ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ทดแทนซองพลาสติกเพื่อบรรจุซิลิกาสำหรับดูดความชื้น

A Corn Husk Fiber Parcel Coated with Kaffir Lime Oil Extract Replacement of a Plastic Parcel for Parceling Moisture Absorption by Silica Powder

วิสาข์ มีเพชร

ปภัสรา วงค์เลี้ยง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญานิพนธ์ ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ทดแทนซองพลาสติกเพื่อบรรจุชิลิกาสำหรับดูดความชื้น

ชื่อ นามสกุล วิสาข์ มีเพชร
ปภัสรา วงค์เลี้ยง

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ภัทริกา สูงสมบัติ

คณะกรรมการสอบได้ให้ความเห็นชอบปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

.....ประธานกรรมการ
(ดร.ดวงฤทัย นิคมรัฐ)

.....กรรมการ
(ผศ.ณัฐชมัย ลักษณ์อำนวยพร)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ภัทริกา สูงสมบัติ)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. .....

ชื่อปริญญานิพนธ์ ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ทดแทนซองพลาสติกเพื่อบรรจุซิลิกาสำหรับดูดความชื้น

ชื่อ นามสกุล วิสาข์ มีเพชร
ปภัสรา วงค์เลี้ยง

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

การเก็บรักษาอาหาร และสิ่งของ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ให้แห้ง คงสภาพเดิม สามารถใช้ซิลิกาในการดูดความชื้น ซิลิกาส่วนใหญ่บรรจุในซองที่ทำมาจากพลาสติก ซึ่งเป็นวัสดุที่ยากต่อการถูกย่อยสลายตามธรรมชาติ ก่อให้เกิดปัญหาของสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงศึกษาและพัฒนาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรคือ เปลือกข้าวโพดมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์ซองกระดาษบรรจุซิลิกา เพื่อดูดความชื้นจากอาหารตัวอย่างในที่นี้คือ ข้าวสาร จากการศึกษาพบว่ากระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดมีคุณลักษณะผิวกระดาษเรียบสม่ำเสมอ เมื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดมีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นสูงสุดที่ความชื้นอิ่มตัว คือ 9.22±0.92% และสามารถดูดความชื้นจากข้าวสารที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้เมื่อเทียบกับซองพลาสติก คือ 8.26±0.50% และ 9.30±0.08% ตามลำดับ เมื่อเคลือบกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดด้วยสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด สามารถต้านเชื้อราทั่วไปที่ขึ้นบนเปลือกข้าวโพด ตั้งแต่ความเข้มข้น 15,000 ppm และสามารถย่อยสลายเองตามธรรมชาติภายใน 12 วัน ดังนั้นด้วยคุณสมบัติที่ดีดังกล่าวทำให้กระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเหมาะสมในการเป็นผลิตภัณฑ์ซองธรรมชาติใส่ซิลิกา เพื่อดูดซับความชื้น และเพื่อเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : เส้นใยเปลือกข้าวโพด, สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด, การดูดความชื้น, ซองพลาสติก, ซิลิกา

Thesis title A Corn Husk Fiber Parcel Coated with Kaffir Lime Oil Extract Replacement of a Plastic Parcel for Parceling Moisture Absorption by Silica Powder

Author Wisa Meepech
Papassara Wongliang

Degree Bachelor of Science

Major program Environmental Science and Natural Resources
Faculty of Science and Technology

Academic Year 2019

ABSTRACT

In order to maintain food and materials, including drying products at the original dried condition, silica gel can be one choice for absorbing moisture. Most silica gel is packed in an Parcel made from plastic, which is difficult to naturally degrade thus causing environmental problems. This research, therefore, have developed packaging material from agricultural waste, corn husks, for absorbing moisture from food, rice. From the study, it was found that the corn husk paper had characteristic of smooth paper surface. When making it into a corn fiber Parcel, its maximum moisture absorption from saturated humidity was 9.22±0.92% and it could absorb the moisture from the rice stored at room temperature when compared to the plastic sachet at 8.26±0.50% and 9.30±0.08%, respectively. When coated with kaffir lime oil extract, the corn husk Parcel had the capability in anti-fungus commonly habituated in corn husks up the concentration of 15,000 ppm. It could naturally be degraded within 12 days. Therefore, with these advantageous qualification, the natural Parcel made of corn husk paper harboring silica is for moisture absorption as sustainable and environmental conservation material.

Keywords : Corn Husk Fiber, Kaffir Lime Oil Extract, Plastic Parcel, Moisture Absorption, Silica

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือ และความกรุณาอย่างดียิ่งของคณาจารย์หลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ภัทริกา สูงสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ดร.ดวงฤทัย นิคมรัฐ ประธานสอบปริญญานิพนธ์ และ ผศ.ณัฐชมัย ลักษณ์อำนวยพร กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และช่วยแก้ไขข้อบกพร่องของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์มาโนช หลักฐานดี หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม และคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำวิจัย และอบรมวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยจนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณเกษตรกร จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมเปลือกข้าวโพด

ขอขอบพระคุณ ทุนสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2563 ที่สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน รวมถึงเพื่อน ๆ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจในการศึกษาวิจัยเป็นอย่างดี

ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

วิสาข์ มีเพชร

ปภัสรา วงค์เลี้ยง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 นิยามศัพท์	4
1.7 คำสำคัญ	4
1.8 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ซิลิกาและการดูดความชื้น	6
2.2 ข้าวโพดและคุณสมบัติของเส้นใย	11
2.3 เชื้อราในเปลือกข้าวโพด	17
2.4 มะกรูดและสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด	20
2.5 การย่อยสลายและวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 วัสดุอุปกรณ์ 33

3.2 วิธีการทดลอง 34

บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาลักษณะของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด 47

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อราของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด 50

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายของกระดาษและผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทดแทนซองพลสติกเพื่อบรรจุซิลิกาสำหรับดูดความชื้น 60

4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดเทียบกับซองพลาสติก 66

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล 71

5.2 ข้อเสนอแนะ 72

เอกสารอ้างอิง 73

ภาคผนวก 77

ประวัติผู้วิจัย

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1.1	กรอบแนวความคิดในการวิจัย	3
2.1	โครงสร้างของซิลิกา	6
2.2	ข้าวโพด	11
2.3	ลำต้นข้าวโพด	12
2.4	ใบข้าวโพด	12
2.5	เกสรเพศผู้ของข้าวโพด	13
2.6	เกสรเพศเมียของข้าวโพด	14
2.7	ผลและเมล็ดข้าวโพด	14
2.8	รากข้าวโพด	15
2.9	เชื้อรา *Aspergillus* spp.	18
2.10	เชื้อรา *Cladosporium* spp.	19
2.11	มะกรูด	21
2.12	ลำต้นมะกรูด	21
2.13	ใบมะกรูด	22
2.14	ดอกมะกรูด	22
2.15	ผลมะกรูด	23
3.1	ตะแกรงช้อนเยื่อ	33
3.2	การทำกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด	34
3.3	การทำสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด	36
3.4	สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด	38
3.5	วิธีการสเปรย์สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดลงบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพด	38
3.6	ขั้นตอนการตัดและพับกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด	39
3.7	ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด	40
3.8	เลี้ยงเชื้อราจากเปลือกข้าวโพด	41
3.9	กลุ่มเชื้อราที่พบทั่วไปในเส้นใยเปลือกข้าวโพด	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
3.10	วิธีทำกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเชื้อรา	42
3.11	กระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ผสมเชื้อรา	42
3.12	การศึกษาการย่อยสลายของกระดาษและผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด	43
3.13	วิธีการใส่ซิลิกาเจลในผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด	44
3.14	การทดสอบการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ซองพลาสติก และซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์	44
3.15	การวัดค่าการดูดความชื้นก่อนและหลังการทดสอบ	45
3.16	การทดสอบการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ซองพลาสติก และซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์ ในข้าวสาร 5 กิโลกรัม	45
3.17	ศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด	46
4.1	กระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด	48
4.2	ลักษณะเส้นใยของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด	49
4.3	การเติบโตของเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด จากการสังเกตด้วยตาเปล่า	50
4.4	การเติบโตของเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์	51
4.5	แผนผังตำแหน่งที่มีการศึกษาเชื้อราแบบสุ่มบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด	52
4.6	ตัวอย่างการเติบโตของเชื้อราในกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.7	ตัวอย่างการเติบโตของเชื้อราในกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 5,000 ppm	54
4.8	ตัวอย่างการเติบโตของเชื้อราในกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 10,000 ppm	55
4.9	ตัวอย่างการเติบโตของเชื้อราในกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 15,000 ppm	56
4.10	กราฟแสดงการเติบโตของเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด	57
4.11	แผนผังแสดงการย่อยสลายของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 0 50,000 10,000 และ 15,000 ppm	60
4.12	การย่อยสลายของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด	61
4.13	การย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด และซองพลาสติก (ตัวควบคุม)	63
4.14	กราฟการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นอิ่มตัว ณ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72	67
4.15	กราฟการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดในข้าวสาร	69

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	5
4.1	แสดงค่าเฉลี่ยการเติบโตของเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	57
4.2	แสดงการเปรียบเทียบการเติบโตของเชื้อราในระยะเวลา 7 และ 14 วัน	59
4.3	แสดงการเปรียบเทียบค่า pH ของผลิตภัณฑ์และซองพลาสติก	65
4.4	แสดงค่าร้อยละการดูดความชื้นของซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์ ซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกา และผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความชื้นอิ่มตัว ณ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72	66
4.5	แสดงค่าร้อยละการดูดความชื้นของซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์ ซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกา และผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในข้าวสาร 5 กิโลกรัม	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการพัฒนาทางเศรษฐกิจหลากหลายด้านทำให้บุคคลส่วนใหญ่มีความคิดและดำเนินชีวิตที่ทันสมัยมากขึ้น ตลอดทั้งการเก็บรักษาอาหาร สิ่งของ และผลิตภัณฑ์ให้คงสภาพเดิมหรือทำให้มีปริมาณความชื้นภายในบรรจุภัณฑ์น้อยลงเพื่อลดปัญหาการเกิดเชื้อราและการเสื่อมคุณภาพเร็วกว่าที่ควร การรักษาสภาพของสินค้าประเภทต่าง ๆ จึงนิยมใช้ซิลิกาในการควบคุมปริมาณความชื้นภายในบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากซิลิกามีคุณสมบัติในการดูดความชื้นได้ดี (วรรณี อู่ไพบูรณ์, 2548) แต่ซองที่ใช้สำหรับบรรจุซิลิกาผลิตมาจากพลาสติกซึ่งมีการย่อยสลายตามธรรมชาติช้าหรืออาจไม่ย่อยสลายตามธรรมชาติ จึงเป็นวัสดุเหลือทิ้งประเภทพลาสติกที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งอาชีพเกษตรกรรมภายในประเทศที่ทำให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจากเปลือก ใบ ตลอดจนลำต้นของพืช ส่วนใหญ่เป็นพืชไร่ เช่น อ้อย ข้าวโพด สับปะรด มันสำปะหลัง และอื่น ๆ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมักถูกเผาทำลาย เช่น เปลือกข้าวโพดเป็นสาเหตุของการเกิดปัญหามลพิษทางอากาศ ดังนั้นจึงถูกนำมาทำผลิตภัณฑ์เนื่องจากมีจำนวนมาก และการศึกษาพบว่าเส้นใยของข้าวโพดเป็นแหล่งเส้นใยที่มีศักยภาพสำหรับทำเยื่อกระดาษ ซึ่งเส้นใยมีความแข็งแรงมากและมีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้ค่อนข้างดีเมื่อเปรียบเทียบกับฝ้าย (ภัทราวดี ธงงาม และคณะ, 2561)

วิถีชีวิตและภูมิปัญญาท้องถิ่นถูกนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจเพื่อเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่ามากที่สุด จากการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรดังกล่าวทดแทนการใช้พลาสติก โดยพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติทั้งประเภทที่เป็นเส้นใยและประเภทที่แปรรูปเป็นแผ่นหรือรูปทรงต่าง ๆ (จิราพัทธ์ แก้วศรีทอง, 2560) มีความสามารถในการย่อยสลายได้ง่ายและช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้น แต่ปัญหาที่พบคือเชื้อราที่มีการเจริญเติบโตบนผลิตภัณฑ์ จึงจำเป็นต้องมีการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อที่ขึ้นบนผลิตภัณฑ์ โดยการเคลือบผลิตภัณฑ์ด้วยสารสกัดจากธรรมชาติ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพในการใช้งานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

จากปัญหาดังกล่าว จึงเป็นสาเหตุให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทดแทนซองพลาสติกเพื่อบรรจุซิลิกาสำหรับดูดความชื้น โดยการนำเปลือกข้าวโพดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำการศึกษาและพัฒนาให้เป็นเส้นใย

เริ่มจากการต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และผ่านกระบวนการต่าง ๆ อาทิ การล้าง การปั่น การกรอง และการตากให้แห้ง เมื่อได้เส้นใยจากเปลือกข้าวโพดที่อยู่ในลักษณะเป็นแผ่นหรือเป็นกระดาษ แล้วทำการเคลือบกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดด้วยสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด เพื่อยับยั้งการเกิดเชื้อราที่อาจเกิดขึ้นบนกระดาษและขึ้นรูปให้กระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดนั้นเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับบรรจุซิลิกา

ด้วยคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทดแทนซองพลาสติกเพื่อบรรจุซิลิกาสำหรับดูดความชื้นที่สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติ จึงทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกอีกชนิดหนึ่งที่เหมาะกับการใช้ในการดูดความชื้นทดแทนการใช้ซองซิลิกาแบบเดิมที่มีอยู่ในท้องตลาด เพื่อเป็นการอนุรักษ์และรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนสืบต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางกายภาพ ชีวภาพ และการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อราของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 สถานที่ทำการวิจัย ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

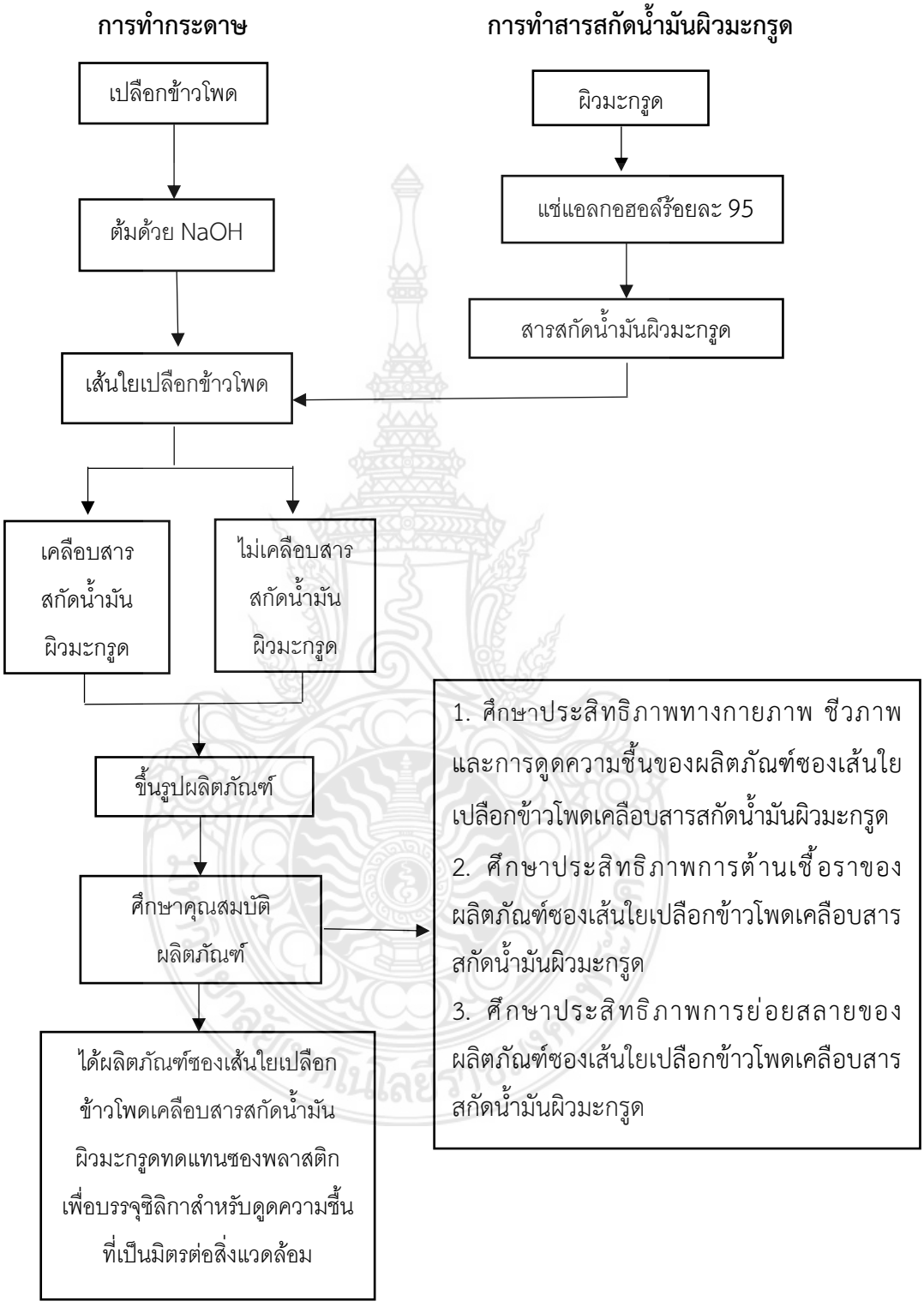
1.3.2 การผลิตเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

1.3.3 การออกแบบผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดเพื่อบรรจุซิลิกา

1.3.4 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดความชื้นของซิลิกาโดยการชั่งน้ำหนักของซิลิกาก่อนและหลังการทดสอบ

1.3.5 การทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อรา และระยะเวลาการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

1.4 กรอบแนวความคิดในการวิจัย



ภาพ 1.1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดเพื่อบรรจุซิลิกาที่มีประสิทธิภาพในการดูดความชื้น

1.5.2 ได้ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทดแทนซองพลาสติกที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรา

1.5.3 ได้ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.6 นิยามศัพท์

ผลิตภัณฑ์ซอง หมายถึง ซองที่ทำมาจากการต้มเปลือกข้าวโพดให้เป็นเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์นำมาเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดและทำการขึ้นรูปเป็นซองสำหรับใส่ซิลิกาเพื่อดูดความชื้น

สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด หมายถึง สารสกัดจากน้ำมันจากผิวมะกรูดที่สกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95

ซองพลาสติก หมายถึง ซองที่ทำมาจากพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน (Polyethylene) บรรจุซิลิกา

ซิลิกาเจล หมายถึง สารสังเคราะห์ที่สกัดจากทรายขาวผสมกรดกำมะถัน นำมาใช้เพื่อดูดความชื้น ลักษณะเป็นเม็ดสีขาวขนาดเล็กบรรจุในซองผลิตภัณฑ์

การต้านเชื้อรา หมายถึง การต้านเชื้อราของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดด้วยสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดต่อเชื้อรากลุ่มที่เจริญบนเปลือกข้าวโพด

การย่อยสลาย หมายถึง ระยะเวลาในการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่อยู่ในดิน

1.7 คำสำคัญ

เส้นใยเปลือกข้าวโพด, สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด, ซองพลาสติก, การดูดความชื้น, ซิลิกา

Corn Husk Fiber, Kaffir Lime Oil Extract, Plastic Parcel, Moisture Absorption, Silica

1.8 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ตาราง 1.1 ระยะเวลาดำเนินการวิจัยระหว่างวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ถึงวันที่ 29 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563

กิจกรรม	พ.ศ. 2562		พ.ศ. 2563	
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←	→		
2. ศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิต	←	→		
3. ศึกษาระยะเวลาการย่อยสลายของเส้นใยเปลือกข้าวโพด		←	→	
4. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด			←	→
5. บันทึกข้อมูลและสรุปผลการทดลอง			←	→
6. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์			←	→
7. เผยแพร่ความรู้และเทคโนโลยี			←	→

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยเรื่องผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทดแทนซองพลาสติกเพื่อบรรจุซิลิกาสำหรับดูดความชื้น ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานให้เกิดความรู้ ความเข้าใจในด้านต่าง ๆ โดยกำหนดหัวข้อไว้ ดังนี้

2.1 ซิลิกาและการดูดความชื้น

2.2 ข้าวโพดและคุณสมบัติของเส้นใย

2.3 เชื้อราในเปลือกข้าวโพด

2.4 มะกรูดและสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

2.5 การย่อยสลายและวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ซิลิกาและการดูดความชื้น

ซิลิกา เป็นสารดูดความชื้นที่นิยมใช้ในการเก็บรักษาอุปกรณ์ สินค้าต่าง ๆ หรือต้องการยืดอายุสินค้าให้นานขึ้น

$$O = Si = O$$

ภาพ 2.1 สูตรโครงสร้างของซิลิกา

2.1.1 คุณสมบัติของซิลิกา

ซิลิกา เป็นผลึกของแข็งสีขาวที่ไม่ละลายน้ำ เกิดจากสารประกอบทางเคมี ระหว่างธาตุซิลิกอนกับธาตุออกซิเจน มีสูตรทางเคมี คือ SiO_2 เกิดขึ้นหลายลักษณะ เช่น ลักษณะของหิน เหล็ก ไฟ และควอตซ์ (Quartz) ซิลิกามีคุณสมบัติเป็นกรด และทำปฏิกิริยากับด่างเข้มข้น นอกจากนี้ยังมีซิลิกาที่เป็นซิลิกาในรูปคอลลอยด์ (Colloidal Silica) แร่ซิลิกากับซิลิกาในรูปคอลลอยด์ มีความเหมือนกันที่สูตรเคมี ส่วนลักษณะทางโครงสร้างจะแตกต่างกัน

ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของซิลิกามีการจัดเรียงตัวแบบเตตระฮีดรอน ยึดเกาะกันด้วยพันธะโควาเลนต์กับออกซิเจนด้านข้าง 4 อะตอม อย่างแข็งแรง ทำให้ซิลิกาบริสุทธิ์มีจุดหลอมเหลวสูงประมาณ 1,500 - 1,700 องศาเซลเซียส มีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ (พัชรินทร์ วรธนกุล, 2553)

2.1.2 รูปแบบของซิลิกา

ซิลิกาจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) ซิลิกาผลึก (Crystalline Silica)

ซิลิกาผลึกสามารถแบ่งย่อยเป็นหลายชนิด ตามความแตกต่างของรูปร่างลักษณะของผลึกและความหนาแน่นของซิลิกา รูปร่างผลึกมีหลายแบบ เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ และเส้นยาว ตัวอย่างซิลิกาที่มีลักษณะเป็นรูปผลึก เช่น High - Temperature Quartz บางครั้งพบในรูป Low - Temperature Quartz ซิลิกาชนิดผลึกสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1.1) ควอร์ตซ์ (Quartz) เป็นรูปแบบที่พบมากที่สุด

1.2) ไทรดิไมท์ (Tridymite)

1.3) คริสโตบาไลท์ (Cristobalite)

รูปแบบต่าง ๆ สามารถเปลี่ยนไปมาระหว่างกันได้โดยการใช้ความร้อนกระทำ

2) ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica or Non - Crystalline Silica)

ซิลิกาอสัณฐานเป็นซิลิกาที่มีส่วนประกอบของรูปร่างที่ไม่เป็นผลึกที่แน่นอน พันธะเคมีในซิลิกาอสัณฐานมีหลายชนิด รวมทั้ง Siloxane (- Si – O - Si), Silinol (- Si – O - H), Silane (- Si - H) หรือ Organic Silicon (- Si – O - R หรือ – Si – C - R) ปฏิกิริยาที่สำคัญของซิลิกาอสัณฐาน คือ คุณสมบัติในการละลายน้ำ สามารถละลายได้ 1.4 ถึง 2.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังสมการ (1)

$$SiO_2(s) + 2H_2O(l) \longrightarrow H_4SiO_4(aq) \quad \text{.....(1)}$$

และพบว่าการละลายน้ำของซิลิกาอสัณฐาน จะไม่ขึ้นอยู่กับ pH ถ้า pH ของสารละลายต่ำกว่า 9 แต่ถ้า pH สูงกว่า 9 ความสามารถในการละลายของซิลิกาจะสูงขึ้น เพราะเกิดจากการแตกตัวของกรดที่มีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

2.1) Vitreous silica เป็นซิลิกาที่ใช้ทำแก้ว มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด ไม่มีรูเกิดจากการหลอมซิลิกาชนิดผลึก

2.2) Silica Gel เป็นซิลิกาที่มีรูปร่างเป็นรูขนาดเล็ก (Porous) อยู่เป็นจำนวนมากมีพื้นที่ผิวของอนุภาคสูง ตัวอย่างของซิลิกาชนิดนี้ ได้แก่ Aquagels, Alcogels, Xerogels และ Aerogels

2.3) Silica Powder เป็นซิลิกาที่มีส่วนประกอบเป็นโครงสร้างที่มีรูขนาดเล็กมากในระดับไมโครเมตรถึงนาโนเมตร เรียกโครงสร้างนี้ว่า Microstructure หรือ Nanostructure ตามลำดับ ตัวอย่างซิลิกาชนิดนี้ เช่น ผงเอควาเจล (Aquagel Powder) ซึ่งได้จากการตกตะกอนของสารละลายอะควาจีนิก (Aquagenic), ไพโรเจนิค (Pyrogenic Powder) ได้จากการระเหยเอาส่วนที่เป็นน้ำในซิลิกาออกไป โดยการให้ความร้อนในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ผงไบออเจนิค (Biogenic Powder) เป็นซิลิกาชนิดผงเอควาเจนิค (Aquagenic Powder) ที่สร้างขึ้นในพืชหรือไดอะตอม
(ศิริวรรณ โพธิ์พรม, 2545)

2.1.3 ประโยชน์และผลกระทบของซิลิกา

การนำซิลิกาไปใช้ประโยชน์ (พัชรินทร์ วรธนกุล, 2553) มีดังนี้

1) อุตสาหกรรมยาง เพื่อให้ยางมีความทนทานต่อแรงดึง การฉีกขาด และการขัดถู
2) อุตสาหกรรมซีเมนต์ เพื่อให้คอนกรีตมีคุณภาพสูง
3) อุตสาหกรรมอาหาร ใช้เป็นตัวดูดจับความชื้น ใช้กรองน้ำดื่ม
4) อุตสาหกรรมสี ใช้เป็นตัวควบคุมการไหลของสี
5) อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้เป็นตัวดูดซับน้ำ
6) อุตสาหกรรมเซรามิก เพื่อช่วยให้การอบแห้งของเนื้อดินทำได้ง่ายขึ้น
7) อุตสาหกรรมแก้ว เพื่อช่วยปรับปรุงให้แก้วมีความแข็งแกร่งขึ้น
8) ประยุกต์ใช้ในเชิงสิ่งแวดล้อม โดยใช้เป็นตัวดูดซับสารเคมีอันตราย เช่น โลหะหนัก

ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสุขภาพ (เอกสารข้อมูลความปลอดภัย, 2559) มีดังนี้

1) การทำลายดวงตาอย่างรุนแรง และการระคายเคืองต่อดวงตา
2) การระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ
3) การทำอันตรายต่ออวัยวะภายในระบบทางเดินหายใจ เช่น ปอดที่ระดับความรุนแรงต่าง ๆ

2.1.4 การวัดความชื้น

ความชื้น หมายถึง ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง หรือปริมาณไอน้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างของอากาศ การวัดความชื้นในอากาศ (Humidity Measurement) มีวิธีต่าง ๆ (วุฒิพงษ์ แสงมณี, 2556) ดังนี้

1) ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) หมายถึง การวัดค่าน้ำหนักของไอน้ำที่มีอยู่จริงในปริมาตรของอากาศจำนวนหนึ่ง คำนวณได้จากน้ำหนักของมวลไอน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรอากาศ หรืออัตราส่วนระหว่างของไอน้ำในอากาศกับปริมาตรของอากาศนั้น ณ อุณหภูมิเดียวกัน มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังสมการ (2)

$$\text{ความชื้นสัมบูรณ์} = \frac{\text{มวลไอน้ำในอากาศ (Mw)}}{\text{ปริมาตรอากาศ ณอุณหภูมิเดียวกัน (Va)}} \quad \text{.....(2)}$$

2) ค่าความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) หมายถึง น้ำหนักหรือความชื้นที่มีอยู่ในอากาศ เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของอากาศชื้น (น้ำหนักของไอน้ำรวมกับน้ำหนักของอากาศ) หรือมวลของไอน้ำที่มีอยู่ต่อมวลทั้งหมดของอากาศชื้น (ไอน้ำ+อากาศแห้ง) ดังสมการ (3)

$$\text{ความชื้นจำเพาะ} = \frac{\text{มวลของไอน้ำ}}{\text{มวลของอากาศ}} \quad \text{.....(3)}$$

3) ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริง ณ อุณหภูมิและความกดอากาศนั้นต่อน้ำหนักของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความกดนั้น ดังสมการ (4)

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{\text{ความชื้นจริงที่มีอยู่ในอากาศ}}{\text{ความชื้นที่อากาศสามารถรับไว้ได้}} \times 100 \quad \text{.....(4)}$$

2.1.5 เครื่องวัดความชื้น

เครื่องมือที่ใช้วัดความชื้นในอากาศมี (ณัฐดนัย เนียมทอง, 2561) แบ่งออกได้ 2 แบบ ดังนี้

1) ไฮโกรมิเตอร์ชนิดกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง (Wet and Dry Hygrometer)

เป็นเครื่องมือวัดความชื้นโดยอาศัยหลักการระเหยของน้ำและดูดความร้อน โดยที่การระเหยนั้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กันความชื้นในอากาศขณะนั้น ประกอบด้วยเทอร์มอมิเตอร์ 2 อันคู่อันแรกใช้สำหรับวัดอุณหภูมิ เป็นกระเปาะแห้ง ส่วนอันที่สองใช้วัดความชื้น

2) ไฮโกรมิเตอร์แบบเส้นผม (Hair Hygrometer) คือ เครื่องวัดโดยนำเส้นผมของมนุษย์มีลักษณะเป็นตลับ และเป็นเส้นผมที่สะอาดปราศจากไขมันของมนุษย์ สำหรับการวัดนั้นใช้หลักการยืดและหดของเส้นผมความชื้นจะมีส่วนสัมพันธ์กับเส้นผม เมื่ออากาศชื้นเส้นผมจะยืดยาวออกและเมื่ออากาศแห้งเส้นผมจะหดตัว

2.1.6 การดูดความชื้น

การลดความชื้นของอากาศที่นิยมใช้งานมี 2 ระบบ ดังนี้

1) ระบบทำความเย็นเชิงกล (Mechanical Refrigeration) เหมาะสำหรับการลดความชื้นในอากาศที่มีความชื้นและอุณหภูมิสูง หากใช้ระบบนี้เพื่อลดความชื้นในอากาศให้ต่ำกว่า 40% ความชื้นสัมพัทธ์ จะทำให้เกิดน้ำแข็งบนคอยล์เย็นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดความชื้นลดลง (ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์ และคณะ, 2559)

2) ระบบลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้น (Desiccant Dehumidification) เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นในอากาศที่มีความชื้นและอุณหภูมิต่ำ มีลักษณะการทำงานโดยอากาศชื้นจากกระบวนการผลิตไหลผ่าน สารดูดความชื้นจะทำหน้าที่ดูดเก็บความชื้นของอากาศไว้ สารดูดความชื้นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ Silica Gel, Activated Alumina, Natural and Synthetic Zeolite, Lithium Chloride, Titanium Silicate และ Synthetic Polymers (ภาคอุตสาหกรรม, 2562)

2.1.7 การหาปริมาณความชื้น

การหาปริมาณความชื้น (Measurement of Moisture Content) สามารถแบ่งออกเป็นสองวิธีหลัก คือ วิธีโดยตรง (Direct Method) และวิธีโดยอ้อม (Indirect Method) วิธีโดยตรงจะเป็นการนำความชื้นออกจากวัสดุและทำการวัดปริมาณความชื้นนั้น วิธีที่เป็นพื้นฐานในการหาค่าความชื้น คือ 1) Oven Method 2) Infra-red Lamp Method 3) Brown Duvel Method ส่วนวิธีโดยอ้อมนั้นจะเป็นการใช้คุณสมบัติอื่นของวัสดุ ที่มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น เช่น ความต้านทานไฟฟ้าหรือคุณสมบัติทางไดอิเลคตริก (Dielectric) วิธีการนี้เป็นวิธีที่รวดเร็วแต่ค่าที่ได้มีความถูกต้องต่ำ เนื่องจาก

คุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความชื้นจะต้องมีการตรวจสอบกับค่าวิธีพื้นฐาน (เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, 2556) ดังสมการ (5)

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักดูดความชื้น} - \text{น้ำหนักก่อนดูดความชื้น})}{\text{น้ำหนักก่อนดูดความชื้น}} \times 100 \quad \text{.....(5)}$$

2.2 ข้าวโพดและคุณสมบัติของเส้นใย

ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญรองลงมาจากข้าวสาลี และข้าว สามารถปลูกได้ทั่วไปในเขตภูมิอากาศอบอุ่น เขตกึ่งร้อนชื้น และเขตร้อน ในประเทศไทยมีแหล่งปลูกข้าวโพดที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดเพชรบูรณ์ นครสวรรค์ ลพบุรี เลย และนครราชสีมา ซึ่งข้าวโพดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ข้าวโพดฝักสด ปลูกเพื่อเป็นอาหารและส่งออกเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง รวมทั้งผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมรับประทาน และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปลูกเพื่อเป็นวัตถุดิบการผลิตอาหารสัตว์ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2561)

2.2.1 อนุกรมวิธานและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ข้าวโพด

อนุกรมวิธาน

Kingdom : Plantae

Order : Poales

Family : Gramineae

Genus : *Zea*

Species : Z. *mays*

ภาพ 2.2 ข้าวโพด

ที่มา : ศูนย์พัฒนาพันธุ์พืชจักรพันธ์เพ็ญศิริ (ม.ป.ป.)

ชื่อสามัญ : Corn หรือ Maize

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Zea mays* L.

วงศ์ : Gramineae

ลำต้น เรียกว่า Culm หรือ Stalk มีลักษณะตั้งตรง และค่อนข้างกลม ประกอบด้วย ข้อ (Node) และปล้อง (Internode) บริเวณข้อมีเนื้อเยื่อเจริญ (Growth Ring) จุดกำเนิดราก (Root Primordia) ตา (Bud) และรอยกาบใบ (Leaf Scar) ปล้องที่อยู่เหนือตามักพบร่องตา (Bud Groove) โดยลำต้นมีความสูงตั้งแต่ 30 เซนติเมตรขึ้นไป ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 2.5 - 5.0 เซนติเมตร และลำต้นสดมักมีสีเขียว แต่บางพันธุ์มีสีม่วง

ภาพ 2.3 ลำต้นข้าวโพด

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2561)

ใบ เป็นใบเลี้ยงเดี่ยว (Simple Leaf) ประกอบด้วย กาบใบ (Leaf Sheath) และแผ่นใบ (Leaf Blade) กาบใบจะหุ้มลำต้น ส่วนแผ่นใบแผ่กางออกมีเส้นกลางใบเรียกว่า Mid Rib ข้าวโพดที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ให้ทนต่ออัตราการปลูกสูง มักมีลักษณะใบตั้งแผ่นใบด้านบน มีขนเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการรับแสง ส่วนแผ่นใบด้านล่างจะเรียบ และมีปากใบจำนวนมาก

ภาพ 2.4 ใบข้าวโพด

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2561)

ดอก มีช่อดอกเพศผู้ เรียกว่า Tassel และช่อดอกเพศเมีย เรียกว่า Ear แยกกันคนละตำแหน่งแต่อยู่ในต้นเดียวกัน (Monoecious Plant) โดยช่อดอกเพศผู้รวมกันอยู่เป็นช่อและอยู่ตอนบนสุดของต้น มักเรียกว่า ดอกหัว มีแกนกลางช่อดอกเรียกว่า Rachis ซึ่งมีกิ่งแขนงชั้นแรกและบนแขนงแรกจะเกิดแขนงชั้นที่สองเกิดเป็นคู่ คือ ชนิดที่มีก้าน (Pedicelled Spikelet) และไม่มีก้าน (Sessile Spikelet) ประกอบด้วย 2 ดอกย่อย ดอกย่อยประกอบด้วยกลีบดอกที่เรียกว่า Lemma และ Palea มีอับละอองเรณู (Anther) 3 อับ แต่ละอับยาวประมาณ 6 มิลลิเมตร และมีละอองเรณู (Pollen Grain) ประมาณอับละ 2,500 อัน ช่อดอกเพศผู้ของข้าวโพดธรรมดา 1 ต้น อาจจะผลิตละอองเรณูได้ถึง 25,000,000 อัน หรือเฉลี่ยแล้วมีละอองเรณูมากกว่า 25,000 อัน ที่จะไปผสมเมล็ดบนฝักซึ่งมีเมล็ดประมาณ 800 – 1,000 เมล็ด การสลัดละอองเรณูเกิดขึ้นก่อนการออกไหม 1 - 3 วัน บนข้าวโพดต้นเดียวกัน การบานของดอกจะบานติดต่อกันหลายวัน ส่วนดอกเพศเมีย อยู่รวมกันเป็นช่อหรือฝัก โดยกลุ่มดอกเพศเมียเกิดเป็นคู่และเรียงกันเป็นแถวบนแกนกลางช่อดอกเรียกว่า ซัง (Cob) ภายในกลุ่มดอกมีดอกย่อย 2 ดอก เรียกว่า Chaff บนดอกเพศเมียแต่ละดอกประกอบด้วยรังไข่ (Ovary) และเส้นไหม (Silk หรือ Style) ซึ่งมีความยาวประมาณ 5 - 15 เซนติเมตร และยื่นปลายโผล่ออกไปรวมกันเป็นกระจุกอยู่ตรงปลายช่อดอก ซึ่งมีเปลือกหุ้มอยู่เพื่อพร้อมที่จะผสมพันธุ์ทันทีที่งอกพ้น เปลือกเส้นไหมมีลักษณะเป็นยางเหนียว ๆ สำหรับคอยรับละอองเกสรที่ปลิวมาสัมผัสแล้วเข้าผสมกับไข่ เมื่อไข่ได้รับการผสมจากละอองเกสร ไข่จะเติบโตเป็นเมล็ด ช่อดอกตัวเมียที่รับการผสมแล้วนี้ เรียกว่า ฝัก (Ear) ทั้งนี้ข้าวโพดต้นหนึ่งอาจมีมากกว่า 1 ฝักขึ้นไป และฝักหนึ่งอาจมีมากถึง 1,000 เมล็ด หรือมากกว่านั้น

ภาพ 2.5 เกสรเพศผู้ของข้าวโพด
ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2561)

ภาพ 2.6 เกสรเพศเมียของข้าวโพด
ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2561)

ผลและเมล็ด ผลของข้าวโพดเป็นแบบ Caryopsis ที่มีเยื่อหุ้มผล (Pericarp) ติดอยู่กับเยื่อหุ้มเมล็ด (Seed Coat) มีลักษณะเป็นเยื่อบาง ๆ ใสไม่มีสี เยื่อหุ้มผลและเยื่อหุ้มเมล็ดรวม เรียกว่า Hull เมล็ดประกอบด้วยคัพภะ (Embryo) เอนโดสเปิร์ม (Endosperm) โดยข้าวโพดจะสะสมแป้งไว้ในส่วนของเอนโดสเปิร์ม การสะสมแป้งจะสิ้นสุดเมื่อข้าวโพดเจริญเติบโตถึงระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา ซึ่งจะปรากฏแผ่นเยื่อสีดำหรือสีน้ำตาลดำ (Black Layer) ที่บริเวณโคนของเมล็ด

ภาพ 2.7 ผลและเมล็ดข้าวโพด
ที่มา : www.ratchakitcha.soc.go.th/เมล็ดข้าวโพด (2561)

ราก มีระบบแบบรากฝอย (Fibrous Root System) ประกอบด้วยรากที่พัฒนามาจากส่วนแรดิเคิล (Radicle) เรียกว่า Primary Root หรือ First Seedling Root และรากที่แตกแขนงออกมา เรียกว่า Secondary Root หรือ Lateral Root นอกจากนี้ยังมีรากที่เกิดขึ้นที่ Scutellar Node เรียกว่า Seminal Root รากทั้งหมดนี้มีการเจริญเติบโตในระยะเวลาสั้น ๆ ขณะข้าวโพดเป็นต้นกล้า

และจะตายไปเมื่อต้นข้าวโพดโตขึ้น รากส่วนที่สองคือรากที่เจริญมาจากลำต้น เรียกว่า Adventitious Root ซึ่งเกิดจากข้อส่วนล่างของลำต้น ข้อแรกที่เกิดรากชนิดนี้คือ Coleoptilar Node รากเหล่านี้จะเจริญเติบโตอยู่ตลอดชีวิตของข้าวโพด สามารถเจริญแผ่กระจายรอบลำต้นมีรัศมีประมาณ 1 เมตร และหยั่งลึกลงไปในดินได้ 2.1 - 2.4 เมตร (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2561)

ภาพ 2.8 รากข้าวโพด
ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2561)

2.2.2 แหล่งของเส้นใยที่ได้จากพืช

แหล่งของเส้นใยสามารถนำมาจากพืชเกือบทุกชนิด แต่พืชที่เหมาะจะนำมาทำกระดาษควรจะมีปริมาณเส้นใยมากและมีลักษณะเส้นใยยาว (วุฒินันท์ คงทัด, 2545) โดยแบ่งออกดังนี้

1) เส้นใยจากพืชตระกูลหญ้า เช่น ข้าวโพด (Corn Salk and Husk), ไผ่ (Bamboo), ชานอ้อย (Bagasse), ฟางข้าว (Rice Straw), ข้าวสาลี (Wheat)

2) เส้นจากใบหรือจากกาบใบของลำต้นเทียม เช่น กล้วย (Banana), เฟิร์น (Bird Nest Fern), สับปะรด (Pine Apples)

3) เส้นใยจากเปลือกในและลำต้น เช่น ปอสา (Paper Mulberry), กระเจี๊ยบ (Okra), มะเดื่อ (Fig), หม่อน (Mulberry), ยูคาลิปตัส (Eucalyptus)

4) เส้นใยจากส่วนที่ห่อหุ้มรอบเมล็ดพืช เช่น ฝ้าย (Cotton), นุ่น (Kapok)

5) เส้นใยที่ได้จากไม้ตระกูลสน (Conifer)

