโดยใช้เทคนิคการหมักแช่ ผงสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ได้มีลักษณะเป็นผงจับกันเป็นก้อน มีสีน้ำตาลแดง และเปลือกมังคุดบดแห้งน้ำหนัก 4 กิโลกรัม สามารถสกัดสารสำคัญออกมาได้ 555.77 กรัม และสามารถคำนวณหาปริมาณผลผลิตร้อยละของสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดเท่ากับ 13.89%

1.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนจากสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

จากการทำกราฟมาตรฐานสารละลายแซนโทนโดยใช้เทคนิคการใช้เครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ความยาวคลื่น 243 นาโนเมตร ใช้ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ผลปรากฏว่าสมการการถดถอยเชิงเส้นของสารละลายมาตรฐานแซนโทน เท่ากับ $y = 0.0715x + 0.1049$ และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9876

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนจากสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดโดยใช้เทคนิคการใช้เครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ความยาวคลื่น 243 นาโนเมตร ผลปรากฏว่าสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีปริมาณสารแซนโทนเท่ากับ 0.135 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

1.2 กระบวนการสกัดเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

1.2.1 การหาปริมาณผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

จากกระบวนการสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าโดยใช้ขั้นตอนการกำจัดลิกนิน (Soest and Wine, 1967) และผ่านการฟอกสี ซึ่งสารสกัดเซลลูโลสที่ได้มีลักษณะเป็นสีขาว โดยเส้นใยเซลลูโลส 100 กรัม เมื่อผ่านขั้นตอนการกำจัดลิกนินและการฟอกสี จะเหลือสารสกัดเซลลูโลสบริสุทธิ์เท่ากับ 47.33 กรัม ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสได้เท่ากับ 47.33% และการสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโดยการเปลี่ยนหมู่ของโครงสร้างเซลลูโลสให้สามารถละลายน้ำได้ พบว่าลักษณะของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ได้ มีลักษณะสีขาว และจับกันเป็นก้อน โดยสารสกัดเซลลูโลสบริสุทธิ์ 10 กรัม สามารถสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้นมาเท่ากับ 14.71 กรัม ซึ่งสามารถคำนวณหาร้อยละการได้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกลับคืนเท่ากับ 67.98%

1.2.2 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

จากศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ากำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสบางส่วนแยกเป็นเส้นเดี่ยว ลักษณะพื้นผิวลายขรุขระ และมีรอยฉีกขาดจากการบดเชิงกล รวมถึงเส้นใหญ่บางส่วนยังมีลักษณะสัณฐานวิทยาที่มัดรวมกันเป็นแผ่น ซึ่งการรวมตัวกันเป็นมัดบ่งบอกว่าเส้นใยเซลลูโลสของลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้ามีความแข็งแรง และทนทานสูง โดยเส้นใยเซลลูโลสลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 6.10 ถึง 12.20 ไมโครเมตร และจากศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า พบว่ากำลังขยาย 500 ไมโครเมตร ลักษณะทางสัณฐานวิทยาคาร์บอกซีเมทิลของเซลลูโลส บางเส้นใยมีลักษณะเป็นท่อนสั้น ๆ บางส่วนมีขนาดเป็นเส้นใยยาว และโค้งงอ รวมถึงมีลักษณะรูปร่างกลมและมีพื้นผิวที่ขรุขระ เมื่อเพิ่มกำลังขยาย 300 ไมโครเมตร พบว่าสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน มีลักษณะเป็นท่อนสั้น ลักษณะเส้นใยยาว และรูปร่างกลม รวมถึงมีแผ่นเศษเล็ก ๆ

กระจัดกระจายเต็มทั่วบริเวณ และกำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีความหนา จับตัวเป็นก้อน พื้นผิวขรุขระอย่างชัดเจน

1.3 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

1.3.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดมีลักษณะทางกายภาพที่โปร่งแสง พื้นผิวที่เรียบ และสีของฟิล์มขาวใส ส่วนฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีลักษณะโปร่งแสง พื้นผิวที่เรียบ และฟิล์มมีสีขาวอมเหลือง ส่วนฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีลักษณะโปร่งแสง พื้นผิวที่เรียบ และฟิล์มมีสีเหลืองอ่อน และส่วนฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีลักษณะโปร่งแสง พื้นผิวที่เรียบ และฟิล์มมีสีน้ำตาลอ่อน

1.3.2 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

จากศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ฟิล์มมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบกว่าตัวอย่างอื่น มีรูพรุน และไม่มีผลึกของสารสกัดเปลือกมังคุด ส่วนฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ฟิล์มมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระเล็กน้อย มีรูพรุน และมีผลึกของสารสกัดเปลือกมังคุดเล็กน้อย ส่วนฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กำลังขยาย 100

ไมโครเมตร ฟิล์มมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีรูพรุนจำนวนมาก และมีผลึกของสารสกัดเปลือกมังคุดจำนวนมาก และฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ฟิล์มมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระมาก มีรูพรุนจำนวนมาก และมีผลึกของสารสกัดเปลือกมังคุดจำนวนมาก

1.4 ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลส

1.4.1 ทดสอบความหนาของฟิล์มเซลลูโลส

จากการทดสอบความหนาของฟิล์มเซลลูโลสโดยใช้ไมโครมิเตอร์ในการวัด เฉลี่ย 5 จุดต่อแผ่น ซึ่งมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าสิ่งทดลองฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ และสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยความหนาเท่ากับ 24.16 ± 0.31, 23.74 ± 0.63, 23.30 ± 0.40, 23.66 ± 0.37 และ 23.81 ± 0.21 ไมโครเมตร ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

14.2 การทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด

จากการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด โดยทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ซึ่งมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยค่าแรงดึงเท่ากับ 0.24 ± 0.03 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าแรงดึงน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ และจะเห็นได้ว่าผลค่าแรงดึงของฟิล์มเซลลูโลสจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดเพิ่มขึ้น ส่วนการทดสอบหาค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด พบว่าสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดเท่ากับ 191.95 ± 3.19% ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ และจะเห็นได้ว่าผลของค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์มเซลลูโลสจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดเพิ่มขึ้น

1.4.3 การทดสอบคุณสมบัติอัตราการส่งผ่านไอน้ำ

จากการทดสอบคุณสมบัติอัตราการส่งผ่านไอน้ำโดยใช้ใช้วิธี sheet – cup method ซึ่งมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าผลอัตราการส่งผ่านไอน้ำของสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยอัตราการส่งผ่านไอน้ำเท่ากับ 1,522.96 ± 46.29, 1,531.43 ± 31.89, 1,587.84 ± 33.08 และ 1,635.83 ± 42.79 g/ (m^2.24h) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ และมีอัตราการส่งผ่านไอน้ำที่ดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.4.4 การทดสอบคุณสมบัติอัตราการซึมผ่านของก๊าซ

จากการทดสอบคุณสมบัติอัตราการซึมผ่านของก๊าซวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าผลอัตราการซึมผ่านของก๊าซในสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยอัตราการซึมผ่านของก๊าซเท่ากับ 11,698.37 ± 1,758.69, 12,465.53 ± 1,573.39, 11,610.75 ± 1,232.94 และ 11,932.54 ± 1,098.79 g/ (m^2.24h) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ และมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซที่ดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.5 การเก็บถนอมรักษาผลมะม่วงกับกล้วยด้วยฟิล์มเซลลูโลส

1.5.1 ทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้อง

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องโดยวัดดัชนีสีดัชนีโรค และชั่งน้ำหนักที่หายไป บันทึกผลในวันที่ 7 และ14 วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าดัชนีสีของฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถชะลอการสุกได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนดัชนีโรคพบว่าฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถลด

การเกิดโรคจากการติดเชื้อ และสามารถชะลอการเน่าเสียของผลมะม่วงได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการทดสอบการชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงพบว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีไอน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมากในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งส่งผลต่อผลมะม่วงทำให้มีอัตราการสุกที่สูงและเกิดการติดเชื้อได้ง่ายจึงทำให้ผลมะม่วงเกิดการเน่าเสียที่เร็วขึ้น ส่วนผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการชะลอการสุกและลดการติดเชื้อ เนื่องจากสามารถระบายไอน้ำได้เหมาะสม ดังนั้นฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถระบายไอน้ำในผลมะม่วงได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.5.2 ทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็น

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องโดยวัดดัชนีสีดัชนีโรค และชั่งน้ำหนักที่หายไป บันทึกผลในวันที่ 7 และ14 วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าดัชนีสีของผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้น ณ อุณหภูมิแช่เย็น สามารถชะลอการสุกของผลมะม่วงได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอุณหภูมิแช่เย็นยังสามารถช่วยชะลอการสุกของผลมะม่วง ส่วนดัชนีโรคพบว่าฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถลดการเกิดโรคจากการติดเชื้อ และสามารถชะลอการเน่าเสียของผลมะม่วงได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอุณหภูมิแช่เย็นยังสามารถช่วยชะลอการเกิดโรคของผลมะม่วงมีจุดด่างลดลง และการทดสอบการชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลมะม่วงพบว่าฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถระบายไอน้ำในผลมะม่วงได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.5.3 ทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้อง

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องโดยวัดดัชนีสี ดัชนีโรค และชั่งน้ำหนักที่หายไป บันทึกผลในวันที่ 7 และ14 วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าดัชนีสีของผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าสามารถชะลอการสุกของผลกล้วยได้ดีกว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนดัชนีโรคของผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถชะลอการเกิดโรคต่อผลกล้วยได้ดีกว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการทดสอบการชั่งน้ำหนักที่หายไปของผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการชะลอการสุกและลดการติดเชื้อ เนื่องจากมีรูระบายไอน้ำซึ่งสามารถปลดปล่อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.5.4 ทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็น

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นโดยวัดดัชนีสี ดัชนีโรค และชั่งน้ำหนักที่หายไป บันทึกผลในวันที่ 7 และ14 วางแผนการทดลองแบบ CRD 6 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าดัชนีสีของผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถชะลอการสุกของผลกล้วยได้ดีกว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอุณหภูมิแช่เย็นยังสามารถช่วยชะลอการสุกของผลกล้วยเหมาะกับการเก็บถนอมรักษาในระยะยาว ส่วนดัชนีโรคของฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถชะลอการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ ทำให้อัตราการเกิดโรคลดลงดีกว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอุณหภูมิแช่เย็นสามารถช่วยชะลอการเกิดโรคของผลกล้วย และการทดสอบการชั่งน้ำหนักที่หายไปพบว่าฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถระบายไอน้ำในผลกล้วยได้ดีกว่าผลกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.6 ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

1.6.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากการย่อยสลายทางชีวภาพ

จากการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าโดยวิธีการฝังกลบ วางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ เก็บข้อมูลตัวอย่างทุก ๆ สัปดาห์ พบว่าฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถย่อยสลายได้ดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และสามารถย่อยสลายได้ดีภายใน 6 สัปดาห์

1.6.2 ศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มเซลลูโลสจากการย่อยสลายทางชีวภาพ

จากการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยวิธีการฝังกลบ และชั่งน้ำหนักทุก ๆ สัปดาห์ พบว่าสัปดาห์แรกฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดแต่ละความเข้มข้นน้ำหนักไม่หายไปจากเดิมมาก แต่ในสัปดาห์ที่ 2 ถึง สัปดาห์ที่ 6 น้ำหนักหายไปประมาณ 8, 10, 27, 60, 92% ตามลำดับ หลังจากการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพโดยวิธีการฝังกลบในดินเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดแต่ละความเข้มข้นมีน้ำหนักคงเหลือประมาณ 8%

1.7 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้

1.7.1 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. coli*

จากการศึกษาการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. coli* ด้วยวิธี Agar disc diffusion ในการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง โดยทดสอบด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเชื้อ

1.7.2 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B. cereus*

จากการศึกษาการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B. cereus* ด้วยวิธี Agar disc diffusion ในการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง โดยทำการทดสอบด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 7.7 ± 0.7 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.7.3 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa*

จากการศึกษาการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa* ด้วยวิธี Agar disc diffusion ในการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง โดยทดสอบด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเชื้อ

1.7.4 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. aureus*

จากการศึกษาการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ด้วยวิธี Agar disc diffusion ในการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง โดยทดสอบด้วยฟิล์ม

เซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 16.7 ± 2.1 และ 16.0 ± 3.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่สูงกว่าฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0 และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.7.5 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *Salmonella typhimurium*

จากการศึกษาการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *S. typhimurium*ด้วยวิธี Agar disc diffusion ในการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง โดยทดสอบด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง เท่ากับ 7.5 ± 0.4 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. อภิปรายผลการวิจัย

2.1 กระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด

2.1.1 การหาปริมาณผลผลิตร้อยละของสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด

จากกระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดโดยใช้เทคนิคการหมักแช่ ด้วยเอทานอล 95% พบว่าผงสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ได้มีลักษณะเป็นผงจับกันเป็นก้อน มีสีน้ำตาลแดง โดยเปลือกมังคุดบดแห้งน้ำหนัก 4 กิโลกรัม สามารถสกัดสารสำคัญออกมาได้ 555.77 กรัม สามารถคำนวณหาปริมาณผลผลิตร้อยละของสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดเท่ากับ 13.89% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุกัญญา มูณี (2021) พบว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดคิดเป็นร้อยละ 15.27 ของน้ำหนักเปลือกมังคุดที่สกัดออกมา

2.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนจากสารสกัดเปลือกมังคุด

จากการทำกราฟมาตรฐานสารละลายแซนโทนโดยใช้เทคนิคการใช้เครื่องสเปกโตโฟโตมิเตอร์ความยาวคลื่น 243 นาโนเมตร ใช้ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ผลปรากฏว่าสมการการถดถอยเชิงเส้นของสารละลายมาตรฐานแซนโทน เท่ากับ y = 0.0715x + 0.1049 และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9876 และการวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนจากสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ผลปรากฏว่าสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีปริมาณสารแซนโทน เท่ากับ 0.135 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aisha et al., (2013) ได้ศึกษาการหาปริมาณสารแซนโทนในสารสกัดจากเปลือกมังคุดด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) สเปกโตรโฟโตเมตรี พบว่าที่ความยาวคลื่น 243 นาโนเมตร ปริมาณสารแซนโทนในสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด เท่ากับ 0.124 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2.2 กระบวนการสกัดเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

2.2.1 การหาปริมาณผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

จากกระบวนการสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าโดยใช้ขั้นตอนการกำจัดลิกนิน (Soest and Wine, 1967) และผ่านการฟอกสี พบว่าสารสกัดเซลลูโลสที่ได้มีลักษณะเป็นสีขาว สามารถคำนวณหาปริมาณผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสได้เท่ากับ 47.33% ของน้ำหนักเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าที่สกัดออกมา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ai et al., (2021) พบว่าเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดลิกนินสามารถได้สารสกัดเซลลูโลสสีขาวบริสุทธิ์คิดเป็นร้อยละ 48 ของน้ำหนักเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยที่สกัดออกมา และการสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยการเปลี่ยนหมู่ของโครงสร้างอนุพันธ์เซลลูโลสให้สามารถละลายน้ำได้ พบว่าลักษณะของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ได้มีลักษณะสีขาวและจับกันเป็นก้อน โดยสารสกัดเซลลูโลสบริสุทธิ์ 10 กรัม สามารถสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้นมาเท่ากับ 14.71 กรัม ซึ่งสามารถคำนวณร้อยละการได้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกลับคืนเท่ากับ 67.98% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ

กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ และวิทวัส จิรัฐพงศ์ (2554) พบว่าสามารถสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสได้ 6.0446 กรัม จากการใช้สารสกัดเซลลูโลส 4.5012 กรัม โดยคำนวณหาปริมาณผลผลิตร้อยละที่ได้กลับคืนเท่ากับ 74.43% การที่ได้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากเซลลูโลสมีการผ่านกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างหมู่ของเซลลูโลสโดยใช้สารละลายกรดคลอโรอะซิติกในการเปลี่ยนหมู่หมู่คาร์บอนิลซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ ให้เป็นหมู่คาร์บอกซีเมทิลซึ่งสามารถละลายน้ำได้ จึงเกิดการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิลบนสายอนุพันธ์ของเซลลูโลสทำให้มวลน้ำหนักของโมเลกุลเพิ่มขึ้น (สุจัยพรรณ เข็มแก้ว และสุปราณี แก้วภิรมย์, 2016)

2.2.2 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

จากศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสบางส่วนแยกเป็นเส้นเดี่ยว ลักษณะพื้นผิวลายขรุขระ และมีรอยฉีกขาดจากการบดเชิงกล รวมถึงยังพบเซลลูโลสที่มีขนาดเส้นใหญ่มัดรวมกันเป็นแผ่น โดยขนาดเส้นใยเซลลูโลสลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าที่สกัดได้อยู่ในระดับไมโคร ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 6.10 ถึง 12.20 ไมโครเมตร ขนาดของเซลลูโลสมีความสำคัญมากในการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ เนื่องจากขนาดบ่งบอกถึงความแข็งแรง และความทนทานของผลิตภัณฑ์ในแต่ละด้าน ถ้าหากเส้นใยเซลลูโลสมีความยาวในระดับนาโนเมตร สามารถสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทนความร้อนได้ดี และสามารถสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ที่เสริมแรง ซึ่งจะใช้เส้นใยเซลลูโลสขนาดความยาว 218 ± 56 นาโนเมตร (Espino et al., 2014) ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวกับวิศวกรรมเนื้อเยื่อ และด้านชีวการแพทย์จะใช้เส้นใยเซลลูโลสขนาดความหนา 12.67 ถึง 15.58 นาโนเมตร (Ko et al., 2018) และเส้นใยเซลลูโลสมีความยาวและความหนาในระดับไมโครที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 7.82 ไมโครเมตร สามารถสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความทนทาน อย่างเช่น ฟิล์มชีวภาพได้ (กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ และวิทวัส จิรัฐพงศ์, 2554) ดังนั้นขนาดของเส้นใยเซลลูโลสมีความสำคัญในการนำไปประยุกต์ใช้งานที่ไม่เหมือนกัน และมีผลต่อการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

จากศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส จากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า พบว่ากำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีความหนา จับตัวเป็นก้อน พื้นผิวขรุขระอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ และวิทวัส จิรัฐพงศ์ (2554) ที่ได้ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากธูปฤาษีในดินเค็ม พบว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีลักษณะเป็นแผ่นหนา ผิวขรุขระ เนื่องจากเซลลูโลสมีการผ่านกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างหมู่ของเซลลูโลสโดยใช้สารละลายกรดคลอโรอะซิติกในการเปลี่ยนหมู่คาร์บอนิลซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ ให้เป็นหมู่คาร์บอกซีเมทิลซึ่งสามารถละลายน้ำได้ ลักษณะผิวที่มีความขรุขระเช่นนี้ คือ ลักษณะของการแทนที่หมู่คาร์บอนิลบนสายเซลลูโลส ถ้าหากมีการแทนที่น้อยหรือผิวขรุขระน้อย ความสามารถในการละลายน้ำก็จะน้อย แต่ถ้าหากมีการแทนที่มากหรือผิวขรุขระมาก ความสามารถในการละลายน้ำและอัตราการซึมผ่านของไอน้ำก็จะสูง

2.3 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

2.3.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าฟิล์มมีลักษณะขาวใส ขาวอมเหลือง เหลืองอมน้ำตาล และสีน้ำตาลอมแดง ตามลำดับ ฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้นยังมีลักษณะทางกายภาพที่เหมือนกัน คือ ความโปร่งแสง และพื้นผิวที่เรียบเนียน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ai et al., (2021) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วย พบว่าฟิล์มเซลลูโลสที่ผ่านการกระบวนการสังเคราะห์ด้วยความร้อนอุณภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทำให้ฟิล์มมีลักษณะโปร่งแสงและพื้นผิวที่เรียบ

2.3.2 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

จากศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ฟิล์มมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบกว่าตัวอย่างอื่น มีรูพรุน และไม่มีผลึกของสารสกัดเปลือกมังคุด ส่วนฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ฟิล์มมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระเล็กน้อย มีรูพรุน และมีผลึกของสารสกัดเปลือกมังคุดเล็กน้อย ส่วนฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ฟิล์มมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ มีรูพรุนจำนวนมาก และมีผลึกของสารสกัดเปลือกมังคุดจำนวนมาก และฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ฟิล์มมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระมาก มีรูพรุนจำนวนมาก และมีผลึกของสารสกัดเปลือกมังคุดจำนวนมาก จะเห็นได้ว่าเมื่อสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดมีความเข้มข้นมากขึ้นลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มมีความขรุขระมากขึ้น มีรูระบายอากาศเพิ่มมากขึ้น และยังมีผลึกของสารสกัดเปลือกมังคุดที่จับตัวกันเป็นบางบริเวณ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นิรมล ปัญญ์บุศยกุล (2562) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาฟิล์มผสมสารสกัดจากเปลือกสับปะรดต้านจุลินทรีย์ เมื่อเพิ่มสารสกัดจากเปลือกสับปะรดเข้าไปในฟิล์มจะทำให้สารสกัดเข้าไปแทนที่ และแยกโครงสร้างร่างแหของเซลลูโลสออก จึงทำให้โมเลกุลของเซลลูโลสจับกันหลวมมากขึ้น ดังนั้นฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้นสูง จึงมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาพื้นผิวที่ขรุขระมากและมีรูระบายอากาศที่สูง

2.4 ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลส

2.4.1 ทดสอบความหนาของฟิล์มเซลลูโลส

จากการทดสอบความหนาของฟิล์มเซลลูโลสโดยใช้ไมโครมิเตอร์ในการวัด เฉลี่ย 5 จุดต่อแผ่น ซึ่งมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ

พบว่าสิ่งทดลองฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ และสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยความหนาเท่ากับ 24.16 ± 0.31, 23.74 ± 0.63, 23.30 ± 0.40, 23.66 ± 0.37 และ 23.81 ± 0.21 ไมโครเมตร ตามลำดับ โดยมีความหนาอยู่ระหว่าง 23.30–23.81 ไมโครเมตร ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากในการทดลองขึ้นรูปฟิล์มมีการควบคุมปริมาณของสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้นให้มีปริมาณที่เท่ากัน และขนาดพื้นที่ของแม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปฟิล์มก็เท่ากัน จึงทำให้ความหนาของฟิล์มเซลลูโลสในสิ่งทดลองต่าง ๆ มีความหนาที่ไม่แตกต่างกัน

2.4.2 การทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด

จากการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด โดยทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ซึ่งมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยค่าแรงดึงเท่ากับ 0.24 ± 0.03 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าแรงดึงน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด พบว่าสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดเท่ากับ 191.95 ± 3.19% ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น ๆ จะเห็นได้ว่าผลค่าแรงดึงและผลของค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์มเซลลูโลสจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นิรมล ปัญญ์บุศยกุล (2562) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาฟิล์มผสมสารสกัดจากเปลือกสับปะรดต้านจุลินทรีย์ ซึ่งฟิล์มผสมสารสกัดจากเปลือกสับปะรดที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 1.5, 2.0 และ 5.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ผลปรากฏว่าค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด ของฟิล์มที่มีสารสกัดจากเปลือกสับปะรดมีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดเข้าไปในฟิล์มเซลลูโลส จะทำให้โครงสร้างร่างแหของเซลลูโลสหลวมมากขึ้นและช่องว่างระหว่างโมเลกุลลดลง จึงทำให้ฟิล์มเซลลูโลสมีความแข็งแรงต่อแรงดึงและการยืดตัวลดลง

2.4.3 การทดสอบคุณสมบัติอัตราการส่งผ่านไอน้ำ

จากการทดสอบคุณสมบัติอัตราการส่งผ่านไอน้ำโดยใช้ใช้วิธี sheet – cup method ซึ่งมีการวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าผลอัตราการส่งผ่านไอน้ำของสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยอัตราการส่งผ่านไอน้ำเท่ากับ 1,522.96 ± 46.29, 1,531.43 ± 31.89, 1,587.84 ± 33.08 และ 1,635.83 ± 42.79 g/ (m^2.24h) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ และดีกว่าฟิล์มฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งอัตราการส่งผ่านไอน้ำที่ดีจะสามารถปลดปล่อยความชื้นได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ai et al., (2021) ที่ศึกษาฟิล์มเซลลูโลสที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากลำต้นเทียมกล้วยโดยใช้ของเหลวไอออนิกในการบำบัด เพื่อถนอมรักษาผลมะม่วง พบว่าฟิล์มเซลลูโลสมีอัตราการส่งผ่านไอน้ำอยู่ระหว่าง 1,765.9–1969.1 g/ (m^2.24h) ซึ่งสูงกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากโครงสร้างของฟิล์มเซลลูโลสมีรูระบายอากาศ สามารถระบายความชื้นได้ดี และฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์เป็นพอลิเมอร์ที่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่ต่ำจึงทำให้มีการแพร่กระจายความชื้นไม่ดี

2.4.4 การทดสอบคุณสมบัติอัตราการซึมผ่านของก๊าซ

จากการทดสอบคุณสมบัติอัตราการซึมผ่านของก๊าซวางแผนการทดลองแบบ CRD 5 สิ่งทดลอง จำนวน 5 ซ้ำ พบว่าผลอัตราการซึมผ่านของก๊าซในสิ่งทดลองฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเฉลี่ยอัตราการซึมผ่านของก๊าซเท่ากับ 11,698.37 ± 1,758.69, 12,465.53 ± 1,573.39, 11,610.75 ± 1,232.94 และ 11,932.54 ± 1,098.79 g/ (m^2.24h) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ และดีกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งอัตราการซึมผ่านของก๊าซที่สูงจะสามารถปลดปล่อยเอทิลีนได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ai et al., (2021) ที่ศึกษาฟิล์มเซลลูโลสที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากลำต้นเทียมกล้วยโดยใช้ของเหลวไอออนิกในการบำบัด เพื่อถนอมรักษาผลมะม่วง พบว่าฟิล์มเซลลูโลสมีอัตราการซึมผ่านของก๊าซเท่ากับ 9,325.8–10,015.4 g/ (m^2.24h) ซึ่งสูงกว่าฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากโครงสร้างของฟิล์มเซลลูโลสมีรูพรุน

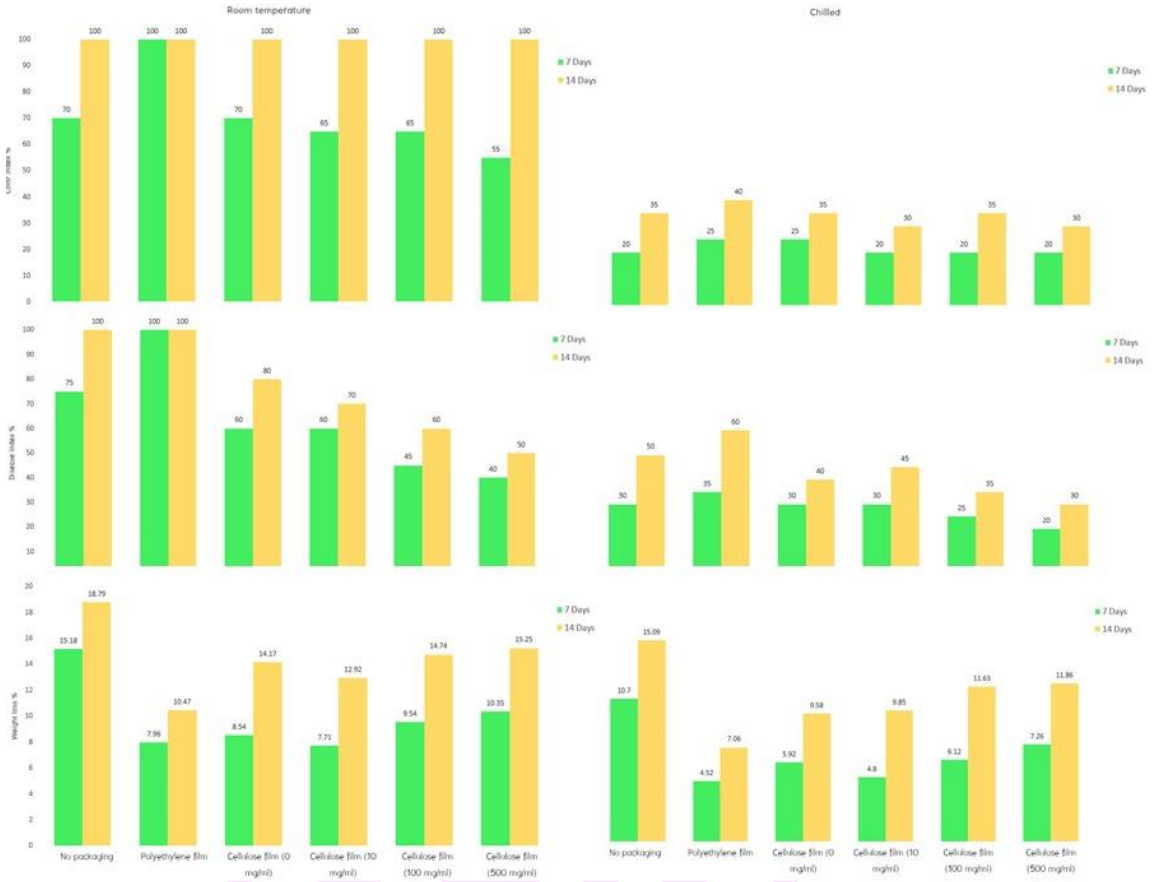
เล็ก ๆ ที่สามารถระบายอากาศและแก๊สต่าง ๆ ได้ดีมาก จึงสามารถปลดปล่อยแก๊สเอทิลีนซึ่งเป็นฮอร์โมนเกี่ยวกับการสุกทำให้สามารถชะลอการสุกของผลไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5 การเก็บถนอมรักษาผลมะม่วงกับกล้วยด้วยฟิล์มเซลลูโลส

