สารเคลือบปุ๋ยยูเรียเพื่อควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหาร

Coating for Controlled Release of Urea Fertilizer

ปรัชญา เนียมขาว
อภิชยา ปัญญาณธรรม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

สารเคลือบปุ๋ยยูเรียเพื่อควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหาร

Coating for Controlled Release of Urea Fertilizer

ปรัชญา เนียมขาว

อภิชยา ปัญญาณธรรม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coating for Controlled Release of Urea Fertilizer

PRADYA NIAMKAO

APICHAYA PANYANATAM

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR

THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	สารเคลือบปุ๋ยยูเรียเพื่อควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหาร
โดย	นายปรัชญา เนียมขาว
	นางสาวอภิชยา ปัญญาณธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์
ปริญญานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์)

.....กรรมการ
(อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	สารเคลือบปุ๋ยยูเรียเพื่อควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหาร
โดย	นายปรัชญา เนียมขาว
	นางสาวอภิชยา ปัญญาณธรรม
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาแนวทางในการพัฒนาสารเคลือบปุ๋ยเพื่อควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหาร สารเคลือบที่ใช้ในการทดลองได้แก่ยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติผสมแป้งด้วยวิธีการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยา และใช้ teric16a12 เป็นสารรักษาสภาพสารเคลือบ ซึ่งใช้อัตราส่วนแป้งต่อยางเป็น 8.33 16.67 33.33 50.00 66.67 และ 83.33 phr หลังจากนั้นจะขึ้นรูปสารเคลือบให้เป็นแผ่นบาง ๆ แล้วนำไปห่อหุ้มปุ๋ยยูเรีย การทดสอบคุณสมบัติของสารเคลือบสามารถทำได้โดยการวัดอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหาร ซึ่งจะวัดความเข้มข้นของยูเรียที่ปลดปล่อยออกมาด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของสารเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ และทดสอบการดูดซับน้ำของสารเคลือบ จากการทดลองพบว่า สารเคลือบที่เป็นยางธรรมชาติผสมแป้งที่อัตราส่วนของแป้งต่อยาง 16.67 phr เป็นสารเคลือบที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย และมีค่าการดูดซับน้ำอยู่ในระดับที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Coating for Controlled Release of Urea Fertilizer	
By	Mr. Pradya	Niamkao
	Miss Apichaya	Panyanatam
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Chemical Engineering	
Year	2014	
Advisor	Asst. Prof. Dr. Apinan	Namkanisorn
Co-Advisor	Mr. Boonchai	Chotiviriyavanich

ABSTRACT

This project aims to develop a coating material to control the release rate in urea fertilizer. In this study, the coating is made of natural rubber (NR) and cassava starch grafted onto natural rubber (NR-g-ST). During grafting, potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) and teric16a12 were used as initiator and stabilizer, respectively. For grafting the starch to natural rubber ratios were 8.33, 16.67, 33.33, 50.00, 66.67 and 83.33 phr. Thin film of NR and NR-g-ST were cast on a plate and allowed to dry in air. Thin film was later used to wrap the urea fertilizer. The coated fertilizer was studied for the release rate using UV-Visible Spectrophotometer, while the morphology was studied using Scanning Electron Microscope (SEM). Biodegradable and swelling tests were conducted and found that 16.67 phr NR-g-ST was the most suitable coating material for urea fertilizer due to low release rate and fast degradability in soil as well as good swelling under water immersion.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคลากรหลายฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสรณ์ และอาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และแนวทางแก้ไขปรับปรุงโครงงาน ทำให้โครงงานฉบับนี้มีความสมบูรณ์

รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการจัดหาสารเคมีที่ใช้ในโครงงานนี้

ผศ.ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขโครงงาน ทำให้โครงงานฉบับนี้มีความสมบูรณ์

คุณเอกราช บำรุงไทยไชยชาญ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ และคุณพิมใจ ภู่ชนะกิจ นักวิทยาศาสตร์เจ้าหน้าที่วิจัย และเจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไปประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ และอำนวยความสะดวกตลอดการทำโครงงานนี้

คุณพีรพัฒน์ ไกรวัฒนวงศ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำการทดลอง

บริษัท ไทย อีทอกซีเลท จำกัด สำหรับการอนุเคราะห์สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณบุพการี เพื่อนนักศึกษา และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด ถ้ามีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับ และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ปรัชญา เนียมขาว

อภิชยา ปัญญาณธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญรูป VII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (Controlled release fertilizer) 3
2.2 วัสดุเคลือบปุ๋ย 4
2.2.1 ยางธรรมชาติ 4
2.2.2 แป้ง 5
2.2.3 ปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติและแป้ง 7
2.3 เทคโนโลยีการเคลือบ 8
2.4 การวิเคราะห์สารตัวอย่าง 9
2.4.1 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของสารเคลือบ 9
2.4.2 การศึกษาอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยยูเรีย 9
2.5 กลไกการปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยเคลือบ 9
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

บทที่ 3 วิธีการทดลอง 13
3.1 สารเคมีที่ใช้ 13
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 วิธีการทดลอง 14
3.3.1 การเตรียมสารละลาย p-Dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) 14
3.3.2 การทำกราฟมาตรฐาน (Standard curve) ของสารละลายยูเรีย 14
3.3.3 การเตรียมสารเคลือบ 14
3.3.4 การขึ้นรูปสารเคลือบ 15
3.3.5 การเคลือบปุ๋ย 15
3.3.6 การเตรียมสารเคลือบสำหรับการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ และการดูดซับน้ำ 15
3.3.7 การวิเคราะห์ผล 16

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง 18
4.1 ผลการทำกราฟมาตรฐาน (Standard curve) ของสารละลายยูเรีย 18
4.2 ผลการศึกษาอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยเคลือบ 18
4.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เหลือภายในปุ๋ยเคลือบ 21
4.4 ผลการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของสารเคลือบ 21
4.5 ผลการศึกษาการดูดซับน้ำของสารเคลือบ 22
4.6 ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของสารเคลือบ 23

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 25
5.1 สรุปผลการทดลอง 25
5.2 ข้อเสนอแนะ 25

เอกสารอ้างอิง 27
ภาคผนวก 28
ภาคผนวก ก การทำกราฟมาตรฐาน (Standard curve) ของสารละลายยูเรีย 29
ภาคผนวก ข การคำนวณการเตรียมสารเคลือบ 33
ภาคผนวก ค การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายยูเรีย 36
ภาคผนวก ง การคำนวณการย่อยสลายทางชีวภาพของสารเคลือบ 40
ภาคผนวก จ การคำนวณการดูดซับน้ำของสารเคลือบ 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นของสารละลายยูเรียต่าง ๆ 32
ข.1 ปริมาณแป้งที่ใช้ผสมกับยาง และการเปลี่ยนหน่วยการผสมแป้งในยางให้เป็นหน่วย phr 35
ค.1 ค่าการดูดกลืนแสงของยูเรียที่ปลดปล่อยจากปุ๋ยเคลือบที่เวลาต่าง ๆ 37
ค.2 ค่าการดูดกลืนแสงของยูเรียที่เหลือภายในปุ๋ยเคลือบที่เวลาต่าง ๆ 38
ค.3 ความเข้มข้นของยูเรียที่ปลดปล่อยจากปุ๋ยเคลือบที่เวลาต่าง ๆ 39
ค.4 ความเข้มข้นของยูเรียที่เหลือภายในปุ๋ยเคลือบที่เวลาต่าง ๆ 39
ง.1 น้ำหนักของสารเคลือบก่อนการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ 41
ง.2 น้ำหนักของสารเคลือบหลังการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพที่เวลาต่าง ๆ 41
ง.3 ร้อยละของน้ำหนักที่ลดลงของสารเคลือบหลังการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ
ที่เวลาต่าง ๆ 42
จ.1 น้ำหนักของสารเคลือบก่อนการทดสอบการดูดซับน้ำ 44
จ.2 น้ำหนักของสารเคลือบหลังการทดสอบการดูดซับน้ำที่เวลาต่าง ๆ 44
จ.3 ร้อยละของการดูดซับน้ำของสารเคลือบที่เวลาต่าง ๆ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 สูตรโมเลกุลของไอโซพรีนและพอลิไอโซพรีน 4
2.2 สูตรโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน 6
2.3 การพองตัวของเม็ดแป้ง 6
2.4 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน 7
2.5 การปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ 11
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายยูเรียกับค่าการดูดกลืนแสง 18
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของยูเรียที่ปลดปล่อยจากปุ๋ยเคลือบกับเวลา 20
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของยูเรียที่เหลือภายในปุ๋ยเคลือบกับเวลา 21
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักที่ลดลงของสารเคลือบกับเวลา 21
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการดูดซับน้ำของสารเคลือบกับเวลา 22
4.6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของสารเคลือบ 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำการเกษตรมายาวนาน ในแต่ละปีมีผลผลิตจากภาคอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นจำนวนมากส่งออกทั้งในและนอกประเทศ เกษตรกรต่างมีเป้าหมายเหมือนกันคือปริมาณผลผลิตที่สูง แต่เนื่องจากสภาพแวดล้อมแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน ดินบางพื้นที่ขาดความอุดมสมบูรณ์จึงส่งผลให้ต้องมีการใช้ปุ๋ยเคมีมาเพิ่มปริมาณแร่ธาตุให้กับพืช นับได้ว่าปุ๋ยนั้นเป็นปัจจัยพื้นฐานในการเพิ่มผลผลิต ปุ๋ยยูเรีย ($CO(NH_2)_2$) สูตร (46-0-0) เป็นปุ๋ยที่นำมาใช้ในการเกษตรจำนวนมากเนื่องจากมีปริมาณสารอาหารสูงดังเช่นมีไนโตรเจนสูงถึงร้อยละ 46 และราคาถูก แต่พืชสามารถนำปุ๋ยไปใช้ได้เพียงร้อยละ 40-70 เท่านั้น สำหรับการสูญเสียไนโตรเจนนั้นอาจจะสูญเสียไปในรูปไนเตรท (NO_3) และถูกชะล้าง (Leaching) หรือถูกพัดพาโดยการกัดกร่อนของดิน (Erosion) และการไหล่บ่าบนผิวหน้าดิน (Run off) ปุ๋ยยูเรียมีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ดี ปุ๋ยจะละลายน้ำได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณปุ๋ยเป็นจำนวนมากและยังทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

จึงมีการคิดค้นเทคโนโลยีเพื่อลดการสูญเสียของไนโตรเจนโดยการห่อหุ้มหรือเคลือบปุ๋ยด้วยสารเคลือบปุ๋ย ปุ๋ยที่ได้จะเรียกว่า "ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (Controlled release fertilizer)" ซึ่งเป็นที่รู้จักกันว่า "ปุ๋ยละลายช้า" โดยสารเคลือบที่นิยมใช้ ได้แก่ กำมะถัน โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ยางธรรมชาติ (NR) โพลีไวนิลไพโนนิโดน (PVP) และพอลิเอทิลีน (PE) เป็นต้น สารเคลือบเหล่านี้จำกัดการละลายของยูเรียทำให้การใช้ปุ๋ยมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

ยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจ เพราะเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี มีความยืดหยุ่นสูง ทนต่อความเป็นกรดเบส แต่มีข้อเสียคือมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซน ทำให้ยางธรรมชาติเสื่อมสภาพเร็ว ดังนั้นจึงต้องเติมสารอื่นเข้าไปเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว แป้งเป็นสารที่นำมาผสมกับยางธรรมชาติ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของยางธรรมชาติ เนื่องจากแป้งเข้าไปทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่ของยางธรรมชาติแทนออกซิเจนหรือโอโซน และยังช่วยทำให้ยางธรรมชาติย่อยสลายได้ง่ายขึ้นอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอัตราส่วนปริมาณยางธรรมชาติและแป้งที่มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ย

2. ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของสารเคลือบที่มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ย

3. ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพและการดูดซับน้ำของสารเคลือบ

1.3 ขอบเขตโครงงาน

1. เตรียมสารเคลือบปุ๋ยด้วยวิธีกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน
2. เตรียมปุ๋ยเคลือบด้วยวิธีการขึ้นรูปสารเคลือบให้เป็นแผ่นบาง ๆ แล้วนำไปห่อหุ้มปุ๋ย
3. ศึกษาอัตราส่วนปริมาณยางธรรมชาติและแป้งที่มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยธาตุอาหาร
4. ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของสารเคลือบที่มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยธาตุอาหาร

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาประเภทของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย และประเภทของปุ๋ยที่จะนำมาทำปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย

2. ศึกษาประเภทของสารเคลือบปุ๋ย และเตรียมสารเคลือบ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณแป้งในอัตราส่วนต่าง ๆ

3. ทดสอบอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยเคลือบ
4. ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของสารเคลือบ
5. ทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ และการดูดซับน้ำของสารเคลือบ
6. สรุปผลการทดลอง และให้ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาทำปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ผลิตภัณฑ์ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยที่มีคุณสมบัติสามารถลดการปลดปล่อยธาตุอาหารที่ดีกว่าปุ๋ยธรรมดา

2. ได้แนวทางในการปรับปรุงคุณสมบัติของสารเคลือบปุ๋ยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

3. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปุ๋ยรูปแบบใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย (Controlled release fertilizer) [1]

คือ ปุ๋ยเคมีที่บรรจุอยู่ในสารเคลือบพอลิเมอร์ต่าง ๆ สารเคลือบนั้นออกแบบมาเพื่อให้ปุ๋ยที่บรรจุอยู่ภายในค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องเป็นเวลานาน เหมาะสมกับความต้องการของพืช ทำให้พืชได้อาหารอย่างเพียงพอและต่อเนื่องตลอดช่วงอายุของพืช สารเคลือบปุ๋ยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. Inorganic Polymer Coating

ปุ๋ยเคลือบด้วยกำมะถัน (Sulfur–coated urea หรือ SCU) การนำกำมะถันมาเป็นสารเคลือบปุ๋ยยูเรียนั้นสามารถทำได้โดยการนำผงกำมะถันมาทำให้ร้อนและหลอมเหลว อุณหภูมิหลอมเหลวของกำมะถันคือ 156 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นก็ฉีดพ่นสารละลายกำมะถันบนตัวปุ๋ย ปุ๋ยยูเรียมีปริมาณไนโตรเจนสูง ไนโตรเจนจะละลายออกมาได้โดยต้องซึมผ่านผนังของตัวเคลือบออกมา อย่างไรก็ตามการเคลือบด้วยกำมะถันเพียงอย่างเดียวจะทำให้สารเคลือบร้าวและแตกง่าย เนื่องจากคุณสมบัติของกำมะถันเป็นสารที่เปราะเมื่ออยู่ในสภาพของแข็ง จึงเป็นสาเหตุให้การควบคุมการละลายไม่ดีนักจึงต้องแก้ไขจุดบกพร่องนี้โดยใช้ไขเป็นวัสดุอุดกันรั่ว (Wax sealant) เพื่อลดการซึมผ่านของน้ำ เพิ่มสารควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์เพื่อป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ออกซิไดส์กำมะถันเร็วเกินไป และเคลือบชั้นนอกสุดด้วยวัสดุปรับสภาพปุ๋ย เช่น ดินเหนียวแอตตาปุลไจต์ (Attapulgite)

2. Organic Polymer Coating แบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

2.1) ปุ๋ยเคลือบด้วยเรซิน (Resin – coated fertilizers) เรซินสังเคราะห์ หมายถึงพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นในรูปของเม็ดหรือผง ยังไม่ได้นำไปผ่านกระบวนการแปรรูปทำเป็นผลิตภัณฑ์ โครงสร้างระหว่างโมเลกุลมีลักษณะของการเชื่อมไขว้ (Crosslink) เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic polymer) สำหรับเรซินที่ใช้เคลือบผิวเม็ดปุ๋ยเป็นพวกที่สลายตัวได้เมื่อได้รับความร้อนสูง (Thermosettic resin) เรซินที่ใช้เคลือบผิวเม็ดปุ๋ยมี 2 ชนิดคือ อัลกิดเรซิน (Alkyd resin) คือพลาสติกชนิดหนึ่งซึ่งเตรียมจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation polymerization) พลาสติกชนิดนี้มีการเชื่อมไขว้ระหว่างโมเลกุล จึงไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป และสารคล้ายพอลิยูรีเทน (Polyurethanelike compound) การเคลือบด้วยเรซินชนิดนี้ มีลักษณะพิเศษแตกต่างจากเรซินชนิดอื่นคือ พอลิไอโซไซยาเนตทำปฏิกิริยากับเนื้อปุ๋ยที่ผิว สารเคลือบจึงติดแน่นช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกร่อนจากการขัดสีระหว่างเม็ดปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) ปุ๋ยเคลือบด้วยเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ (Thermoplastic polymer–coated fertilizers) พอลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบผิวเม็ดปุ๋ย ได้แก่ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ยางธรรมชาติ (NR) โพลีไวนิลไพโรนิโดน (PVP) พอลิเอทิลีน (PE) เป็นต้น ซึ่งอัตราการปลดปล่อยจะขึ้นกับชนิดของสารเคลือบ

2.2 วัสดุเคลือบปุ๋ย

2.2.1 ยางธรรมชาติ [2,3]

ยาง คือวัสดุพอลิเมอร์ซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอน ยางเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง ยางที่มีต้นกำเนิดจากธรรมชาติจะมาจากของเหลวของพืชบางชนิด ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว คล้ายน้ำนม มีสมบัติเป็นคอลลอยด์ อนุภาคเล็ก มีตัวกลางเป็นน้ำ ยางในสภาพของเหลวเรียกว่าน้ำยาง ยางที่เกิดจากพืชเรียกว่ายางธรรมชาติ

ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางจากต้นยางพารา ขณะที่ยังสดจะมีสีขาวหรือสีครีม สามารถไหลได้เองอย่างอิสระ มีความหนืดประมาณ 12-15 เซนติพอยส์ (centipoises) ความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) 6.5-7.0 รูปร่างของอนุภาคยางเป็นรูปกลมหรือรูปลูกแพร์ ขนาด 0.05-5 ไมโครเมตร (μm)

น้ำยางสด เป็นสารแขวนลอยของอนุภาคยางในของเหลวที่เรียกว่า ซีรัม (serum) อนุภาคยางเป็นสารพอลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนที่มีชื่อทางเคมีว่า 1, 4–พอลิไอโซพรีน ที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบซิส (cis-1, 4- polyisoprene) ประกอบด้วยมอนอเมอร์ (monomer) ของไอโซพรีน (isoprene) ซึ่งมีคาร์บอน (carbon; C) 5 อะตอม และไฮโดรเจน (hydrogen; H) 8 อะตอม ต่อกันจำนวนมากเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว

ไอโซพรีน (isoprene) พอลิไอโซพรีน (cis - 1, 4 - Polyisoprene)

รูปที่ 2.1 สูตรโมเลกุลของไอโซพรีนและพอลิไอโซพรีน [4]

ส่วนประกอบของน้ำยางสด แบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1. ส่วนที่เป็นยาง (Dry Rubber Content, DRC) เป็นอนุภาคยางของไอโซพรีนที่เชื่อมต่อกันประมาณ 2,000–5,000 หน่วยต่อ 1 โมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง (Non Rubber Content) เป็นส่วนประกอบอื่น ๆ ทั้งหมดที่ไม่ใช่ยาง มีสารประกอบที่สำคัญ ได้แก่ น้ำตาล โปรตีน และกรดไขมัน ซึ่งสารเหล่านี้มีความสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารป้องกันยางเสื่อมสภาพ และเป็นสารกระตุ้นให้ยางคงรูป (antioxidant and activator of cure) สำหรับธาตุบางชนิดที่อยู่ในยางธรรมชาติ ได้แก่ โพแทสเซียม แมงกานีส ฟอสฟอรัส ทองแดง และเหล็ก มีความสำคัญในการเป็นตัวเร่งการเสื่อมสภาพของยาง

สมบัติของยางธรรมชาติ

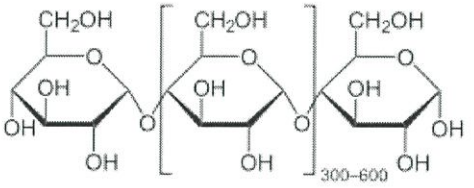
เนื่องจากยางธรรมชาติประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน โทลูอีน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติสามารถเกิดการตกผลึกหรือสายโมเลกุลเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบเมื่อเกิดความเครียด (strain crystallize) ซึ่งเป็นผลให้ยางมีความแข็งแรงต่อแรงดึง และต่อแรงกระทำให้ฉีกขาด (tensile strength and tear strength) นอกจากนี้ยังสามารถเกิดการเรียงตัวของโมเลกุลได้ ณ อุณหภูมิต่ำ ยางธรรมชาติมีลักษณะเด่นในเรื่องของความยืดหยุ่น (elasticity) คือมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำหมดไปยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) ได้อย่างรวดเร็ว และยังมีสมบัติที่ดีในด้านการเหนียวติดกัน (tack) แต่มีข้อเสียคือ มีลักษณะทางกายภาพไม่เสถียร ซึ่งขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ กล่าวคือยางจะอ่อนเยิ้มและเหนียวเมื่ออุณหภูมิสูง แต่จะแข็งและเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้จะมีการเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะที่ไม่อิ่มตัว หรือพันธะคู่ (unsaturated or double bonds) ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในการใช้งานจึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารในกลุ่มของ antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน

2.2.2 แป้ง [5,6]

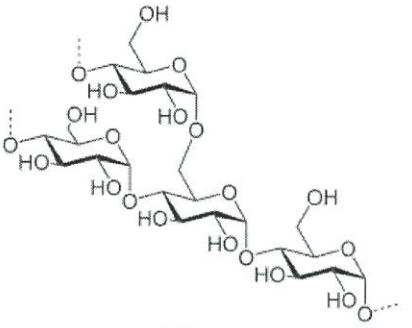
แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งมีหน่วยพื้นฐานเป็น anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ a-glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของหน่วยกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลแป้งจะมี anomeric carbon (C1) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่นๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลายที่มีคุณสมบัติรีดิวซ์ (reducing end) คือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง reducing end 1 ตำแหน่ง

โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก ๆ ตามขนาดโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัว คือ อะไมโลส ซึ่งมีขนาดเล็ก มีกิ่งก้านเพียงเล็กน้อย และอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดใหญ่ มีกิ่งก้านมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อะไมโลส



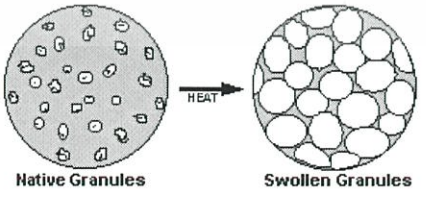
อะไมโลเพคติน

รูปที่ 2.2 สูตรโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน [5]

สมบัติของแป้ง

<u>การพองตัวและการละลาย (Swelling and solubility)</u>

แป้งไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณร้อยละ 25-30 และพองตัวน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ เนื่องมาจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโล-เพคติน (intermixed) ภายในเม็ดแป้ง ในส่วน crystallite โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวม ๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาการรับน้ำ (hydration) ได้บ้างแม้ในน้ำเย็น แต่เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป ส่วน amorphous จะจับกับน้ำได้มากขึ้น และการจับกันของโมเลกุลในส่วน crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจะจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.3) โมเลกุลในส่วน crystallite ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแห เรียกว่า micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน crystallite ที่เหลืออยู่จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาพสารละลายมากขึ้น



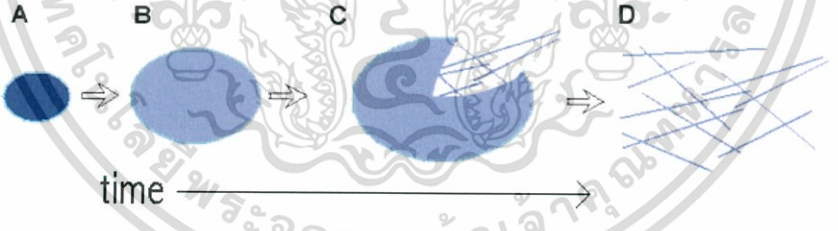
รูปที่ 2.3 การพองตัวของเม็ดแป้ง [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization)