2.2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยในพืช

พืชทั่วไปมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 4 ชนิด คือ ลิกนิน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และสารแทรก (Extractive) เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส จะรวมกันเรียกว่า โฮโลเซลลูโลส ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ โดยทั่ว ๆ ไปต้องการวัตถุดิบที่มีโฮโลเซลลูโลสสูง และมีปริมาณลิกนินต่ำ เพราะจะง่ายต่อการกำจัดลิกนินออกจากเยื่อ ส่วนเฮมิเซลลูโลสสามารถวิเคราะห์ในรูปของเพนโตแซน จะบอกถึงปริมาณของน้ำตาลที่มีคาร์บอนห้าอะตอมเป็นองค์ประกอบหลักคือ น้ำตาลไซโลส (Xylose) พบว่าเฮมิเซลลูโลสตามปกติจะถูกไฮโดรไลส์โดยกรดได้ง่ายกว่าเซลลูโลส และมีมวลโมเลกุลน้อยกว่าเซลลูโลส ส่วนสารแทรก จะแบ่งออกเป็นสารแทรกที่ละลายน้ำได้กับสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ สารแทรกหลักที่ประกอบอยู่ในพืชจะเป็นพวกสารระเหย (Volatile Compounds) กรดไขมัน (Fatty acids) ไข (Waxes) สารพวก Polysaccharides รวมทั้งสารประกอบที่เป็นวง (Aromatic Compounds) เช่น Tannins Stilbenes และ Flavonoid เป็นต้น โดยทั่วไปในพืชประกอบด้วยเซลลูโลส ร้อยละ 40 - 45 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 20 – 25 ลิกนิน ร้อยละ 20 - 30 และสารแทรก ร้อยละ 5 - 10 โดยน้ำหนัก (วุฒินันท์ คงทัด, 2545)

2.2.4 คุณสมบัติของเส้นใยข้าวโพด

ต้นและใบข้าวโพด เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีปริมาณมาก ราคาถูก เป็นแหล่งเชื้อเพลิง และแหล่งสารเคมีที่มีความยั่งยืนในอนาคต มีการศึกษาเส้นใยที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดและการใช้ประโยชน์สำหรับเป็นวัสดุทำเยื่อกระดาษ ซึ่งค้นพบว่าเส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติที่ได้จากต้นข้าวโพดมีโครงสร้างและสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและอุตสาหกรรมอื่น ๆ เส้นใยที่ได้จากต้นข้าวโพดประกอบด้วยเซลล์เดี่ยว ๆ ที่ยึดเกาะกันเป็นกลุ่มเซลล์ สภาวะการสกัดเส้นใยที่รุนแรงจะกำจัดสารยึดเกาะออกเกือบหมดทำให้ได้ใยเดี่ยว ๆ มีความยาว 0.7-1.5 มิลลิเมตร เส้นใยประกอบด้วยเซลลูโลส ร้อยละ 80 ลิกนิน ร้อยละ 8 ความชื้น ร้อยละ 8 ส่วนที่เหลือเป็นแร่ธาตุและเพคติน

คุณภาพของเส้นใยในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวโพด

เส้นใยเดี่ยวถูกเชื่อมเป็นกลุ่มด้วยเมลลาชั้นกลาง ซึ่งมีความเข้มข้นของลิกนิน ค่อนข้างสูง ทำให้พบความแตกต่างอย่างชัดเจนในสัณฐานของเซลล์ และองค์ประกอบทางเคมีระหว่างส่วนของพืชที่แตกต่างกัน 4 ส่วน ได้แก่

1) เปลือกของลำต้น (Stalk Rind)

2) แก่นของลำต้น (Stalk Pith)

3) แผ่นใบ (Leaf Blade)

4) กาบใบ (Leaf Sheath)

เส้นใยจากแก่นของลำต้นจะสั้นและละเอียด มีปริมาณเซลล์พืชพื้นฐานหรือพาเรงคิมา (Parenchyma) และท่อลำเลียง (Vessel) สูงที่สุด จึงไม่เหมาะสมในการทำกระดาษ แต่ในลักษณะสัณฐานเส้นใยจากเปลือกของลำต้นข้าวโพด มีความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุสำหรับการทำกระดาษ ความแตกต่างของปริมาณเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) ในส่วนของเนื้อเยื่อสเคลอเรนไคมา (Sclerenchyma Cell) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ส่วนต่าง ๆ ของพืช นอกจากนี้ในเปลือกของลำต้นมีลิกนินมากกว่าในเนื้อเยื่อส่วนอื่น ๆ รวมทั้งในส่วนของเปลือกลำต้นที่มีเฮมิเซลลูโลสต่ำที่สุด (ภัทราวดี ธงงาม และคณะ, 2561)

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายของเส้นใย (ชวลิต ฮงประยูร, 2543) มีทั้งหมด 4 ข้อ ดังนี้

1) ขนาดของเส้นใย

2) การระบายอากาศของเส้นใย

3) ความชื้นของเส้นใย

4) จุลินทรีย์หรือแร่ธาตุที่เหมาะสำหรับการย่อยสลาย

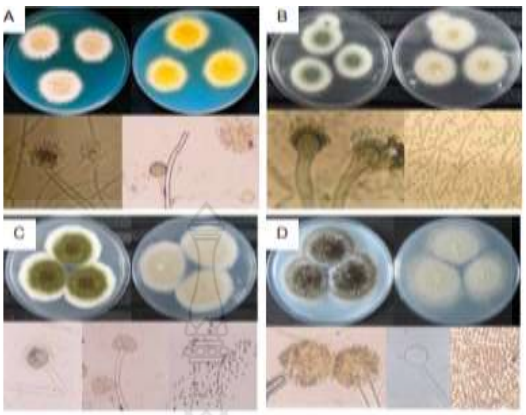
2.3 เชื้อราในเปลือกข้าวโพด

การเกิดเชื้อราขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ทั้งความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ องค์ประกอบของบรรยากาศ ความเป็นกรด-ด่าง รวมทั้งคาร์บอนและไนโตรเจน เมื่ออยู่ในสภาพที่เหมาะสมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงและมีการเจริญเติบโตของสปอร์ (Spore) (ณรงค์ ใจชอบ, 2541) นอกจากนี้ราที่เกิดจากการเน่าเสียตามธรรมชาติ เช่น ใบไม้ กิ่งไม้ ดิน น้ำ สปอร์ของรา สามารถปลิวได้ในอากาศ ดังนั้นในอากาศจึงมีสปอร์อยู่มากน้อยแตกต่างกันตามวัสดุที่ใช้และสภาพแวดล้อม (แม้นสรวง วุฒิอุดมเลิศ, ม.ป.ป.)

เชื้อราที่เกิดในสภาพแวดล้อมบางชนิดทำให้เกิดโรคพืชในข้าวโพด เช่น เชื้อรา *Aspergillus* spp. *Cladosporium* spp. *Penicillium oxalicum Botryodiplodia theobromae* ได้แก่ โรคฝักและเมล็ดเน่าจากเชื้อรา โรคสมัทหรือโรคเขม่าสีดำ โรคใบด่าง เป็นต้น (ชุติมันต์ พานิชศักดิ์พัฒนา, ม.ป.ป.)

กลุ่มเชื้อราดังกล่าวที่เกิดขึ้นในเปลือกข้าวโพดเป็นเพียงกลุ่มเชื้อราที่พบทั่วไป จึงทำการศึกษาเพียงบางชนิดเท่านั้น คือ เชื้อรา *Aspergillus* spp. *Cladosporium* spp.

2.3.1 *Aspergillus* spp.



Morphological and cultural characters of 4 different *Aspergillus* groups
A. *Aspergillus terreus* group B. *Aspergillus fumigatus* group
C. *Aspergillus flavus* group D. *Aspergillus niger* group

ภาพ 2.9 เชื้อรา *Aspergillus* spp.
ที่มา : ชลนิชา ทองขลิบ และ วิเชียร กิจปรีชาวนิช (ม.ป.ป.)

เชื้อรา *Aspergillus* spp. มีลักษณะทั่วไปเป็นเส้นใยเจริญเติบโตได้ดีไม่มีสี หรือมีสีค่อนข้างอ่อน (Hyaline or Subhayaline) และมีผนังกั้น (Septum Hyphae) ก้านชู Spore (Conidiophore) มีลักษณะเป็นก้านยาวไม่แตกกิ่งก้าน (Branch) ที่ปลายโป่งออก (Vesicle) และเป็นที่เกิดของ Cell ที่ให้กำเนิดของ Spore (Sterigma) ซึ่งมี 1 ชั้น (Uniseriste) หรือ 2 ชั้น (Biseriate) ก็ได้ Spore เกิดติดต่อกันเป็นลูกโซ่

Aspergillus จำแนกออกเป็น 18 กลุ่ม โดยจำแนกตามสี และรูปร่างของ Conidial head หรือจำแนกตามสัญฐานวิทยา (Morphology) ของ Vesicle Sterigma Hulle Cell และ Ascospore เช่น *Aspergillus terreus* group *A. terreus* Conodial Head เมื่อยังอ่อนอยู่ไม่มีสี เมื่ออายุมากขึ้นจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองแกมน้ำตาล มีรูปร่างเป็นแท่งยาวอัดกันแน่น ซึ่งมีขนาดต่างกัน Conidiophore ไม่มีส่วนได้ Vesicle ขยายกว้างออกเล็กน้อย Vesicle เกิดอย่างหนาแน่น เกิดเต็ม Vesicle ชั้นที่ 2 เกิดอย่างหนาแน่นเช่นกัน Conidia รูปร่างกลมผนังเรียบสีครีมอ่อน เมื่อนำมาเลี้ยงบนอาหาร Czapex A Agar มีลักษณะโคโลนี มีสี Cinnamon จนกระทั่งสีส้ม-สีน้ำตาล (ภาพ 2.9)

เชื้อราในสกุล *Aspergillus* spp. มีทั้งประโยชน์และโทษ ซึ่งมีหลาย Species ที่ใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม เช่น *Aspergillus oryzae* ใช้ทำซีอิ๊ว *Aspergillus niger* ผลิตกรด Oxalic ในด้านที่เป็นโทษ คือการทำลายคุณภาพอาหารในเมล็ด และอาจเกิดสารพิษอะฟลาทอกซินขึ้นได้ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์เลือดอุ่น และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (ณรงค์ ใจชอบ, 2541)

เชื้อรา *Aspergillus* spp. สามารถก่อให้เกิดโรคที่เรียกว่า Aspergillosis ทำให้เกิดอาการตั้งแต่เล็กน้อยจนถึงเป็นสาเหตุการตายของผู้ป่วย โรคที่เกิดขึ้นอาจเกิดที่ปอด ระบบประสาท ผิวหนัง จมูก หู ตา เล็บ นอกจากนี้ *Aspergillus* spp. บางสายพันธุ์สามารถสร้างสารพิษได้ เรียกว่า อะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) (อัจฉรา พัฒนเดช, 2543)

ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวกับการเจริญของเชื้อรา *Aspergillus* spp. (อัจฉรา พัฒนเดช, 2543) ได้แก่

1) ความชื้น

เชื้อรา *Aspergillus* spp. แต่ละชนิดเจริญได้ในความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ร้อยละ 65 - ร้อยละ 90

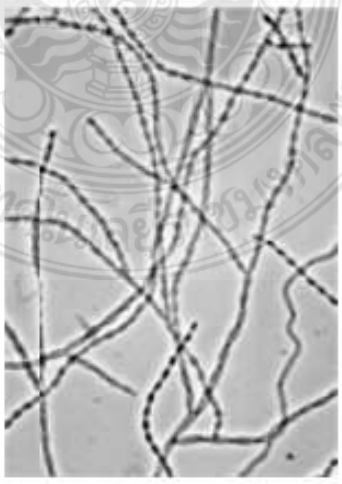
2) อุณหภูมิ

เชื้อรา *Aspergillus* spp. แต่ละชนิดเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อสามารถเจริญได้คือ 6-8 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดที่เชื้อสามารถเจริญได้คือ 44-46 องศาเซลเซียส

3) ส่วนประกอบของบรรยากาศ

โดยเฉพาะออกซิเจนในอากาศที่มีผลต่อการเจริญของเชื้อรา และจุลินทรีย์อื่น ๆ ระบบสุญญากาศจึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการเก็บรักษาเมล็ดพืชอาหารสัตว์ เมล็ดพืชที่มีความชื้นสูง และการถนอมอาหาร โดยเก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิด

2.3.2 *Cladosporium* spp.



ภาพ 2.10 เชื้อรา *Cladosporium* spp.
ที่มา : แม้นสรวง วุฒิอุดมเลิศ (ม.ป.ป.)

เชื้อรา *Cladosporium* spp. เป็นราใน Class Dematiaceous Hyphomycetes ที่สร้างเส้นใย Conidiophores หรือ Conidium ที่มีสีเข้ม Conidiophores เป็นก้านยาว ตั้งตรงและแตกกิ่งก้านรูปร่างของ Conidium ไม่แน่นอน โคโลนีมีสีเขียวมะกอกเข้ม รา *Cladosporium* spp. มีจำนวนชนิดมากกว่า 700 ชนิด เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคได้ทั้งกับคนและพืช ซึ่งราชนิดนี้ก่อให้เกิดโรคสำคัญกับพืชหลายชนิด เช่น *Cladosporium capsici* สาเหตุโรคดอกไหม้ โรคราดำ โรคใบจุด โรคใบลายใบจุดด่าง โรคใบจุดสีน้ำตาล นอกจากนี้ รา *Cladosporium* ยังเป็นราในระยะสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (Anamorph) ของรา *Mycosphaerella* ซึ่งเป็นสาเหตุโรคใบจุดของพืชสำคัญหลายชนิด เช่น ดอกเบญจมาศ แตงโม แตงกวา กล้วย ข้าวโพด องุ่น มะละกอ เป็นต้น (ชนินทร ดวงสอาด, 2555)

เชื้อรา *Cladosporium* spp. พบได้ทั่วไปในอากาศ ดิน และเมล็ดพันธุ์ เป็นเชื้อราที่ทำให้เกิดปัญหาและความเสียหายกับคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูง (กฤษณา พงษ์พานิช, 2548) รวมทั้งสามารถก่อให้เกิดโรคจมูกอักเสบและการอักเสบของระบบทางเดินหายใจส่วนบน หอบหืด ปอดอักเสบ หลังสูดดมผงฝุ่นอินทรีย์ นอกจากนี้เชื้อราชนิดนี้ยังมีจำนวนมากน้อยต่างกันตามฤดูกาล (แม้นสรวง วุฒิอุดมเลิศ, ม.ป.ป.)

2.4 มะกรูดและสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

มะกรูดเป็นพืชสมุนไพรโบราณที่มีคุณประโยชน์อย่างหลากหลาย ทั้งมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่มีส่วนช่วยสร้างเสริมภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย ต้านทานโรคมะเร็งบางชนิด และมีฤทธิ์ในการช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (พิมพ์ชนก เสนาไทย, 2562)

2.4.1 อนุกรมวิธานและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะกรูด

อนุกรมวิธาน

Kingdom : Plantae

Order : Sapindales

Family : Rutaceae

Genus : *Citrus*

Species : C. *hystrix*

ภาพ 2.11 มะกรูด

ชื่อสามัญ : Leech Lime, Kaffir Lime, Porcupine Orange

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Citrus hystrix* DC.

วงศ์ : Rutaceae

ลำต้น เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กถึงขนาดกลาง มีความสูงประมาณ 2 - 8 เมตร เป็นไม้เนื้อแข็ง บริเวณลำต้น กิ่งมีหนามแข็งและยาว ผิวเปลือกลำต้นเรียบสีน้ำตาลอ่อน ลักษณะทรงพุ่มโปร่ง แตกกิ่งก้านสาขาแผ่กระจายอยู่ทั่วไป

ภาพ 2.12 ลำต้นมะกรูด

ใบ ผิวใบมีจุดใส ๆ โปร่งแสง หรือจุดสีต่าง ๆ มักเห็นชัดเมื่อส่องใบดูกับแสงเป็นชนิดใบเดี่ยว มีลักษณะคล้ายกับใบไม้ 2 ใบต่อกัน ส่วนของใบส่วนล่างที่ติดต่อกับก้านใบคือหูใบ ใบมีสีเขียวแก่ ผิวใบเรียบเกลี้ยงเป็นมัน มีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ทั่วไปมีกลิ่นหอมฉุน ขนาดใบกว้างประมาณ 2.5 - 5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 3 - 8 เซนติเมตร

ภาพ 2.13 ใบมะกรูด

ดอก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ ออกจากง่ามใบ ดอกมีกลิ่นหอมเป็นดอกเดี่ยวหรือเป็นช่อสั้น กลีบรองดอกส่วนปลายแยกเป็น 4 - 5 กลีบ มีขนปกคลุม กลีบดอกสีขาวลักษณะรูปไข่ ปลายแหลมสั้น มี 5 กลีบ ยาวประมาณ 7 - 12 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 2.5 - 5.0 เซนติเมตร มีเกสรเพศผู้จำนวน 18 - 20 อัน ก้านเกสรเพศผู้ยาวประมาณ 2 - 3 มิลลิเมตร อับละอองเรณูมีลักษณะเป็นรูปไข่ยาว ก้านเกสรเพศเมียยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร

ภาพ 2.14 ดอกมะกรูด

ที่มา : อุทยานธรรมชาติวิทยาสิรีรุกขชาติ (2553)

ผล รูปร่างค่อนข้างกลม เป็นชนิดผลเดี่ยว ผิวเปลือกนอกขรุขระ เป็นปุ่มปมคล้ายผลส้มซ่า บริเวณผิวมีต่อมน้ำมันกระจายอยู่ทั่วไป มีจุกที่ขั้วและก้นผล ผลอ่อนสีเขียวแก่ เมื่อผลสุกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองสด ขนาดของผลเท่ากับผลมะนาวหรือใหญ่กว่าเล็กน้อย ภายในผลมีเมล็ดจำนวนมาก (ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร, 2553)

ภาพ 2.15 ผลมะกรูด
ที่มา : อุทยานธรรมชาติวิทยาสิรีรุกขชาติ (2553)

2.4.2 คุณสมบัติของผิวมะกรูด

ผิวมะกรูดมีน้ำมันหอมระเหยที่สามารถกระตุ้นการงอกของเส้นผมและเพิ่มความชุ่มชื่นให้เส้นผมเงางาม เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง รวมทั้งยังเป็นสารแต่งกลิ่นที่อยู่ในส่วนผสมของสมุนไพรเพื่อเป็นยาจุดกันยุง และสารกำจัดกลิ่นอับ (สุจินดา เทพพักทัน, 2545) อีกทั้งผิวมะกรูดยังเป็นส่วนที่นำมาประกอบอาหารเพื่อทำเครื่องแกง และน้ำมะกรูดยังมีสรรพคุณทางยาคือ ใช้แก้ปวดหัว ทำลายพยาธิ เป็นยากระตุ้นการหลั่งของเอนไซม์ (ทวีป หลวงแก้ว, 2558)

2.4.3 สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

สารสกัด (Extract) หมายถึง กระบวนการแยกสารออกฤทธิ์ออกจากสารที่เป็นของเหลวหรือของแข็ง โดยใช้ตัวทำละลายที่สามารถละลายสารออกฤทธิ์ที่ต้องการออกมาได้ (สารสกัด, 2562)

คุณสมบัติของสารสำคัญในพืชสมุนไพร (กิตติศักดิ์ แคล้ว จันทร์สุข, 2562) มีดังนี้

1) สารมีขั้วจะมีคุณสมบัติละลายในน้ำ เช่น คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ ฟีโนลิก ไกลโคไซด์ เกลือของแอลคาลอยด์

2) สารกึ่งมีขั้วจะมีคุณสมบัติละลายในแอลกอฮอล์ เช่น ไกลโคไซด์ เรซิน เทอร์ปีน ฟีโนลิก แอลคาลอยด์ อะไกลโคน

3) สารไม่มีขั้วจะไม่ละลายในน้ำ เช่น น้ำมันหอมระเหย ไขมัน เรซิน

สารสกัดที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดเชื้อราในผิวมะกรูด

ผิวมะกรูดมีน้ำมันระเหยง่าย ร้อยละ 4 มีองค์ประกอบหลักเป็นเบตาไพนีน (Beta-pinene) ประมาณ ร้อยละ 30, ลิโมนีน (Limonene) ประมาณ ร้อยละ 29, Beta-phellandrene, Citronella นอกจากนี้ยังพบ Linalool, Borneol, Camphor, Sabinene, Germacrene D, Aviprin ใช้เป็นน้ำมันแต่งกลิ่นเครื่องหอม ยาสระผม สบู่ ส่วนสารกลุ่มคูมาริน ได้แก่ Umbelliferone, Bergamottin, Psoralen, Oxypeucedanin, N - (iminoethyl - Lornithine (L - NIO) น้ำจากผลพบกรด Citric ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญที่มีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนี้ในตำรายาไทยผิวมะกรูดจัดอยู่ในกลุ่มเปลือกส้ม 8 ประการ ซึ่งประกอบด้วยผิวส้มเขียวหวาน ผิวส้มจีน ผิวส้มซ่า ผิวส้มโอ ผิวส้มตรังกานู ผิวมะงั่ว ผิวมะนาวหรือผิวส้มโอมือ และผิวมะกรูด โดยมีสรรพคุณ แก้เสมหะ ใช้ปรุงยาหอม แก้ทางลม (ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร, 2553 และ กัลทิมา พิชัย, ม.ป.ป.)