2.5.1 ทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องและแช่เย็น

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องและแช่เย็น โดยวัดดัชนีสี ดัชนีโรค และชั่งน้ำหนักที่หายไป ผลปรากฏว่าในอุณหภูมิห้องมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ มีดัชนีสีของเปลือกสูงกว่ามะม่วงที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์ม และห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถึง 100% ที่อายุ 7 และ 14 วัน และในอุณหภูมิแช่เย็นมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีดัชนีสีของเปลือกสูงกว่ามะม่วงที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์ม และห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถึง 25% ที่อายุ 7 วัน และ 40% ที่อายุ 14 วัน เมื่อใช้ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดในแต่ละความเข้มข้นห่อมะม่วงดัชนีสีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีดัชนีสีของเปลือกดีที่สุด ถึง 55% ที่อายุ 7 วัน ในอุณหภูมิห้อง และ 20% ที่อายุ 7 วัน ในอุณหภูมิแช่เย็น ซึ่งสามารถชะลอการสุกของผลมะม่วงได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากฟิล์มเซลลูโลสมีรูที่สามารถระบายเอทิลีนและ CO_2 ได้ดีมาก จึงสามารถทำให้มะม่วงสีเปลี่ยนช้าลง จากงานวิจัยของ Zong (2007) ได้กล่าวไว้ว่า ความเข้มข้นของ CO_2 ที่สูงกว่า 8% และความเข้มข้นของ O_2 น้อยกว่า 2% สีของเปลือกผลไม้จะเปลี่ยนสีไปจากเดิม ส่วนดัชนีโรคในอุณหภูมิห้องมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีดัชนีโรคสูงกว่ามะม่วงที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์ม และห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถึง 100% ที่อายุ 7 และ 14 วัน และในอุณหภูมิแช่เย็นมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีดัชนีโรคสูงกว่ามะม่วงที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์ม และห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถึง 35% ที่อายุ 7 วัน และ 60% ที่อายุ 14 วัน เมื่อใช้ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือก

มังคุดที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ห่อผลมะม่วงทั้งอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น ดัชนีโรคลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อก่อโรคในผลไม้ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pedraza-Chaverri et al., (2008) ที่กล่าวไว้ว่าสารสกัดเปลือกมังคุดมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เรียกว่าแซนโทนซึ่งสามารถยับยั้งเชื้อราได้หลายชนิด เช่น *Rhizupus* sp., *Alternaria solani*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium* sp. และ *Fusarium roseum* เปนตน ซึ่งเป็นเชื้อราก่อโรคในผลไม้ ทำให้ผลไม้เกิดจุดสีดำ และเน่าเสียง่าย และการทดสอบน้ำหนักที่หายไปพบว่าน้ำหนักของมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ทั้งในอุณหภูมิห้องและแช่เย็นลดลงช้าที่สุด เนื่องจากฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์เป็นพอลิเมอร์ที่มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่ต่ำจึงทำให้มีการแพร่กระจายความชื้นไม่ดี ซึ่งสอดคล้องกับ Aharoni et al., (2007) ที่กล่าวไว้ว่าหากมีการแพร่ความชื้นไม่ดีหรือเกิดการควบแน่นของน้ำมากเกินไปที่บนผิวของผลไม้จากการห่อบรรจุภัณฑ์ อาจทำให้ผลไม้เกิดการเน่าเสียได้ง่ายขึ้น ส่วนผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถเป็นบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการชะลอการสุกและลดการติดเชื้อ เนื่องจากสามารถระบายไอน้ำได้ดี ดังนั้นฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถระบายไอน้ำในผลมะม่วงได้ดีกว่าผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้อุณหภูมิแช่เย็นสามารถชะลอการสุก ลดการติดเชื้อ และการระเหยของไอน้ำลดลงได้ดีกว่าอุณหภูมิห้อง ซึ่งตรงกับ Coates and Johnson (1997) ที่กล่าวไว้ว่าอุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมสามารถยับยั้งกระบวนการหายใจระดับเซลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถชะลอการสุกของผลไม้และลดการเกิดโรค (ภาพ 67)

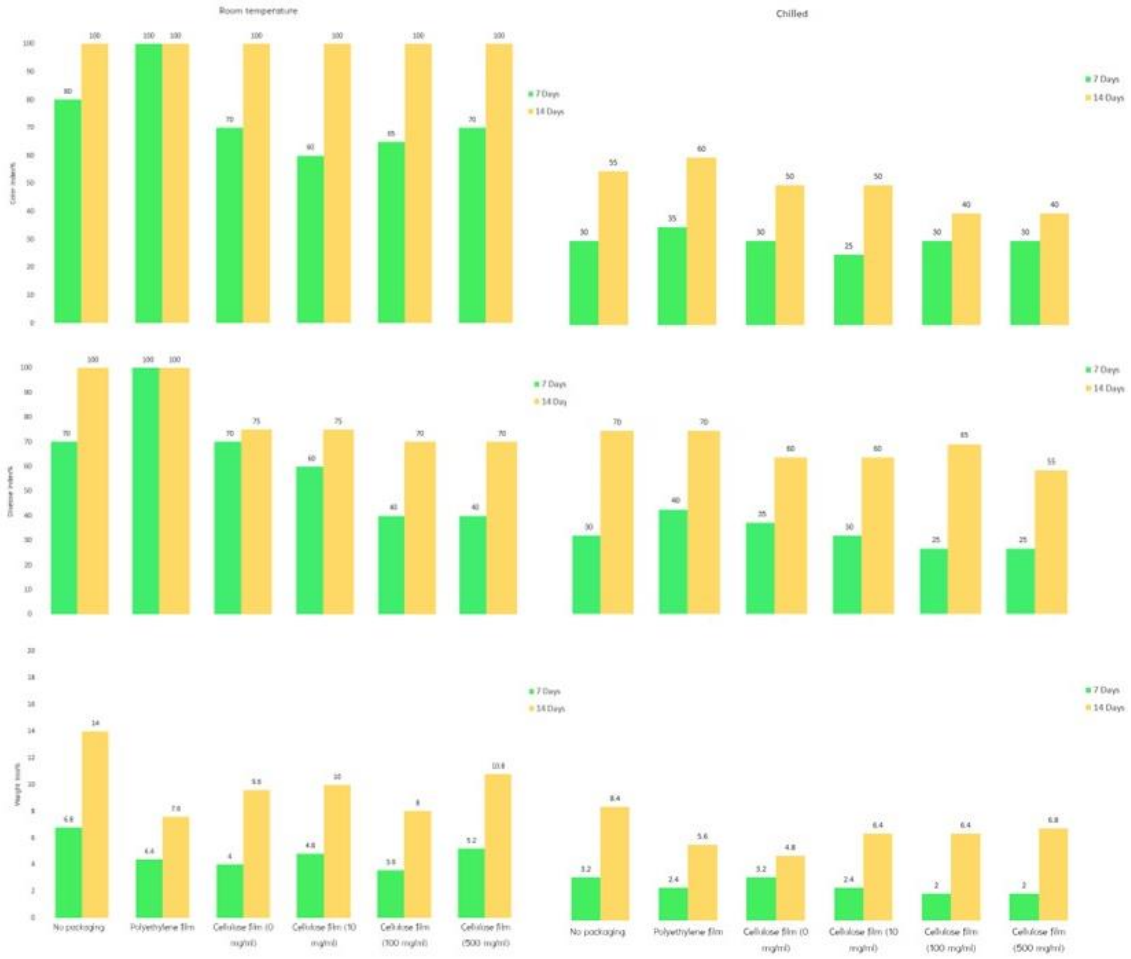


ภาพ 67 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพถนอมรักษาผลมะม่วงของฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์กับฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ;Room temperature คือ อุณหภูมิห้อง; Chilled คือ อุณหภูมิแช่เย็น

2.5.2 ทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องและแช่เย็น

จากการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องและแช่เย็น โดยวัดดัชนีสี ดัชนีโรค และชั่งน้ำหนักที่หายไป ผลปรากฏว่าในอุณหภูมิห้องกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีดัชนีสีของเปลือกสูงกว่ากล้วยที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์ม และห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถึง 100% ที่อายุ 7 และ 14 วัน และในอุณหภูมิแช่เย็นกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีดัชนีสีของเปลือกสูงกว่ากล้วยที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์ม และห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส

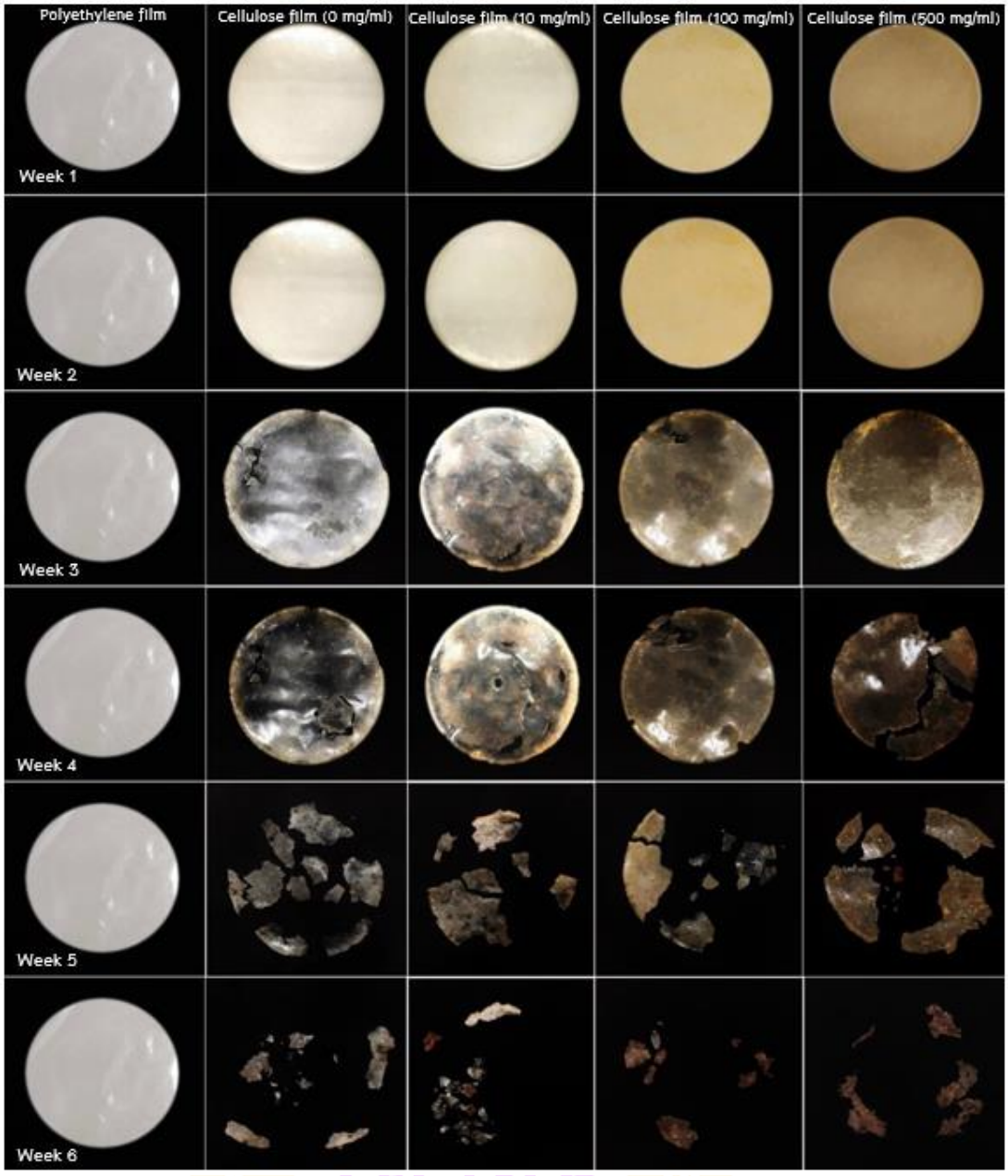
ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถึง 35% ที่อายุ 7 วัน และ 60% ที่อายุ 14 วัน เมื่อใช้ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ห่อผลมะม่วงทั้งอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น ดัชนีสีของเปลือกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากฟิล์มเซลลูโลสสามารถระบายเอทิลีน และ CO_2 ได้ดีมาก จึงสามารถทำให้ผลไม้มีอัตราการสุกที่ช้าลง (Ai et al., 2021) ส่วนดัชนีโรคในอุณหภูมิห้องกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีดัชนีโรคสูงกว่ากล้วยที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์ม และห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถึง 100% ที่อายุ 7 และ 14 วัน และในอุณหภูมิแช่เย็นกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีดัชนีโรคสูงกว่ากล้วยที่ไม่ได้ห่อด้วยฟิล์ม และห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ถึง 40% ที่อายุ 7 วัน และ 70% ที่อายุ 14 วัน เมื่อใช้ฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรห่อกล้วยทั้งอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น ดัชนีโรคลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องเปลือกมังคุดมีสารประกอบสำคัญ ได้แก่ กลุ่มสารแซนโทนซึ่งกลุ่มสารนี้มีฤทธิ์ในการป้องกันโรค ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ลดการอักเสบ และต้านอนุมูลอิสระได้ (Zhu, 2020) และการทดสอบน้ำหนักที่หายไปพบว่าน้ำหนักของกล้วยที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ทั้งในอุณหภูมิห้องและแช่เย็นลดลงช้าที่สุด เนื่องจากฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ 989.18 g/ (m^2.24h) ซึ่งมีอัตราที่ต่ำ ทำให้มีการระบายความชื้นไม่ดีเกิดการควบแน่นของน้ำบนผิวของผลกล้วยมากขึ้น ซึ่งทำให้ผลกล้วยเกิดการเน่าเสียได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับ Aharoni et al., (2007) ที่กล่าวไว้ว่าหากมีการแพร่ความชื้นไม่ดีหรือเกิดการควบแน่นของน้ำมากเกินไปที่บนผิวของผลไม้จากการห่อบรรจุภัณฑ์ อาจทำให้ผลไม้เกิดการเน่าเสียได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิแช่เย็นสามารถชะลอการสุก ลดการติดเชื้อ และการระเหยของไอน้ำลดลงได้ดีกว่าอุณหภูมิห้อง แต่ถ้าหากเก็บกล้วยไว้ในอุณหภูมิแช่เย็นเป็นระยะเวลานาน จะทำให้ผลกล้วยเกิดรอยช้ำ มีลักษณะเป็นปื้นสีน้ำตาล และสีดำจำนวนมาก ซึ่งตรงกับ Phakawatmongkol et al., (2004) ที่กล่าวไว้ว่า การแช่ผลไม้เป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดการบาดเจ็บจากความเย็นได้ ซึ่งผิวของผลไม้จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และกล้วยเป็นผลไม้ที่มีอัตราการติดเชื้อที่สูงจากเชื้อก่อโรคต่าง ๆ ซึ่งส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของกล้วยที่สั้นลง (Maqbool et al., 2010) (ภาพ 68)