<u>กลไกการเกิดเจลาติไนเซชัน</u>

เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่ง แต่จะยังไม่พองตัวหรือพองตัวได้จำกัดมากและสังเกตได้ยาก [7] จากการสังเกตการพองตัวของเม็ดแป้งสาลีในน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าแป้งที่พองตัวมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 และปรากฏการณ์นี้สามารถผันกลับได้ (reversible) โดยเมื่อนำไปอบแห้งก็จะได้แป้งที่มีลักษณะและคุณสมบัติดังเดิม ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในส่วนที่เป็น crystallite จับตัวกันอย่างแข็งแรง จึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-75 องศาเซลเซียส หรือใช้สารเคมี เช่น ให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส แก่แป้งสาลีจะมีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน crystallite ลดลง เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า “เจลาติไนเซชัน” อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้ง เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างส่วน crystallite ที่แตกต่างกัน อีกทั้งระดับการจับกัน (degree of association) และความสม่ำเสมอของการเกิดเจลาติไนซ์ไม่พร้อมกันทุกเม็ด ซึ่งโดยทั่วไปเม็ดแป้งขนาดใหญ่จะเกิดเจลาติไนซ์ได้ก่อนขนาดเล็ก [7,8] แป้งอาจเกิดเจลาติไนซ์ได้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยการละลายในตัวทำละลาย (Solvent) เช่น alkali, liquid ammonia, DMSO, aq. $CaCl_2$



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งขณะให้ความร้อน [6]

2.2.3 ปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติและแป้ง

จากเหตุผลที่ยางธรรมชาติมีการเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน ดังนั้นการปรับปรุงข้อด้อยของยางธรรมชาติจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ โดยการปรับปรุงคุณสมบัติของยางธรรมชาติสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเติมหมู่คลอรีน (คลอริเนชัน) การเติมไฮโดรเจนให้กับพันธะคู่ (ไฮโดรจิเนชัน) การเติมหมู่ออกซิเรนของออกซิเจน (อิพอกซิเดชัน) หรือการกราฟต์หมู่ฟังก์ชันบนสายโซ่ยางธรรมชาติ (กราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปริญญานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน (graft copolymerization) กระบวนการนี้เป็นกระบวนการดัดแปรโครงสร้างภายในสายโซ่ยางธรรมชาติ โดยการนำยางธรรมชาติมาทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์ เพื่อปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้เหมาะสมต่อการใช้งาน วัสดุที่ได้จะมีสมบัติร่วมระหว่างยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่นำมากราฟต์ โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกราฟต์ ได้แก่ ปริมาณยางธรรมชาติ ตัวริเริ่ม มอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์ และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น

กระบวนการเตรียมยางธรรมชาติที่ผ่านการกราฟต์ สามารถเตรียมได้ในระบบอิมัลชันและระบบสารละลาย โดยแต่ละระบบจะใช้ตัวริเริ่มที่แตกต่างกัน การกราฟต์ในระบบสารละลายต้องใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น โทลูอีน คลอโรเบนซีน ในการละลายยางธรรมชาติ ซึ่งมีราคาแพง เป็นอันตรายต่อสุขภาพและมี ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนระบบอิมัลชัน จะใช้น้ำยางธรรมชาติซึ่งมีตัวทำละลายเป็นน้ำ จึงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นปริญญานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้ระบบอิมัลชัน

2.3 เทคโนโลยีการเคลือบ

1. Rotary Drum Coating เป็นกระบวนการเคลือบปุ๋ยที่สามารถเคลือบปุ๋ยได้ในปริมาณมากขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่อง เนื่องจากด้านบนของเครื่องจะต่อหัวสเปรย์ (Nozzle) เพื่อพ่นสารเคลือบที่อยู่ในรูปสารละลาย เมื่อสารละลายผ่านหัวสเปรย์ (Nozzle) จะทำให้สารอยู่ในรูปละอองของเหลวเล็ก ๆ ตกบนผิวของปุ๋ยทำให้สารเคลือบสามารถเกาะติดกับผิวของปุ๋ยได้ค่อนข้างดี [9]

2. Fluidized Bed Coating เป็นกระบวนการที่ใช้เคลือบปุ๋ยที่เป็นอนุภาคของแข็ง โดยอนุภาคของปุ๋ยจะถูกทำให้เคลื่อนที่ขึ้นด้านบนด้วยแรงลมที่อัดเข้ามาจากด้านล่างของเครื่องด้วยปั๊ม และด้านบนของเครื่องจะติดหัวฉีดพ่นซึ่งจะพ่นสารเคลือบที่เป็นของเหลวบนผิวอนุภาคของปุ๋ย ปุ๋ยถูกทำให้เคลื่อนที่ลอยขึ้นลงตลอดเวลาทำให้สารเคลือบนั้นมีโอกาสยึดติดกับผิวของอนุภาคปุ๋ยได้ดีขึ้น [9]

3. Pan Coating เป็นกระบวนการเคลือบปุ๋ยที่เป็นของแข็งที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่โดยจะนำอนุภาคปุ๋ยที่ต้องการเคลือบ ใส่ในเครื่องซึ่งสามารถใส่ได้ปริมาณมาก หลังจากนั้นเครื่องจะหมุนไปตามความเร็วรอบที่ตั้งค่าไว้ ในขณะที่เครื่องกำลังหมุนจะมีการฉีดสารเคลือบออกจากท่อที่ต่อเข้าจากด้านหน้าของเครื่อง วิธีการเคลือบแบบนี้ค่อนข้างเป็นที่นิยมใช้กันในอุสาหกรรมการผลิตปุ๋ย [9]

4. Dipped Coating เป็นการเคลือบปุ๋ยที่แตกต่างจากวิธีที่กล่าวมาทั้งหมด เนื่องจากที่ผ่านมาจะเป็นการฉีดพ่นสารเคลือบด้วยหัวฉีดพ่น (Nozzle) แต่การเคลือบแบบจุ่มนั้นเป็นเพียงการนำปุ๋ยมาจุ่มลงในตัวเคลือบที่อยู่ในรูปสารละลาย หลังจากนั้นก็นำปุ๋ยที่เคลือบแล้วไปทำให้แห้ง การความคุมความหนาของผิวเคลือบทำได้โดยการจุ่มซ้ำหลายครั้ง วิธีนี้จะควบคุมความหนาและควบคุมกระบวนการเคลือบได้ยากกว่าวิธีที่กล่าวมาข้างต้น แต่มีข้อดีคือสามารถทำได้ง่ายและสะดวก และไม่ต้องออกแบบเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีการเคลือบช่วยให้สามารถผลิตปุ๋ยเคลือบปุ๋ยได้อย่างกว้างขวาง ปุ๋ยที่อยู่ภายในผิวเคลือบเป็นปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ง่าย ปัจจัยด้านการเคลือบที่ควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารออกจากเม็ดปุ๋ยมี 2 อย่าง คือ 1) ชนิดของสารเคลือบ ซึ่งแต่ละสารมีสมบัติในการยอมให้น้ำซึมผ่านไม่เท่ากัน และ 2) ความหนาของสารเคลือบ สำหรับปัจจัยภายนอกที่ควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ย คือ อุณหภูมิ กล่าวคือในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง อัตราการปลดปล่อยจะสูงกว่าในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำ ส่วนปัจจัยอื่น ๆ เช่น กิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน pH และความชื้นของดิน แทบจะไม่มีผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยประเภทนี้

2.4 การวิเคราะห์สารตัวอย่าง

2.4.1 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของสารเคลือบ

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เป็นเครื่องมือที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนฉายหรือส่องกราดไปบนผิวด้านนอกของสารตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของสารตัวอย่าง โดยจะปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรืออาจบันทึกภาพที่ปรากฏบนแผ่นฟิล์มได้ตามกำลังขยายที่ต้องการ ลักษณะพิเศษของ SEM คือให้รายละเอียดสูง ให้ภาพที่มีความลึก หรือมองเห็นเป็นภาพ 3 มิติ [10]

2.4.2 การศึกษาอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยยูเรีย

UV-Visible Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของแสงที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1,000 nm ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีจะขึ้นอยู่กับความเข้มของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่าง ๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ [11]

2.5 กลไกการปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยเคลือบ [1]

1. หลักการทั่วไป การปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยเม็ดที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์อินทรีย์มีหลายระยะดังนี้ ระยะแรกมีการซึมของน้ำ (ส่วนมากเป็นไอน้ำ) เคลื่อนผ่านสารเคลือบผิว ถ้าความดันภายในเม็ดปุ๋ยสูงกว่าความต้านทานของวัสดุที่หุ้มเม็ดปุ๋ยอยู่ ผิวเคลือบก็จะแตก จากนั้นเนื้อปุ๋ยจะทะลักออกมาทั้งหมดในทันที ซึ่งเรียกลำดับเหตุการณ์นี้ว่า “กลไกล้มเหลว (Failure mechanism) หรือการปลดปล่อยแบบล้มละลาย” แต่ถ้าผิวหุ้มเม็ดปุ๋ยยังทนต่อแรงดันภายในได้ ปุ๋ยก็ถูกปลดปล่อยโดยการแพร่และการเคลื่อนมวล สำหรับกลไกล้มเหลวหรือการปลดปล่อยแบบล้มละลายมักเกิดกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เม็ดปุ๋ยซึ่งเคลือบด้วยสารที่เปราะและไม่ค่อยยืดหยุ่น เช่น กำมะถันหรือสารอนินทรีย์อื่น ๆ ส่วนการปลดปล่อยจากปุ๋ยที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์ เช่น อัลกิดเรซิน จะไม่มีปัญหาดังกล่าว

2. การปลดปล่อยด้วยการแพร่ มี 3 ระยะคือ

ระยะแรก คือช่วงการปลดปล่อยธาตุอาหารน้อยมาก (Lag period หรือช่วงนิ่ง) ไอน้ำซึมเข้าไปในเม็ดปุ๋ยอย่างช้า ๆ แล้วเริ่มละลายปุ๋ยส่วนที่อยู่ใกล้ผิวเคลือบ ในช่วงนี้จะมีแรงขับเคลื่อนที่เกิดจากความแตกต่างของความดันไอ (Vapor pressure) ระหว่างสารเคลือบสองด้าน เมื่อไอน้ำไปอยู่ภายในชั้นผิวเคลือบก็จะทำให้

1) น้ำไปอัดในรูพรุนภายในเนื้อปุ๋ยและช่องระหว่างผิวเคลือบกับปุ๋ย

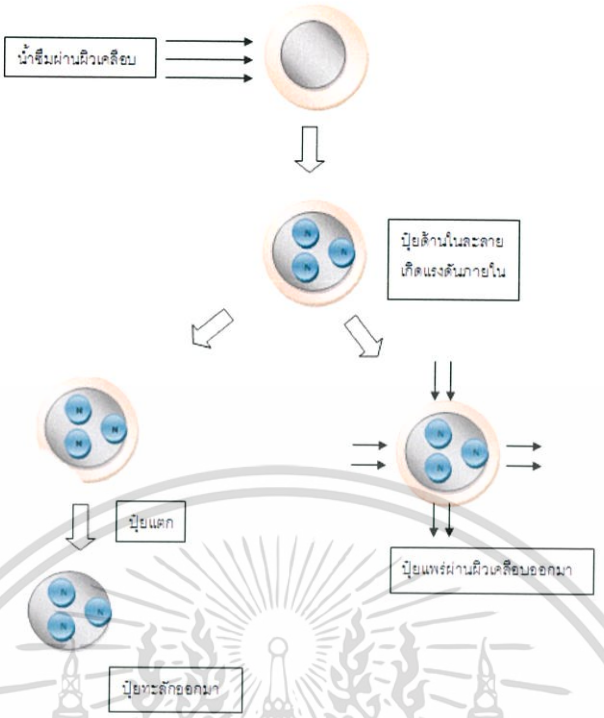
2) น้ำหนักเม็ดปุ๋ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

3) เกิดแรงดันภายในและเม็ดปุ๋ยมีความเต่งขึ้น

ระยะปลดปล่อยคงที่ คือช่วงอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะคงที่ เมื่อสารละลายอิ่มตัวของปุ๋ยยังคงสมดุลกับปุ๋ยแข็งที่ยังอยู่ในเม็ด เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายปุ๋ยอิ่มตัวและคงที่ทำให้เกรเดียนซ์ความเข้มข้น (Concentration gradient) คงที่ จึงเป็นปัจจัยกำหนดค่าของแรงที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนให้ปุ๋ยออกมาภายนอกในอัตราคงที่ ในระยะนี้ปริมาตรของเม็ดปุ๋ยคงที่ แสดงว่าปริมาตรซึ่งลดลงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของปุ๋ยออกไปได้มีน้ำจากภายนอกเข้ามาชดเชยในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