2.4.4 การสกัดสารสำคัญของพืช

การสกัดสารสำคัญจากพืชมีวิธีที่หลากหลาย แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัด ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการสกัดเพียงบางส่วน ดังนี้

1) มาเซอเรชัน (Maceration)

เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืช โดยวิธีหมักพืชกับตัวทำละลายในภาชนะที่ปิด เช่น ขวดปากกว้าง ขวดรูปชมพู่ หรือโถ โดยนำตัวอย่างพืชที่บดละเอียด เติมน้ำหรือตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพดีในการสกัดพืชแล้วแต่อัตราส่วนตามต้องการ ทิ้งไว้ 12 - 24 ชั่วโมง หรือมากกว่า แต่ไม่เกิน 2 วัน หรือพืชบางชนิดที่ทิ้งไว้ 7 วัน เมื่อครบกำหนดเวลาทำการกรองเอาสารสกัดออก พยายามบีบเอาสารละลายออกจากกาก (Marc) ให้มากที่สุด มีข้อดีคือ สารไม่ถูกความร้อน และข้อจำกัดคือเปลืองตัวทำละลาย

เนื่องจากกระบวนการสกัด โดยวิธีการหมักช้าจึงมีการดัดแปลงใช้ Mixer หรือ Homoginizer มาช่วยทำให้เซลล์พืชแตกออก การสกัดจึงเร็วขึ้น เรียกวิธีสกัดนี้ว่า Vorticella (Turbo) Extraction โดยใช้ความถี่สูงเกิน 20,000 Hz แต่การใช้เสียงช่วยในการสกัดอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำไปเป็น Peroxide ซึ่งอาจมีผลต่อสารสกัด และยังอาจทำให้เกิดการ Oxidation ต่อสารโดยตรง เพราะขณะที่ใช้ Ultrasound จะเกิดช่องว่างและมีอากาศเข้าไปแทรกในตัวทำละลาย นอกจากนี้อาจเพิ่มความเร็วในการสกัด โดยเพิ่มอุณหภูมิ แต่ต้องระวังการสลายตัวของสาระสำคัญ

2) การสกัดด้วยสารเคมีโดยวิธีแยกชั้น (Partition)

การสกัดแบบนี้มักใช้สำหรับตัวอย่างพืชสกัด โดยนำมาหั่นเป็นท่อนสั้น ๆ ปั่นกับน้ำยาเคมีในเครื่องปั่น แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง สารละลายที่ได้นำมาสกัดด้วยน้ำยาอีกชนิด เพื่อทำให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น

3) การบีบหรือการอัด (Expression)

การบีบหรือการอัดใช้กับน้ำมันหอมระเหยที่ใช้วิธีกลั่นไม่ได้ เนื่องจากถูกทำลายได้ง่าย เมื่อถูกความร้อน เช่น น้ำมันหอมระเหยจากพืชตระกูลส้ม ได้แก่ น้ำมันผิวมะนาว (Lemon Oil) น้ำมันผิวส้ม (Orange Oil) การบีบที่นิยม คือ วิธีเอกคิวเอล (Ecuelle Method) ซึ่งใช้กับน้ำมันระเหยจากพืชตระกูลส้ม (Citrus Oil) โดยเอาผลไปบีบบนรางที่มีเข็มแหลม ๆ อยู่ เข็มต้องยาวพอที่จะแทงผ่านผนังชั้นนอก (Epidermis) เพื่อให้ต่อมน้ำมันแตกออก น้ำมันจะหยดลงไปในรางซึ่งเก็บน้ำมัน (การสกัดสารสำคัญจากพืช, 2546)

จากวิธีการสกัดสารที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีมาเซอเรชัน (Maceration) ในการทำสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดเนื่องจากมีกระบวนการสกัดค่อนข้างง่าย ประหยัดเวลา และสารที่ต้องการไม่ถูกความร้อน

2.5 การย่อยสลายและวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.5.1 กระดาษกับการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

กระดาษถือเป็นขยะมูลฝอย ซึ่งมีกระบวนการการหมุนเวียนขยะมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยการดำเนินการในรูปแบบ Reuse และ Recycle จากการคัดแยกขยะมูลฝอยก่อนทิ้ง และนำขยะมูลฝอยที่มีมูลค่าที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มาใช้ใหม่ เพื่อช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ

ประเภทของขยะรีไซเคิล (ญาณัญฎา ศิรภัทร์ธาดา, 2553) สามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

1) กระดาษ และกระดาษแข็ง

2) แก้ว

3) พลาสติก

4) โลหะที่ประกอบด้วยเหล็ก

5) โลหะที่ไม่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ

การรีไซเคิลนั้นมีทั้งการทำแบบไม่เป็นทางการและแบบที่เป็นทางการ คือการจดทะเบียนอย่างถูกต้อง และการไม่ขอรับการจดทะเบียนประกอบธุรกิจ โดยมีการกำหนดรูปแบบในการจัดการขยะมูลฝอย (ญาณัญฎา ศิรภัทร์ธาดา, 2553) ดังนี้

1) แบบ Single Stream Model เป็นรูปแบบที่ไม่มีการคัดแยกขยะก่อนทิ้ง แต่จะเป็นการทิ้งขยะรวม เพื่อนำไปสู่การกำจัดที่อาจจะเป็นการฝังกลบ

2) แบบ Two Stream Model แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

2.1) การแยกประเภทขยะเป็น 2 ประเภท คือ ขยะเปียก และขยะแห้ง

2.2) แยกประเภทตามภาชนะที่รองรับและตามวิธีการนำขยะมูลฝอยไปใช้

3) แบบ Three Stream Model แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ

3.1) แยกขยะเป็น 3 ประเภท ตามภาชนะรองรับและการใช้ประโยชน์ คือ

ถังดำ ใส่ขยะไม่มีมูลค่า เพื่อนำไปฝังกลบหรือเผา

ถังสีฟ้า ใส่ขยะมูลฝอยมีมูลค่าเพื่อนำไป Reuse หรือ Recycle

ถังสีเขียว ใส่ขยะอินทรีย์ เพื่อนำไปทำปุ๋ยหมัก

3.2) รูปแบบการคัดแยกขยะมูลฝอยแบบแยกขยะเปียก และขยะแห้ง แต่ผู้ทิ้งขยะจะมีเครื่องทำปุ๋ยหมักใช้เองในบ้าน

4) แบบ Multi Stream Model เป็นรูปแบบที่ผสมผสานรูปแบบต่าง ๆ เข้าด้วยกันโดยที่ผู้จัดการขยะจะกำหนดกระบวนการและวิธีการทิ้งให้ปฏิบัติตาม ดังนี้

4.1) ขยะคัดแยกและบรรจุในถุงขยะต่างสี

4.2) เก็บขนขยะตามวันที่กำหนดตามประเภทขยะ

4.3) ขยะพิเศษเก็บขนตามวันที่กำหนด และจ่ายค่าเก็บขนพิเศษ

4.4) ขยะมีพิษเก็บตามวันที่กำหนด

4.5) กำหนดจุดเก็บขยะรวม

2.5.2 การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของวัสดุ

การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของวัสดุ เพื่อทดสอบการเสื่อมคุณภาพของวัสดุ อันเนื่องจากสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ เช่น แสง อุณหภูมิ ความชื้น และการย่อยสลายทางชีวภาพ ที่มาจากการทำงานของจุลินทรีย์ทั้งการย่อยสลายของบรรจุภัณฑ์พลาสติก และกระดาษ รวมถึงผลิตภัณฑ์ด้านเกษตรกรรม โดยการทดสอบการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการย่อยสลายทางชีวภาพของวัสดุในดิน นอกจากนี้การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของวัสดุได้พัฒนาเทคนิคการย่อยสลายที่สำคัญอื่น ๆ เช่น การย่อยสลายทางชีวภาพของวัสดุในสภาวะจริงของบ่อฝังกลบ การย่อยสลายทางชีวภาพของสารเคมีในดิน เป็นต้น (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, ม.ป.ป.)

2.5.3 พลาสติกกับสิ่งแวดล้อม

พลาสติกในปัจจุบันสังเคราะห์ได้จากทั้งวัตถุดิบที่เป็นสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ เช่น คาร์บอน ซิลิกอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และคลอไรด์ เป็นต้น พลาสติกสังเคราะห์ถูกนำมาใช้ในประโยชน์ด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ การนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ซองอาหาร ยารักษาโรค เครื่องสำอาง สารเคมี แทนที่การใช้กระดาษหรือเซลลูโลสที่ได้จากพืช เนื่องจากพลาสติกสังเคราะห์มีคุณสมบัติพิเศษที่ดีกว่า

จากความต้องการในการใช้พลาสติกที่เพิ่มมากขึ้น รวมกับคุณสมบัติที่มีความคงทนมาก และไม่สามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ ส่งผลให้เกิดการสะสมของขยะพลาสติกเป็นจำนวนมาก และหากต้องการกำจัดขยะพลาสติกเหล่านี้ ด้วยวิธีการเผาก็จะส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของมลพิษในอากาศ (จุฑากานต์ บุญมี, ม.ป.ป.)

การผลิตพลาสติกรูปแบบใหม่ที่มีคุณสมบัติ แตกต่างไปจากพลาสติกสังเคราะห์คือ พลาสติกชีวภาพ หรือพลาสติกที่ถูกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หรือ “ Biodegradable Plastic” (จุฑากานต์ บุญมี, ม.ป.ป.) จำแนกออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) โพลิเมอร์ที่ได้มาจากวัตถุดิบที่เป็นมวลชีวภาพ (Biomass) ได้แก่ วัตถุดิบที่เป็นพอลิแซคคาไรด์ ที่ได้จากแป้งข้าวสาลี แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวโพด หรือวัตถุดิบที่เป็นผลิตภัณฑ์ลิกโนเซลลูโลส เช่น ฟาง ไม้ เป็นต้น นอกจากนั้นยังรวมถึงวัตถุดิบในกลุ่มของไคโตซานและไคติน ซึ่งเมื่อนำมาละลายในกรดอินทรีย์จะมีลักษณะเป็นสารละลายเหนียวใสคล้ายวุ้น หรือวัตถุดิบในกลุ่มคอลลาเจนและเจลาติน ที่สกัดได้จากโปรตีนพืชและสัตว์

2) โพลิเมอร์ที่ได้มาจากการผลิตจากจุลินทรีย์ ได้แก่ โพลิเมอร์ในกลุ่ม PHAs เช่น Poly (hydroxybutyrate) (PHB) และ Poly (hydroxybutyrate cohydroxyvalerate) (PHBV)

3) โพลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการทางเคมี ที่ใช้วัตถุดิบที่เป็นโมโนเมอร์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย เป็นต้น โดยเมื่อผ่านกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ จะเปลี่ยนแป้งที่ได้จากวัตถุดิบเป็นน้ำตาล และเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นโมโนเมอร์ คือ กรดแลคติก (Lactic acid) และนำกรดแลคติกที่ได้มาต่อเชื่อมเป็นโพลิเมอร์สายยาว โพลิเมอร์ประเภทนี้คือ Poly (Lactic acid) (PLA)

4) โพลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากโมโนเมอร์ หรือโพลิเมอร์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นโซ่สายตรง และกลุ่มที่มีโครงสร้างเป็นวงอะโรมาติก

2.5.4 พลาสติกที่ใช้ทำซองทางการค้า

พลาสติกที่ใช้ทำซองทางการค้า แบ่งเป็นประเภทได้ 2 ประเภท คือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และ เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting) ดังนี้

1) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เทอร์โมพลาสติก หรือที่เรียกกันว่าเรซิน เป็นพลาสติกที่ได้รับความนิยมใช้อย่างมาก เทอร์โมพลาสติกถ้าได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และเมื่อเย็นก็จะเกิดการแข็งตัว สามารถเปลี่ยนแปลงรูปได้ โดยพลาสติกรูปแบบนี้โครงสร้างโมเลกุลจะเป็นลักษณะโซ่ตรง มีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์ค่อนข้างน้อยจึงสามารถหลอมเหลวได้ เมื่อผ่านการอัดแรงมากจะไม่ทำลายโครงสร้างเดิม เม็ดพลาสติกประเภทนี้จะสามารถขึ้นรูปได้โดยการฉีดในขณะที่พลาสติกถูก

นำมาทำให้อ่อนตัวและไหลไปด้วยความดันและความร้อน โดยพลาสติกที่อยู่ในประเภทเทอร์โมพลาสติก สามารถจัดแบ่งได้ดังต่อไปนี้

1.1) พอลิเอทิลีน (Polyethylene : PE) มีคุณสมบัติยืดหยุ่น นิ่ม และยังสามารถต้านทานต่อความชื้น หรือสารเคมีบางประเภท เช่น ถุงน้ำตาล, ถุงข้าวสาร, ถุงบรรจุเม็ดพลาสติก เป็นต้น สามารถสัมผัสกับอาหารได้

1.2) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene : PP) มีคุณสมบัติเด่น ด้านใส เงา เหนียว ทนต่อแรงดึง และยังสามารถต้านทานตอความชื้นได้ดี ทำหน้าที่เป็นชั้นสำหรับการพิมพ์ลวดลายด้านหลัง เช่น ฟิล์มหุ้มซองบุหรี่

1.3) พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate : PET) มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อการฉีกขาดหรือการกระแทก ทรงรูปได้ดี และสามารถทนต่อความร้อนสูง เช่น บรรจุภัณฑ์ซองกาแฟ ถุงบรรจุผงซักฟอก

1.4) ไนลอน (Nylon) มีคุณสมบัติต่อต้านการรั่วซึม มีความเหนียวสูง สามารถนำมาใช้ทำบรรจุภัณฑ์สุญญากาศสำหรับบรรจุอาหาร

2) เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting) เทอร์โมเซตติ้ง เป็นพลาสติกที่จะมีโครงสร้างเป็นร่างแห มีสมบัติพิเศษ คือสามารถที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและสามารถทนต่อปฏิกิริยาทางเคมีได้ดี อีกทั้งยังเกิดรอยเปื้อนได้ยาก ทนความร้อนและทนความดัน เปลี่ยนแปลงรูปร่างไม่ได้ ไม่มีการอ่อนตัว เมื่อเจออุณหภูมิสูงก็จะไหม้และแตกเป็นขี้เถ้าสีดำ พลาสติกรูปแบบจะเกิดรอยเปื้อนและคราบได้ยาก การที่จะทำให้พลาสติกประเภทนี้ให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ จะต้องใช้ความร้อนที่สูงแรงอัดที่มาก เทอร์โมเซตติ้งพลาสติกสามารถจัดแบ่งออกได้ดังต่อนี้

2.1) เมลามีน ฟอร์มาลดีไฮด์ (Melamine Formaldehyde) เป็นพลาสติกที่มีสมบัติทางเคมี สามารถที่จะทนแรงดัน ทนแรงกระแทก ทนความร้อนและทนปฏิกิริยาได้อย่างดี เกิดรอยเปื้อนและคราบยาก ใช้สำหรับการทำภาชนะบรรจุ ซึ่งจะมีความสวยงามและสีเรียบดูดี

2.2) ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ (Phenol-Formaldehyde) เป็นพลาสติกที่สามารถต้านทานต่อตัวที่ทำละลายสายละลายน้ำมันและเกลือ ใช้สำหรับทำหม้อและฝาจุกขวด

2.3) อีพ็อกซี (Epoxy) ใช้สำหรับการเคลือบผิวของอุปกรณ์ที่อยู่ภายในครัวเรือน ใช้เชื่อมส่วนประกอบต่าง ๆ ที่เป็นแก้ว เซรามิกและโลหะ ใช้ในการทำวัสดุซีเมนต์ ปูนขาว และเคลือบผิวถนนเพื่อป้องกันความลื่น (ประเภทพลาสติก, 2561)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การผลิตกระดาษ

วุฒินันท์ คงทัด (2545) ศึกษาการทำกระดาษแบบไทย แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบช้อนและแบบแตะหรือแบบหล่อ ซึ่งแบบแตะจะแบ่งออกอีก 2 วิธี คือ วิธีปั้นก้อนเปียก และวิธี Consistency แบบแรกคือแบบช้อน โดยวิธีการนำน้ำใส่อ่างช้อนเยื่อใส่สารกระจายเยื่อที่เตรียมไว้ คนด้วยไม้ให้เยื่อผสมกับน้ำ นำตะแกรงจ้วงตักเยื่อจากจุดที่ห่างที่สุด แล้วลากเข้าหาตัวช้า ๆ ยกตะแกรงให้พ้นน้ำโดยเร็วในแนวดิ่ง รอจนน้ำหยดจากตะแกรงจนหมด จึงนำไปตากแห้ง แบบที่สองคือแบบแตะหรือทำแผ่นแบบหล่อ เป็นวิธีการทำแผ่นที่สามารถกำหนดความหนาของกระดาษได้ แบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้ วิธีปั้นก้อนเปียก และวิธีควบคุมปริมาณเยื่อต่อน้ำ (Consistency)

หทัยทิพย์ สินธุยา และคณะ (ม.ป.ป.) ทำการศึกษาการแปรรูปขยะจากเปลือกข้าวโพด โดยนำเปลือกหรือลำต้นของข้าวโพดที่ได้จากการเก็บเกี่ยวมาแล้วประมาณ 1 - 2 สัปดาห์ มาสับให้เป็นชิ้น นำชิ้นของข้าวโพดต้มด้วยน้ำเปล่าเมื่อน้ำเดือดให้ใส่โซดาไฟ เพื่อย่อยเยื่อข้าวโพด หมั่นคนเป็นระยะ ๆ ต้มจนมีลักษณะเป็นเส้นใยแล้วเยื่อใส่ภาชนะที่ใส่น้ำไว้ หลังจากนั้นล้างเส้นใยให้สะอาด โดยไม่เหลือความลื่นของโซดาไฟ จากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปปั่นเพื่อให้เส้นใยแยกตัวออกจากกัน หากต้องการฟอกสีหรือย้อมสีให้ใส่สารฟอกขาวหรือสีย้อมลงไป การขึ้นแผ่นกระดาษ โดยนำเฟรมอลูมิเนียมวางลงในกระบะหรือในอ่างที่มีน้ำใส่ไว้ ทั้งนี้น้ำจะมีระดับสูงกว่าเฟรมเล็กน้อย ตีเยื่อให้เข้ากับน้ำ พร้อมทั้งเกลี่ยเยื่อให้กระจายทั่วเฟรมให้มีปริมาณที่เท่า ๆ กัน แล้วค่อย ๆ ยกเฟรมขึ้นตรง ๆ ไม่เอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง เมื่อน้ำไหลออกจากเฟรมหมดแล้วจึงนำเฟรมไปตากแดด โดยตั้งเอียง 45 องศาเซลเซียส หากต้องการตกแต่งเพื่อให้กระดาษสวยสามารถตกแต่งด้วยการใส่ใบไม้ ดอกไม้ เยื่อต่างสีหรือเยื่ออื่น ๆ และขั้นสุดท้ายคือ การดึงกระดาษออกจากเฟรม

2.6.2 สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดต้านเชื้อรา

กัลทิมา พิชัย (2562) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารสกัดพืชสมุนไพรบางชนิดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่สำคัญ ในพื้นที่สะลวง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ท้องถิ่น การทดสอบฤทธิ์ของสมุนไพรในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Colletotrichum* sp. จากการสกัดด้วยเอทานอล ร้อยละ 95 พบว่า สารสกัดจากข่าให้ผลในการยับยั้งได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ขมิ้น กระเทียม มะกรูด สาบเสือ พลูคาว ส้มป่อย ฟ้าทะลายโจร ตามลำดับ

อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ วิชัย หฤทัยธนาสันติ์ และอุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์ (ม.ป.ป.) ได้ศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรบางชนิดในการยับยั้งเชื้อราที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์ขนมอบ พบว่า น้ำมันกานพลูออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อรา

Penicillium chrysogenum ได้ดี รองลงมาคือ *Aspergillus flavus, Eurotium* sp. และการยับยั้งเชื้อรา *Rhizopus stolonifera* ได้น้อยที่สุด โดยกลไกในการยับยั้งเชื้อของน้ำมันกานพลูเกิดจากสาร Eugenol ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของน้ำมันกานพลูจัดเป็นสารประกอบฟีนอลิค ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์มีผลทำให้เซลล์เกิดการบวมน้ำและเซลล์แตก

สุริยสิทธิ์ สมนึก นคร บุญน้อย และถนิมนันต์ เจนอักษร (2559) ได้ศึกษาอิทธิพลของสารสกัดมะกรูดต่อการเจริญทางเส้นใยของเชื้อรา *Curvularia* sp. ที่ระดับความเข้มข้น 5,000 ppm, 10,000 ppm และ 20,000 ppm ต่อการเจริญบางเส้นใยของเชื้อรา ด้วยวิธีการ Poisoned Food Assay โดยการนำสารสกัดมะกรูดที่เตรียมไว้ผสมกับอาหารเลี้ยงเชื้อ พบว่าสารสกัดเอทานอลจากใบมะกรูดทุกความเข้มข้นสามารถยับยั้งการเจริญทางเส้นใยของเชื้อราได้

2.6.3 ประสิทธิภาพการดูดความชื้นของซองพลาสติก

สมานมิตร ยาวิจิตร (2556) ได้ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยเจาะจงที่พลาสติกประเภท Hygroscopic พลาสติกเอบีเอส (Acrylonitrile Butadiene Styrene : ABS) เป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันของโมโนเมอร์ 3 ชนิด คือ สไตรีน (Styrene) ทำให้พลาสติกมีพื้นที่ผิวเป็นเงาตัดแต่งวัสดุได้ง่าย และช่วยลดต้นทุน อะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile) มีสมบัติของการทนความร้อนและสารเคมี และโพลีบิวทาไดอีน (Polybutadiene) มีสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก นอกจากนี้พลาสติกเอบีเอสยังเป็นพลาสติกที่ชอบดูดความชื้น เนื่องจากเอบีเอสเป็นพลาสติกมีขั้ว โครงสร้างมีหมู่ไนไตรล์ (Nitrile) ที่มีลักษณะประจุบวก สามารถดึงดูดหมู่ Oxygen Atoms ที่เป็นประจุลบ การดูดซับความชื้นของเอบีเอสจะเป็นกระบวนการย้อนกลับได้ กล่าวคือเมื่อสภาพแวดล้อมมีความชื้นสูง เม็ดเอบีเอสจะดูดความชื้นเข้าไป และเมื่อสภาพแวดล้อมมีความชื้นต่ำความชื้นในเม็ดพลาสติกก็จะระเหยออกมาจนถึงจุดที่เกิดความสมดุล ทั้งนี้อัตราการดูดความชื้นของเอบีเอสจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณความชื้นในอากาศ