ภาพ 68 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพถนอมรักษาผลกล้วยของฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์กับฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ;Room temperature คือ อุณหภูมิห้อง; Chilled คือ อุณหภูมิแช่เย็น

2.6 ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

จากการทดสอบการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าที่มีความเข้มข้นของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์พบว่าสัปดาห์แรกฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดแต่ละความเข้มข้นน้ำหนักไม่หายไปจากเดิม แต่ในสัปดาห์ที่ 2 ถึง สัปดาห์ที่ 6 น้ำหนักหายไปประมาณ 8, 10, 27, 60, 92% ตามลำดับ หลังจากการทดสอบความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพโดยวิธีการฝังกลบในดินเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดแต่ละความเข้มข้นมีน้ำหนักคงเหลือประมาณ 8% และการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดแต่ละความเข้มข้นแสดงได้ในภาพ 69 พบว่าสัปดาห์ที่ 2 ขอบของฟิล์มเซลลูโลสมีลักษณะเหมือนรอยกัด หลังจากสัปดาห์ที่ 2 เป็นต้นไป ฟิล์มเซลลูโลสมีลักษณะบางลง มีรอยกัด และรอยแตกที่เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นก็จะเหลือเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ และตะกอนจับกันเป็นก้อน เนื่องจากฟิล์มเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลจากธรรมชาติ จึงมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ในดิน (Mohan, 2011) ซึ่งลักษณะการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ในดินของฟิล์มเซลลูโลส พบว่ามีจุดสีดำ สีน้ำตาล และสีเหลืองบนผิวของฟิล์มเซลลูโลสเป็นจำนวนมากหลังจากการติดเชื้อ ซึ่งปัจจัยนี้เองเป็นส่วนที่ทำให้ฟิล์มเซลลูโลสมีน้ำหนักมวลชีวภาพที่หายไป และเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพจนหมด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ai et al., (2021) ที่ศึกษาเกี่ยวกับฟิล์มเซลลูโลสที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จากลำต้นเทียมกล้วยโดยใช้ของเหลวไอออนิกในการบำบัด เพื่อถนอมรักษาผลมะม่วง พบว่าฟิล์มเซลลูโลสสามารถถูกย่อยสลายในดินภายในเวลา 4 สัปดาห์ เมื่อเทียบกับฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์



ภาพ 69 ผลการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์เปรียบเทียบกับฟิล์มเซลลูโลสที่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยวิธีการฝังกลบในดิน

2.7 การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากับผลไม้

การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ผสมในฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วย ใน 3 ได้แก่ สูตร 1 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สูตร 2 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และสูตร 3 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อก่อโรคโดยใช้วิธี ด้วยวิธี Agar disc diffusion ในการวิเคราะห์เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง ซึ่งจะส่งทดสอบการยับยั้งเชื้อก่อโรคที่ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ศวท–มช.) โดยทำการทดสอบกับเชื้อทั้งหมด 5 เชื้อ ได้แก่ *E. coli, B. cereus, P. aeruginosa, S. aureus* และ *S. typhimurium* พบว่าการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. Coli* และ *P. aeruginosa* ด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดแต่ละความเข้มข้นไม่เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเชื้อ ซึ่งการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *E. Coli* สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pohan (2022) ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อของสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10, 30, 50, 70 และ 100% พบว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดไม่สามารถต้านเชื้อ *E. coli* ได้ และการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *P. aeruginosa* สอดคล้องกับงานวิจัยของ อุดมพงษ์ เหลืองนฤดม และคณะ (2022) ได้ศึกษาการพัฒนาสารสกัดเปลือกมังคุดในแผ่นแปะปิดแผล 12 ตำรับ ที่มีสารสกัดเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0.1, 0.25 และ 0.5% พบว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดไม่สามารถต้านเชื้อ *P. aeruginosa* ได้ และการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อ *B. cereus, S. aureus* และ *S. typhimurium* ด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดแต่ละความเข้มข้นเกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเชื้อ ซึ่งจะมีการต้านเชื้อที่สูงในฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 7.7 ± 0.7, 16.0 ± 3.0 และ 7.5 ± 0.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเชื้อ *S. aureus* เกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเชื้อสูงที่สุด เนื่องจากสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดมีสารสำคัญที่เรียกว่าแซนโทนซึ่งสามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ได้ดีมาก (Lim et al., 2013; Zhu, 2020) จากการทดสอบยังพบว่าการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด แบคทีเรียแกรมบวกสามารถเกิดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเชื้อได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของแบคทีเรียแกรมลบมีไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นนอกของแบคทีเรีย จึงทำให้สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดไม่สามารถเข้าสู่ภายในเซลล์ได้ ซึ่งแบคทีเรีย แกรมลบไม่มีชั้นไขมันชนิดนี้ทำให้สารต่าง

ๆ สามารถเข้าสู่ภายในเซลล์ได้ง่ายกว่า (Shan et al., 2007) จึงจะเห็นได้ว่าเชื้อ *B. cereus* และ *S. aureus* ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้งเชื้อมากกว่าเชื้อ *E. coli*, *P. aeruginosa* และ *S. typhimurium* ซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ (ตาราง 33)

ตาราง 33 ผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อก่อโรคของฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

สิ่งทดลอง	เส้นผ่านศูนย์กลางวงใสของการยับยั้ง (มิลลิเมตร)				
	E. coli ^{ns}	*B. cereus* *	*P. aeruginosa* ^{ns}	*S. aureus* *	*S. typhimurium* *
Cellulose film (0 mg/ml)	0.0± 0.0	0.0± 0.0^{c}	0.0± 0.0	0.0± 0.0^{c}	0.0± 0.0^{b}
Cellulose film (10 mg/ml)	0.0± 0.0	5.1 ± 1.1^{b}	0.0± 0.0	9.7 ± 0.6^{b}	0.0 ± 0.0^{b}
Cellulose film (100 mg/ml)	0.0± 0.0	5.0 ± 0.7^{b}	0.0± 0.0	16.7 ± 2.1^{a}	0.0 ± 0.0^{b}
Cellulose film (500 mg/ml)	0.0± 0.0	7.7 ± 0.7^{a}	0.0± 0.0	16.0 ± 3.0^{a}	7.5 ± 0.4^{a}
Gentamycin (1 mg/ml)	22.3 ± 0.5	23.0 ± 1.0	18.67 ± 1.6	23.0 ± 1.0	22.0 ± 1.7

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย ± SD (n = 5); a, b, c ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกันตามแนวเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตามการวิเคราะห์ด้วยวิธี DMRT (Duncan's multiple – range test); ^{ns} = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ; * = มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บรรณานุกรม

กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ และวิทวัส จิรัฐพงศ์. (2554). การศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ. ในการประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 (หน้า 1–4). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลาศรีนครินทร์.

โชติอนันต์. (2551). **สมุนไพรไทยสำหรับงานสาธารณสุขมูลฐาน** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: ดวงกมลพับลิชชิ่ง.

ทิพวรรณ บุญเพ็ชร. (2555). พลาสติกชีวภาพ (Biodegradable plastics) ทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. **วารสารสิ่งแวดล้อม**, 16(2), 16.

ทิพวรรณ บุญเพ็ชร. (2564). พฤติกรรมการเปิดรับข่าวสารความตระหนักรู้ และการมีส่วนร่วมในการจัดการปัญหาขยะทะเลใน อำเภอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี. **วารสารสหวิทยาการเพื่อการพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์**, 11(2), 33–42.

ธัญลักษณ์ ศรีสุข, ขนิษฐา เจริญลาภ, ปทุมทิพย์ ปราบพาล และศศิวิมลวุฒิ กนกกาญจน์. (2564). สมบัติของฟิล์มไฮโดรเจล จากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และว่านหางจระเข้. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ**, 15(1), 94–109.

ธนวุฒิ โชตินุกูล, ธันยพร สร้อยงาม, อรวรรณ ชุณหชาติ และมลธิราศรี ถาวร. (2564). การพัฒนาแผ่นแปะรักษาสิว จากวัสดุธรรมชาติไบโอเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบจันทน์แดง. **Thai Science Technology Journal**, 966–976.

นิภาดา ประสมทอง, มาระตรี เปลี่ยนศิริชัย, ประภัสสร บุษหมั่น, วรภัทร ลัคนทินวงศ์ และมงคล วงศ์สวัสดิ์. (2546). ผลของสารสกัดจากเปลือกมังคุดต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สาเหตุโรคแอนแทรคโนสของผลมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. การประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 7, 520–525.

นิรมล ปัญญ์บุศยกุล. (2562). **การพัฒนาฟิล์มผสมสารสกัดจากเปลือกสับปะรดต้านจุลินทรีย์**. มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.

นุศวดี พจนานุกิจ และสมใจ ขจรชีพพันธ์งาม. (2553). **การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ก่อเกิดสิวของสารสกัดจากพืชสมุนไพร**. ภาควิชาวิศวกรรมเคมีคณะวิศวกรรมศาสตร์ม, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. (2545). **กล้วย** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญชนิต ว่องประพิณกุล และสุจิตรา วาสนาดำรงดี. (2564). “ขยะพลาสติกจากการสั่งอาหารออนไลน์” สถานการณ์ปัญหาและแนวทางแก้ไข (ตอนที่ 1). **วารสารสิ่งแวดล้อม**, 25(1).

พรชัย ราชตนะพันธุ์. (2550). การผลิตฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอ และคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์ม. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 45 (หน้า 790–799). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิตารีว์ ธีรวิรุฬห์. (2560). พลาสติก: **สิ่งปลอมปนในชีวิตและสิ่งแวดล้อม** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักวิชาการสำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร.

สุกานดา พรมเทพ และสมใจ แสงสกุลไทย. (2554). การลดของเสียในกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว. **Engineering Journal of Research Development**, 22(4), 77–85.

สุกัญญา มูณี. (2021). การศึกษาสารพฤกษเคมีเบื้องต้นปริมาณฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดสมุนไพร เพื่อพัฒนาเป็นเซรั่มสมุนไพรบำรุงมือ. **หมอยาไทยวิจัย**, 7(2), 31–44.

สุจัยพรรณ เข็มแก้ว และสุปราณี แก้วภิรมย์. (2016). ผลของกลีเซอรอล และเพค–10 ไดเมทิโคนต่อสมบัติของฟิล์มชีวภาพ จากเปลือกทุเรียน (Effects of Glycerol and PEG–10 dimethicone on Properties of Biofilm from Durian rind). **The Journal of Industrial Technology**, 12(2), 11–21.

อุดมพงษ์ เหลืองนฤดม, รัชฎา อรรคนิมาตย์, ปราณี ศรีราช, จตุพร ประทุมเทศ, กันย์ชิสา นาคเสน, รัตนา อินทเกตุ และจิรัญญา พรหมเชียง. (2565). การพัฒนาแผ่นแปะปิดบาดแผลจากสารสกัดเปลือกมังคุด. **Koch Cha Sarn Journal of Science**, 44(1).

Aharoni, N. Rodov, V. Fallik, E. Afek, U. Chalupowicz, D. Aharon, Z. Maurer, D. and Orenstein, J. (2007). Modified atmosphere packaging for vegetable crops using high–watervapor–permeable films. **Intelligent active packaging for fruits vegetables. CRC Press Taylor Francis Group**, 73–112.

Ai, B. Zheng, L. Li, W. Zheng, X. Yang, Y. Xiao, D. Shi, J. and Sheng, Z. (2021). Biodegradable cellulose film prepared from banana pseudo–stem using an ionic liquid for mango preservation. **Frontiers in Plant Science**, 12, 625878.

Aisha, A. F., Abu-Salah, K. M., Ismail, Z. and Majid, A. (2013). Determination of total xanthones in *Garcinia mangostana* fruit rind extracts by ultraviolet (UV) spectrophotometry. **Journal of Medicinal Plants Research**, 7(1), 29-35.

Akao, Y., Nakagawa, Y., Iinuma, M. and Nozawa, Y. (2008). Anti-cancer effects of xanthones from pericarps of mangosteen. **International Journal of Molecular Sciences**, 9(3), 355-370.

Akpabio, U., Udiong, D. and Akpakpan, A. (2012). The physicochemical characteristics of plantain (*Musa paradisiaca*) and banana (*Musa sapientum*) pseudostem wastes. **Advances in Natural and Applied Sciences**, 6(2), 167-172.

Axelsson, C. and van Sebille, E. (2017). Prevention through policy: Urban macroplastic leakages to the marine environment during extreme rainfall events. **Marine Pollution Bulletin**, 124(1), 211-227.

Balasundram, N., Sundram, K. and Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, 99(1), 191-203.

Bochek, A. (2003). Effect of hydrogen bonding on cellulose solubility in aqueous and nonaqueous solvents. **Russian journal of Applied Chemistry**, 76, 1711-1719.

Chauhan, A. K. and Kang, S. C. (2014). Thymol disrupts the membrane integrity of *Salmonella ser. typhimurium* in vitro and recovers infected macrophages from oxidative stress in an ex vivo model. **Research in Microbiology**, 165(7), 559-565.

Coates, L. and Johnson, G. (1997). Postharvest diseases of fruit and vegetables. **Plant Pathogens Plant Diseases**, 533-548.

Coburn, B., Grassl, G. A. and Finlay, B. (2007). *Salmonella*, the host and disease: a brief review. **Immunology Cell Biology**, 85(2), 112-118.

Darntrakoon, U. and Nagumo, T. (1997). The Inhibitory Activities of Mangosteen's Pericarb Extract on Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*. **Bulletin of Chiang Mai Associated Medical Sciences**, 30(1), S40.

Deligianni, E. Pattison, S. Berrar, D. Ternan, N. G. Haylock, R. W. Moore, J. E. Elborn, S. J. and Dooley, J. S. G. (2010). *Pseudomonas aeruginosa* cystic fibrosis isolates of similar

RAPD genotype exhibit diversity in biofilm forming ability in vitro. **Bmc Microbiology**, 10(1), 1–13.

Espino, E., Cakir, M., Domenek, S., Román–Gutiérrez, A. D., Belgacem, N. and Bras, J. (2014). Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from industrial by–products of Agave tequilana and barley. **Industrial Crops Products**, 62, 552–559.

Extension, D. O. A. (2021). Agricultural productivity information system. Retrieved Accessed August 12, 2022 https: / / production. doae. go. th.

Gautam, N. and Kaur, I. (2013). Soil burial biodegradation studies of starch grafted polyethylene and identification of *Rhizobium meliloti* therefrom. **Journal of Environmental Chemistry Ecotoxicology**, 5(6), 147–158.

Gong, G., Chen, Y. and Zhou, S. (1994). Studies on room temperature storage of mango. **Scientia Agricultura Sinica**, 27, 82–88.