ระยะที่การปลดปล่อยลดลงทีละน้อย คือช่วงการปลดปล่อยลดลง เกิดขึ้นนับตั้งแต่เนื้อปุ๋ยภายในเม็ดได้ละลายหมดแล้ว ต่อจากนั้นแรงที่ใช้ขับเคลื่อนการปลดปล่อยปุ๋ยก็เริ่มลดลงเรื่อย ๆ ในช่วงท้ายจะมีปุ๋ยออกมาน้อยมากจนกระทั่งหมดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ยที่เคลือบด้วยพอลิเมอร์

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Li Chen และคณะ [12] ทำการศึกษาผลของการเคลือบปุ๋ยยูเรียด้วยแป้งและพอลิแลคไทด์โดยวิธีการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน เพื่อศึกษาอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ย พบว่าพอลิแลคไทด์ซึ่งเป็นสารที่ไม่ชอบน้ำจะลดความสามารถในการอุ้มน้ำของแป้งและจะลดอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยยูเรีย นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ยาวนานขึ้นจากหลายชั่วโมงเป็น 1 วัน โดยการปรับประสิทธิภาพการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน

Zhi-Fen Wang และคณะ [13] ทำการศึกษาผลของการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งโดยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันและนำมาผสมกับยางธรรมชาติ โดยทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา เสถียรภาพทางความร้อน คุณสมบัติเชิงกล และองค์ประกอบของหมู่ฟังก์ชันของสาร โดยเปรียบเทียบกับการใช้แป้งที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติ และใช้แป้งที่มีการปรับปรุงคุณสมบัติในปริมาณต่างๆ กัน พบว่าโครงสร้างที่เป็นผลึกของแป้งในวัสดุผสมจะหายไปหลังการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งโดยปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน และอนุภาคของแป้งจะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 200 นาโนเมตร โดยจะกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในพื้นผิวของยางธรรมชาติ เสถียรภาพทางความร้อนของวัสดุผสมถูกพัฒนาหลังมีการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้ง คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของแป้งที่เพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนของแป้งที่ดีที่สุดคือ การใช้แป้ง 20 ส่วน ในยางธรรมชาติ 100 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sa-Ad Riyajan และคณะ [14] ทำการศึกษาผลของการเคลือบปุ๋ยยูเรียด้วยแป้งและน้ำยางธรรมชาติด้วยวิธีการกราฟต์โคพอลิเมอไรเซชัน เพื่อศึกษาอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจากปุ๋ย โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำยางธรรมชาติ แป้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวิธีเจลาติไนเซชัน แป้งที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติผสมกับน้ำยางธรรมชาติ และแป้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวิธีเจลาติไนเซชันผสมกับน้ำยางธรรมชาติ และมีการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วย Fourier Transform Infrared Spectrometer และตรวจสอบอัตราการอุ้มน้ำของแป้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวิธีเจลาติไนเซชันผสมกับน้ำยางธรรมชาติ จากการทดลองพบว่า อัตราการอุ้มน้ำจะลดลงเป็นฟังก์ชันตามอัตราส่วนของแป้งที่ผสม แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของแป้งมากกว่า 50 ส่วน ในยางธรรมชาติ 100 ส่วน ค่าแรงดึงจะมีค่ามากสุดที่อัตราส่วนของแป้ง 50 ส่วน ในยางธรรมชาติ 100 ส่วน เสถียรภาพทางความร้อนของแป้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวิธีเจลาติไนเซชันผสมกับน้ำยางธรรมชาติจะสูงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติผสมกับน้ำยางธรรมชาติ ดังนั้นแป้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวิธีเจลาติไนเซชันผสมกับน้ำยางธรรมชาติจะถูกนำไปใช้เป็นพอลิเมอร์สำหรับควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยยูเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้

1. ปุ๋ยยูเรีย (Urea fertilizer)
2. น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber)
   (บริษัท ไทยรับเบอร์ลาเท็คซ์คอร์ปอเรชั่น จำกัด)
3. แป้งมันสำปะหลัง (Cassava starch)
4. Teric16a12 (Dehydol LS12 TH) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์
   (บริษัท ไทย อีทอกซีเลท จำกัด)
5. Potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ความบริสุทธิ์ 99 เปอร์เซ็นต์
   (บริษัท รวมเคมี 1986 จำกัด)
6. p-Dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) ความบริสุทธิ์ 98 เปอร์เซ็นต์
   (บริษัท เอส.เอ็ม.เคมีคอล ซัพพลาย จำกัด)
7. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 37 เปอร์เซ็นต์
8. เอทานอล (C_2H_5OH) ความเข้มข้น 95 เปอร์เซ็นต์

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

1. เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)
3. เครื่องกวนสารพร้อมให้ความร้อน (Hotplate stirrer)
4. เครื่องกวน (Magnetic stirrer)
5. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)
6. ตู้อบ (Oven)
7. เครื่องชั่งสาร (Analytical balance)
8. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
9. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50 100 250 และ 500 มิลลิลิตร
10. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 10 100 250 500 และ 1,000 มิลลิลิตร
11. ปิเปต (Pipett) ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร
12. กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 50 มิลลิลิตร
13. หลอดทดลอง (Test tube)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
15. หลอดหยด (Dropper)
16. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
17. ถาดอะลูมิเนียม (Aluminium plate)
18. ฟรอยด์ (Foil)
19. แผ่นพาราฟิล์ม (Para film)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารละลาย p-Dimethylaminobenzaldehyde (DMAB)

1. ชั่ง DMAB 8.000 กรัม ละลายในเอทานอล (C_2H_5OH) 500 มิลลิลิตร
2. เติมกรดไฮโดรคลอริก 50 มิลลิลิตร ลงไป โดยต้องคนสารตลอดเวลา

3.3.2 การทำกราฟมาตรฐาน (Standard curve) ของสารละลายยูเรีย

1. ชั่งยูเรีย 1.000 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 250 มิลลิลิตร

2. ปิเปตสารละลายในข้อ 1 มา 10 28 46 64 และ 82 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร เพื่อเตรียมสารละลายเข้มข้น 0.40 1.12 1.84 2.56 และ 3.28 กรัมต่อลิตร

3. ปิเปตสารละลายในข้อ 1 และข้อ 2 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 10 มิลลิลิตร

4. ปิเปตสารละลายในข้อ 3 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มา 3 มิลลิลิตร เติม DMAB 3 มิลลิลิตร เขย่าสารให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 417 นาโนเมตร

5. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย

3.3.3 การเตรียมสารเคลือบ

<u>ยางธรรมชาติ</u>

1. ชั่งน้ำยางธรรมชาติ (NR) 30 กรัม และ teric16a12 1 กรัม กวนให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

2. ตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที แล้วกวนต่อที่อุณหภูมิห้องอีก 10 นาที

3. เก็บสารเคลือบในบีกเกอร์ ปิดด้วยกระดาษฟรอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางธรรมชาติผสมแป้ง

1. กวนแป้งมันสำปะหลัง 2.5 5 10 15 20 และ 25 กรัม ในน้ำ 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (เพื่อเตรียมสารเคลือบยางผสมแป้งความเข้มข้น 8.33 16.67 33.33 50.00 66.67 และ 83.33 phr)

2. เติมโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) 2 กรัม กวนให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

3. เติมน้ำยาง 30 กรัม และ teric16a12 1 กรัม กวนต่อ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

4. ลดอุณหภูมิลงและคงไว้ที่ 30 องศาเซลเซียส กวนต่ออีก 10 นาที

5. เก็บสารเคลือบในบีกเกอร์ ปิดด้วยกระดาษฟรอยด์

3.3.4 การขึ้นรูปสารเคลือบ

1. นำสารเคลือบในข้อ 3.3.3 ปริมาณ 1 กรัม เทใส่ถาดอะลูมิเนียม แล้วทำให้สารเคลือบกระจายอย่างสม่ำเสมอ

2. นำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที

3. ทำซ้ำข้อ 1 และ 2 อีกครั้ง เพื่อเตรียมสารเคลือบ 2 ชั้น

4. ลอกแผ่นสารเคลือบออกจากถาด

3.3.5 การเคลือบปุ๋ย

1. ชั่งปุ๋ยยูเรีย 1.000 กรัม ใส่บนแผ่นสารเคลือบในข้อ 3.3.4 พับแผ่นสารเคลือบให้มีลักษณะคล้ายถุงโดยแต่ละถุงให้มีขนาดเท่า ๆ กัน

2. เก็บปุ๋ยเคลือบในเดซิเคเตอร์

3.3.6 การเตรียมสารเคลือบสำหรับการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ และการดูดซับน้ำ

1. นำสารเคลือบในข้อ 3.3.3 ปริมาณ 10 กรัม เทใส่ถาดอะลูมิเนียม แล้วทำให้สารเคลือบกระจายอย่างสม่ำเสมอ

2. นำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที

3. ลอกแผ่นสารเคลือบออกจากถาด วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 วัน

4. นำไปอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บในเดซิเคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 การวิเคราะห์ผล

การศึกษาอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยเคลือบ

1. นำปุ๋ยที่เคลือบแล้วในข้อ 3.3.5 ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร กวนด้วย magnetic stirrer

2. ปิเปตสารละลายในข้อ 1 ที่เวลา 1 10 20 40 60 120 180 240 360 และ 480 นาที มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 10 มิลลิลิตร

3. ปิเปตสารละลายในข้อ 2 มา 3 มิลลิลิตร เติม DMAB 3 มิลลิลิตร เขย่าสารให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 417 นาโนเมตร

4. หาความเข้มข้นของยูเรียที่ปลดปล่อยออกมาจากกราฟมาตรฐาน

การศึกษาความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เหลือภายในปุ๋ยเคลือบ

1. นำปุ๋ยที่เคลือบแล้วในข้อ 3.3.5 ใส่ในดิน 400 กรัม โดยใส่ที่ระยะ 10 เซนติเมตร จากผิวดิน

2. เติมน้ำทุกวัน เป็นเวลา 5 วัน โดยในแต่ละวัน จะต้องนำตัวอย่างปุ๋ยเคลือบออกมา แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น

3. นำตัวอย่างปุ๋ยเคลือบ ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร คนให้ปุ๋ยละลายจนหมด

4. ปิเปตสารละลายในข้อ 3 มา 1 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 10 มิลลิลิตร

5. ปิเปตสารละลายในข้อ 4 มา 3 มิลลิลิตร เติม DMAB 3 มิลลิลิตร เขย่าสารให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 417 นาโนเมตร

6. หาความเข้มข้นของยูเรียที่เหลืออยู่ในปุ๋ยเคลือบจากกราฟมาตรฐาน

การศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของสารเคลือบ

1. นำสารเคลือบในข้อ 3.3.6 มาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปใส่ในดิน 400 กรัม โดยใส่ที่ระยะ 10 เซนติเมตร จากผิวดิน

2. เติมน้ำทุกวัน เป็นเวลา 20 วัน โดยทุก ๆ 5 วัน จะต้องนำตัวอย่างสารเคลือบออกมา แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น

3. อบตัวอย่างสารเคลือบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน นำไปชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณร้อยละของน้ำหนักที่ลดลง (% weight loss)

การศึกษาการดูดซับน้ำของสารเคลือบ

1. นำสารเคลือบในข้อ 3.3.6 มาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชั่งน้ำหนักสารเคลือบในข้อ 1 ที่เวลา 1 2 3 4 5 6 7 10 15 และ 20 วัน เพื่อคำนวณร้อยละของการดูดซับน้ำของสารเคลือบ (% swelling ratio)

<u>การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของสารเคลือบ</u>

1. เตรียมตัวอย่างสารเคลือบในข้อ 3.3.4 ให้มีขนาด 1 × 1 เซนติเมตร
2. นำไปตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