2.6.4 การย่อยสลาย

สำนักงานวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร (2559) กล่าวว่าขยะพลาสติกเป็นภัยใกล้ตัวที่มีผลกระทบต่อสุขภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเกิดจากการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายของพลาสติกในสภาวะการฝังกลบหรือการคอมโพสต์ อาจทำให้สารเติมแต่งต่าง ๆ รั่วไหลและปนเปื้อนไปกับแหล่งน้ำใต้ดินและบนดิน สารบางชนิดอาจมีความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ นอกจากนี้ยังเกิดสารประกอบไม่ย่อยสลาย เช่น สารประกอบประเภทแอโรแมติกจากการย่อยสลายของพลาสติกบางชนิดที่เกิดการสะสมในดินและสภาพแวดล้อม

วราภรณ์ จันทาสี และคณะ (2557) ทำการศึกษาการย่อยสลายของพลาสติกชนิด Polybutylene Succinate (PBS) ซึ่งเป็นพลาสติกที่นิยมมาทำผลิตภัณฑ์ทางการค้า การย่อยสลายทางชีวภาพเกิดขึ้นได้ทั้งจากจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ในการย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพต้องอาศัยปัจจัยต่าง ๆ ทำงานร่วมกัน เช่น โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ชนิดของแบคทีเรีย รวมทั้งสภาพแวดล้อม จากการศึกษาต้องใช้แบคทีเรียที่แยกจากหลุมฝังกลบขยะ ในการย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพ โดยการทดลองในอาหารเหลวและติดตามการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจากการวัดความขุ่นของสารละลายและประเมินการย่อยสลายโดยนำแผ่นพลาสติกไปตรวจสอบ Polybutylene Succinate พบว่าแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบส่วนใหญ่สามารถย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพได้ภายใน 28 วัน

อรุณี ศุภสินสาธิต (ม.ป.ป.) ศึกษาเกี่ยวกับพลังงานจากชีวมวลที่มีลิกโนเซลลูโลสสูง ซึ่งลิกโนเซลลูโลส หมายถึง ชีวมวลอินทรีย์ที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่พบมากในผนังเซลล์พืช ได้แก่ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากไม้ทั้งไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน เศษวัสดุจากการเกษตร เช่น ซังข้าวโพด เส้นใยข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ และพวกฟางข้าว รวมถึงมูลสัตว์ต่าง ๆ โดยเทคโนโลยีการทำ Pre-Treatment สำหรับวัสดุที่มีเซลลูโลสสูง ตัวอย่างเช่น วิธี Biological Pretreatment ที่ต้องพึ่งพาจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ทั้งแบคทีเรียและเชื้อรา รวมทั้งเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลชีพ เชื้อราทั้งชนิดที่เป็น White-rot, Brown-rod และชนิดที่เป็น Soft-rot สามารถย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินได้ โดย Brown-rod มีบทบาทสำคัญในการย่อยพวกเซลลูโลส ในขณะที่ White-rot และ Soft-rot จะเข้าย่อยสลายพวกลิกนินและเฮมิเซลลูโลส

2.6.5 บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล และคณะ (2546) ศึกษาการผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย โดยการนำเส้นใยของชานอ้อยและพลาสติไซเซอร์ที่มีคุณสมบัติให้ความแข็งแรงและป้องกันน้ำได้ดี นอกจากนี้ชานอ้อยยังสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ รวมทั้งสามารถป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ซึ่งจะใช้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตบรรจุภัณฑ์เพื่อยืดอายุของผลไม้ จากการทดลองหากระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยที่กำหนดสัดส่วนของวัสดุที่เหมาะสม และการยืดอายุผลไม้ประเภทมังคุดซึ่งได้บรรจุมังคุดในบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย พบว่าบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อยดูดซับออกซิเจน และสามารถยืดอายุของมังคุดได้เป็นระยะ 8 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมังคุดที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมปกติ

ศิริพร เต็งรัง (2558) ได้ศึกษาและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ที่มีแนวทางจากการนำเอาผลิตผลทางการเกษตร วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร หรือกลุ่มจุลินทรีย์มาผลิตบรรจุภัณฑ์

ในรูปแบบของพลาสติกชีวภาพหรือวัสดุทดแทนไม้ โดยการศึกษาชนิดและปริมาณสารเติมแต่งที่เหมาะสม รวมถึงคุณสมบัติและศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ เพื่อให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาคุณสมบัติดังกล่าวของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในพื้นที่พบเปลือกทุเรียนและเปลือกกล้วยที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสหรือเส้นใย เหมาะสำหรับทำพลาสติกชีวภาพจากเปลือกทุเรียน โดยการนำเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมาสังเคราะห์เป็นคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC) ซึ่งเป็นพลาสติกชีวภาพที่ละลายน้ำได้แล้วนำเส้นใยผ่านกระบวนต่าง ๆ จะได้ซองฟิล์มซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียนที่สามารถพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแห้งได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากข้าวโพดให้เป็นผลิตภัณฑ์ซองจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทดแทนซองพลาสติกเพื่อบรรจุซิลิกาสำหรับดูดความชื้น โดยดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.2 วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 เปลือกข้าวโพด

3.1.2 ผลมะกรูด

3.1.3 ซิลิกา

3.1.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์

3.1.5 เอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 95

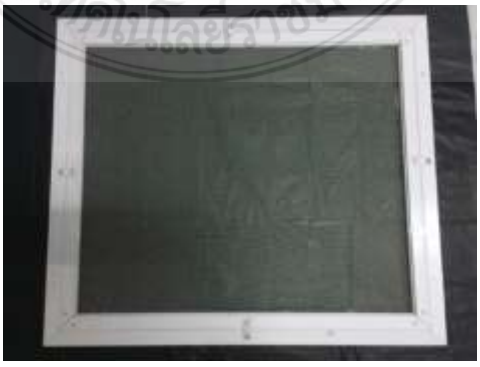
3.1.6 ตะแกรงช้อนเยื่อ ขนาด 60×70 ตารางเซนติเมตร (ภาพ 3.1)

3.1.7 เครื่อง Moisture Meter

3.1.8 กล้องจุลทรรศน์ ชนิด Light Microscope และ Stereo Microscope

3.1.9 พัดลมไอเย็น

3.1.10 Universal Indicator



ภาพ 3.1 ตะแกรงช้อนเยื่อ ขนาด 60×70 ตารางเซนติเมตร

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การทำกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด มีขั้นตอน ดังนี้

1) คัดเลือกเปลือกข้าวโพดออกจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดอื่น และตัดเปลือกข้าวโพดยาวขนาด 1 เซนติเมตร (ภาพ 3.2 ก และ ข)

2) ต้มเปลือกข้าวโพด 1,000 กรัม กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 200 กรัม ในน้ำ 3 ลิตร ระยะเวลานาน 1-2 ชั่วโมง (ภาพ 3.2 ค)

3) กรองน้ำออกและล้างด้วยน้ำสะอาด ล้างเส้นใยเปลือกข้าวโพดเพื่อลดความเข้มข้นที่ตกค้างของโซเดียมไฮดรอกไซด์อย่างน้อย 2-3 ครั้ง ตรวจสอบโดยการสัมผัสเส้นใยเปลือกข้าวโพด แล้วเส้นใยเปลือกข้าวโพดไม่ลื่นหรือจนมีค่าเป็นกลาง (pH=7) (ภาพ 3.2 ง)

4) ปั่นเส้นใยเปลือกข้าวโพดจนได้เยื่อมีลักษณะละเอียดและนุ่มฟู หรืออาจเหลือเส้นใยหยาบอยู่เล็กน้อย (ภาพ 3.2 จ และ ฉ)

5) ช้อนเยื่อและเกลี่ยเยื่อเปลือกข้าวโพด ในตะแกรงช้อนเยื่อให้มีความหนาเท่า ๆ กัน (ภาพ 3.2 ช)

6) ผึ่งกระดาษในตะแกรงให้แห้งและลอกกระดาษออกจากตะแกรงช้อนเยื่อ (ภาพ 3.2 ซ และ ฌ)

(ก) คัดเลือกเปลือกข้าวโพด (ข) เปลือกข้าวโพดที่ตัดแล้ว

ภาพ 3.2 การทำกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด

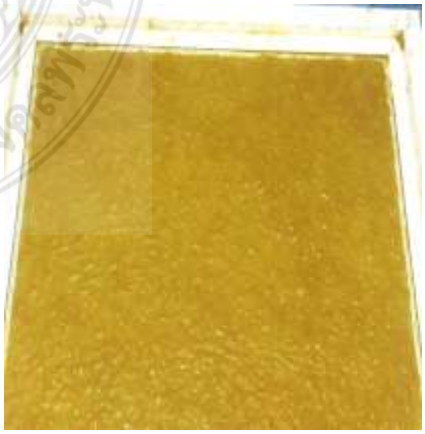
(ค) ต้มเปลือกข้าวโพดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

(ง) ล้างเส้นใยเปลือกข้าวโพดให้สะอาด

(จ) ปั่นเส้นใยเปลือกข้าวโพด

(ฉ) เส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ละเอียดเป็นเยื่อ

(ช) ใช้ตะแกรงช้อนเยื่อและเกลี่ยเยื่อให้เท่ากัน



(ซ) ผึ่งกระดาษในตะแกรงให้แห้ง

ภาพ 3.2 การทำกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด (ต่อ)

(ฌ) ลอกกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพด

ภาพ 3.2 การทำกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด (ต่อ)

3.2.2 การทำสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด มีขั้นตอน ดังนี้

1) ล้างผลมะกรูด ฝานและหั่นผิวมะกรูดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร (ภาพ 3.3 ก และ ข)

2) แช่ผิวมะกรูดด้วยเอทิลแอกอฮอล์ร้อยละ 95 $^{V}/_{V}$ ปิดฝาแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลานาน 7 วัน เขย่าทุกวัน จากนั้นกรองเอากากของผิวมะกรูดออก จะได้สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด (ภาพ 3.3 ค ง และ จ)

3) กำหนดอัตราส่วนสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 $^{V}/_{V}$ ที่ระดับความเข้มข้น 5,000 10,000 และ 15,000 ppm ตามลำดับ (ภาพ 3.4)

(ก) ผลมะกรูดสด

(ข) ผิวมะกรูดสดหั่นขนาดเล็ก

ภาพ 3.3 การทำสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

(ค) แช่ผิวมะกรูดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 $^{V}/_{V}$

(ง) กรองกากของผิวมะกรูดออก

(จ) สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

ภาพ 3.3 การทำสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด (ต่อ)

ภาพ 3.4 สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่สกัดโดยเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 $^{V}/_{V}$

(ก) ความเข้มข้น 5,000 ppm

(ข) ความเข้มข้น 10,000 ppm

(ค) ความเข้มข้น 15,000 ppm

3.2.3 การใส่สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

1) เคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่สกัดที่ระดับความเข้มข้น 5,000 ppm 10,000 ppm และ 15,000 ppm ตามลำดับ โดยการสเปรย์ลงบนแผ่นกระดาษที่อยู่บนตะแกรงช้อนเยื่อ ขณะที่กระดาษไม่แห้งและไม่เปียกจนเกินไป และตากให้แห้ง (ภาพ 3.5)

2) ผึ่งกระดาษในตะแกรงให้แห้ง

ภาพ 3.5 วิธีการสเปรย์สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดลงบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพด

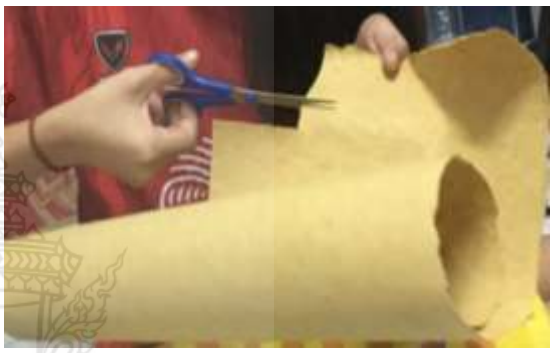
3.2.4 การทำกระดาษเป็นซองผลิตภัณฑ์

1) วัดและตัดกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ขนาด 17×13 ตารางเซนติเมตร (ภาพ 3.6 ก และ ข)

2) พับกระดาษตามขนาดที่ตัดไว้ และติดกระดาษด้วยเศษเยื่อเปลือกข้าวโพดที่ปั่นละเอียด (ภาพ 3.6 ค)

3) ได้ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ขนาด 8×11 ตารางเซนติเมตร (ภาพ 3.7 ก และ ข)

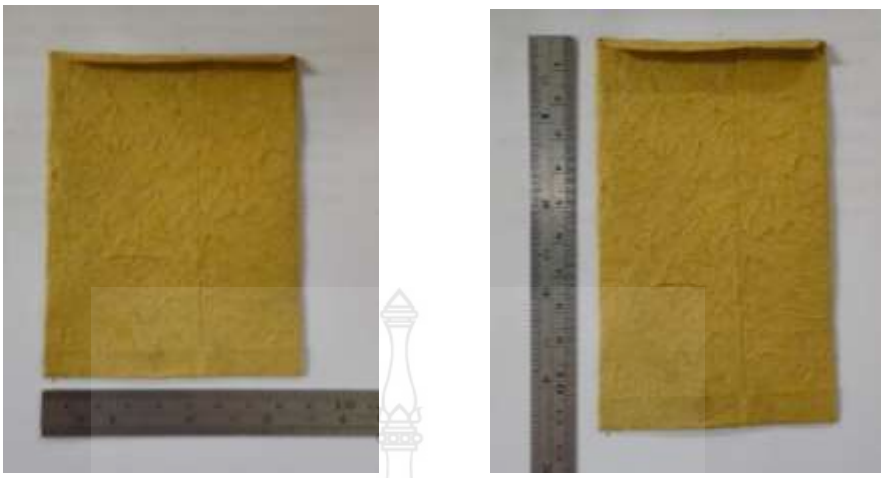
(ก) วัดขนาดกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพด



(ข) ตัดกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด

(ค) พับกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด

ภาพ 3.6 ขั้นตอนการตัดและพับกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด



(ก) กว้าง 8 เซนติเมตร (ข) ยาว 11 เซนติเมตร

ภาพ 3.7 ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

3.2.5 การศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อราของกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

1) หั่นเปลือกข้าวโพดที่มีเชื้อราติดอยู่ ขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร ใส่ในขวดที่มีน้ำเปล่า 500 มิลลิลิตร เลี้ยงเชื้อราด้วยสารละลายซูโครสความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 จากนั้นปิดฝาให้สนิทหมักทิ้งไว้ 1 คืน (ภาพ 3.8)

2) ศึกษาการเติบโตของเชื้อราจากการเลี้ยงเชื้อราในข้อ 1) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบกลุ่มเชื้อราที่เกิดในเปลือกข้าวโพด (ภาพ 3.9)

3) ผสมน้ำที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อรากับแส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ปั่นละเอียด แล้วทำเป็นกระดาษ (ภาพ 3.10)

4) ตัดกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ได้จากข้อ 3) ขนาด 8×8 ตารางเซนติเมตร จำนวน 12 แผ่น โดยแบ่งเป็น 4 ชุด ชุดละ 3 แผ่น แล้วนำสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ระดับความเข้มข้น 5,000 ppm 10,000 ppm และ 15,000 ppm สเปรย์ลงบนกระดาษ แล้วใส่ถุง ปิดปากถุงเล็กน้อย สังเกตการต้านเชื้อราของสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด (ภาพ 3.11)

5) ศึกษาการเติบโตของเชื้อราบนกระดาษ จากข้อ 4) ด้วยกล้องจุลทรรศน์ แผ่นละ 9 จุด จากความเข้มข้น 0 ppm 5,000 ppm 10,000 ppm และ 15,000 ppm ตามลำดับ

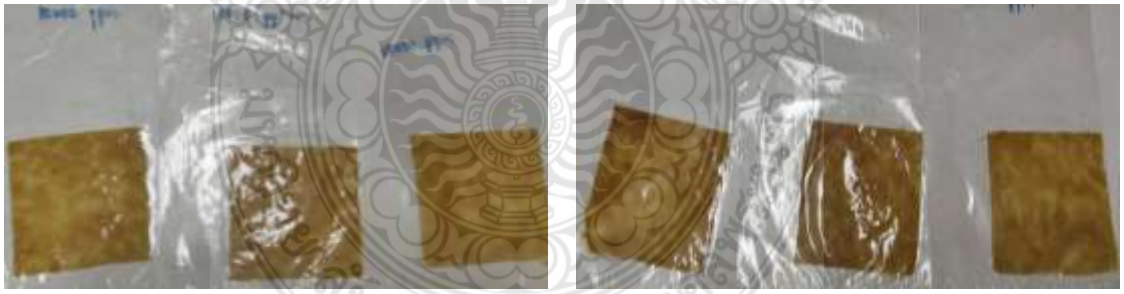
ภาพ 3.8 เลี้ยงเชื้อราจากเปลือกข้าวโพด

ภาพ 3.9 กลุ่มเชื้อราที่พบทั่วไปในเส้นใยเปลือกข้าวโพด

(ก) ผสมเชื้อรากับเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ปั่นละเอียด (ข) ทำกระดาษบนตะแกรงช้อนเยื่อ

ภาพ 3.10 วิธีทำกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดผสมเชื้อรา

(ก) (ข)



(ค) (ง)

ภาพ 3.11 กระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด
ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ผสมเชื้อรา
(ก) สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm
(ข) สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 5,000 ppm
(ค) สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 10,000 ppm
(ง) สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 15,000 ppm

3.2.6 การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายของกระดาษและผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

1) ตัดกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 0 5,000 10,000 และ 15,000 ppm ให้มีขนาด 8×8 ตารางเซนติเมตร ตัวอย่างละ 3 แผ่น

2) วางกระดาษและผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ลงดิน รดน้ำเช้า-เย็น ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ต่อครั้ง (ภาพ 3.12 ก และ ข)

3) บันทึกการเปลี่ยนแปลงของกระดาษ และผลิตภัณฑ์เส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด จนย่อยสลายหมด

(ก) กระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด (ข) ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดและซองพลาสติก

ภาพ 3.12 การศึกษาการย่อยสลายของกระดาษและผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

3.2.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดกับซองพลาสติก

3.2.7.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดกับซองพลาสติก ที่ความชื้นอิ่มตัว ณ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72

1) พับกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ให้เป็นซองผลิตภัณฑ์ ขนาด 8×11 ตารางเซนติเมตร

2) ใส่ซิลิกาเจล ปริมาณ 50 กรัม ในผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด และทำการปิดซองผลิตภัณฑ์ (ภาพ 3.13)

3) ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดและซองพลาสติกก่อนทดสอบการดูดความชื้น

4) ทดสอบการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ซองพลาสติก และซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์ ที่ความชื้นอิ่มตัว ในความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72 เพื่อวัดค่าความชื้นสูงสุดของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด เป็นระยะ 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ (ภาพ 3.14)

5) ชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบประสิทธิภาพการดูดความชื้น

6) ทำการคำนวณค่าร้อยละการดูดความชื้น

ภาพ 3.13 วิธีการใส่ซิลิกาเจลในผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

ภาพ 3.14 การทดสอบการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ซองพลาสติก และซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์

3.2.7.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดกับซองพลาสติก ในถังข้าวสาร ที่บรรจุข้าวสาร 5 กิโลกรัม

1) ทำตามขั้นตอน 1) ถึง 3) ในข้อ 3.2.7.1 ที่กล่าวมาข้างต้น

2) วัดความชื้นในข้าวสาร 5 กิโลกรัม ด้วยเครื่อง Moisture Meter ก่อนและหลังทดสอบการดูดความชื้น (ภาพ 3.15)

3) ทดสอบการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ซองพลาสติก และซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์ ในข้าวสาร 5 กิโลกรัม เป็นระยะ 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ แล้วชั่งน้ำหนักหลังการดูดความชื้น (ภาพ 3.16)

4) คำนวณค่าน้ำหนักการดูดความชื้น และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดผิวมะกรูด ในข้าวสาร 5 กิโลกรัม

(ก) ก่อนดูดความชื้น (ข) หลังดูดความชื้น

ภาพ 3.15 การวัดค่าการดูดความชื้นก่อนและหลังการทดสอบ

(ก) ซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์ในถังข้าวสาร (ข) ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดและซองพลาสติก

ภาพ 3.16 การทดสอบการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ซองพลาสติก และซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์ ในข้าวสาร 5 กิโลกรัม

3.2.8 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

ศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (ภาพ 3.17)

ภาพ 3.17 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การวิจัยเรื่อง ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทดแทนซองพลาสติกเพื่อบรรจุซิลิกาสำหรับดูดความชื้น มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางกายภาพ ชีวภาพ การดูดความชื้น และการต้านเชื้อราของสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด รวมทั้งการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ผลการศึกษาแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาลักษณะของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อราของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

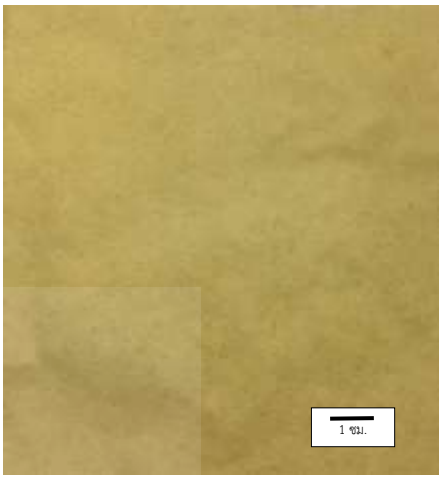
4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายของกระดาษและผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทดแทนซองพลาสติกเพื่อบรรจุซิลิกาสำหรับดูดความชื้น