Guillard, V., Gaucel, S., Fornaciari, C., Angellier–Coussy, H., Buche, P. and Gontard, N. (2018). The next generation of sustainable food packaging to preserve our environment in a circular economy context. **Frontiers in Nutrition**, 5, 121.

Huang, X. Ke, Q. Kim, C. Zhong, H. Wei, P. Wang, G. Liu, F. and Jiang, P. (2007). Nonisothermal crystallization behavior and nucleation of LDPE/Al nano-and microcomposites. **Polymer Engineering Science**, 47(7), 1052–1061.

Imam, M. Z. and Akter, S. (2011). *Musa paradisiaca* L. and *Musa sapientum* L.: A phytochemical and pharmacological review. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**(Issue), 14–20.

Jitpleecheep, P. (2019). Food Passion tries to cut plastic waste. Retrieved (29 November) Retrieved 3 February 2020https://www.bangkokpost.com/business/1804379/food–passion–tries–to–cut–plastic–waste

Kamel, S., Ali, N., Jahangir, K., Shah, S. and El–Gendy, A. (2008). Pharmaceutical significance of cellulose: A review. **Express Polym Lett**, 2(11), 758–778.

Ko, S. W., Soriano, J. P. E., Unnithan, A. R., Lee, J. Y., Park, C. H. and Kim, C. S. (2018). Development of bioactive cellulose nanocrystals derived from dominant cellulose polymorphs I and II from *Capsosiphon fulvescens* for biomedical applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, 110, 531–539.

Kong, C., Chee, C.–F., Richter, K., Thomas, N., Abd. Rahman, N. and Nathan, S. (2018). Suppression of *Staphylococcus aureus* biofilm formation and virulence by a benzimidazole derivative, UM–C162. **Scientific Reports**, 8(1), 2758.

Kuroki, R. Kawakami, K. Qin, L. Kaji, C. Watanabe, K. Kimura, Y. Ishiguro, C. Tanimura, S. Tsuchiya, Y. Hamaguchi, I. Sakakura, M. Sakabe, S. Tsuji, K. Inoue, M. and Watanabe, H. (2009). Nosocomial bacteremia caused by biofilm–forming *Bacillus cereus* and *Bacillus thuringiensis*. **Internal Medicine**, 48(10), 791–796.

Kusumawati, N., Santoso, A. B., Sianita, M. M. and Muslim, S. (2017). Extraction, Characterization and application of natural dyes from the fresh mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) peel. **International Journal on Advanced Science, Engineering Information Technology**, 7(3), 878–884.

Lim, Y. S., Lee, S. S. H. and Tan, B. C. (2013). Antioxidant capacity and antibacterial activity of different parts of mangosteen (*Garcinia mangostana* Linn.) extracts. **Fruits**, 68(6), 483–489.

Mangaraj, S., Goswami, T. and Mahajan, P. (2009). Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review. **Food Engineering Reviews**, 1, 133–158.

Maqbool, M., Ali, A., Ramachandran, S., Smith, D. R. and Alderson, P. G. (2010). Control of postharvest anthracnose of banana using a new edible composite coating. **Crop Protection**, 29(10), 1136–1141.

Maran, J. P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K. and Sridhar, R. (2014). Degradation behavior of biocomposites based on cassava starch buried under indoor soil conditions. **Carbohydrate Polymers**, 101, 20–28.

Mayefis, D., Anugerah, Y. and Rasyid, R. (2019). Determination of total xanthone content in the preparation of mangosteen pericarp capsules (*garcinia mangostana* l.) available on the market using UV–Visible Spectrophotometry method. **Majalah Obat Tradisional**, 24(2), 98–103.

Mohan, K. (2011). Microbial deterioration and degradation of polymeric materials. **Journal of Biochemical Technology**, 2(4), 210–215.

Pedraza–Chaverri, J., Cárdenas–Rodríguez, N., Orozco–Ibarra, M. and Pérez–Rojas, J. M. (2008). Medicinal properties of mangosteen (*Garcinia mangostana*). **Food Chemical Toxicology**, 46(10), 3227–3239.

Phakawatmongkol, W., Ketsa, S. and Van Doorn, W. G. (2004). Variation in fruit chilling injury among mango cultivars. **Postharvest Biology Technology**, 32(1), 115–118.

Pohan, D. J. and Rahmawati, F. (2022). The effect of mangosteen pericarp (*Garcinia mangostana* Linn) extract on inhibits the growth of bacteria *Escherichia coli* ATCC 25922 and bacteria *Staphylococcus aureus* ATCC 25923. **International Journal of Research in Pharmacy Pharmaceutical Sciences**, 7(2), 29–38.

Rudnik, E. and Briassoulis, D. (2011). Degradation behaviour of poly (lactic acid) films and fibres in soil under Mediterranean field conditions and laboratory simulations testing. **Industrial Crops Products**, 33(3), 648–658.

Shamsuri, A. and Daik, R. (2015). Applications of ionic liquids and their mixtures for preparation of advanced polymer blends and composites: A short review. **Reviews on Advanced Materials Science**, 40(1), 45–59.

Shan, B., Cai, Y.–Z., Brooks, J. D. and Corke, H. (2007). The in vitro antibacterial activity of dietary spice and medicinal herb extracts. **International Journal of Food Microbiology**, 117(1), 112–119.

Soest, P. V. and Wine, R. (1967). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell–wall constituents. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, 50(1), 50–55.

Su, X., Jiang, Y., Yu, X. and He, S. (2001). Review on postharvest biology and technology for storage and transport of mango fruit. **Journal Zhongkai Agrotechnical College**, 14, 60–66.

Sudhanyaratana, N., Aoki, S. and Rattana, K. (2016). Tissue culture and the analysis of ploidy stability of *Musa* (ABB)'Namwa Mali–Ong'. **SDU Research Journal Science Technology**, 9, 1–14.

Thushari, G. G. N., Senevirathna, J. D. M., Yakupitiyage, A. and Chavanich, S. (2017). Effects of microplastics on sessile invertebrates in the eastern coast of Thailand: an approach

to coastal zone conservation. **Marine Pollution Bulletin**, 124(1), 349–355.

Vila, J. Sáez–López, E. Johnson, J. R. Römling, U. Dobrindt, U. Cantón, R. Giske, G. G. Naas, T. Carattoli, A. Mart´ınez–Medina, M. Bosch, J. Retamar, P. Rodr´ıguez–Bano, J. Baquero, F. and Soto, S. M. (2016). *Escherichia coli*: an old friend with new tidings. **FEMS Microbiology Reviews**, 40(4), 437–463.

Wright, S. L., Thompson, R. C. and Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. **Environmental Pollution**, 178, 483–492.

Xu, H. Huang, L. Xu, M. Qi, M. Yi, T. Mo, Q., et al. (2020). Preparation and properties of cellulose–based films regenerated from waste corrugated cardboards using [Amim] Cl/$CaCl_2$. 5(37), 23743–23754.

Yodhnu, S., Sirikatitham, A. and Wattanapiromsakul, C. (2009). Validation of LC for the determination of α–mangostin in mangosteen peel extract: a tool for quality assessment of *Garcinia mangostana* L. **Journal of Chromatographic Science**, 47(3), 185–189.

Zare, A., Abi, F., Moosavi–Zare, A. R., Beyzavi, M. H. and Zolfigol, M. A. (2013). Synthesis, characterization and application of ionic liquid 1, 3–disulfonic acid imidazolium hydrogen sulfate as an efficient catalyst for the preparation of hexahydroquinolines. **Journal of Molecular Liquids**, 178, 113–121.

Zarena, A. and Sankar, K. (2011). Xanthones enriched extracts from mangosteen pericarp obtained by supercritical carbon dioxide process. **Udaya Separation Purification Technology**, 80(1), 172–178.

Zhu, F. (2020). A review on the application of herbal medicines in the disease control of aquatic animals. **Aquaculture**, 526, 735422.

Zong, Y. (2007). Research advance of storage technology of mango. **Storage Process**(42), 5–8.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วัสดุ สารเคมี อุปกรณ์ เครื่องมือ และเชื้อแบคทีเรีย

วัสดุ สารเคมี อุปกรณ์ เครื่องมือ และเชื้อแบคทีเรีย

วัสดุ

1. ลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า
2. เปลือกมังคุด
3. ผลมะม่วงพันธุ์แก้วขมิ้น
4. ผลกล้วยน้ำว้า
5. ฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 12 (NaOH)
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 (H_2O_2)
3. โซเดียมไฮโปคลอไรท์ร้อยละ 12 (NaOCl)
4. กรดอะซิติกร้อยละ 12 (CH_3COOH)
5. กรดอะซิติกร้อยละ 90 (CH_3COOH)
6. น้ำกลั่น (H_2O)
7. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอร์ (C_3H_8O)
8. กรดคลอโรอะซิติก ($C_2H_3ClO_2$)
9. เมทานอล (CH_3OH)
10. เอทานอลร้อยละ 95 (C_2H_5OH)

11. เอทานอลร้อยละ 70 (C_2H_5OH)

12. กลีเซอรอล ($C_3H_8O_3$)

13. ไดเมธิลซัลฟอกไซด์ร้อยละ 1 [$(CH_3)_2SO$)]

อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร (Erlenmeyer flask)

2. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 2000 มิลลิลิตร (Erlenmeyer flask)

3. บีกเกอร์แก้ว ขนาด 50 มิลลิลิตร (Beaker glass)

4. บีกเกอร์แก้ว ขนาด 100 มิลลิลิตร (Beaker glass)

5. บีกเกอร์แก้ว ขนาด 250 มิลลิลิตร (Beaker glass)

6. บีกเกอร์แก้ว ขนาด 1000 มิลลิลิตร (Beaker glass)

7. บีกเกอร์พลาสติก ขนาด 1000 มิลลิลิตร (Beaker plastic)

8. บีกเกอร์สแตนเลส ขนาด 1000 มิลลิลิตร (Beaker stainless)

9. กรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel)

10. ขวดลดความดัน (Filter flask)

11. สายยาง Vacuum ยาว 1 เมตร

12. กระดาษกรองเบอร์ 1 (Filtering paper No.1)

13 กระดาษกรองเบอร์ 5 (Filtering paper No.5)

14. กระบอกตวง (Cylinder)

15. จานเพาะเชื้อ ขนาด 15 × 90 มิลลิเมตร (Petri dish)

16. แท่งแก้วเกลี่ยเชื้อ (spreader)

17. ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)

18. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Calipers)

19. ขวดแก้วฝาเกลียวใส ขนาด 250 มิลลิลิตร (Laboratory Bottle)

20. ขวดแก้วฝาเกลียวใส ขนาด 1000 มิลลิลิตร (Laboratory Bottle)

21. ขวดแก้วฝาเกลียวสีชา ขนาด 250 มิลลิลิตร (Laboratory Bottle amber)

22. ขวดแก้วฝาเกลียวสีชา ขนาด 500 มิลลิลิตร (Laboratory Bottle amber)

23. ถาดอะลูมิเนียมก้นลึก (aluminium shallow tray)

24. ปากคีบ ขนาด 10 นิ้ว (forceps)

25. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)

26. กระจกนาฬิกา (Watch glass)

27. กระดาษลิตมัส (Lismut)

28. กระดาษฟอยล์อะลูมิเนียม (Aluminium foil)

29. เครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer)

30. ขวดก้นกลม ขนาด 250 มิลลิลิตร (Round bottom flask)

31. ขวดก้นกลม ขนาด 500 มิลลิลิตร (Round bottom flask)

32. แผ่นแก้ว ขนาด 10×10 เซนติเมตร (Glass plate)

33. ปิเปตแบบใช้ตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร (Graduated pipette)

34. เครื่องดูดจ่ายสารละลาย (Autopipettes)

35. ลูกยางปิเปตเบอร์ M (Pipettes Bulb)

36. พาราฟิล์ม (Parafilm)

เครื่องมือ

1. เครื่องสับอเนกประสงค์

2. เตาให้ความร้อนแบบหลุม (Heating mantle)

3. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)

4. เครื่องระเหยแบบสุญญากาศ (Rotary evaporator)

5. เครื่องหมุนแช่เยือกแข็ง (Freeze Dry)

6. เครื่องระเหิดแห้งภายใต้ความเย็น และสุญญากาศ (Lyophilizer)

7. เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine: UTM)

8. เครื่องทดสอบการส่งผ่านไอน้ำ (Water Vapor Transmission Rate Test System: WVTRT)

9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM)

10. เตาให้ความร้อน (Hotplate)

11. สเตอร์

12. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

13. ตู้อบแห้ง (Oven dry)

14. เครื่องปั่น (Blender)

15. เครื่องชั่งสาร 2 ตำแหน่ง (Analytical balance)

16. เครื่องชั่งสาร 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)

17. เครื่องวัดค่าดูดกลืนคลื่นแสง (Spectrophotometer)

เชื้อแบคทีเรีย

1. *Escherichia coli*
2. *Bacillus cereus*
3. *Pseudomonas aeruginosa*
4. *Staphylococcus aureus*
5. *Salmonella typhimurium*

ภาคผนวก ข

การเตรียมเปลือกมังคุดสด กระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด และขั้นตอนละลายความเข้มข้นของผงสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

การเตรียมเปลือกมังคุดสด

1. เตรียมเปลือกมังคุดสด

2. อบเปลือกมังคุด

3. บดเปลือกมังคุดแห้ง

4. ได้ผงหยาบเปลือกมังคุด

ภาพ 70 การเตรียมเปลือกมังคุดสด

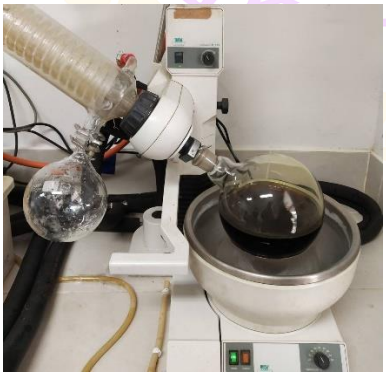
กระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด

1. ชั่งผงเปลือกมังคุด

2. หมักแช่ด้วยตัวทำละลาย 95% เอทานอล

3. ปั่นเหวี่ยงตกตะกอนเปลือกมังคุด

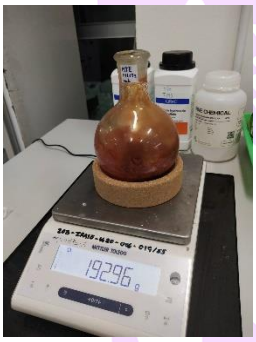
4. กรองสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