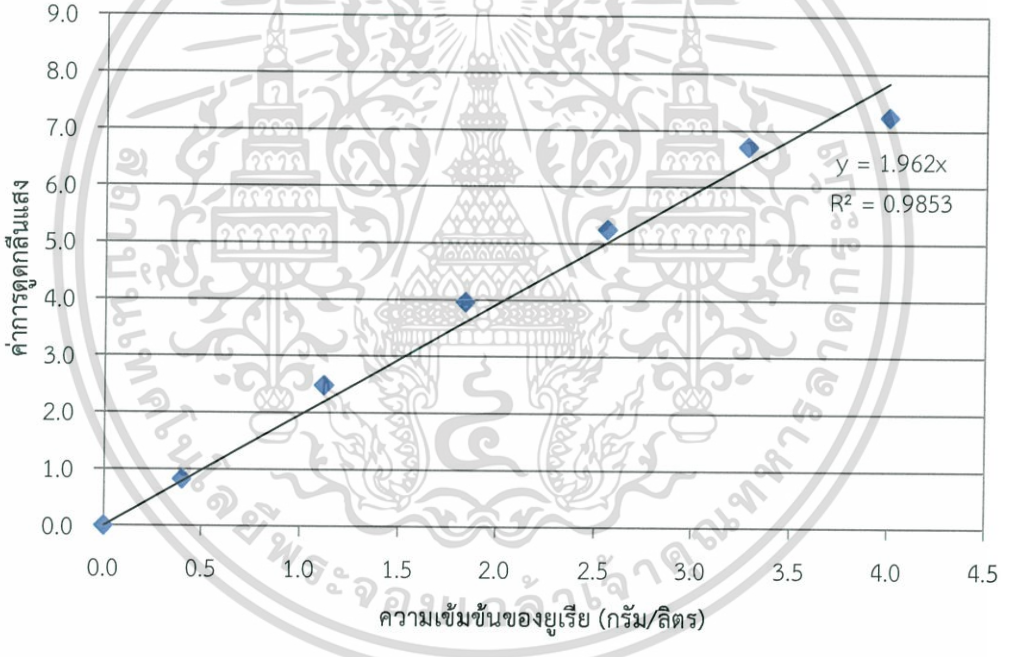
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทำกราฟมาตรฐาน (Standard curve) ของสารละลายยูเรีย

จากการเตรียมสารละลายยูเรียที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 417 นาโนเมตร จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายยูเรียกับค่าการดูดกลืนแสง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งมีสมการความสัมพันธ์คือ $y = 1.962x$ เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนแสง และ x คือความเข้มข้นของสารละลายยูเรีย



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายยูเรียกับค่าการดูดกลืนแสง

4.2 ผลการศึกษาอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยเคลือบ

จากรูปที่ 4.2 เป็นการวัดความเข้มข้นของยูเรียที่ปลดปล่อยออกมาจากปุ๋ยเคลือบที่เวลาต่างๆ ภายในเวลา 24 ชั่วโมง จะพบว่า รูปแบบของการปลดปล่อยธาตุอาหารมี 3 ระยะคือ ระยะแรกอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะค่อนข้างน้อย ระยะที่สอง อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ และระยะที่สาม อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ได้อ้างอิงในบทที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

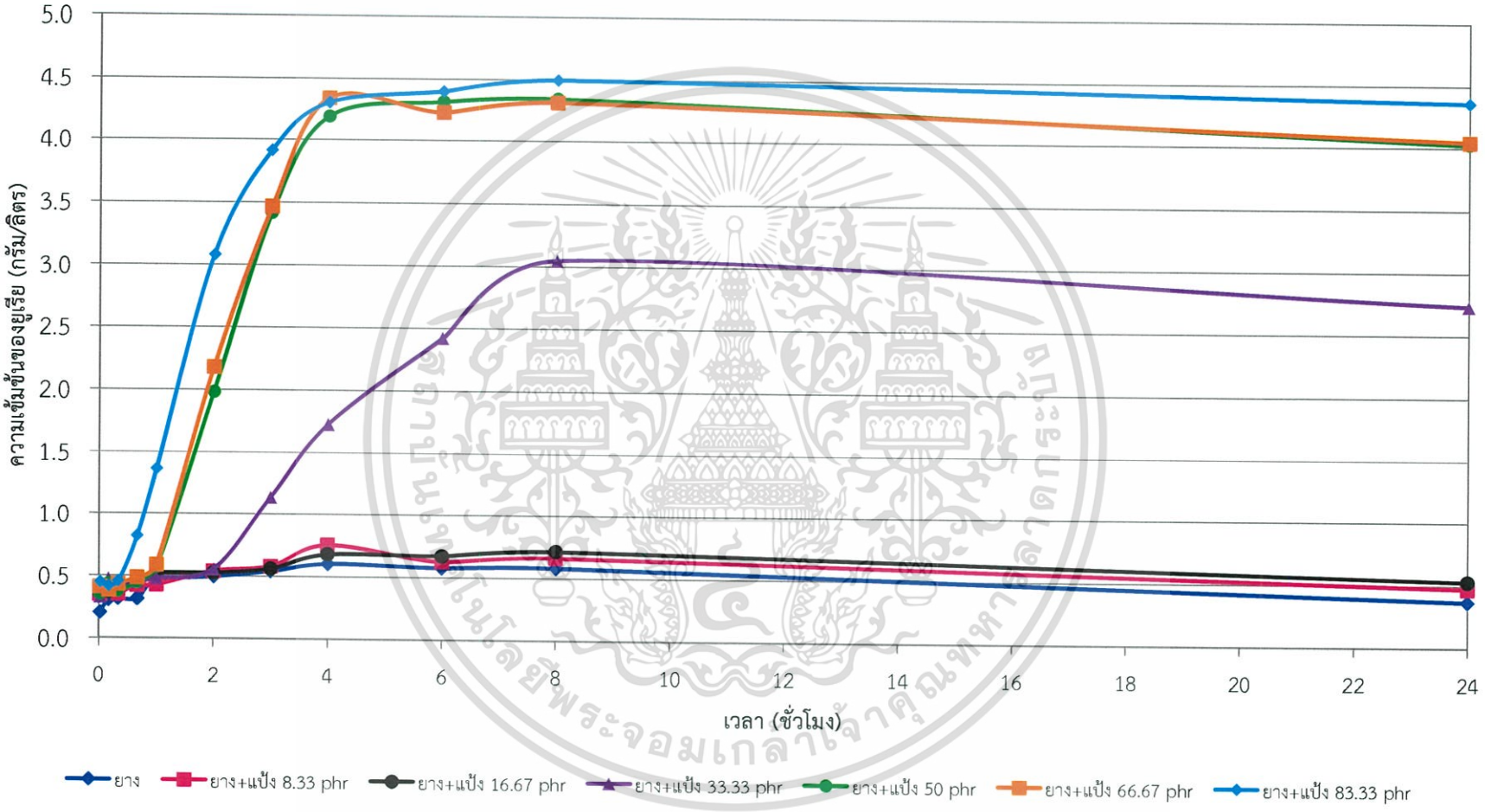
โดยการปลดปล่อยธาตุอาหารจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่มแรก จะเป็นกลุ่มที่มีการปลดปล่อยธาตุอาหารต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยสารเคลือบ 3 ชนิด คือยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติผสมแป้งในอัตราส่วนของแป้งต่อยาง 8.33 และ 16.67 phr ตามลำดับ จะพบว่า ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงแรก อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะค่อนข้างน้อย แต่ในช่วงเวลา 2-4 ชั่วโมงต่อมา อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ และหลังจากนั้นอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะลดลง เนื่องจากการที่สารเคลือบมีแป้งผสมในปริมาณน้อย จะส่งผลให้สารเคลือบยังคงมีคุณสมบัติของยาง คือมีความเหนียวและยืดหยุ่น ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ดี

กลุ่มที่สอง จะมีอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารมากขึ้น ซึ่งประกอบด้วยสารเคลือบยางธรรมชาติผสมแป้งในอัตราส่วนของแป้งต่อยาง 33.33 phr จะพบว่าในช่วงเวลา 1-2 ชั่วโมงแรก อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะค่อนข้างน้อย แต่จะเพิ่มมากขึ้นอย่างคงที่ในช่วง 2-7 ชั่วโมง และหลังจากนั้นอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะลดลง

กลุ่มที่สาม เป็นกลุ่มที่มีการปลดปล่อยธาตุอาหารมากที่สุด ซึ่งประกอบด้วยสารเคลือบยางธรรมชาติผสมแป้งในอัตราส่วนของแป้งต่อยาง 50.00 66.67 และ 83.33 phr ตามลำดับ จะพบว่าอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะค่อนข้างน้อยในช่วง 1 ชั่วโมงแรก แล้วจะเพิ่มมากขึ้นอย่างมากในช่วง 2-4 ชั่วโมง และหลังจากนั้นอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะลดลง การที่ความเข้มข้นของยูเรียที่ปลดปล่อยออกมาจากปุ๋ยเคลือบมีค่ามากที่สุด เนื่องจากปริมาณแป้งที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้สารเคลือบมีคุณสมบัติของยางธรรมชาติลดลง คือมีความเหนียวและความยืดหยุ่นลดลง จึงส่งผลให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

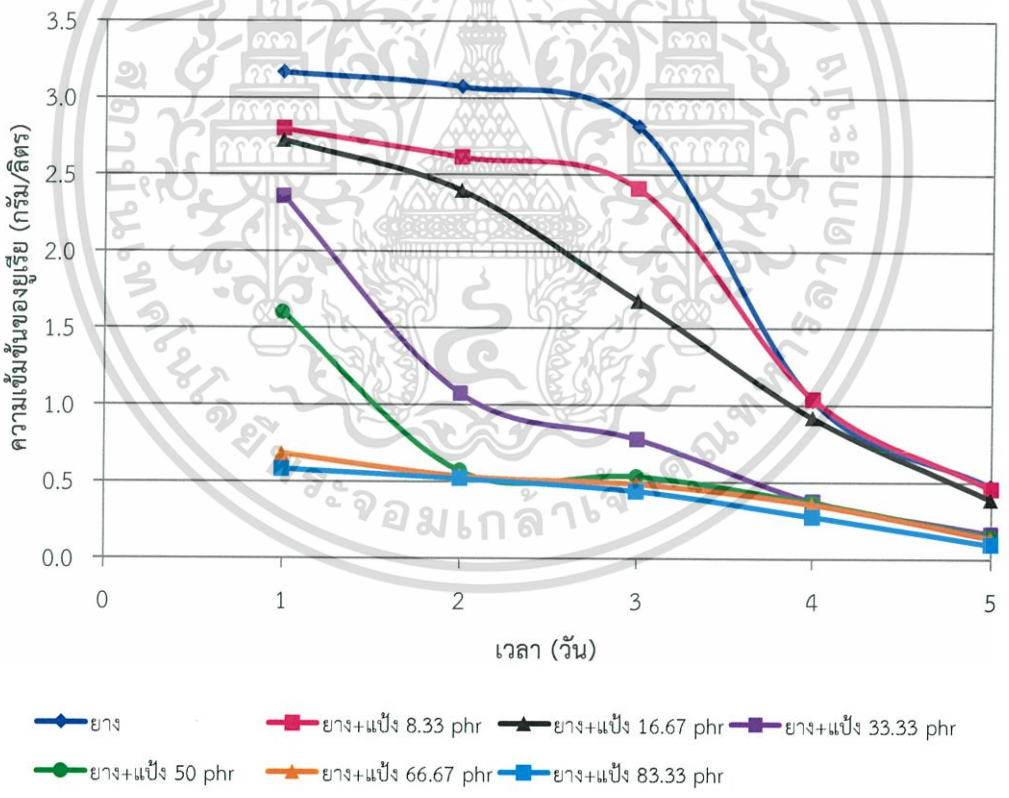


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของยูเรียที่ปลดปล่อยจากปุ๋ยเคลือบกับเวลา

4.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของธาตุอาหารที่เหลือภายในปุ๋ยเคลือบ

จากรูปที่ 4.3 เป็นการวัดความเข้มข้นของยูเรียที่เหลือภายในปุ๋ยเคลือบ เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 จะพบว่าสารเคลือบที่เป็นยางธรรมชาติ จะมีอัตราการปลดปล่อยของยูเรียน้อยที่สุด ทำให้มีความเข้มข้นของยูเรียเหลือภายในปุ๋ยเคลือบมากที่สุด แต่เมื่อสารเคลือบมีแป้งผสมในอัตราส่วนของแป้งต่อยาง 8.33 16.67 33.33 50.00 66.67 และ 83.33 phr ตามลำดับ อัตราการปลดปล่อยของยูเรียจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของแป้งที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความเข้มข้นของยูเรียเหลือภายในปุ๋ยเคลือบลดลงตามอัตราส่วนของแป้งที่เพิ่มขึ้นในสารเคลือบ