4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดเทียบกับซองพลาสติก

4.1 ผลการศึกษาลักษณะของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

การทำกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดให้เป็นผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเพื่อบรรจุซิลิกาสำหรับดูดความชื้น โดยมีคุณสมบัติในการย่อยสลายและความสามารถในการต้านเชื้อราด้วยการเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน คือ 0 5,000 10,000 และ 15,000 ppm พบว่า พื้นผิวของกระดาษมีเส้นใยเกาะตัวกันแน่น มีลักษณะเรียบสม่ำเสมอเหมือนกันทุกระดับความเข้มข้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทำให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้นตามลำดับ (ภาพ 4.1) และศึกษาลักษณะเส้นใยของกระดาษด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ กำลังขยายที่ 45 เท่า (ภาพ 4.2)

(ก) 0 ppm



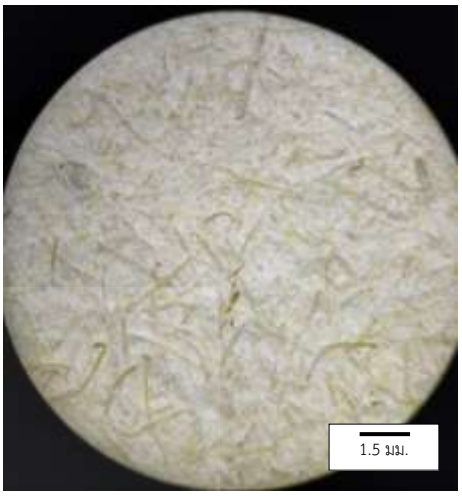
(ข) 5,000 ppm

(ค) 10,000 ppm

(ง) 15,000 ppm

ภาพ 4.1 กระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0 5,000 10,000 และ 15,000 ppm

(ก) 0 ppm



(ข) 5,000 ppm

(ค) 10,000 ppm

(ง) 15,000 ppm

ภาพ 4.2 ลักษณะเส้นใยของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0 5,000 10,000 และ 15,000 ppm

4.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อราของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

การศึกษาความสามารถในการต้านการเกิดเชื้อราของสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ที่ระดับความเข้มข้น คือ 0 5,000 10,000 และ 15,000 ppm ตามลำดับ ในระยะเวลา 7 และ 14 วัน โดยสังเกตการเติบโตของเชื้อราที่เกิดขึ้นบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ขนาด 8×8 ตารางเซนติเมตร ด้วยตาเปล่า พบเชื้อราในตำแหน่งที่วงกลมในแผ่นกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด (ภาพ 4.3) เมื่อศึกษาการเติบโตของเชื้อราด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า เชื้อราที่เกิดขึ้นบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด เป็นกลุ่มเชื้อราที่พบทั่วไปในเปลือกข้าวโพด มีลักษณะเป็นก้อนสปอร์ สีดำ รูปร่างค่อนข้างกลม และเป็นท่อนสีดำ (ภาพ 4.4)

(ก) (ข)

ภาพ 4.3 การเติบโตของเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ จากการสังเกตด้วยตาเปล่า

(ก) สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm

(ข) สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 5,000 ppm

(ค) สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 10,000 ppm

(ง) สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 15,000 ppm

(ค) (ง)

ภาพ 4.3 การเติบโตของเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ จากการสังเกตด้วยตาเปล่า (ต่อ)

(ก) สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm

(ข) สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 5,000 ppm

(ค) สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 10,000 ppm

(ง) สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 15,000 ppm

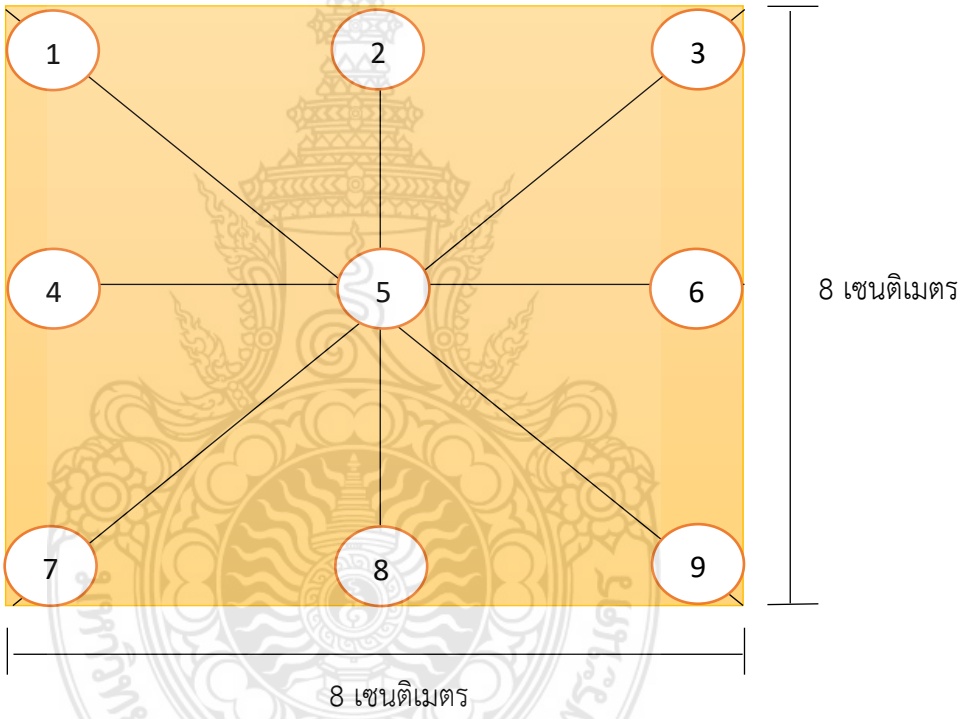
(ก) ระดับความเข้มข้น 0 ppm (ข) ระดับความเข้มข้น 5,000 ppm

(ค) ระดับความเข้มข้น 10,000 ppm (ง) ระดับความเข้มข้น 15,000 ppm

ภาพ 4.4 การเติบโตของเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพด เคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์

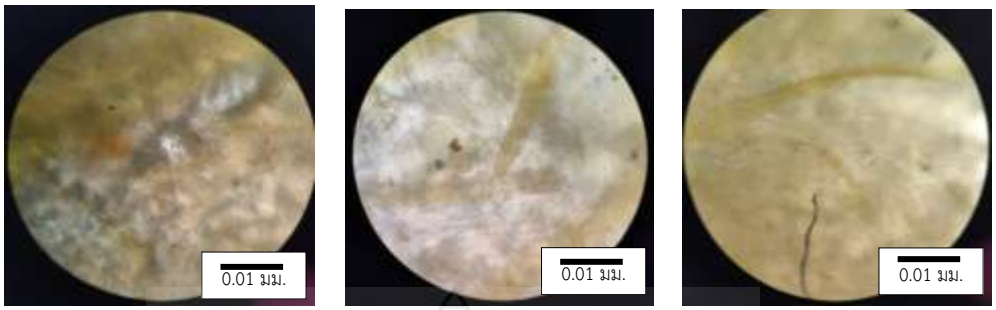
1) การสังเกตการขึ้นของกลุ่มเชื้อราที่พบทั่วไปในเปลือกข้าวโพดด้วยตาเปล่าและการศึกษาจากกล้องจุลทรรศน์ ในระยะเวลา 7 วัน (ภาพ 4.4) พบกลุ่มเชื้อราที่มีลักษณะเป็นจุดสีดำบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้นของ 0 5,000 10,000 และ 15,000 ppm ที่เกิดรวมกันเป็นกลุ่ม

2) การสังเกตการเจริญเติบโตของเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ขนาด 8×8 ตารางเซนติเมตร แผ่นละ 9 จุด (ภาพ 4.5) ในพื้นที่ 1.6 × 10^3 ตารางมิลลิเมตร มีสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 0 5,000 10,000 และ 15,000 ppm ตามลำดับ ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ในระยะเวลา 14 วัน (ภาพ 4.6 – ภาพ 4.9)



หมายเหตุ : ตำแหน่งที่ 1-9 คือ ตำแหน่งที่ศึกษากลุ่มเชื้อราบนกระดาษ

ภาพ 4.5 แผนผังตำแหน่งที่มีการศึกษาเชื้อราแบบสุ่มบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

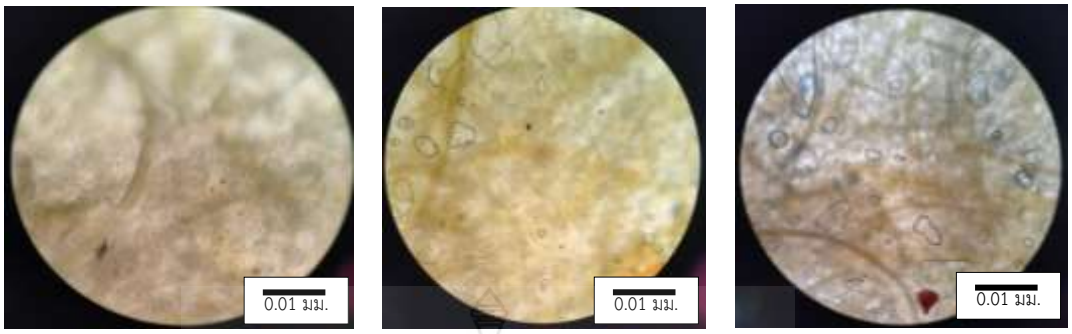


(ก) จุดที่ 1 (ข) จุดที่ 2 (ค) จุดที่ 3

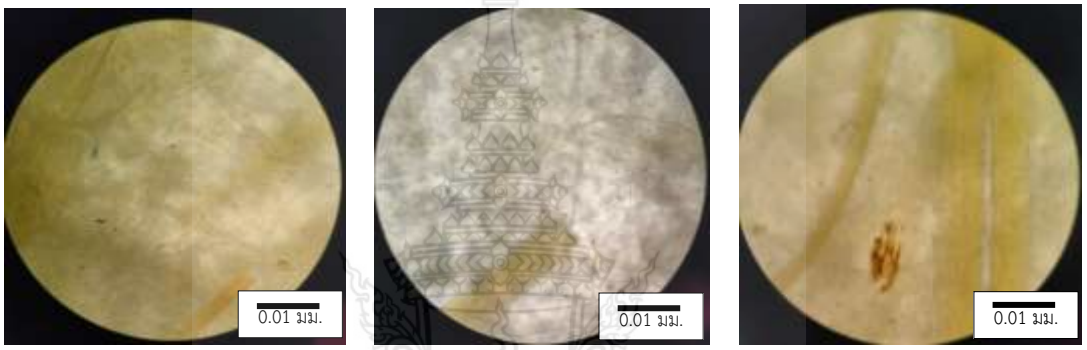
(ง) จุดที่ 4 (จ) จุดที่ 5 (ฉ) จุดที่ 6

(ช) จุดที่ 7 (ซ) จุดที่ 8 (ฌ) จุดที่ 9

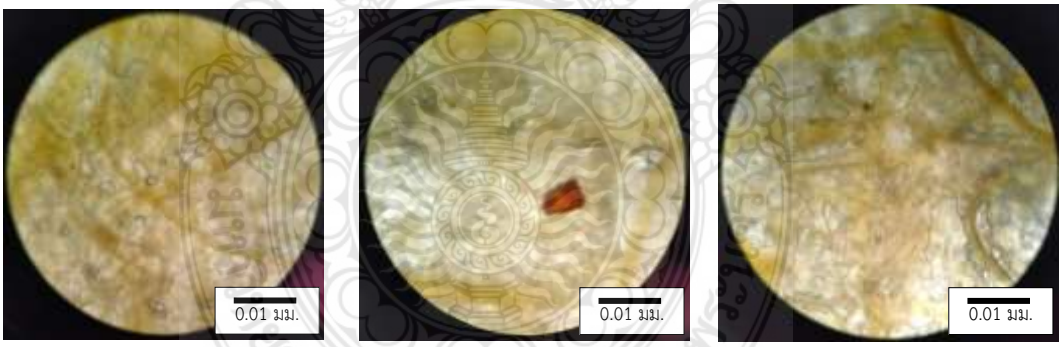
ภาพ 4.6 ตัวอย่างการเติบโตของเชื้อราในกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm จากการสุ่มเลือกสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ 9 ตำแหน่ง



(ก) จุดที่ 1 (ข) จุดที่ 2 (ค) จุดที่ 3

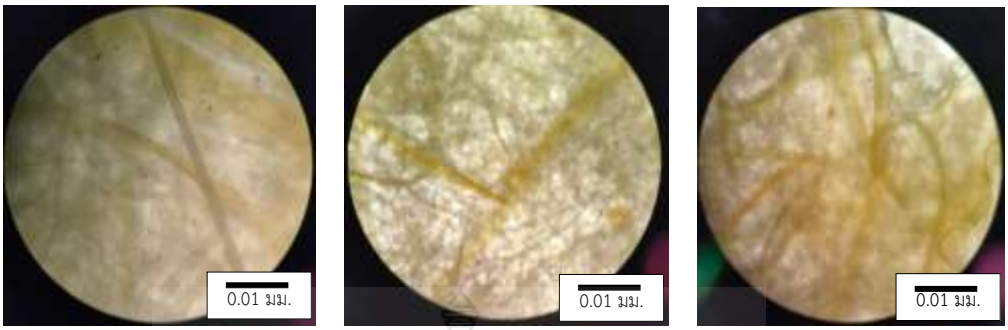


(ง) จุดที่ 4 (จ) จุดที่ 5 (ฉ) จุดที่ 6



(ช) จุดที่ 7 (ซ) จุดที่ 8 (ฌ) จุดที่ 9

ภาพ 4.7 ตัวอย่างการเติบโตของเชื้อราในกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 5,000 ppm จากการสุ่มเลือกสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ 9 ตำแหน่ง

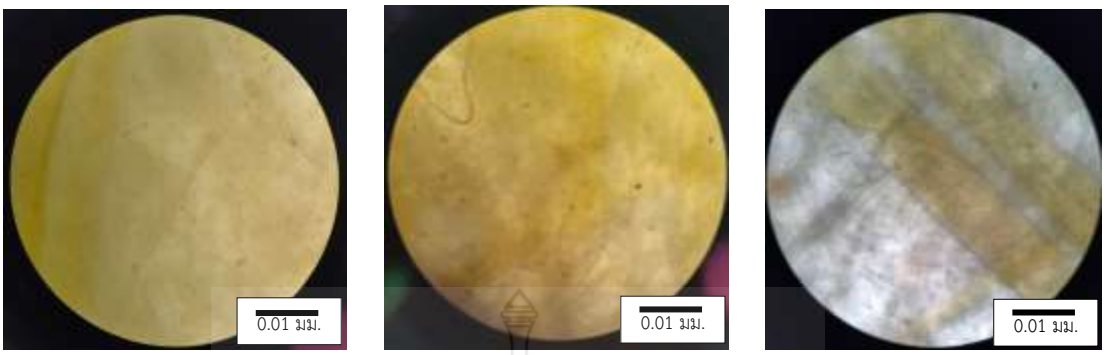


(ก) จุดที่ 1 (ข) จุดที่ 2 (ค) จุดที่ 3

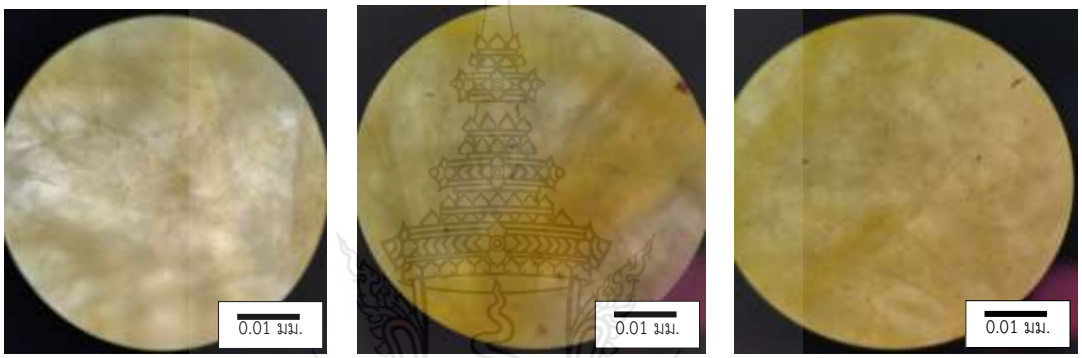
(ง) จุดที่ 4 (จ) จุดที่ 5 (ฉ) จุดที่ 6

(ช) จุดที่ 7 (ซ) จุดที่ 8 (ฌ) จุดที่ 9

ภาพ 4.8 ตัวอย่างการเติบโตของเชื้อราในกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบ
สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 10,000 ppm
จากการสุ่มเลือกสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ 9 ตำแหน่ง



(ก) จุดที่ 1 (ข) จุดที่ 2 (ค) จุดที่ 3



(ง) จุดที่ 4 (จ) จุดที่ 5 (ฉ) จุดที่ 6

(ช) จุดที่ 7 (ซ) จุดที่ 8 (ฌ) จุดที่ 9

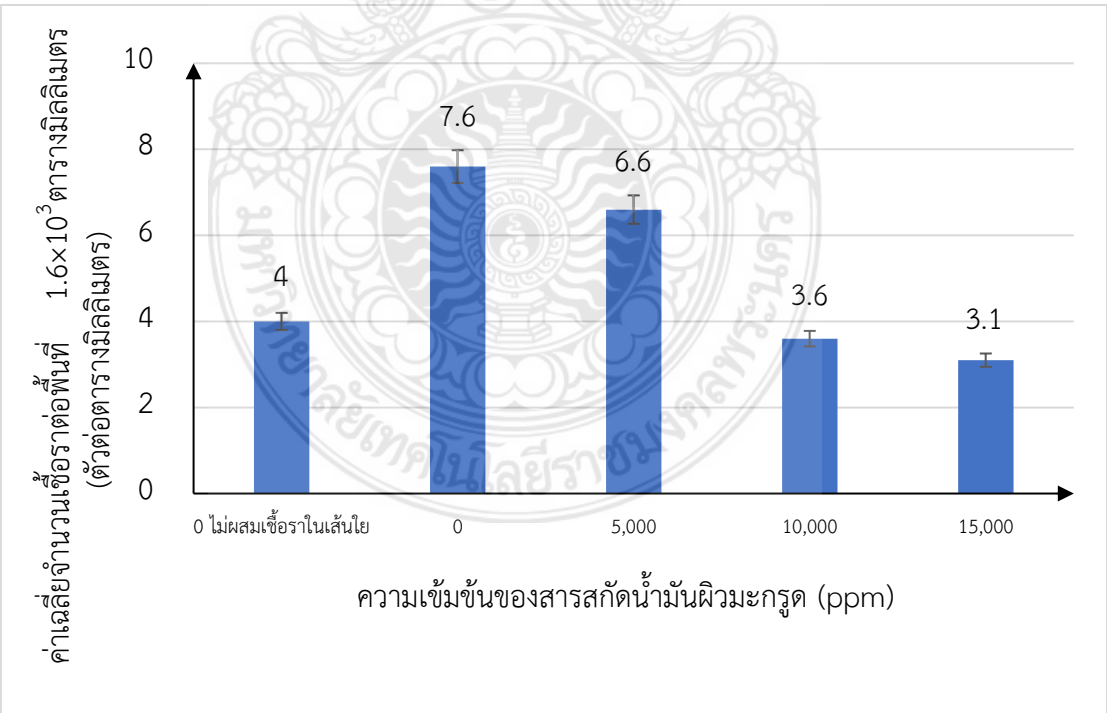
ภาพ 4.9 ตัวอย่างการเติบโตของเชื้อราในกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบ
สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 15,000 ppm
จากการสุ่มเลือกสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ 9 ตำแหน่ง

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของกลุ่มเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 0 5,000 10,000 และ 15,000 ppm ตามลำดับ จากการสุ่มถ่ายในกล้องจุลทรรศน์ ตามจำนวนจุดในพื้นที่ 1.6×10^3 ตารางมิลลิเมตร ดังกล่าว พบเชื้อราบนกระดาษ

เส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด แบบกระจายและแบบรวมเป็นกลุ่มแสดงค่าเฉลี่ยจำนวนเชื้อราต่อพื้นที่ เป็นการเติบโตของเชื้อราทั้งสองชนิด ดังตาราง (ตาราง 4.1) และกราฟการเติบโตของเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด (ภาพ 4.10)

ตาราง 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยการเติบโตของเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

ระดับความเข้มข้นของสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด (ppm)	ค่าเฉลี่ยจำนวนเชื้อราต่อพื้นที่ 1.6×10^3 ตารางมิลลิเมตร (ตัวต่อตารางมิลลิเมตร)
0 ไม่ผสมเชื้อราในเส้นใย	4.00±0.9
0 ผสมเชื้อราในเส้นใย	7.60±1.7
5,000 ผสมเชื้อราในเส้นใย	6.63±2.2
10,000 ผสมเชื้อราในเส้นใย	3.63±1.5
15,000 ผสมเชื้อราในเส้นใย	3.10±0.7

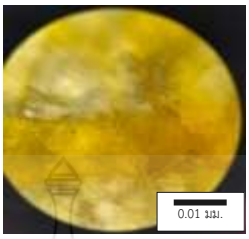
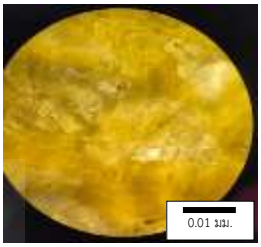
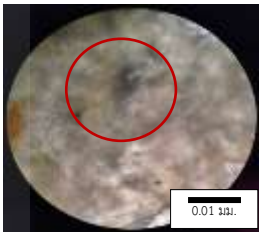
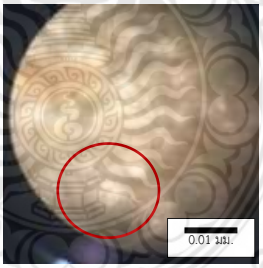
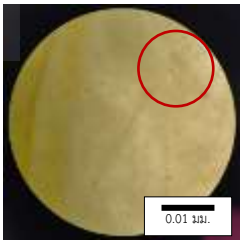


ภาพ 4.10 กราฟแสดงการเติบโตของเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