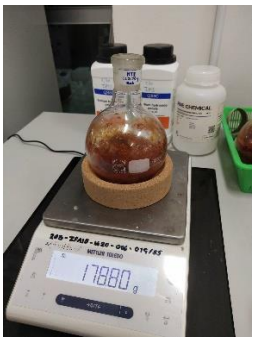


5. ระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ

6. ปั่นแข็งด้วยเครื่องแช่เยือกแข็ง

6. เข้าเครื่องระเหิดแห้งเพื่อระเหิดให้สารสกัดหยาบกลายเป็นผง



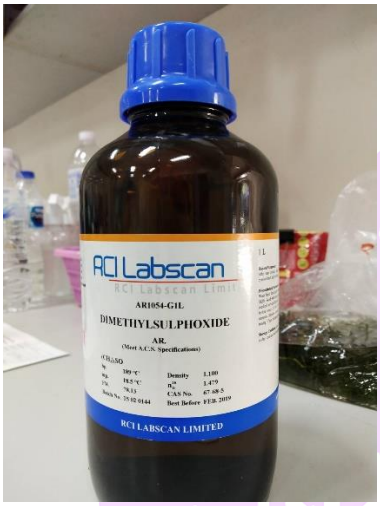


7. ชั่งน้ำหนักผงสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดเพื่อคำนวณปริมาณผลผลิตร้อยละ

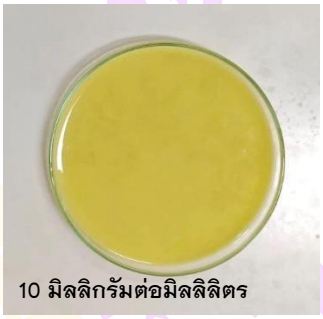
8. ได้ผงสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดสีน้ำตาลแดง

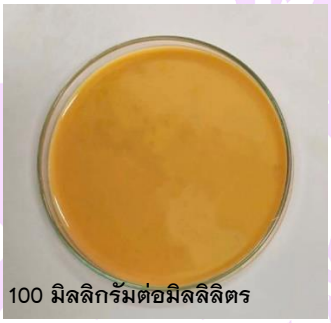
ภาพ 71 กระบวนการสกัดสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด

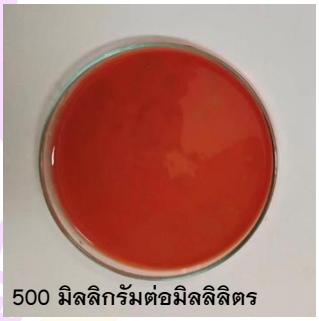
ขั้นตอนละลายความเข้มข้นของผงสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด



1. ใช้ 1% DMSO ละลายผงสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 2. ชั่งน้ำหนักตามคำนวณ







3. ละลายผงสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดให้ได้ 3 ความเข้มข้นดังนี้

3.1 สูตร 1 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

3.2 สูตร 2 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

3.3 สูตร 3 สารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ภาพ 72 ขั้นตอนละลายความเข้มข้นของผงสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

ภาคผนวก ค

การเตรียมเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า ขั้นตอนการสกัดเซลลูโลส และขั้นตอนการสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

การเตรียมเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

1. เตรียมลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

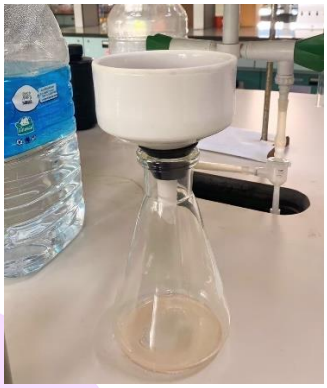
2. ผ่าครึ่งลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

3. นำลำต้นเทียมเข้าเครื่องสับอเนกประสงค์

4. อบเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

5. ได้เส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าแห้ง

6. เติมเอทานอล 90%



7. แช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 24 ชั่วโมง 8. กรองแบบสุญญากาศด้วยน้ำกลั่น

ภาพ 73 การเตรียมเส้นใยลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้า

ขั้นตอนการสกัดเซลลูโลส

1. เส้นใยต้มใน 15% NaOH 2 ชั่วโมง

2. หลังอบแห้งจะได้เส้นใยเซลลูโลสสีน้ำตาล

3. แช่ใน 12% H_2O_2 v/v

4. แช่ใน 12% NaOCl และ 12% CH_3CHOOH

5. เซลลูโลสก่อนอบแห้ง

6. เซลลูโลสหลังอบแห้ง

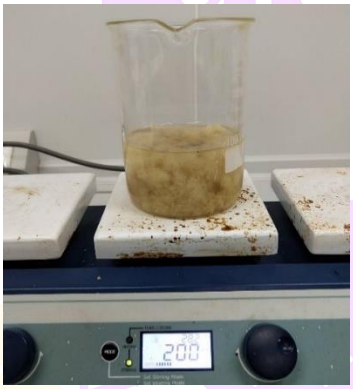
7. เซลลูโลสผ่านการบดระดับไมโคร

ภาพ 74 ขั้นตอนการสกัดเซลลูโลส

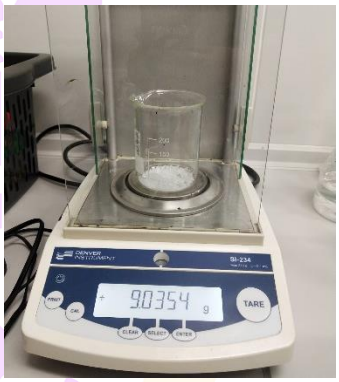
ขั้นตอนการสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

1. ชั่งน้ำหนักผงเซลลูโลส

2. เติมสารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอร์

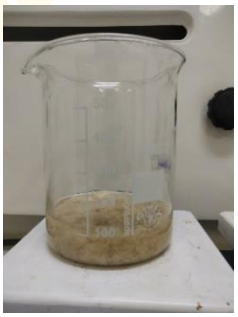


3. กวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสาร 30 นาที



4. ชั่งกรดคลอโรอะซิติก

4. ปรับ pH เติมกรดอะซิติก 90% หลังอบ



5. แช่เอทานอล 70% และแช่เมาทานอล

6. ผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผ่านการอบแห้งและบดอยู่ในระดับไมโคร

ภาพ 75 ขั้นตอนการสร้างคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

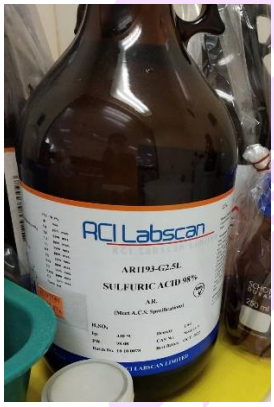
ภาคผนวก ง

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทน ขั้นตอนการเตรียมกราฟมาตรฐานแซนโทน และขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนจากสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

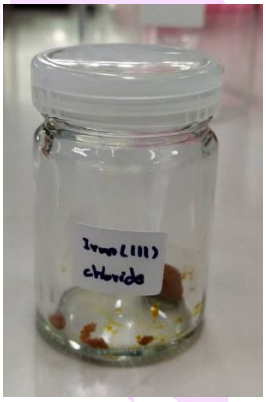
สารเคมีที่ใช้ในการทดลองวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทน

1. Salkowski reagent

7.9 M H_2SO_4	1	L
Iron (III) chloride ($FeCl_3$)	12	g



1. 7.9 M H_2SO_4



2. ผสม Iron (III) chloride ($FeCl_3$)

3. ได้สารละลาย Salkowski reagent สีแดง

ภาพ 76 สารเคมีที่ใช้ในการทดลองวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนจากเปลือกมังคุด

ขั้นตอนการเตรียมกราฟมาตรฐานแซนโทน ดัดแปลงจาก Mayefis et al., (2019)

1. ชั่งสารแซนโทน 50 มิลลิกรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

2. นำสารแซนโทนละลายด้วยเมทานอล

3. แล้วเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้สารละลายแซนโทนที่ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

4. ทำการเจือจางสารละลายแซนโทนให้มีความความเข้มข้นเท่ากับ 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

5. ดูดสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ 2 มิลลิลิตร

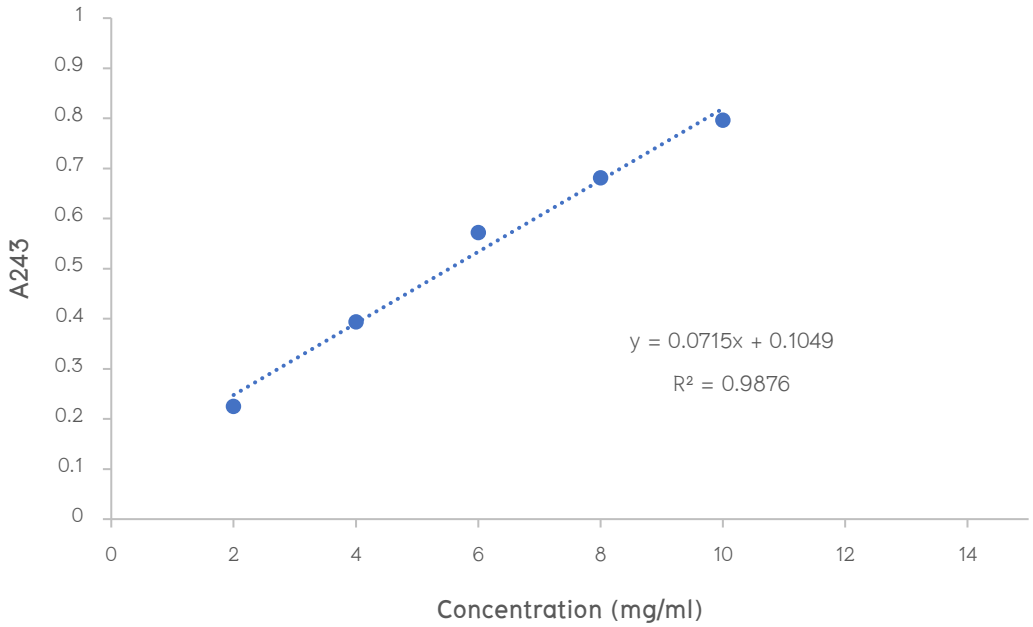
6. เติม Salkowski reagent 1 ml ตั้งทิ้งไว้ 60 นาที

7. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น A243 นาโนเมตร ทำ 3 ซ้ำ

8. นำค่าพล็อตกราฟมาตรฐานสารแซนโทน โดยกราฟมาตรฐานจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายแซนโทน มาตรฐานโดยอยู่ในแกน (x) และค่าการดูดกลืนแสงจะอยู่ในแกน (y) ซึ่งผลของสารแซนโทนจะแสดงค่าปริมาณเป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 34 ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานแซนโทนที่ความยาวคลื่น A243

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	A243			ค่าเฉลี่ย A243
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	
2	0.225	0228	0.223	0.225
4	0.389	0.395	0.397	0.394
6	0.573	0.569	0.575	0.572
8	0.684	0.680	0.680	0.681
10	0.798	0.805	0.785	0.796



ภาพ 77 กราฟมาตรฐานแซนโทน

ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณสารแซนโทนจากสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ดัดแปลงจาก Mayefis et al., (2019)

1. ชั่งสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด 50 มิลลิกรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

2. นำสารแซนโทนละลายด้วยเมทานอล

3. แล้วเติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้สารละลายแซนโทนที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

4. ดูดสารละลาย 3 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น A243 นาโนเมตร ทำ 3 ซ้ำ

5. เทียบกับกราฟมาตรฐานสารแซนโทน

6. คำนวณหาปริมาณสารแซนโทนจากสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

สูตรคำนวณหาปริมาณสารแซนโทน

ปริมาณสารแซนโทน (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) = A243 / ค่าความชัน

ตาราง 35 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดที่ความยาวคลื่น A243

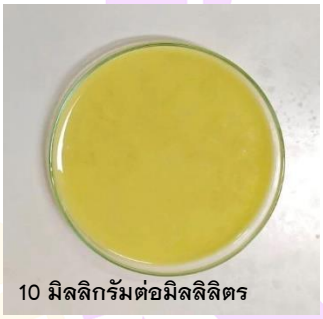
ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	A243			ค่าเฉลี่ย A243
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	
50	0.320	0.322	0.327	0.323

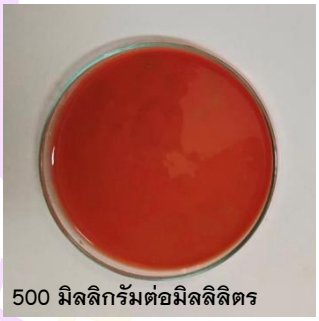
ภาคผนวก จ

การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

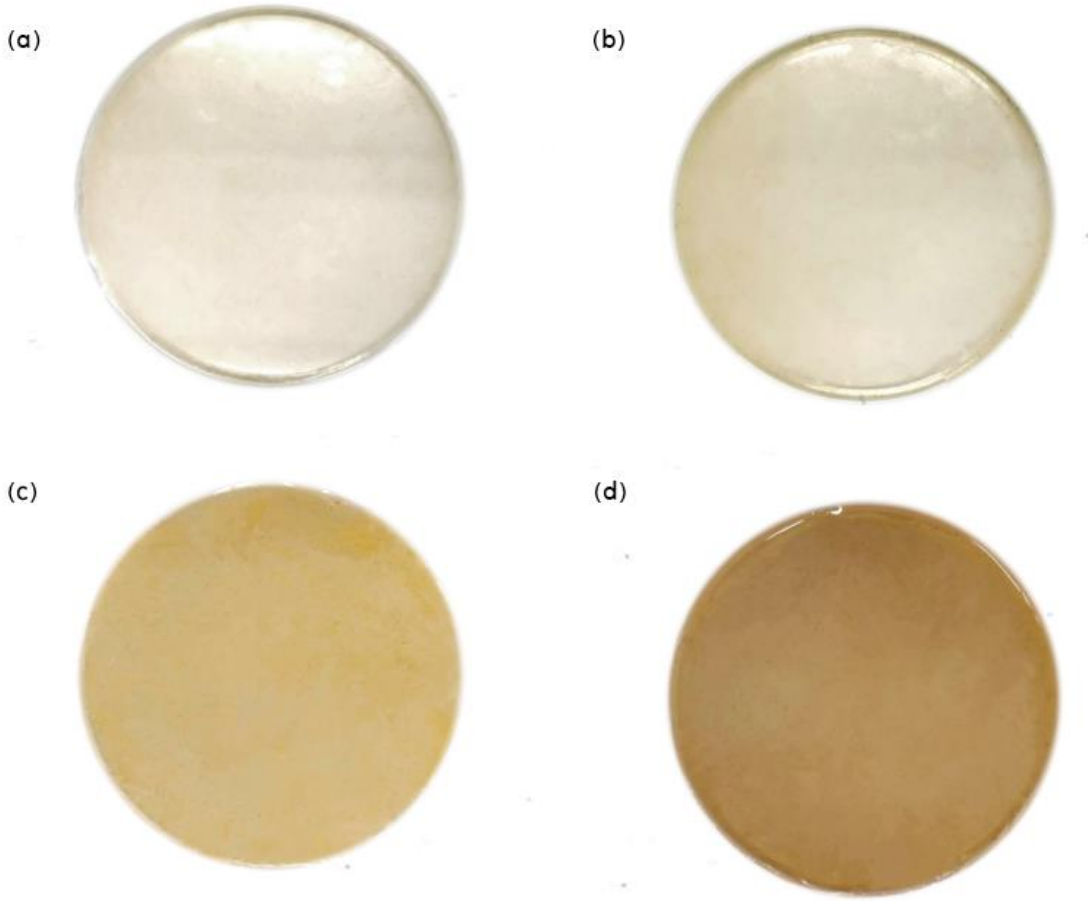
1. ชั่งคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 2. กวนสาร อุณหภูมิ 90–95 องศาเซลเซียส





3. ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10, 100 และ 500มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

เติมแป้งข้าวโพด : เติมกลีเซอรอล
1 : 1



6. ฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้นที่ (a) 0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร, (b) 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร, (c) 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ (d) 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร หลังจากทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

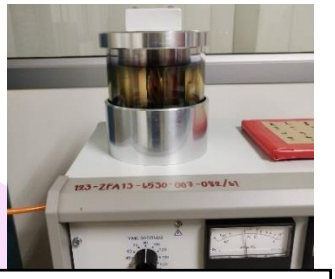
ภาพ 78 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

ภาคผนวก ฉ

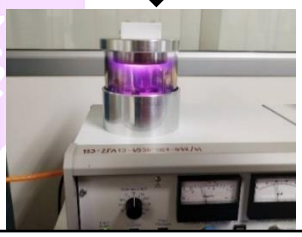
ขั้นตอนการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

ขั้นตอนการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

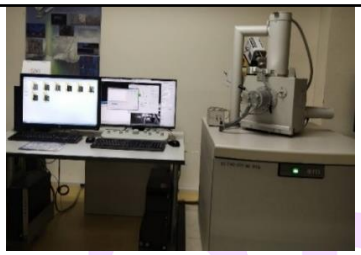
เตรียมตัวอย่างเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 0, 10, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร



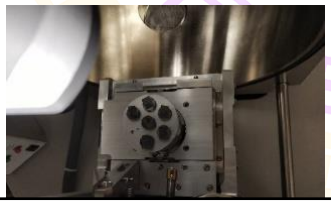
เข้าเครื่องเคลือบทอง



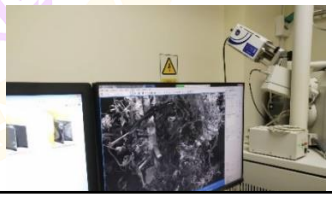
เปิดเคลือบทองบนผิวของตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้าใช้ระยะเวลา 90 วินาที



เข้าเครื่อง SEM



นำตัวอย่างที่เคลือบทองวางไว้บนแท่นส่องภาพ



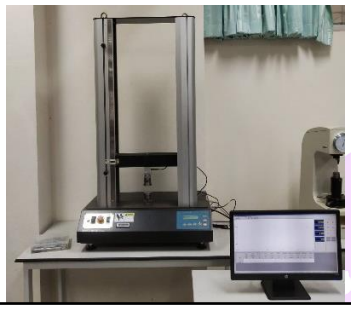
ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา

ภาพ 79 ขั้นตอนการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

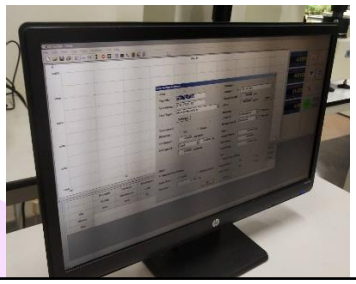
ภาคผนวก ช

ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด

ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด

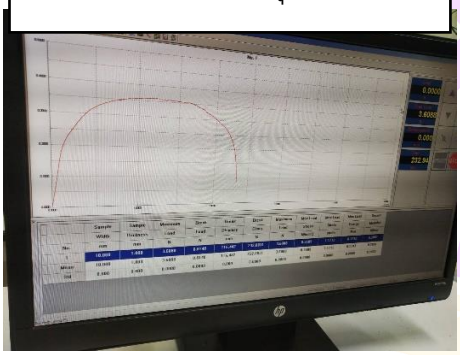


เครื่องทดสอบแรงดึง



ตั้งค่าแรงดึง 1 กิโลนิวตัน ความเร็วในการทดสอบ 10 มิลลิเมตร/นาที

ทดสอบความทนทานต่อแรงดึง



คำนวณหาค่าแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด

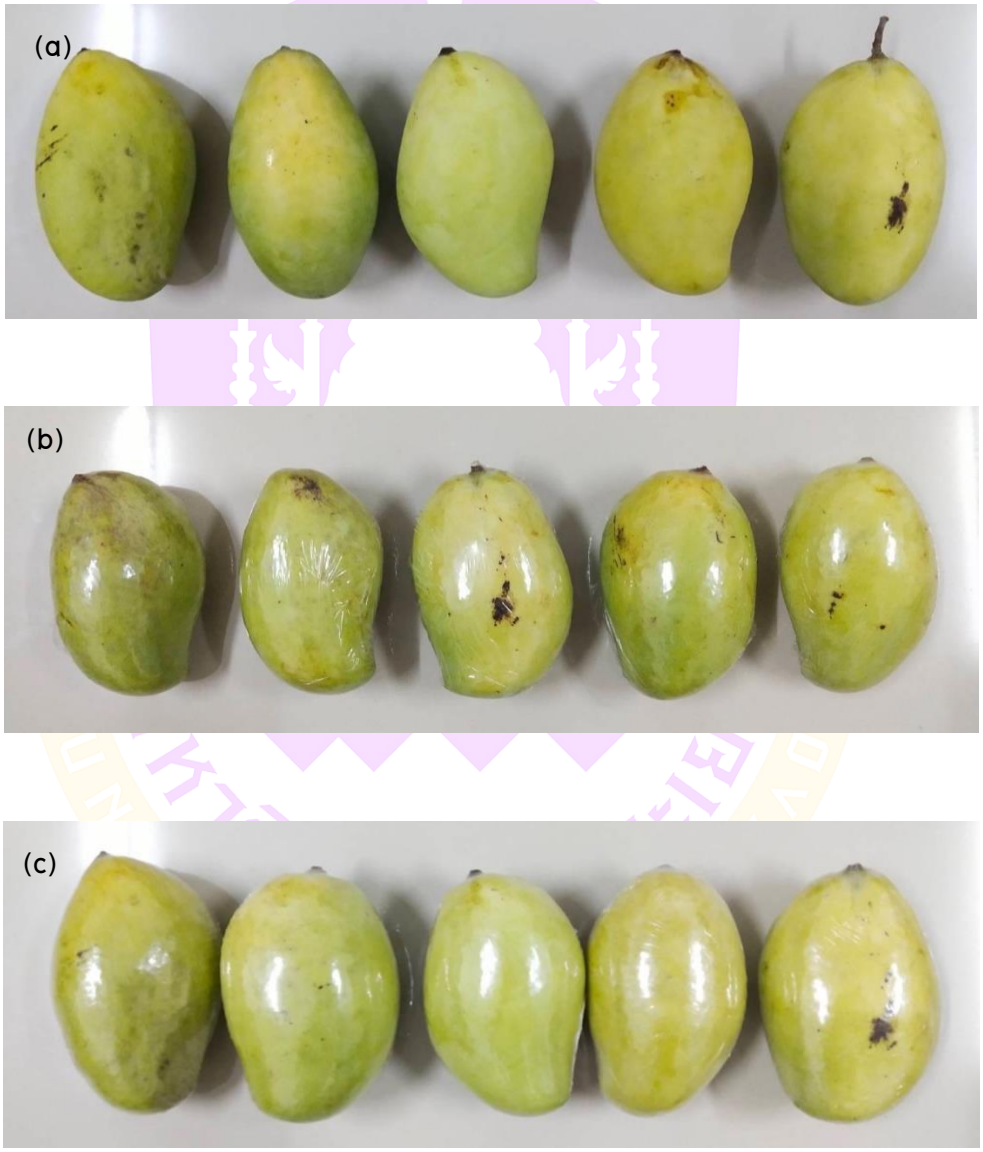
ภาพ 80 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด

ภาคผนวก ซ

ผลการเก็บถนอมรักษาผลมะม่วงกับกล้วยด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

ผลการเก็บถนอมรักษาผลมะม่วงกับกล้วยด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

1. ทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้อง



ภาพ 81 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 7 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร(e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 36 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 7 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีสี					ดัชนีสี (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	3	3	2	3	3	70
polyethylene films	4	4	4	4	4	100
CFM 0 mg/ml	3	3	2	3	3	70
CFM 10 mg/ml	3	3	2	2	3	65
CFM 100 mg/ml	3	3	2	3	2	65
CFM 500 mg/ml	3	2	2	2	2	55

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 37 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 7 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีโรค					ดัชนีโรค (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	3	3	3	3	3	75
polyethylene films	4	4	4	4	4	100
CFM 0 mg/ml	3	2	2	2	3	60
CFM 10 mg/ml	3	2	3	2	2	60
CFM 100 mg/ml	1	2	2	2	2	45
CFM 500 mg/ml	2	1	1	2	2	40

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

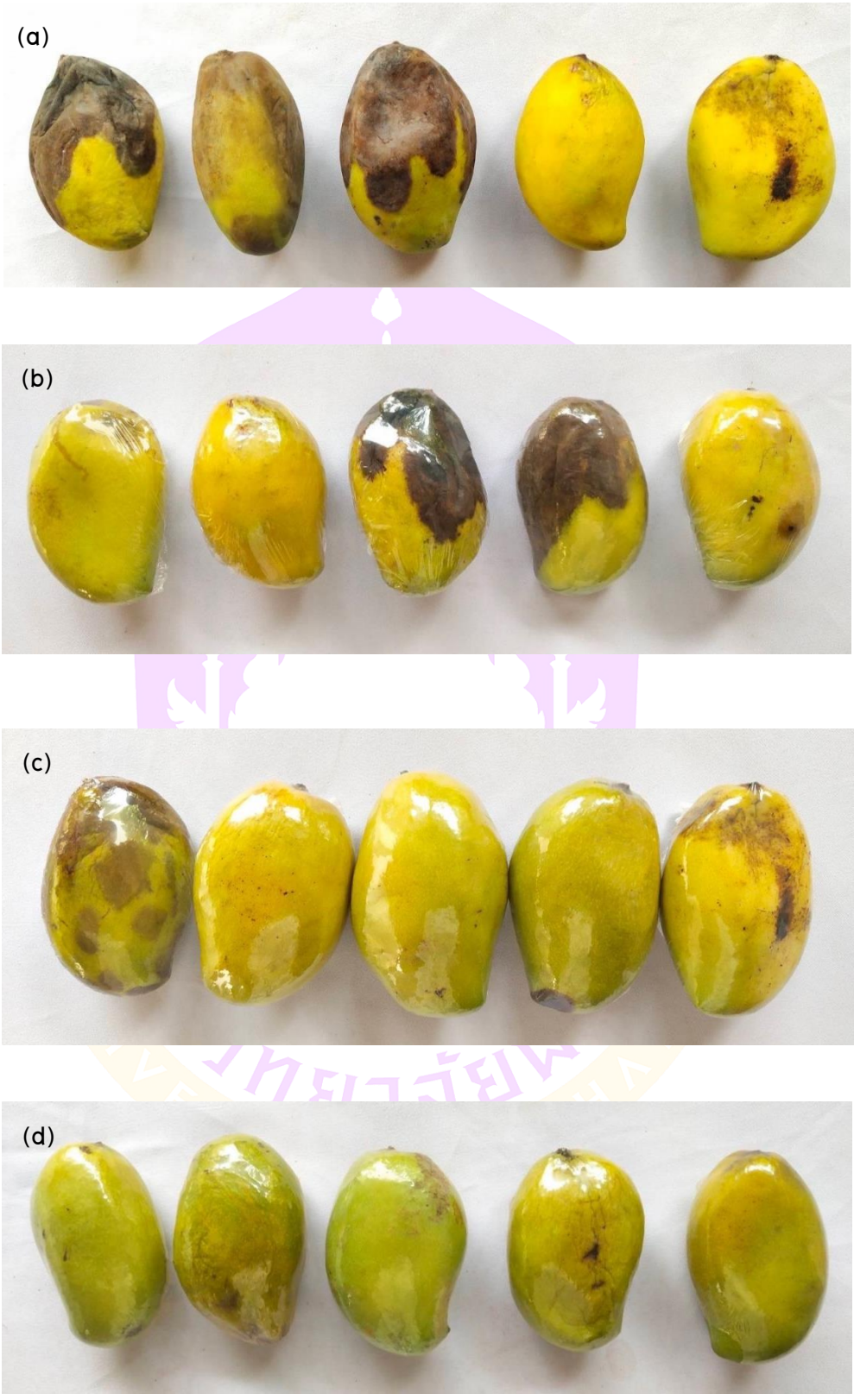
polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร


(a)
(b)
(c)
(d)

ภาพ 82 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 14 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 38 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 14 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีสี					ดัชนีสี (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	4	4	4	4	4	100
polyethylene films	4	4	4	4	4	100
CFM 0 mg/ml	4	4	4	4	4	100
CFM 10 mg/ml	4	4	4	4	4	100
CFM 100 mg/ml	4	4	4	4	4	100
CFM 500 mg/ml	4	4	4	4	4	100

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 39 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 14 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีโรค					ดัชนีโรค (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	4	4	4	4	4	100
polyethylene films	4	4	4	4	4	100
CFM 0 mg/ml	4	3	3	3	3	80
CFM 10 mg/ml	3	3	3	3	2	70
CFM 100 mg/ml	3	2	2	3	2	60
CFM 500 mg/ml	2	2	2	2	2	50

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

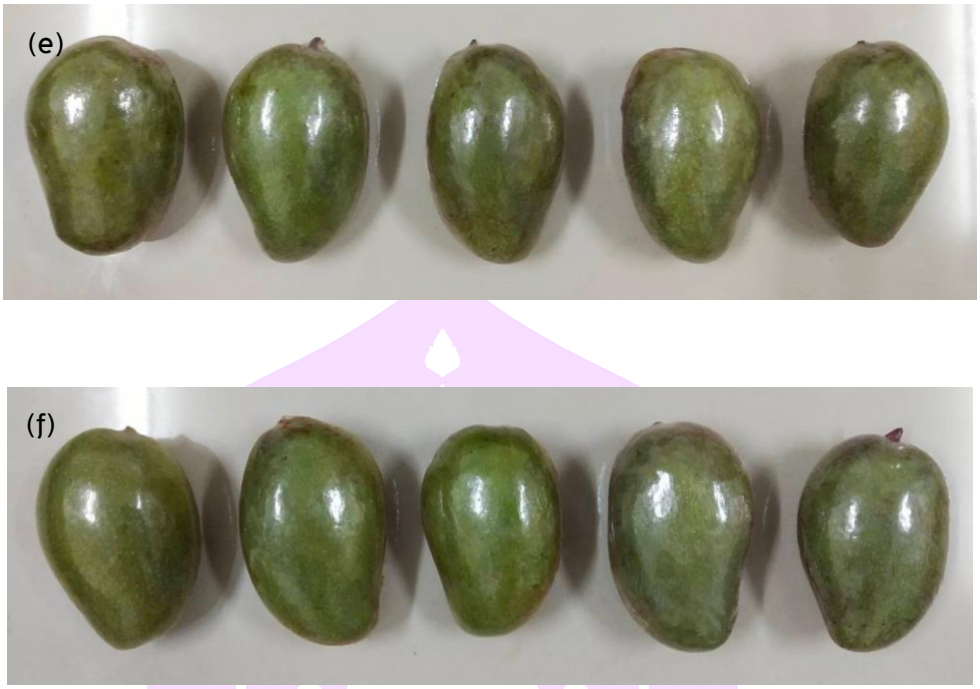
CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2. ทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็น