รูปแบบของการปลดปล่อยธาตุอาหารยังคงมี 3 ระยะ คือ ระยะแรก อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะค่อนข้างน้อย สังเกตได้จากการที่ความเข้มข้นของยูเรียที่เหลือภายในปุ๋ยเคลือบลดลงค่อนข้างน้อย ระยะที่สอง อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ และระยะที่สาม อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจะลดลง สังเกตได้จากการที่ความเข้มข้นของยูเรียที่เหลือภายในปุ๋ยเคลือบลดลงค่อนข้างน้อย

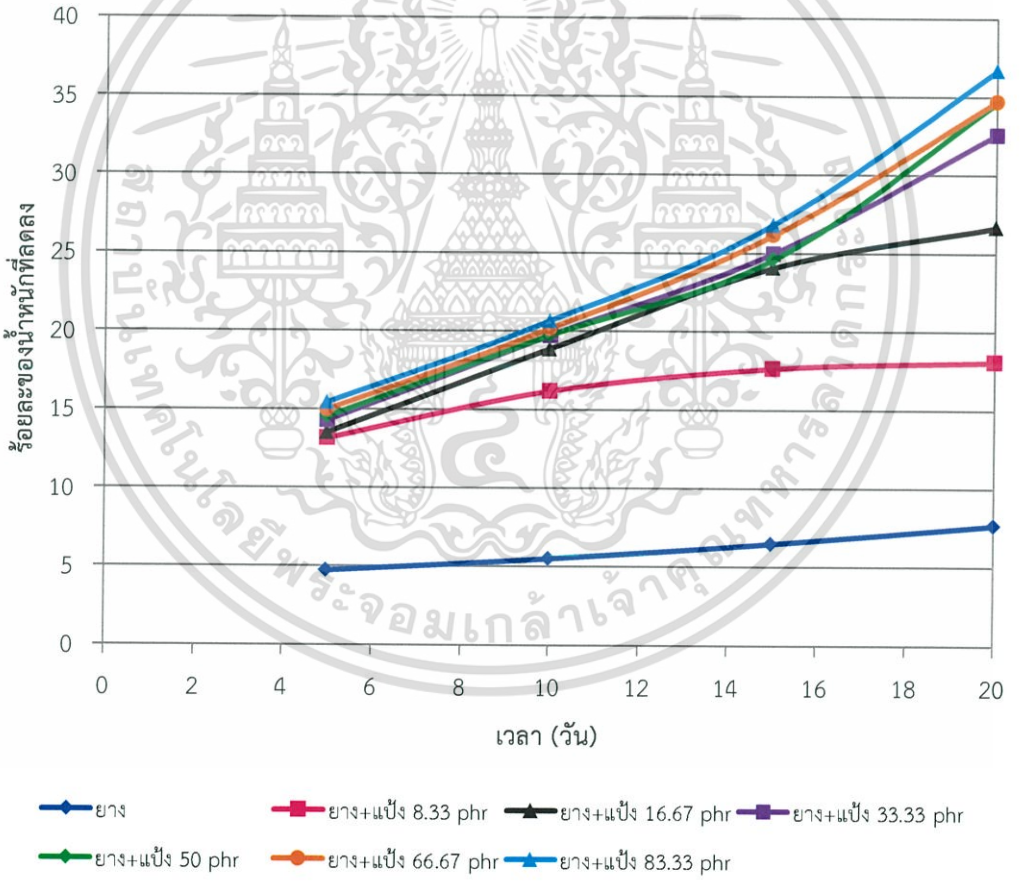


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของยูเรียที่เหลือภายในปุ๋ยเคลือบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของสารเคลือบ

จากรูปที่ 4.4 เป็นการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของสารเคลือบ โดยการวัดน้ำหนักที่ลดลงของสารเคลือบในระยะเวลา 20 วัน โดยจะเก็บตัวอย่างสารเคลือบมาวิเคราะห์เมื่อเวลาผ่านไป 5 10 15 และ 20 วัน จะพบว่าเมื่อสารเคลือบเป็นยางธรรมชาติ น้ำหนักของสารเคลือบจะลดลงน้อยที่สุด ซึ่งแสดงว่ายางธรรมชาติสามารถย่อยสลายได้ยาก เนื่องจากยางธรรมชาตินั้นมีคุณสมบัติที่เหนียว ทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านและละลายได้ภายในระยะเวลาสั้น ๆ แต่เมื่อสารเคลือบมีแป้งผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ จะทำให้น้ำหนักของสารเคลือบลดลงมากขึ้น เนื่องจากแป้งมีคุณสมบัติละลายได้ดีในน้ำ การผสมแป้งในยางธรรมชาติ จึงช่วยให้สารเคลือบสามารถย่อยสลายได้ง่ายขึ้น ลดปัญหาการตกค้างในสิ่งแวดล้อม โดยน้ำหนักของสารเคลือบที่เป็นยางธรรมชาติผสมแป้งจะลดลงมากขึ้นตามอัตราส่วนแป้งที่เพิ่มขึ้น



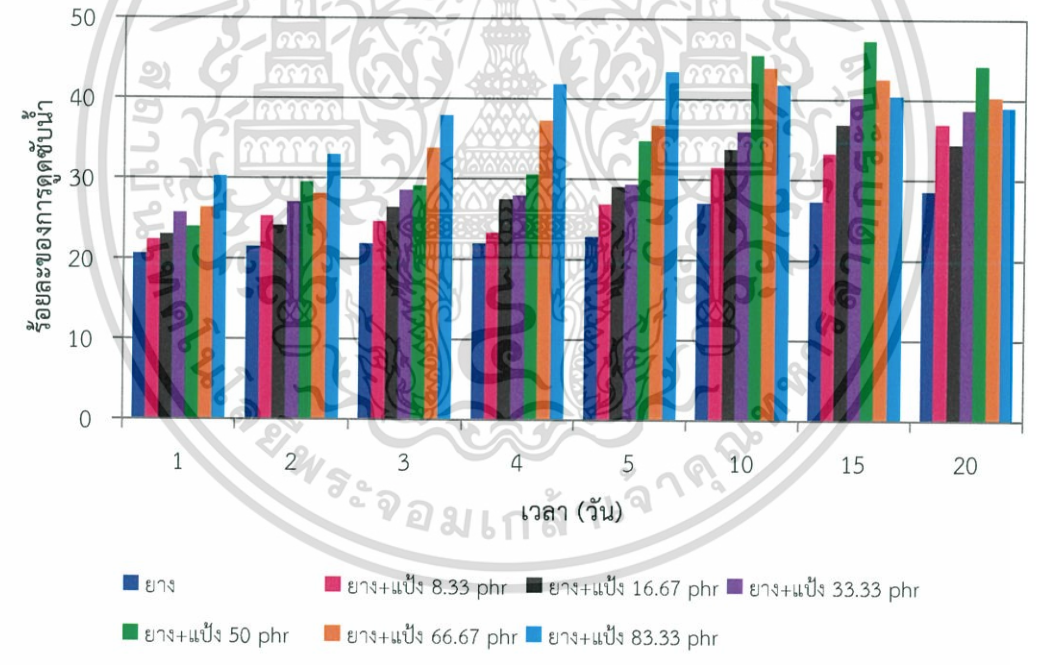
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักที่ลดลงของสารเคลือบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการศึกษาการดูดซับน้ำของสารเคลือบ

จากรูปที่ 4.5 เป็นการทดสอบการดูดซับน้ำของสารเคลือบ โดยการนำสารเคลือบไปแช่น้ำ แล้ววัดน้ำหนักของสารเคลือบที่เพิ่มขึ้นโดยเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น จะพบว่าสารเคลือบที่เป็นยางธรรมชาติจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นน้อยมาก แต่สารเคลือบที่เป็นยางธรรมชาติผสมแป้งจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเมื่อเวลาผ่านไป 15 และ 20 วัน น้ำหนักของสารเคลือบที่เป็นยางธรรมชาติผสมแป้งในอัตราส่วนของแป้งต่อยาง 66.67 และ 83.33 phr ตามลำดับ จะลดลง เนื่องจากที่อัตราส่วนแป้งและระยะเวลาดังกล่าวนั้นจะทำให้แป้งพองตัวและละลายหลุดออกไป จึงทำให้น้ำหนักของสารเคลือบที่ระยะเวลาดังกล่าวลดลงไปเล็กน้อย ส่วนสารเคลือบที่เป็นยางธรรมชาติผสมแป้งในอัตราส่วนของแป้งต่อยาง 16.67 33.33 และ 50.00 phr ตามลำดับ จะมีน้ำหนักลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 20 วัน

อัตราส่วนแป้งที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้สารเคลือบดูดซับน้ำได้มากขึ้น เพราะแป้งมีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ (hydrophilic) จึงสามารถดูดซับปริมาณน้ำไว้ได้

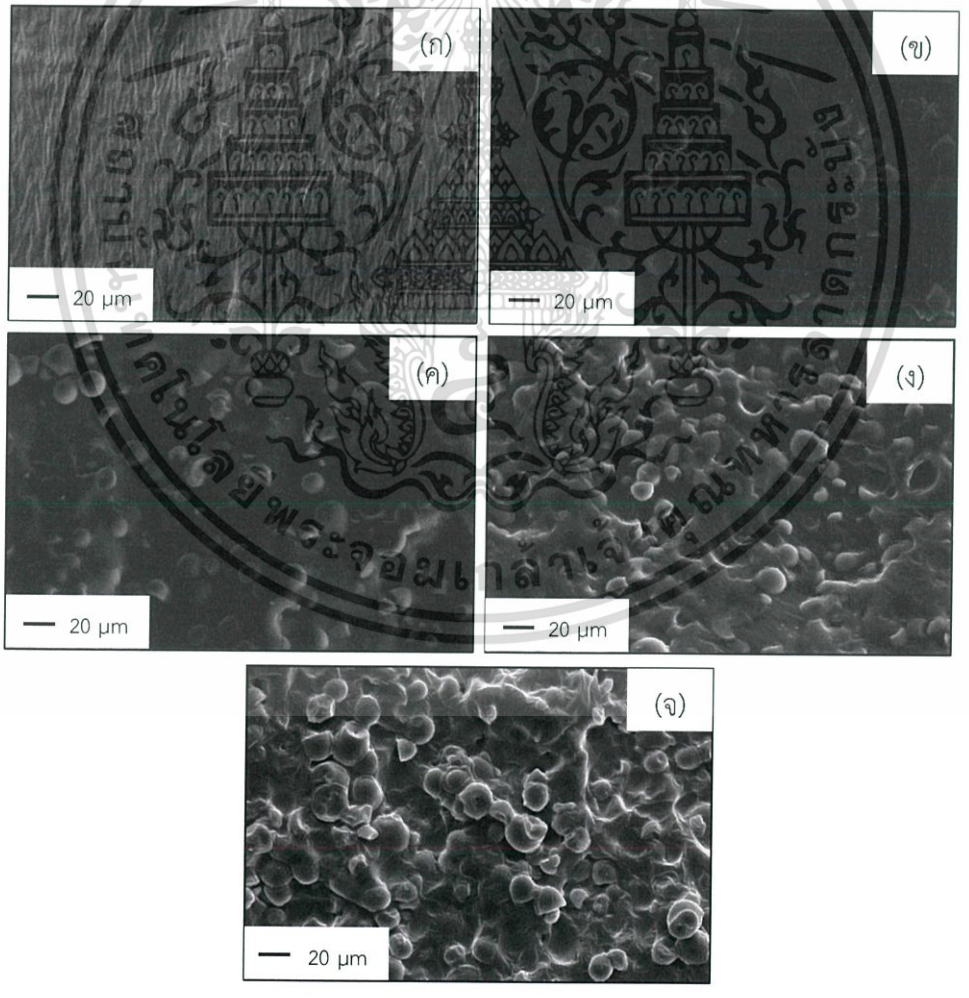


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการดูดซับน้ำของสารเคลือบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของสารเคลือบ

จากรูปที่ 4.6 เป็นการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของสารเคลือบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่มีกำลังขยาย 500 เท่า จะพบว่า รูปที่ 4.6 ก แสดงพื้นผิวหน้าตัดของสารเคลือบที่เป็นยางธรรมชาติ จะมีลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียว ไม่มีช่องว่างของโพรงอากาศ รูปที่ 4.6 ข-จ แสดงพื้นผิวหน้าตัดของสารเคลือบที่เป็นยางธรรมชาติผสมแป้งในอัตราส่วนของแป้งต่อยาง 16.67 33.33 50.00 และ 66.67 phr ตามลำดับ จะมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ มีโมเลกุลของแป้งกระจายตัวอยู่ในโมเลกุลของยาง ไม่มีช่องว่างของโพรงอากาศ สารเคลือบที่เป็นยางธรรมชาติผสมแป้งที่มีอัตราส่วนแป้งมากขึ้นจะมีการกระจายตัวของโมเลกุลแป้งเพิ่มขึ้นด้วย สังเกตได้จากสารเคลือบที่มีอัตราส่วนแป้ง 66.67 phr จะมีพื้นผิวขรุขระและมีโมเลกุลของแป้งกระจายตัวอยู่มากกว่าสารเคลือบที่มีอัตราส่วนแป้ง 16.67 phr อัตราส่วนแป้งที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้สารเคลือบมีคุณสมบัติสามารถควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารได้ลดลง แต่จะช่วยให้สารเคลือบสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายขึ้น และส่งผลให้สามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น ดังผลการศึกษาในข้อ 4.2 – 4.5



รูปที่ 4.6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของสารเคลือบ (ก) ยางธรรมชาติ (ข) ยางธรรมชาติผสมแป้ง 16.67 phr (ค) ยางธรรมชาติผสมแป้ง 33.33 phr (ง) ยางธรรมชาติผสมแป้ง 50.00 phr (จ) ยางธรรมชาติผสมแป้ง 66.67 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยยูเรีย สามารถทำได้โดยการห่อหุ้มหรือเคลือบปุ๋ยด้วยสารเคลือบ การทดลองเลือกใช้ยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติผสมแป้งเป็นสารเคลือบ โดยใช้อัตราส่วนแป้งต่อยางเป็น 8.33 16.67 33.33 50.00 66.67 และ 83.33 phr

จากการทดลองพบว่า สารเคลือบที่เป็นยางธรรมชาติผสมแป้งในอัตราส่วนของแป้งต่อยาง 16.67 phr มีคุณสมบัติเหมาะสมหลายด้านในการเลือกใช้เป็นสารเคลือบ เนื่องจากสามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยได้ดีเช่นเดียวกับการใช้สารเคลือบที่เป็นยางธรรมชาติ และการที่สารเคลือบมีแป้งผสมในอัตราส่วนเล็กน้อย จะช่วยให้สามารถย่อยสลายได้ง่ายขึ้น เมื่อเทียบกับสารเคลือบที่มียางธรรมชาติเพียงอย่างเดียว และนอกจากนี้สารเคลือบที่มีแป้งผสม ยังช่วยให้สามารถดูดซับน้ำได้ดีขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นให้แก่ดิน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเตรียมสารละลาย p-Dimethylaminobenzaldehyde (DMAB)

สารละลาย p-Dimethylaminobenzaldehyde (DMAB) มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับแสง ดังนั้นควรเก็บสารนี้ไว้ในขวดที่พันด้วยพาราฟิล์มและห่อฟรอยด์ เพื่อไม่ให้แสงผ่านเข้าไปถึงสารละลาย เพราะอาจเกิดผลกระทบต่อการวัดค่าการดูดกลืนแสง

5.2.2 การเตรียมสารเคลือบ

<u>ยางธรรมชาติ</u>

1. ไม่ควรกวนสารเคลือบที่ความเร็วสูง ๆ เพราะจะทำให้สารเกิดฟอง

2. ไม่ควรกวนสารเคลือบที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน เพราะจะทำให้น้ำยางเสียสภาพกลายเป็นของแข็ง

<u>ยางธรรมชาติผสมแป้ง</u>

1. ไม่ควรกวนแป้งในน้ำที่ร้อนเกินไป เพราะจะทำให้แป้งปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวหนืด ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติในการรวมตัวกับยางธรรมชาติลดลง

2. ควรเติมโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) พร้อมกับการกวนแป้ง เนื่องจากโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตจะช่วยลดการจับตัวของโมเลกุลแป้ง ซึ่งจะช่วยให้แป้งกระจายตัวได้ดีในน้ำและน้ำยาง ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่เติมโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตหลังจากที่แป้งจับตัวเป็นของเหลวหนืดแล้ว จะสามารถทำให้แป้งที่อยู่ในสภาพหนืดกลายเป็นของเหลวใสได้อีกครั้ง

3. การผสมแป้งและยางธรรมชาติ ควรเติมน้ำยางลงในไปผสมกับแป้งหลังจากที่แป้งละลายในน้ำหมดแล้ว เพราะการเติมในขณะที่แป้งยังกระจายตัวหรือยังละลายในน้ำไม่หมด จะทำให้น้ำยางจับตัวกับแป้งเป็นตะกอน

5.2.3 การขึ้นรูปสารเคลือบ

การขึ้นรูปสารเคลือบในครั้งที่ 2 ควรรอให้สารเคลือบชั้นแรกมีอุณหภูมิลดลง เนื่องจากถ้าทำในขณะที่สารเคลือบชั้นแรกมีอุณหภูมิสูง จะทำให้สารเคลือบกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ จะส่งผลให้ความหนาของสารเคลือบไม่สม่ำเสมอ

5.2.4 การวิเคราะห์ผล

<u>การศึกษาอัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารของปุ๋ยเคลือบ</u>

เนื่องจากในการทดลองจะต้องกวนน้ำในบีกเกอร์ด้วย Magnetic stirrer เพื่อให้ความเข้มข้นของยูเรียที่ปลดปล่อยออกมาจากปุ๋ยเคลือบกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิด Vortex จึงควรกวนน้ำด้วยความเร็วต่ำ ๆ หรือควรติด baffle เพื่อลดการเกิด vortex

<u>การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของสารเคลือบ</u>

การเตรียมตัวอย่างสารเคลือบเพื่อนำไปตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะต้องแช่ตัวอย่างสารในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) แล้วจึงหักตัวอย่างให้มีขนาด 1 × 1 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ยงยุทธ และคณะ, ผู้แปล. 2551. เทคโนโลยี บทที่14 ปุ๋ยละลายช้า. หน้า 358-362.

[2] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. ผลิตภัณฑ์ยาง: กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีโนพับลิชชิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด. 2552

[3] ยางธรรมชาติ. [Online]. Available: http://th.wikipedia.org/wiki/ยาง.

[4] กลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง

[5] แป้ง. [Online]. Available: http://th.wikipedia.org/wiki/แป้ง.

[6] แป้ง. [Online]. Available: http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearing/Courseware/BCT611/Chap2/chapter2_4.html

[7] Collison, R. (1968). "Swelling and Gelation of Starch". In Radley, J.A. (ed.), Starch and Its Derivatives, Chapman and Hall Ltd., London. pp 168-193.

[8] Morrison, W.R. and Laignelet, B. (1983). "An Improved Colorimetric Procedure for Determininng Apparent and Total Amylose in Cereal and Other Starches". J. Cereal Sci. No. 1, pp. 9-20.

[9] เอกลักษณ์ ทวีโรจนกุล. 2009. "microencapsulation เทคโนโลยีจิ๋ว แต่แจ๋ว." Technology Promotion Mag. หน้า 039-042.

[10] SEM. [Online]. Available: http://sor-por-chor.blogspot.com/2012/01/electron-microscope.html

[11] UV-Vis Spectrophotometer. [Online]. Available: http://glasswarechemical.com/scientific-instrument/หลักการ-uv-vis-spectrophotometer.

[12] Li Chen, Zhigang Xie, Xiuli Zhuang, Xuesi Chen, Xiabin Jing. (2008). Controlled release of urea encapsulated by starch-g-poly(L-lactide). Carbohydrate Polymers, 72, 342-348.

[13] Zhi-Fen Wanga, Zheng Peng, Si-Dong Li, Hua Lin a, Ke-Xi Zhang, Xiao-Dong She, Xin Fu. (2009). The impact of esterification on the properties of starch/natural rubber composite. Composites Science and Technology, 69, 1797-1803.

[14] Sa-Ad Riyajana, Yodsathorn Sasithornsontia, Pranee Phinyocheep. (2012). Green natural rubber-g-modified starch for controlling urea release. Carbohydrate Polymers, 89,251-258.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การทำกราฟมาตรฐาน (Standard curve) ของสารละลายยูเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำกราฟมาตรฐาน (Standard curve) ของสารละลายยูเรีย

จากการเตรียมสารละลายยูเรียความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร เมื่อทำให้สารละลายเจือจางเป็น 10 เท่า แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer จะได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.724 จากนั้นนำไปใช้เพื่อคำนวณหาค่า absorptivity

การคำนวณค่า absorptivity

จากสมการตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)

$$A = acl \qquad \text{(ก.1)}$$

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงของสาร (Absorbance)

a = เป็นสมบัติจำเพาะของสารที่ดูดกลืนและวัดที่ความยาวคลื่นค่าหนึ่ง เรียกว่า absorptivity (L g^{-1} cm^{-1})

l = ระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่าง หรือความกว้างของเซลล์ (cm)

c= ความเข้มข้นของสารละลาย (g/L)

$$0.724 = a \times \frac{4}{10} \times 1$$

$$a = 1.81\ L\ g^{-1} cm^{-1}$$

การคำนวณหาช่วงความเข้มข้นของสารละลายในการทำกราฟมาตรฐาน

เมื่อได้ค่า absorptivity จะต้องทำการคำนวณหาช่วงความเข้มข้นของสารละลายยูเรียเพื่อทำกราฟมาตรฐาน โดยจะต้องทราบค่าการดูดกลืนแสงในช่วงการใช้งานปกติ (working range) ซึ่งโดยทั่วไปนิยมวัดในช่วง 0.1–0.8

จากสมการ (ก.1) จะได้

$$0.1 = 1.81 \times c \times 1$$

$$c = 0.0552\ g/L$$

$$= 0.0552 \times 10 = 0.5525\ g/L$$

และ $$0.8 = 1.81 \times c \times 1$$

$$c = 0.4419\ g/L$$

$$= 0.4419 \times 10 = 4.4199\ g/L$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จะต้องเตรียมสารละลายยูเรียในช่วงความเข้มข้น 0.5525 ถึง 4.4199 กรัมต่อลิตร

การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายในการทำกราฟมาตรฐาน

เมื่อทราบช่วงความเข้มข้นของสารละลายยูเรียในการทำกราฟมาตรฐาน จะต้องทำการเตรียมสารละลายยูเรียที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยจะเตรียมจากสารละลายยูเรียความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร

ตัวอย่าง การเตรียมสารละลายยูเรียความเข้มข้น 0.40 กรัมต่อลิตร

เตรียมสารละลายยูเรียความเข้มข้น 0.40 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากสารละลายยูเรียความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร

จากสมการ

$$C_1V_1 = C_2V_2 \qquad \text{(ก.2)}$$

เมื่อ C_1= ความเข้มข้นสารละลายก่อนเจือจาง

V_1= ปริมาตรสารละลายก่อนเจือจาง

C_2= ความเข้มข้นสารละลายหลังเจือจาง

V_2= ปริมาตรสารละลายหลังเจือจาง

$$4\frac{g}{L} \times V_1 = 0.4\frac{g}{L} \times 100\ mL$$

$$V_1 = 10\ mL$$

ดังนั้น ปิเปตสารละลายยูเรียความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายยูเรียความเข้มข้น 0.4 กรัมต่อลิตร

เตรียมสารละลายยูเรียที่ความเข้มข้นต่าง ๆ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง จะได้ข้อมูลดังตารางที่ ก.1 นำไปเขียนกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายยูเรียกับค่าการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นของสารละลายยูเรียต่าง ๆ

ความเข้มข้นของยูเรีย (กรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0
0.40	0.082
1.12	0.248
1.84	0.396
2.56	0.524
3.28	0.671
4.00	0.724

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณการเตรียมสารเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณการเตรียมสารเคลือบ

ในการเตรียมสารเคลือบ จะกำหนดให้ใช้ปริมาณน้ำยาง น้ำ teric และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตคงที่ คือ น้ำยาง 30 กรัม น้ำ 20 มิลลิลิตร teric 1 กรัม (คิดเป็นอัตราส่วน 3.33 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ) และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 2 กรัม

สารเคลือบที่เป็นยางธรรมชาติ

การเตรียมจะใช้ยางธรรมชาติที่รักษาสภาพโดยการผสมกับสารละลายแอมโมเนีย โดยจะใช้ยางธรรมชาติ 30 กรัม และใช้ teric ในอัตราส่วน 3.33 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ ดังนั้นต้องใช้ teric 1 กรัม