จากตาราง 4.1 และกราฟในภาพ 4.10 แสดงการเติบโตของเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm แบบไม่ผสมเชื้อรา พบว่า จำนวนเชื้อราที่ขึ้นบนกระดาษ ต่อพื้นที่ 1.6 $\times 10^3$ ตารางมิลลิเมตร คิดเป็น 4.00±0.9 ตัวต่อตารางมิลลิเมตร และกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 0 5,000 10,000 และ 15,000 ppm แบบผสมเชื้อราในกระดาษ พบว่า เกิดเชื้อราที่ขึ้นบนกระดาษ 1.6 $\times 10^3$ ตารางมิลลิเมตร คิดเป็น 7.60±1.7 6.63±2.2 3.63±1.5 และ 3.10±0.7 ตัวต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ กล่าวคือ ยิ่งความเข้มข้นสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดสูง การเติบโตของเชื้อรายิ่งลดลง และระดับความเข้มข้น 15,000 ppm มีความสามารถในการต้านเชื้อราได้ดีที่สุด

เมื่อศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อราบนกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดแบบไม่ผสมเชื้อราและสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ในระยะเวลา 7 และ 14 วัน พบว่าเชื้อราเจริญเติบโตน้อยมาก และคาดว่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดมีความหนาแน่นของเส้นใยสูง การขึ้นของเชื้อราจึงเป็นไปได้ยาก ไม่พบเชื้อราจากการสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดจึงไม่มีความจำเป็นในการใช้เพื่อยับยั้งเชื้อรา และคาดว่าด้วยเส้นใยที่มีความหนาจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดความชื้นลดลงได้ หากลดความหนาแน่นของกระดาษลง คาดว่าจะส่งเสริมให้เชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ดีขึ้นแล้วเกิดเชื้อราเพิ่มมากขึ้น การทดลองที่ผสมเชื้อราลงไปในกระดาษดังกล่าวทำให้ทราบว่า การใช้สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ความเข้มข้น 15,000 ppm จะช่วยลดจำนวนเชื้อราได้ดีที่สุด

ตาราง 4.2 แสดงการเปรียบเทียบการเติบโตของเชื้อราในระยะเวลา 7 และ 14 วัน

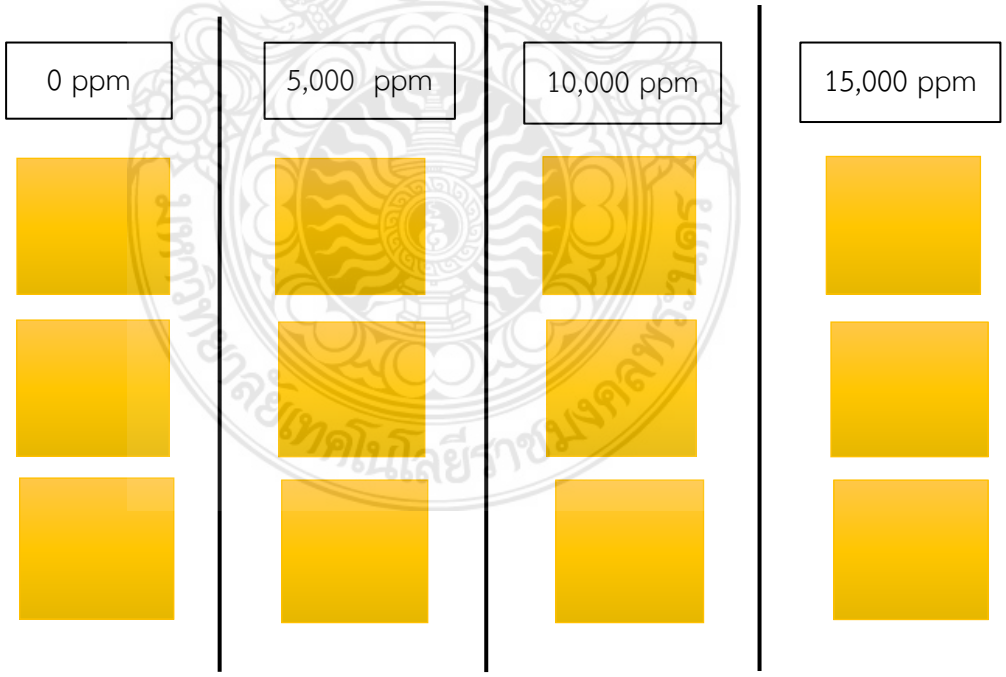
ความเข้มข้น (ppm)	ระยะเวลา 7 วัน	ระยะเวลา 14 วัน
กลุ่มเชื้อราในเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ความเข้มข้น 0 ppm (แบบไม่ผสมเชื้อรา)		
กลุ่มเชื้อราในเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ความเข้มข้น 0 ppm (แบบผสมเชื้อรา)		
กลุ่มเชื้อราในเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ความเข้มข้น 5,000 ppm (แบบผสมเชื้อรา)		
กลุ่มเชื้อราในเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ความเข้มข้น 10,000 ppm (แบบผสมเชื้อรา)		
กลุ่มเชื้อราในเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ความเข้มข้น 15,000 ppm (แบบผสมเชื้อรา)		

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายของกระดาษและผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทดแทนซองพลาสติกเพื่อบรรจุซิลิกาสำหรับดูดความชื้น

4.3.1 การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายของกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

การย่อยสลายของกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน คือ 0 5,000 10,000 และ 15,000 ppm ตามลำดับ ตัดกระดาษ ขนาด 8×8 เซนติเมตร (วางตำแหน่งสอดคล้องตามแผนผังใน ภาพ 4.11) ตัวอย่างละ 3 แผ่น รดน้ำเช้า - เย็น พบว่า กระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด แต่ละความเข้มข้น มีการย่อยสลายไม่แตกต่างกัน (ภาพ 4.12) หรือคือสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่นำมาเคลือบผิวกระดาษในแต่ละความเข้มข้น ไม่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายของกระดาษ

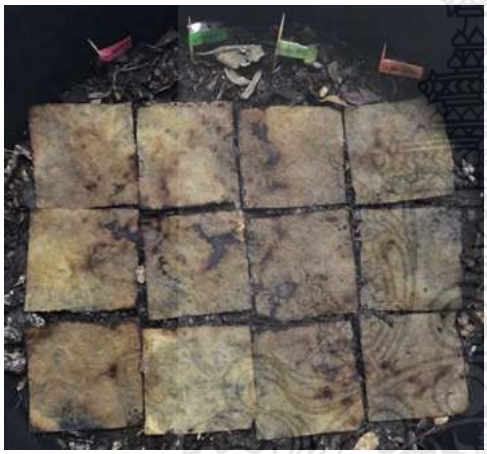
จากภาพการย่อยสลายของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด โดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของกระดาษ (ภาพ 4.12 ค ง และ ฉ) พบว่า เริ่มมีการย่อยสลายในวันที่ 14 ซึ่งกระดาษมีลักษณะบางลง สามารถมองเห็นพื้นดินด้านล่างที่เป็นสีดำมากขึ้น วันที่ 21 กระดาษเริ่มขาดหรือเปื่อย และสามารถย่อยสลายได้หมดในวันที่ 32 ของการทดลอง



ภาพ 4.11 แผนผังแสดงการย่อยสลายของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm 5,000 ppm 10,000 ppm และ 15,000 ppm สอดคล้องกับผลที่ได้จากภาพ 4.12

(ก) วันที่ 1

(ข) วันที่ 7



(ค) วันที่ 14

(ง) วันที่ 21

(จ) วันที่ 28

(ฉ) วันที่ 32

ภาพ 4.12 การย่อยสลายของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

4.3.2 การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดกับซองพลาสติก

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากกระดาษที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ มีการย่อยสลายไม่แตกต่างกัน จึงใช้กระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 15,000 ppm ซึ่งมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราสูงที่สุด มาบรรจุซิลิกาปริมาณ 50 กรัม ทำเป็นผลิตภัณฑ์ และศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายเทียบกับซองพลาสติก โดยการฝังไว้ในดิน รดน้ำ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงทุกวัน

จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์เริ่มมีการย่อยสลาย ในวันที่ 2 ของการทดลอง และสามารถย่อยสลายจนหมดได้ในวันที่ 12 ในขณะที่ซองพลาสติกไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ทำมาจากเส้นใยพืชที่เป็นอินทรียวัตถุ ซึ่งเมื่อถูกกระตุ้นด้วยปัจจัยต่าง ๆ เช่น การเพิ่มปริมาณความชื้น และแสง (ชวลิต ฮงประยูร, 2543) ทำให้มีการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็วขึ้น ส่วนซองพลาสติกนั้นย่อยสลายยาก อาจไม่ย่อยสลายตามธรรมชาติ หรือใช้เวลาในการย่อยสลายตามธรรมชาตินานหลายสิบปี(สำนักงานวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร, 2559) จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าซองพลาสติก

เมื่อเปรียบเทียบการย่อยสลายของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพด และผลิตภัณฑ์ (ที่บรรจุซิลิกาแล้ว) พบว่า กระดาษมีการย่อยสลายได้ช้ากว่าผลิตภัณฑ์ คือ กระดาษสามารถย่อยสลายได้จนหมด 32 วัน แต่ผลิตภัณฑ์สามารถย่อยสลายได้จนหมดเพียง 12 วัน เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นของกระดาษจากการพับมากกว่า ทั้งยังบรรจุซิลิกา โดยจากการทดสอบแช่ผลิตภัณฑ์และซองพลาสติก เพื่อเปรียบเทียบค่า pH ของผลิตภัณฑ์และซองพลาสติก (ตาราง 4.3) พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ไม่บรรจุซิลิกา มีค่า pH 8 ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุซิลิกา มีค่า pH 9 และซองพลาสติก มีค่า pH 7 ซึ่งซิลิกามีผลต่อผลิตภัณฑ์คือ เมื่อซิลิกาสัมผัสกับน้ำทำให้ซิลิกาแตกตัว ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุซิลิกานั้นฉีกขาด บางและเปื่อยยุ่ย รวมทั้งผลิตภัณฑ์บรรจุซิลิกามีความเป็นเบสสูง จึงมีส่วนในการย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น

(ก) วันที่ 1

(ข) วันที่ 2

(ค) วันที่ 3

(ง) วันที่ 4

(จ) วันที่ 5

(ฉ) วันที่ 6

ภาพ 4.13 การย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด และซองพลาสติก (ตัวควบคุม)

(ช) วันที่ 7

(ซ) วันที่ 8

(ฌ) วันที่ 9

(ญ) วันที่ 10

(ฎ) วันที่ 11

(ฏ) วันที่ 12

ภาพ 4.13 การย่อยสลายของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพด เคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด และซองพลาสติก (ตัวควบคุม) (ต่อ)

ตางราง 4.3 การเปรียบเทียบค่า pH ของผลิตภัณฑ์และซองพลาสติก

ชนิดของผลิตภัณฑ์	ค่า pH
ผลิตภัณฑ์ไม่บรรจุซิลิกา	pH 8
ผลิตภัณฑ์บรรจุซิลิกา	pH 9
ซองพลาสติก	pH 7

4.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดเทียบกับซองพลาสติก

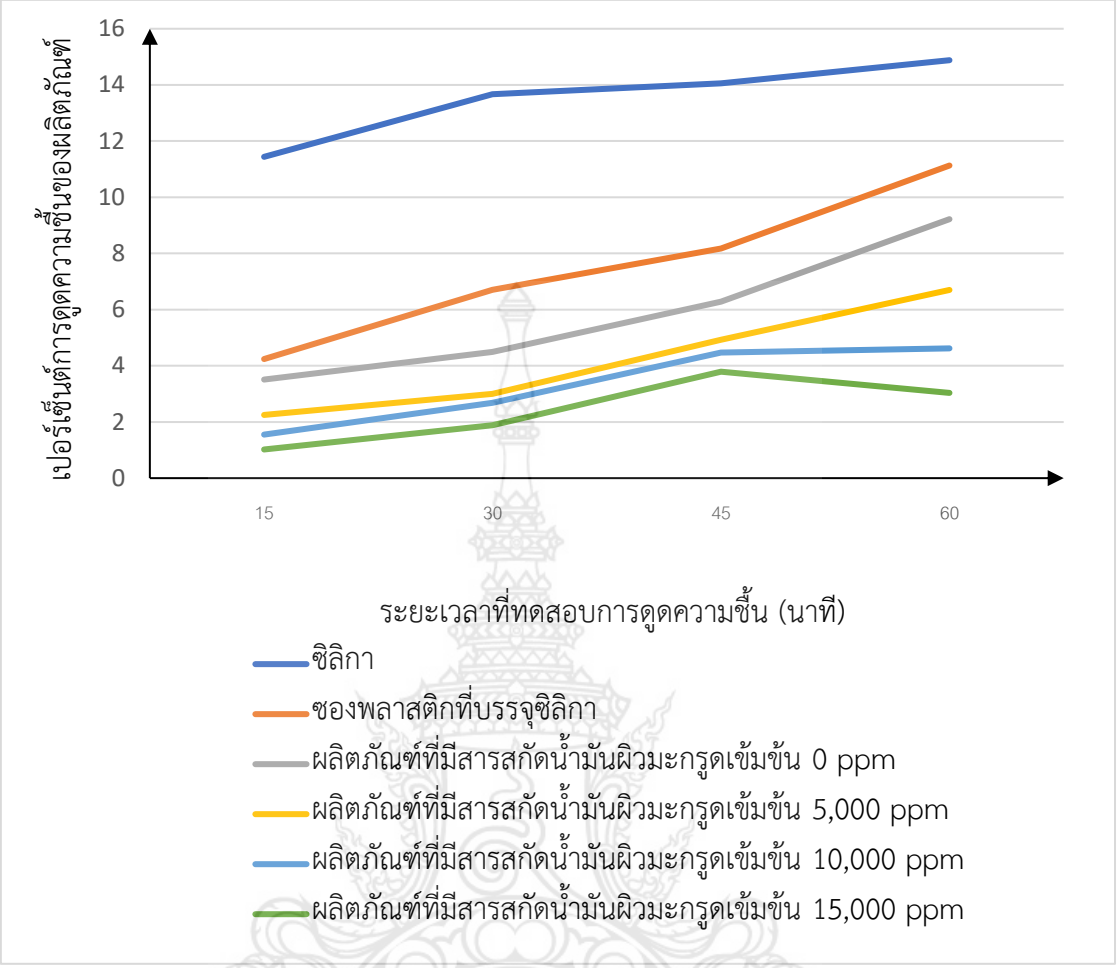
4.4.1 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดกับซองพลาสติก ที่ความชื้นอิ่มตัว ณ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72

โดยทดสอบประสิทธิภาพการดูดความชื้นเป็นระยะเวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ แสดงร้อยละการดูดความชื้นของซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์ ซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกาและผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความชื้นอิ่มตัว ณ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72 (ตาราง 4.4) และกราฟการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นอิ่มตัว ณ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72 (ภาพ 4.14)

ตาราง 4.4 แสดงค่าร้อยละการดูดความชื้นของซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์ ซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกา และผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความชื้นอิ่มตัว ณ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72

ชนิดของผลิตภัณฑ์	ค่าร้อยละการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์			
	ระยะเวลา (นาที)			
	15	30	45	60
ซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์	11.44±0.25	13.67±0.40	14.06±0.05	14.88±0.11
ซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกา	4.24±0.16	6.70±0.33	8.18±0.44	11.13±0.39
0 ppm	3.51±0.16	4.49±0.59	6.28±0.28	9.22±0.92
5,000 ppm	2.25±0.12	3.00±0.85	4.93±0.55	6.70±0.68
10,000 ppm	1.55±0.60	2.69±0.67	4.47±0.37	4.62±0.49
15,000 ppm	1.02±0.42	1.88±0.44	3.79±0.61	3.04±0.29

จากตารางการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ที่ความชื้นอิ่มตัว ณ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72 ในช่วงระยะ 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่า ในระยะเวลา 60 นาที ซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์มีความสามารถในการดูดความชื้นสูงที่สุด (ร้อยละ 14.88±0.11) และผลิตภัณฑ์ที่มีสารสสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทุกระดับความเข้มข้นสามารถดูดความชื้นได้สูงสุดที่ร้อยละ 9.22±0.92 6.70±0.68 4.62±0.49 และ 3.04±0.29 ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ระดับความเข้มข้นน้อยที่สุด (0 ppm) มีความสามารถในการดูดความชื้น (ร้อยละ 9.22±0.92) ใกล้เคียงกันกับซองพลาสติก (ร้อยละ 11.13±0.39) มากที่สุด



ภาพ 4.14 กราฟการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นอิ่มตัว ณ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72

จากกราฟการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ที่ความชื้นอิ่มตัว ณ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72 (ภาพ 4.14) ในช่วงระยะ 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่า ซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์มีความสามารถในการดูดความชื้นสูงที่สุด และผลิตภัณฑ์ (0 ppm) มีความสามารถในการดูดความชื้น ใกล้เคียงกับซองพลาสติกมากที่สุด ในระยะเวลา 45 - 60 นาที

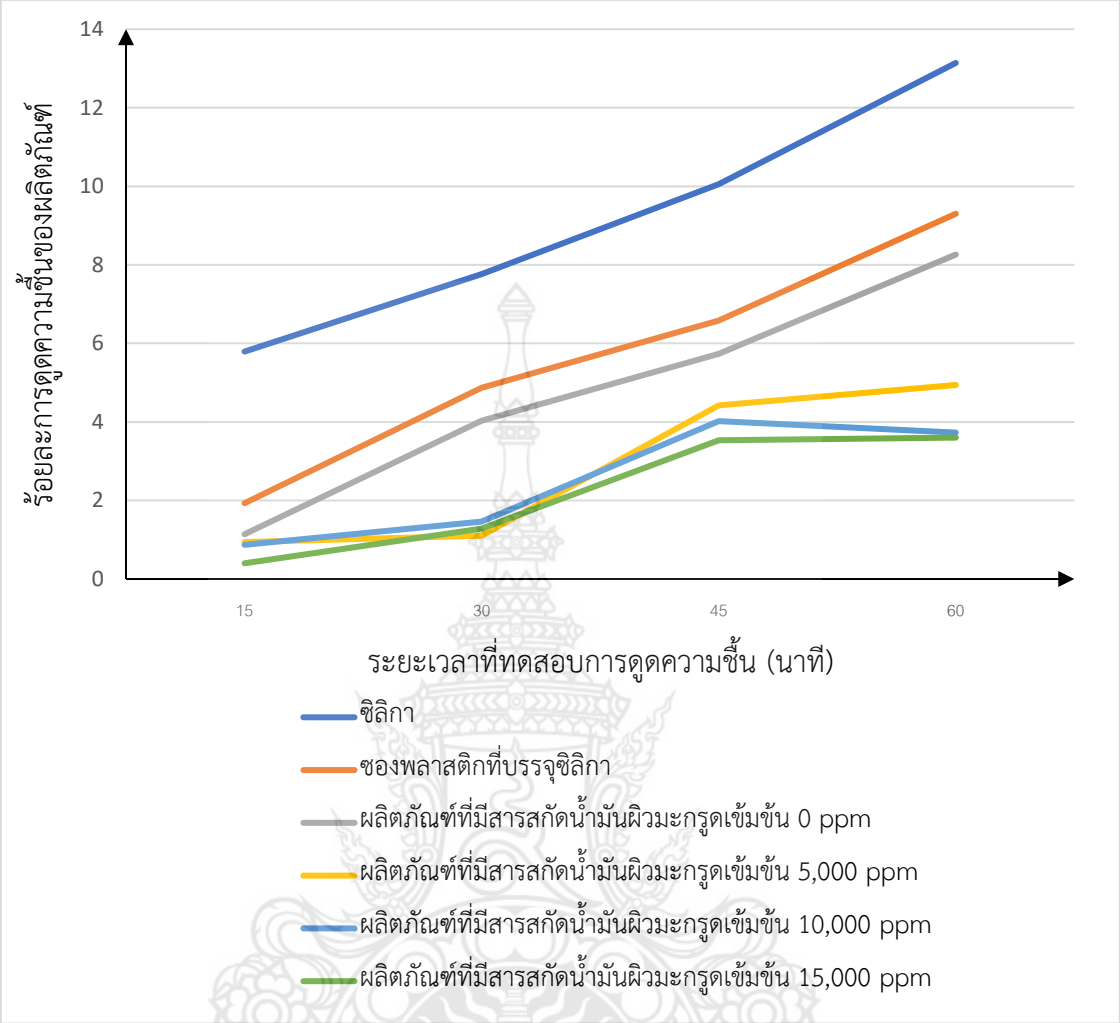
4.4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดกับซองพลาสติก ในถังข้าวสารที่บรรจุข้าวสาร 5 กิโลกรัม

โดยทดสอบประสิทธิภาพการดูดความชื้นเป็นระยะเวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ แสดงค่าร้อยละการดูดความชื้นของซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์ ซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกาและผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ในข้าวสาร 5 กิโลกรัม (ตาราง 4.5) และกราฟการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดในข้าวสาร 5 กิโลกรัม (ภาพ 4.15)

ตาราง 4.5 แสดงค่าร้อยละการดูดความชื้นของซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์ ซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกาและผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ในข้าวสาร 5 กิโลกรัม

ชนิดของผลิตภัณฑ์	ค่าร้อยละการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์			
	ระยะเวลา (นาที)			
	15	30	45	60
ซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์	5.79±0.05	7.76±0.10	10.05±0.17	13.14±0.10
ซองพลาสติกที่บรรจุซิลิกา	1.93±0.01	4.87±0.02	6.58±0.06	9.30±0.08
0 ppm	1.14±0.03	4.03±0.11	5.73±0.74	8.26±0.50
5,000 ppm	0.94±0.72	1.10±0.56	4.42±0.26	4.94±0.83
10,000 ppm	0.87±0.09	1.46±0.40	4.02±0.59	3.73±0.80
15,000 ppm	0.40±0.03	1.28±0.48	3.53±0.30	3.60±0.27

จากตารางการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ในข้าวสาร 5 กิโลกรัม ในช่วงระยะ 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่า ในระยะเวลา 60 นาที ซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์มีความสามารถในการดูดความชื้นสูงที่สุด (ร้อยละ 13.14±0.10) และผลิตภัณฑ์ที่มีสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทุกระดับความเข้มข้น สามารถดูดความชื้นได้สูงสุดที่ ร้อยละ 8.26±0.50 4.94±0.83 3.73±0.80 และ 3.60±0.27 ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ระดับความเข้มข้นน้อยที่สุด (0 ppm) มีความสามารถในการดูดความชื้น (ร้อยละ 8.26±0.50) ใกล้เคียงกันกับซองพลาสติก (ร้อยละ 9.30±0.08) มากที่สุด



ภาพ 4.15 กราฟการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดในข้าวสาร

จากกราฟการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ในข้าวสาร 5 กิโลกรัม (ภาพ 4.15) ในช่วงระยะ 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ พบว่าซิลิกาที่ไม่มีบรรจุภัณฑ์มีความสามารถในการดูดความชื้นสูงที่สุด และผลิตภัณฑ์ (0 ppm) มีความสามารถในการดูดความชื้น ใกล้เคียงกับซองพลาสติกมากที่สุด ในระยะเวลา 15 - 60 นาที

ดังนั้นจากการทดสอบความสามารถในการดูดความชื้น ที่ความชื้นอิ่มตัว ณ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72 และในข้าวสาร 5 กิโลกรัม ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุด (0 ppm) สามารถดูดความชื้นได้ใกล้เคียงกับซองพลาสติกมากที่สุด และผลิตภัณฑ์ที่ระดับความเข้มข้นมากกว่า 0 ppm มีความสามารถในการดูดความชื้นไม่ต่างกัน

จากการศึกษาผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด มีพื้นผิวเรียบสม่ำเสมอ และมีความหนาแน่นสูง การเกิดเชื้อราตามธรรมชาติจึงเกิดได้ยาก แต่หากลดความหนาแน่นลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดความชื้น สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 15,000 ppm จะมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราได้ดีที่สุด ประสิทธิภาพในการดูดความชื้นที่ความชื้นอิ่มตัว (ณ ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 72) และการดูดความชื้นจริงในถังข้าวสาร 5 กิโลกรัม พบว่าผลิตภัณฑ์มีความสามารถใกล้เคียงกับซองพลาสติก และผลิตภัณฑ์สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติได้หมดในเวลาเพียง 12 วัน ด้วยคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถใช้ทดแทนซองพลาสติกดูดความชื้นได้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาประสิทธิภาพทางกายภาพ ทางชีวภาพ การดูดความชื้น การต้านเชื้อรา และการย่อยสลายของกระดาษและผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทดแทนซองพลาสติกเพื่อบรรจุซิลิกาสำหรับดูดความชื้น สามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะได้ ดังนี้

5.1 สรุปผล

การศึกษาพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด มีลักษณะเรียบสม่ำเสมอ เส้นใยเปลือกข้าวโพดเกาะตัวกันแน่น การต้านเชื้อราของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบเชื้อราบนกระดาษเป็นกลุ่มเชื้อราทั่วไปจากเปลือกข้าวโพด มีลักษณะเป็นก้อนสปอร์ สีดำ และเป็นท่อนสีดำ ซึ่งกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่ไม่เคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดและไม่ผสมเชื้อรา มีความหนาแน่นของกระดาษสูง จึงทำให้เชื้อราที่พบตามธรรมชาติเกิดขึ้นบนกระดาษได้ยาก แต่ถ้าหากมีการขึ้นของเชื้อรา สารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้น 15,000 ppm มีความสามารถในการต้านเชื้อราได้ดีและควรนำมาใช้มากที่สุด รวมทั้งการย่อยสลายของกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดทุกระดับความเข้มข้นสามารถย่อยสลายจนหมดเท่ากันใน 32 วัน ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุซิลิกา มีการย่อยสลายเพียงเวลา 12 วัน เนื่องจากซิลิกาที่บรรจุอยู่สัมผัสกับน้ำ ทำให้ซิลิกาแตกตัวและผลิตภัณฑ์ฉีกขาด บาง และเปื่อยยุ่ย จึงมีส่วนในการย่อยสลายได้เร็วขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับซองพลาสติก ซึ่งไม่มีการย่อยสลายได้ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด ที่ระดับความเข้มข้น 0 ppm สามารถดูดความชื้น ที่ปริมาณความชื้นสูงสุด คือความชื้นอิ่มตัว ณ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 72 ได้ ร้อยละ 9.22±0.92 และทดสอบการดูดความชื้นจริงจากถังที่บรรจุข้าวสาร 5 กิโลกรัม ได้ ร้อยละ 8.26±0.50 ซึ่งมีความสามารถดูดความชื้นใกล้เคียงกับซองพลาสติก

ดังนั้น จากประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ซองเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่มีความสามารถในการดูดความชื้นใกล้เคียงกับซองพลาสติก และมีคุณสมบัติในการย่อยสลายตามธรรมชาติ จึงทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับการใช้ดูดความชื้นทดแทนการใช้ซองพลาสติกจากเดิมที่มีอยู่ในท้องตลาด เพื่อเป็นการอนุรักษ์และรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนสืบต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรเลือกใช้ซิลิกาธรรมชาติ (Bio Silica) แทนซิลิกาเจล เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติในการย่อยสลายอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

5.2.2 ควรทำกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพดให้มีลักษณะบาง โปร่ง และมีรูพรุน เพื่อช่วยให้มีการดูดความชื้นได้ดียิ่งขึ้น

5.2.3 ควรศึกษาวิธีการเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดแทนการสเปรย์ เพื่อเพิ่มการกระจายของสารสกัดให้มีความสม่ำเสมอทั่วแผ่นกระดาษเส้นใยเปลือกข้าวโพด

5.2.4 ควรศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด เพื่อประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา

5.2.5 ควรทำการทดสอบในขั้นตอนการดูดความชื้น โดยแยกชุดทดสอบตามระดับความเข้มข้นของสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด เพื่อให้ผลการทดลองที่ถูกต้องและแม่นยำขึ้น

5.2.6 ควรศึกษาชนิดของกลุ่มเชื้อราที่พบทั่วไปในเปลือกข้าวโพดเพิ่มเติม เพื่อเป็นแนวทางในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราชนิดนั้น

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2561. **ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ เรื่อง ข้าวโพด.** สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

กัลทิมา พิชัย. ม.ป.ป. **การศึกษาการใช้สารสกัดพืชสมุนไพรบางชนิดในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชที่สำคัญในพื้นที่สะลวง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ท้องถิ่น.** สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

กิตติศักดิ์ แคล้ว จันทร์สุข. ม.ป.ป. **การสกัดแยกและพิสูจน์เอกลักษณ์ของสาระสำคัญจากสมุนไพร.** สาขาการแพทย์แผนไทยประยุกต์ วิทยาลัยสหเวชศาสตร์.

กฤษณา พงษ์พานิช. 2528. **โรคของเมล็ดพันธุ์ไม้ไผ่ที่สำคัญบางชนิดของไทย.** งานจุลชีววิทยาป่าไม้ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

การสกัดสารสำคัญจากพืช. 2546. [ออนไลน์] เข้าถึงจาก : http://www.lib.kps.ku.ac.th/SpecialProject/General_Science/2550/Bs/JirapornYu/chapter2.pdf ภาควิชาเภสัชวินิจฉัย มหาวิทยาลัยมหิดล. 29 ธันวาคม 2562.

จิราพัทธ์ แก้วศรีทอง, วิรัชยา อินทะกัณฑ์ และ กุลชญา สิ่วหงวน. 2560. การพัฒนาผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ กลุ่มศิลปะประดิษฐ์โอทอป (OTOP) จังหวัดพิษณุโลก. **วารสารวิชาการ ศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.** 8, 2 (กรกฎาคม-ธันวาคม) : 164-165.

จุฑากานต์ บุญมี. ม.ป.ป. พลาสติกชีวภาพ ทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. **วารสารสิ่งแวดล้อม.** 16, 2 (ม.ป.ป.) : 15-19.

ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร. 2553. **มะกรูด.** [ออนไลน์] เข้าถึงจาก : http://www.thaicrudedrug.com/มะกรูด. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 28 ธันวาคม 2562.

ชนินทร ดวงสอาด, พรพิมล อธิปัญญาคม และ สุณีรัตน์ สีมะเดื่อ. 2555. **อนุกรมวิธานและชีววิทยาของรา *Cladosporium* สาเหตุโรคพืช Identification and Biology of *Cladosporium*.** รายงายผลประจำปี. สำนักงานวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร.

ชุติมันต์ พานิชศักดิ์พัฒนา โกมินทร์ วิโรจน์วัฒนกุล และอดิศักดิ์. ม.ป.ป. **เอกสารวิชาการโรคข้าวโพดและการป้องกันกำจัด.** คำนวณศิลป์ สถาบันวิจัยโรคพืช กรมวิชาการเกษตร.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ชวลิต ฮงประยูร. (2543). วิทยาการเกษตร. [ออนไลน์] เข้าถึงจาก : https://www.baanjomyut.com/library_5/agricultural_knowledge/agricultural_science/12.html ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลนิชา ทองขลิบ และวิเชียร กิจปรีชาวนิช. **เชื้อรา *Aspergillus* ที่แยกจากประเทศไทยและความสามารถในการผลิตเอนไซม์อาหารสัตว์.** ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณรงค์ ใจชอบ. 2541. **การตรวจจำแนกชนิด *Aspergillus* spp. Group บนเมล็ดข้าวสาร.** ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ญาณัญฎา ศิรภัทร์ธาดา. 2553. **ยุทธศาสตร์การสร้างมูลค่าเพิ่มของการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิลเชิงธุรกิจสำหรับผู้ประกอบการและชุมชนในเขตจังหวัดภาคกลางของประเทศไทย.** คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ณัฐดนัย เนียมทอง. 2561. **การวัดความชื้นในอากาศ.** [ออนไลน์] เข้าถึงจาก : http://www.scimath.org. 21 กุมภาพันธ์ 2563.

ทวีป หลวงแก้ว. 2558. **โครงการวิจัยและพัฒนาการผลิตมะกรูดอย่างมีคุณภาพ.** กรมวิชาการเกษตร.

เทวรัตน์ ตรีอำนรรค และคณะ. 2556. **การศึกษาต้นแบบการลดความชื้นกากมันสำปะหลังโดยใช้ระบบอบแห้งแบบโรตารี่.** สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์.

ประเภทพลาสติก. 2561. [ออนไลน์] เข้าถึงจาก : https://www.tcr-plastic.com/ประเภทของพลาสติก. 1 มีนาคม 2563.

ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2561, 14 พฤศจิกายน). **ราชกิจจานุเบกษา.** 135 287. 12/30.

พัชรินทร์ วรธนกุล. 2553. เทคโนโลยีสังเคราะห์ซิลิกาจากชานอ้อย. **Technology Bio.** 36, 209 (กุมภาพันธ์-มีนาคม) : 40-41.

พิมพ์ชนก เสนาไทย. ม.ป.ป. **มะกรูดเปี่ยมสรรพคุณสมุนไพรคู่ครัวไทย.** เมืองนักอ่านคนกาญจนบุรี ห้องสมุดประชาชนอำเภอหนองปรือ.

ภัทราวดี ธงงาม, ปิยะนุช เจดีย์ยอด และ วันชัยยุทธ วงษ์เทพ. ม.ป.ป. **กระดาษเปลือกข้าวโพดทำมือ การสร้างบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม.** สถาบันถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ภาคอุตสาหกรรม. 2562. **การลดความชื้นโดยใช้สารดูดความชื้น.** เอกสารเผยแพร่ การอบแห้งและลดความชื้นในอุตสาหกรรม, 1-13.

แม้นสรวง วุฒิอุดมเลิศ. ม.ป.ป. **เชื้อที่มากับมลพิษในอาคาร รา.** ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

วรรณี อู่ไพบูรณ์. 2548. **การรักษาคุณภาพสินค้าด้วยสารดูดความชื้น.** บทความวิทยุกระจายเสียงรายการสาระยามบ่าย, 53. สำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ.

วราภรณ์ จันทาสี, ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ และ ธนาวดี ลี้จากภัย. ม.ป.ป. **การย่อยสลายของพลาสติกชนิด Polybutylene Succinate (PBS) ในอาหารเหลวด้วยแบคทีเรียที่คัดแยกจากหลุมฝังกลบขยะ.** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล และคณะ. 2545. **การผลิตบรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.

วุฒินันท์ คงทัด. 2545. **กระดาษทำด้วยมือ.** สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

วุฒิพงษ์ แสงมณี. 2556. **ความชื้นในอากาศ.** [ออนไลน์] เข้าถึงจาก : http://www.geog.pn.psu.ac.th/CAIClimate/8Humid49.pdf คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 28 กุมภาพันธ์ 2562.

ศิริพร เต็งรัง. 2558. **วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์.** กรมวิชาการเกษตร.

ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์, ณัชพล ไม้ชุน และ ธนทัต ศิริสุวรรณโชติ. 2559. การศึกษาผลของการลดความชื้นในฟลูออไรด์เบดและเบดบรรจุเพื่อการออกแบบเครื่องผลิตอากาศแห้งแบบต่อเนื่อง. **วิศวสารลาดกระบัง.** 33, 4 (ธันวาคม) : 2-7.

ศิริวรรณ โพธิ์พรม. 2545. **การสกัด Silicon Bodies จากพืชโดยใช้เอนไซม์และวิธีทางกายภาพ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. (ภาควิชาเคมี). มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (ม.ป.ป.) **ห้องทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพของวัสดุ.** ฝ่ายพัฒนาธุรกิจ งานประสานธุรกิจและอุตสาหกรรม MTEC.

สมานมิตร ยาวิจิตร. 2556. **พลาสติกเอบีเอส.** บริษัท อีพีจี อินโนเวชัน เซ็นเตอร์ จำกัด.

สุริยสิทธิ์ สมนึก, นคร บุญน้อย และ ถนิมนันต์ เจนอักษร. 2559. ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบใบมะกรูดด้วยเอทานอลในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดด่างของข้าวในสภาพห้องปฏิบัติการ. **ว.วิทยาศาสตร์เกษตร.** 47, 3 (กันยายน-ธันวาคม) : 56-57.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สุจินดา เทพพักทัน. 2545. **การสกัดและการวิเคราะห์น้ำมันหอมระเหยจากผลมะกรูด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. (ศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. **ขยะพลาสติก ภัยใกล้ตัว.** 2559. [ออนไลน์] เข้าถึงจาก : http://www.parliament.go.th/library 29 ธันวาคม 2562.

สารสกัด. 2562. [ออนไลน์] เข้าถึงจาก : https://www.innovalaboen.com/สุขภาพ/สารสกัด 28 กุมภาพันธ์ 2562.

หทัยทิพย์ สินธุยา, วรพจน์ โพธาเจริญ และรุ่งนภา จุลศักดิ์. ม.ป.ป. **การแปรรูปขยะจากเปลือกข้าวโพด.** วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

อุดมลักษณ์ สุขอัตตะ, วิชัย หฤทัยธนาสันติ์ และ อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์. ม.ป.ป. **การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรบางชนิดในการยับยั้งเชื้อราที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์ขนมอบ.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัจฉรา พัฒนเดช. 2543. **เชื้อรา *Aspergillus* ที่สร้างแอฟลาทอกซินในพืชสมุนไพรตากแห้ง.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาโรคพืชวิทยา). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อรุณี ศุภสินสาธิต. ม.ป.ป. พลังงานจากชีวมวลที่มีลิกโนเซลลูโลสสูง. **วารสารสิ่งแวดล้อม.** 16, 2 (ม.ป.ป.) : 36-43.

เอกสารข้อมูลความปลอดภัย. 2559. **ซิลิกอนไดออกไซด์.** [ออนไลน์] เข้าถึงจาก : https://www.carlroth.com/ซิลิกอนไดออกไซด์. 28 กุมภาพันธ์ 2562.

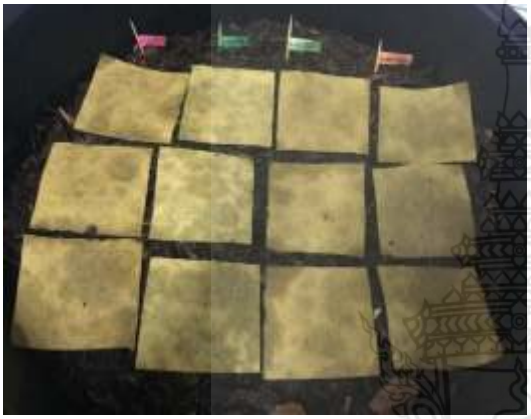
อุทยานธรรมชาติวิทยาสิรีรุกขชาติ. (2553). **มะกรูด.** มหาวิทยาลัยมหิดล.

ภาคผนวก

การย่อยสลายของกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

ภาคผนวก 1
การย่อยสลายของกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

การทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายของกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูดที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน คือ 0 5,000 10,000 และ 15,000 ppm ตามลำดับ (จากซ้ายไปขวา) เป็นระยะเวลา 30 วัน



วันที่ 1

วันที่ 2

วันที่ 3

วันที่ 4

ภาพภาคผนวก 1 การย่อยสลายของกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด

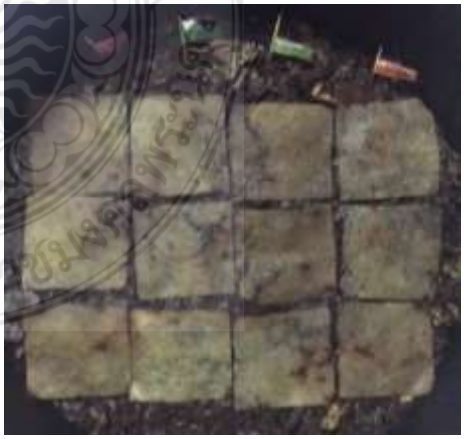
วันที่ 5

วันที่ 6

วันที่ 7

วันที่ 8

วันที่ 9



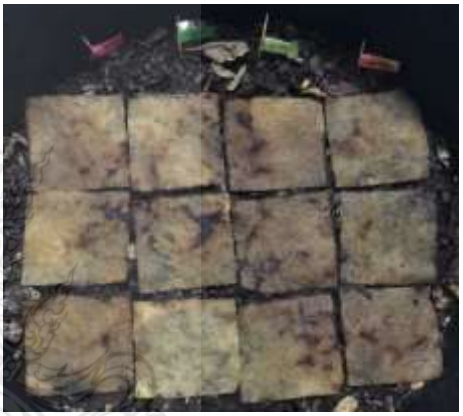
วันที่ 10

ภาพภาคผนวก 1 การย่อยสลายของกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด เคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด (ต่อ)

วันที่ 11

วันที่ 12

วันที่ 13



วันที่ 14

วันที่ 15

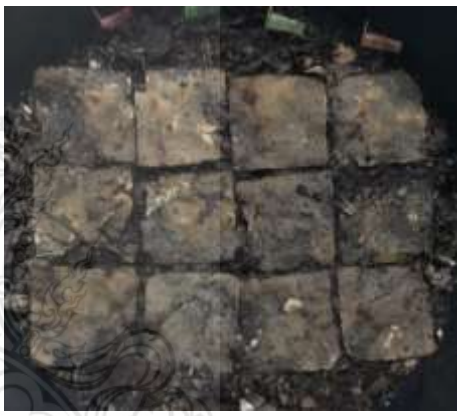
วันที่ 16

ภาพภาคผนวก 1 การย่อยสลายของกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด เคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด (ต่อ)

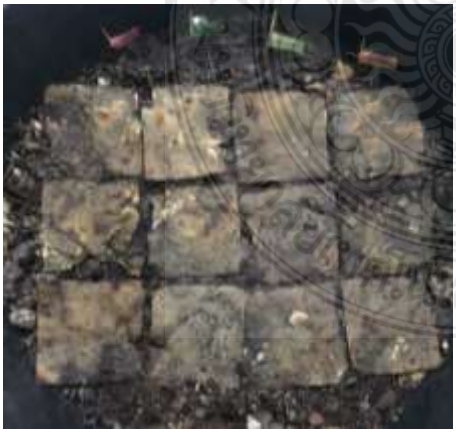
วันที่ 17

วันที่ 18

วันที่ 19



วันที่ 20



วันที่ 21

วันที่ 22

ภาพภาคผนวก 1 การย่อยสลายของกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด (ต่อ)

วันที่ 23

วันที่ 24

วันที่ 25

วันที่ 26

วันที่ 27

วันที่ 28

ภาพภาคผนวก 1 การย่อยสลายของกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด เคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด (ต่อ)

วันที่ 29

วันที่ 30

วันที่ 31

วันที่ 32

ภาพภาคผนวก 1 การย่อยสลายของกระดาษจากเส้นใยเปลือกข้าวโพดเคลือบสารสกัดน้ำมันผิวมะกรูด (ต่อ)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล นางสาววิสาข์ มีเพชร

วัน เดือน ปี เกิด 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2540

ภูมิลำเนา อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	พ.ศ. 2563
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนแก่งคอย จังหวัดสระบุรี	พ.ศ. 2559

ทุนการศึกษา

ทุนสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2563

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย นางสาวปภัสรา วงค์เลี้ยง

วัน เดือน ปี เกิด 11 มิถุนายน พ.ศ. 2540

ภูมิลำเนา อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	พ.ศ. 2563
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนสตรีนนทบุรี	พ.ศ. 2559

ทุนการศึกษา

ทุนสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2563