ภาพ 83 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 7 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 40 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 7 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีสี					ดัชนีสี (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	1	0	1	1	1	20
polyethylene films	1	1	1	1	1	25
CFM 0 mg/ml	1	1	1	1	1	25
CFM 10 mg/ml	0	1	1	1	1	20
CFM 100 mg/ml	0	1	1	1	1	20
CFM 500 mg/ml	1	1	1	1	0	20

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 41 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 7 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีโรค					ดัชนีโรค (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	2	1	1	1	1	30
polyethylene films	2	1	2	1	1	35
CFM 0 mg/ml	1	2	1	1	1	30
CFM 10 mg/ml	1	1	1	2	1	30
CFM 100 mg/ml	1	1	1	1	1	25
CFM 500 mg/ml	0	1	1	1	1	20

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

(a)

(b)

(c)

(d)

ภาพ 84 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 14 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 42 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 14 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีสี					ดัชนีสี (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	1	2	1	1	2	35
polyethylene films	2	2	2	1	1	40
CFM 0 mg/ml	2	1	1	1	2	35
CFM 10 mg/ml	1	2	1	1	1	30
CFM 100 mg/ml	1	1	1	2	2	35
CFM 500 mg/ml	2	1	1	1	1	30

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 43 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลมะม่วงในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 14 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีโรค					ดัชนีโรค (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	2	2	2	2	2	50
polyethylene films	3	2	2	2	3	60
CFM 0 mg/ml	1	2	2	1	2	40
CFM 10 mg/ml	1	2	2	2	2	45
CFM 100 mg/ml	2	1	1	1	2	35
CFM 500 mg/ml	1	1	1	1	2	30

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

3. ทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้อง

(d)

(e)

(f)

ภาพ 85 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 7 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 44 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 7 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีสี					ดัชนีสี (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	3	3	4	3	3	80
polyethylene films	4	4	4	4	4	100
CFM 0 mg/ml	3	2	3	3	3	70
CFM 10 mg/ml	2	2	3	2	3	60
CFM 100 mg/ml	3	2	3	3	2	65
CFM 500 mg/ml	3	2	3	3	3	70

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม
polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์
CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด
CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 45 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 7 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีโรค					ดัชนีโรค (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	3	3	3	3	2	70
polyethylene films	4	4	4	4	4	100
CFM 0 mg/ml	3	2	3	3	3	70
CFM 10 mg/ml	2	2	3	2	3	60
CFM 100 mg/ml	2	1	2	2	1	40
CFM 500 mg/ml	1	1	2	2	2	40

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

(a)

(b)

(c)

ภาพ 86 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 14 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิง

พาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 46 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 14 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีสี					ดัชนีสี (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	4	4	4	4	4	100
polyethylene films	4	4	4	4	4	100
CFM 0 mg/ml	4	4	4	4	4	100
CFM 10 mg/ml	4	4	4	4	4	100
CFM 100 mg/ml	4	4	4	4	4	100
CFM 500 mg/ml	4	4	4	4	4	100

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 47 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิห้องที่ระยะเวลา 14 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีโรค					ดัชนีโรค (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	4	4	4	4	4	100
polyethylene films	4	4	4	4	4	100
CFM 0 mg/ml	3	3	3	3	3	75
CFM 10 mg/ml	3	3	3	3	3	75
CFM 100 mg/ml	3	3	3	3	2	70
CFM 500 mg/ml	3	3	2	3	3	70

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

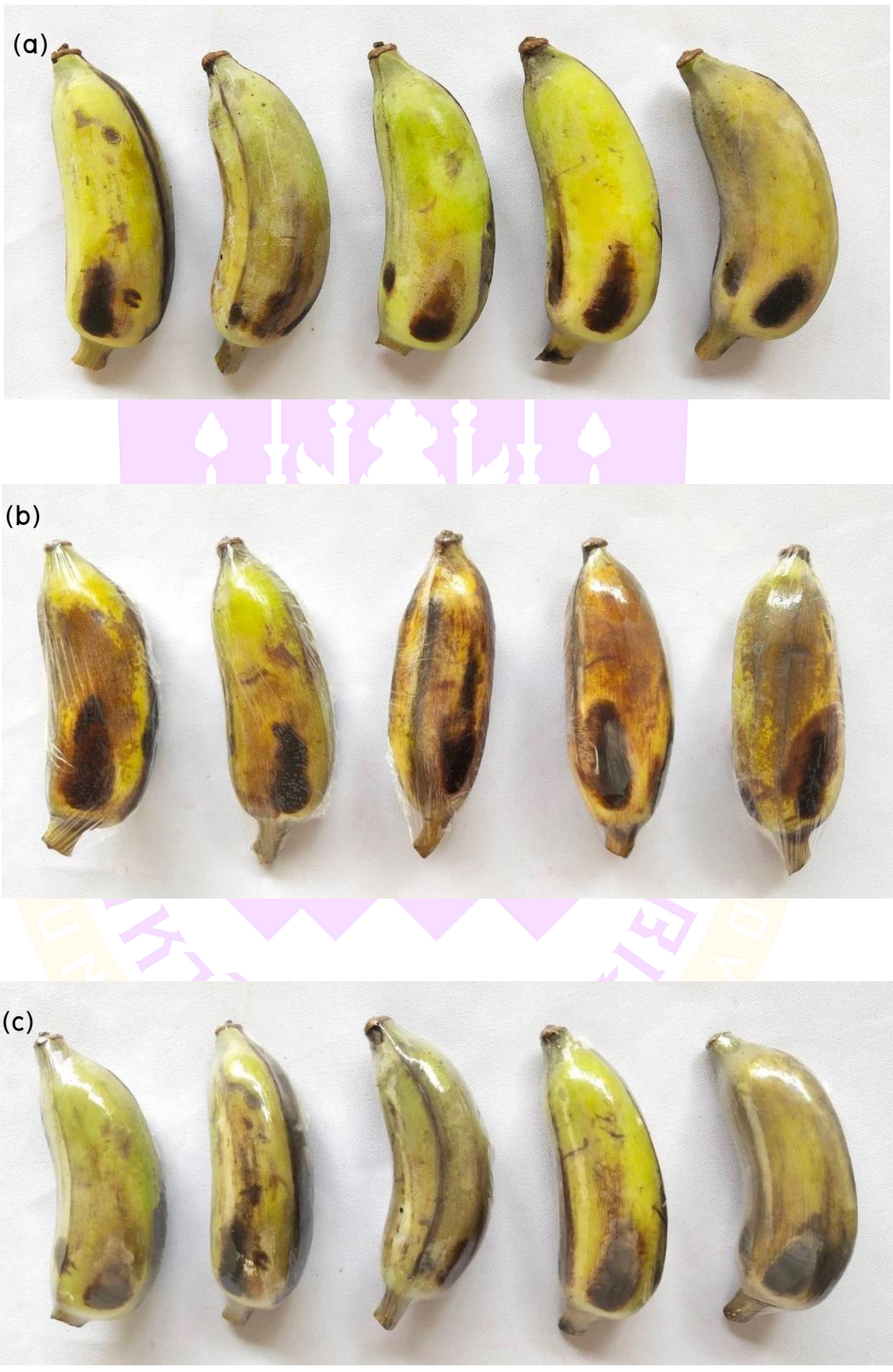
CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

4. ทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็น



(d)

(e)

(f)

ภาพ 87 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 7 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 48 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 7 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีสี					ดัชนีสี (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	1	1	1	1	2	30
polyethylene films	1	1	2	2	1	35
CFM 0 mg/ml	1	1	1	1	2	30
CFM 10 mg/ml	1	1	1	1	1	25
CFM 100 mg/ml	1	1	1	2	1	30
CFM 500 mg/ml	1	1	1	1	2	30

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 49 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 7 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีโรค					ดัชนีโรค (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	2	1	1	1	1	30
polyethylene films	1	1	2	2	2	40
CFM 0 mg/ml	2	1	1	1	2	35
CFM 10 mg/ml	2	1	1	1	1	30
CFM 100 mg/ml	1	1	1	1	1	25
CFM 500 mg/ml	1	1	1	1	1	25

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

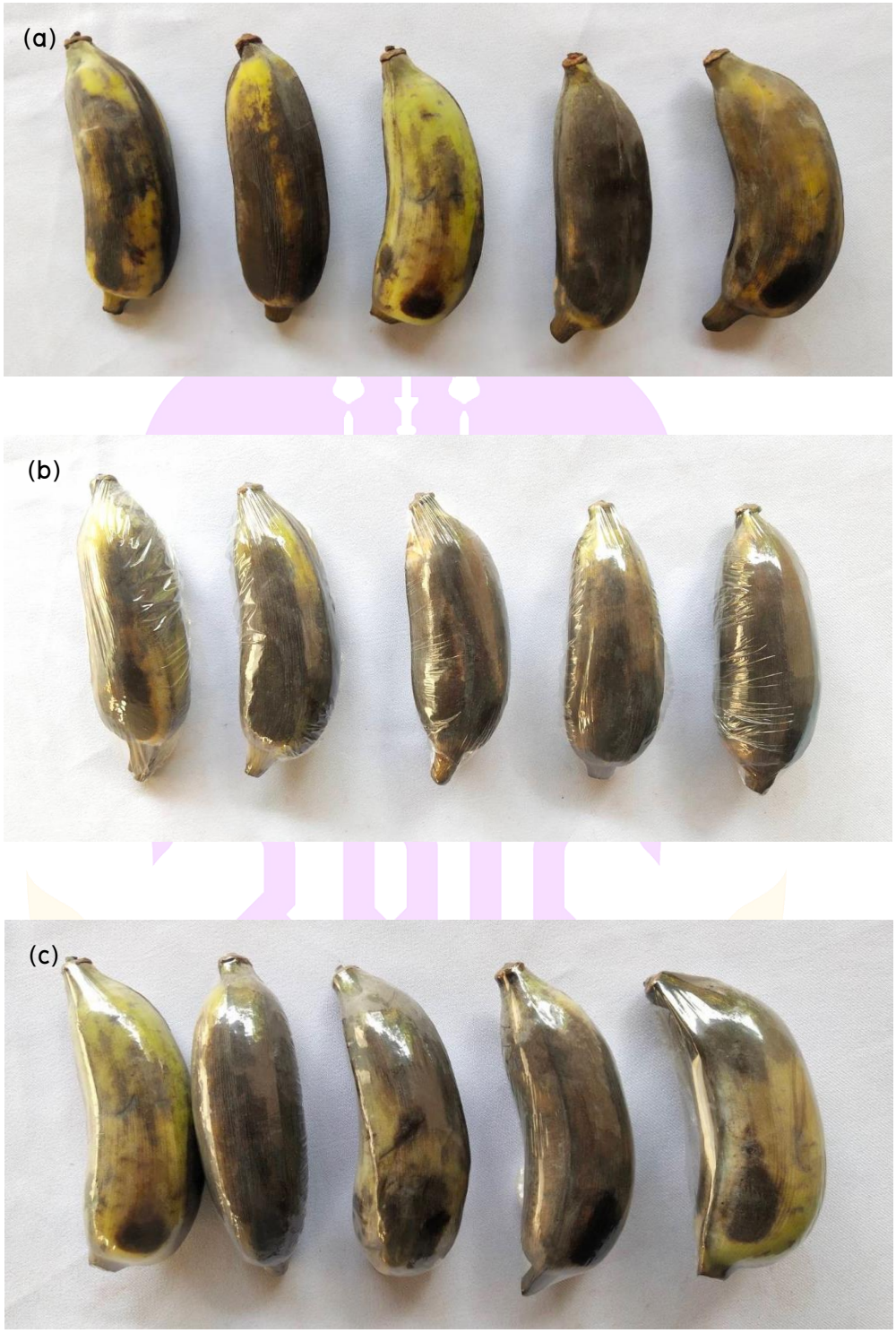
polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร


(a)
(b)
(c)

(d)

(e)

(f)

ภาพ 88 ผลการทดสอบการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 14 วัน โดย (a) ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม (b) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์ (c) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (d) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (e) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (f) ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลสผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 50 ผลดัชนีสีของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 14 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีสี					ดัชนีสี (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	2	2	2	2	3	55
polyethylene films	2	2	3	3	2	60
CFM 0 mg/ml	2	2	2	2	2	50
CFM 10 mg/ml	2	2	2	2	2	50
CFM 100 mg/ml	1	1	2	2	2	40
CFM 500 mg/ml	1	1	2	2	2	40

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ตาราง 51 ผลดัชนีโรคของการถนอมรักษาผลกล้วยในอุณหภูมิแช่เย็นที่ระยะเวลา 14 วัน

สิ่งทดลอง	ระดับดัชนีโรค					ดัชนีโรค (%)
	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ซ้ำ 4	ซ้ำ 5	
control	3	3	2	3	3	70
polyethylene films	2	3	3	3	3	70
CFM 0 mg/ml	2	3	3	2	2	60
CFM 10 mg/ml	2	2	3	3	2	60
CFM 100 mg/ml	2	2	3	3	3	65
CFM 500 mg/ml	2	2	2	2	3	55

หมายเหตุ: control คือ ผลมะม่วงไม่ห่อด้วยฟิล์ม

polyethylene films คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มพอลิเอทิลีนเชิงพาณิชย์

CFM 0 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ไม่ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

CFM 10 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 100 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

CFM 500 mg/ml คือ ผลมะม่วงที่ห่อด้วยฟิล์มเซลลูโลส ผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ภาคผนวก ฌ

การทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

การทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากลำต้นเทียมกล้วยน้ำว้าผสมสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด

เตรียมดินบรรจุในภาชนะตู้ปลา

ความชื้นในดิน 50% โดยเติมน้ำกลั่นลงไป

ฝังกลบในดิน โดยศึกษาลักษณะสัณฐาน และวัดน้ำหนักที่หายไป

ภาพ 89 การทดลองการย่อยสลายทางชีวภาพของฟิล์มเซลลูโลส

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ธนากร ปัญโญป้อ
วัน เดือน ปี เกิด	7 มิถุนายน 2542
สถานที่เกิด	พะเยา
วุฒิการศึกษา	มัธยมศึกษาปีที่ 6, โรงเรียนประชารัฐธรรมคุณ, ลำปาง
ที่อยู่ปัจจุบัน	128/4 ม.3 ต.หลวงใต้ อ.งาว จ.ลำปาง 52110
ผลงานตีพิมพ์	ผลของสารสกัดหยาบที่ผลิต IAA จาก Bacillus subtilis ต่อการเจริญเติบโตของถั่วเขียว (Vigna radiata)
รางวัลที่ได้รับ	การนำเสนอระดับดี