สารเคลือบที่ผสมแป้งในอัตราส่วนต่าง ๆ

การเตรียมยางธรรมชาติผสมแป้ง ปริมาณแป้งที่ใช้จะคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของแป้งในน้ำ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) โดยจะกำหนดให้ใช้ปริมาณน้ำคงที่ คือ 20 มิลลิลิตร จากนั้นจะคิดเทียบให้เป็นปริมาณแป้งในยางธรรมชาติในของหน่วย phr (parts per hundred of rubber)

โดย phr (parts per hundred of rubber) คือ หน่วยการผสมยางโดยคิดสัดส่วนปริมาณสารต่าง ๆ เมื่อเทียบกับยาง 100 ส่วน (โดยน้ำหนัก) เช่น ปริมาณแป้ง 8.33 phr หมายถึง ถ้ามียาง 100 กรัม จะมีแป้ง 8.33 กรัม

ตัวอย่าง การเตรียมสารเคลือบยางธรรมชาติผสมแป้งที่ปริมาณแป้ง 8.33 phr

ในการเตรียมสารเคลือบยางธรรมชาติผสมแป้งที่ปริมาณแป้ง 8.33 phr เป็นการเตรียมจากความเข้มข้นของแป้งในน้ำคือ 12.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

- การคำนวณปริมาณแป้งที่ต้องใช้

ถ้าใช้น้ำ	100	มิลลิลิตร จะต้องใช้แป้ง	12.5	กรัม
แต่ในการทดลองใช้น้ำ	20	มิลลิลิตร จะต้องใช้แป้ง	$\frac{12.5\times20}{100} = 2.5$	กรัม

- การเปลี่ยนหน่วยปริมาณแป้งที่ใช้ให้เป็นหน่วย phr

ในการทดลองใช้ยาง	30	กรัม ต้องใช้แป้ง	2.5	กรัม
แต่ถ้าใช้ยาง	100	กรัม ต้องใช้แป้ง	$\frac{2.5\times100}{30} = 8.33$	กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ถ้าต้องการเตรียมความเข้มข้นของแป้งในน้ำ 12.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะต้องใช้แป้ง 2.5 กรัม ในน้ำ 20 มิลลิลิตร และเมื่อคิดเทียบเป็นหน่วย phr จะเท่ากับ 8.33 phr

ในการทดลองจะเตรียมสารเคลือบยางธรรมชาติผสมแป้งที่ความเข้มข้น 12.5 25 50 75 100 และ 125 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งปริมาณแป้งที่ต้องใช้ในการผสมกับยาง และการเปลี่ยนหน่วยการผสมแป้งในยางให้เป็นหน่วย phr แสดงดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 ปริมาณแป้งที่ใช้ผสมกับยาง และการเปลี่ยนหน่วยการผสมแป้งในยางให้เป็นหน่วย phr

ความเข้มข้นของแป้งในน้ำ (% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)	ปริมาณแป้งที่ต้องใช้ (กรัม)	การผสมแป้งในยางหน่วย phr
12.5	2.5	8.33
25	5	16.67
50	10	33.33
75	15	50.00
100	20	66.67
125	25	83.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายยูเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายยูเรีย

จากกราฟมาตรฐาน (Standard curve) ของสารละลายยูเรีย สามารถคำนวณความเข้มข้นของสารละลายยูเรียได้ เมื่อทราบค่าการดูดกลืนแสง จากการทดลองได้ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสง ดังตารางที่ ค.1 และ ค.2

ตารางที่ ค.1 ค่าการดูดกลืนแสงของยูเรียที่ปลดปล่อยจากปุ๋ยเคลือบที่เวลาต่าง ๆ

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง						
	ยาง	ยาง+แป้ง 8.33 phr	ยาง+แป้ง 16.67 phr	ยาง+แป้ง 33.33 phr	ยาง+แป้ง 50.00 phr	ยาง+แป้ง 66.67 phr	ยาง+แป้ง 83.33 phr
1	0.040	0.068	0.070	0.064	0.069	0.080	0.088
10	0.060	0.074	0.073	0.093	0.085	0.075	0.082
20	0.062	0.069	0.077	0.084	0.074	0.085	0.089
40	0.062	0.083	0.091	0.088	0.088	0.095	0.161
60	0.090	0.084	0.102	0.094	0.112	0.115	0.268
120	0.097	0.106	0.103	0.109	0.389	0.428	0.605
180	0.106	0.114	0.110	0.223	0.670	0.680	0.768
240	0.118	0.148	0.133	0.339	0.822	0.851	0.844
360	0.113	0.123	0.132	0.475	0.846	0.829	0.863
480	0.114	0.130	0.140	0.599	0.852	0.846	0.882
1,440	0.072	0.093	0.104	0.537	0.790	0.794	0.855

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ค่าการดูดกลืนแสงของยูเรียที่เหลือภายในปุ๋ยเคลือบที่เวลาต่าง ๆ

เวลา (วัน)	ค่าการดูดกลืนแสง						
	ยาง	ยาง+แป้ง 8.33 phr	ยาง+แป้ง 16.67 phr	ยาง+แป้ง 33.33 phr	ยาง+แป้ง 50.00 phr	ยาง+แป้ง 66.67 phr	ยาง+แป้ง 83.33 phr
1	0.621	0.549	0.534	0.463	0.314	0.134	0.114
2	0.603	0.513	0.470	0.211	0.112	0.105	0.102
3	0.552	0.473	0.329	0.153	0.105	0.095	0.086
4	0.202	0.204	0.180	0.074	0.072	0.070	0.054
5	0.094	0.090	0.076	0.033	0.029	0.027	0.019

ตัวอย่าง การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายยูเรียที่ปลดปล่อยจากปุ๋ยเคลือบยางที่เวลา 1 นาที

จากการทดลองได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.040 ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ทำให้เจือจางเป็น 10 เท่า

จากการทำกราฟมาตรฐาน (Standard curve) ของสารละลายยูเรีย จะได้สมการความสัมพันธ์คือ

$$y = 1.962x \qquad \text{(ค.1)}$$

เมื่อ y = ค่าการดูดกลืนแสง

x = ความเข้มข้นของสารละลายยูเรีย

$$0.040 \times 10 = 1.962x$$

$$x = 0.2039 \ \frac{g}{L}$$

ดังนั้น จากกราฟมาตรฐานของสารละลายยูเรีย เมื่อค่าการดูดกลืนเท่ากับ 0.040 จะได้ความเข้มข้นของสารละลายยูเรียเท่ากับ 0.2039 กรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายยูเรียที่คำนวณจากค่าการดูดกลืนแสง แสดงดังตารางที่ ค.3 และ ค.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ความเข้มข้นของยูเรียที่ปลดปล่อยจากปุ๋ยเคลือบที่เวลาต่าง ๆ

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของยูเรีย (กรัมต่อลิตร)						
	ยาง	ยาง+แป้ง 8.33 phr	ยาง+แป้ง 16.67 phr	ยาง+แป้ง 33.33 phr	ยาง+แป้ง 50.00 phr	ยาง+แป้ง 66.67 phr	ยาง+แป้ง 83.33 phr
1	0.2039	0.3466	0.3568	0.3262	0.35017	0.4077	0.4485
10	0.3058	0.3772	0.3721	0.4740	0.4332	0.3823	0.4179
20	0.3160	0.3517	0.3925	0.4281	0.3772	0.4332	0.4536
40	0.3160	0.4230	0.4638	0.4485	0.4485	0.4842	0.8206
60	0.4587	0.4281	0.5199	0.4791	0.5708	0.5861	1.3660
120	0.4944	0.5403	0.5250	0.5556	1.9827	2.1814	3.0836
180	0.5403	0.5810	0.5607	1.1366	3.4149	3.4659	3.9144
240	0.6014	0.7543	0.6779	1.7278	4.1896	4.3374	4.3017
360	0.5759	0.6269	0.6728	2.4210	4.3119	4.2253	4.3986
480	0.5810	0.6626	0.7136	3.0530	4.3425	4.3119	4.4954
1,440	0.3670	0.4740	0.5301	2.7370	4.0265	4.0469	4.3578

ตารางที่ ค.4 ความเข้มข้นของยูเรียที่เหลือภายในปุ๋ยเคลือบที่เวลาต่าง ๆ

เวลา (วัน)	ความเข้มข้นของยูเรีย (กรัมต่อลิตร)						
	ยาง	ยาง+แป้ง 8.33 phr	ยาง+แป้ง 16.67 phr	ยาง+แป้ง 33.33 phr	ยาง+แป้ง 50.00 phr	ยาง+แป้ง 66.67 phr	ยาง+แป้ง 83.33 phr
1	3.1651	2.7982	2.7217	2.3598	1.6004	0.6830	0.5810
2	3.0734	2.6147	2.3955	1.0754	0.5708	0.5352	0.5199
3	2.8135	2.4108	1.6769	0.7798	0.5352	0.4842	0.4383
4	1.0296	1.0398	0.9174	0.3772	0.3670	0.3568	0.2752
5	0.4791	0.4587	0.3874	0.1682	0.1478	0.1376	0.0968

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณการย่อยสลายทางชีวภาพของสารเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณการย่อยสลายทางชีวภาพของสารเคลือบ

การคำนวณร้อยละของน้ำหนักที่ลดลง (% weight loss) ของสารเคลือบหลังการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ จะคำนวณได้เมื่อทราบค่าน้ำหนักของสารเคลือบก่อนและหลังการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ จากการทดลองได้ข้อมูลดังตารางที่ ง.1 และ ง.2

ตารางที่ ง.1 น้ำหนักของสารเคลือบก่อนการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ

แผ่นที่	น้ำหนักก่อนการย่อยสลาย (กรัม)						
	ยาง	ยาง+แป้ง 8.33 phr	ยาง+แป้ง 16.67 phr	ยาง+แป้ง 33.33 phr	ยาง+แป้ง 50.00 phr	ยาง+แป้ง 66.67 phr	ยาง+แป้ง 83.33 phr
1	6.2519	4.2563	4.9996	5.3880	5.7742	5.8797	6.0892
2	6.2185	4.2727	4.9233	5.3902	5.7651	5.7505	6.0880
3	6.2297	4.2670	4.9145	5.3795	5.7646	5.7039	6.0896
4	6.2519	4.2655	4.9209	5.3848	5.7678	5.7787	6.0840

ตารางที่ ง.2 น้ำหนักของสารเคลือบหลังการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพที่เวลาต่าง ๆ

แผ่นที่	น้ำหนักหลังการย่อยสลาย (กรัม)						
	ยาง	ยาง+แป้ง 8.33 phr	ยาง+แป้ง 16.67 phr	ยาง+แป้ง 33.33 phr	ยาง+แป้ง 50.00 phr	ยาง+แป้ง 66.67 phr	ยาง+แป้ง 83.33 phr
1 (5 วัน)	5.9568	3.6966	4.3240	4.6185	4.9352	4.9994	5.1496
2 (10 วัน)	5.8764	3.5819	3.9943	4.3273	4.6270	4.5906	4.8308
3 (15 วัน)	5.8257	3.5145	3.7312	4.0346	4.3464	4.2124	4.4564
4 (20 วัน)	5.7724	3.4943	3.6079	3.6301	3.7705	3.7723	3.8509

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณร้อยละของน้ำหนักที่ลดลง (% weight loss) ของแผ่นยางที่เวลา 5 วันหลังการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ

จากสมการ

$$\%\ weight\ loss = \left(\frac{w_1 - w_2}{w_1}\right) \times 100 \qquad (ง.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ w_1= น้ำหนักก่อนการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ

w_2= น้ำหนักหลังการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ

$$\% \, weight \, loss = \left(\frac{6.2519 - 5.9568}{6.2519}\right) \times 100$$

$$\% \, weight \, loss = 4.72$$

ดังนั้น เมื่อเวลาผ่านไป 5 วัน สารเคลือบจะมีน้ำหนักลดลงหรือเกิดการย่อยสลายไป 4.72 เปอร์เซ็นต์

ร้อยละของน้ำหนักที่ลดลงของสารเคลือบหลังการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ ง.3

ตารางที่ ง.3 ร้อยละของน้ำหนักที่ลดลงของสารเคลือบหลังการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพที่เวลาต่าง ๆ

แผ่นที่	ร้อยละน้ำหนักที่ลดลง (% weight loss)						
	ยาง	ยาง+แป้ง 8.33 phr	ยาง+แป้ง 16.67 phr	ยาง+แป้ง 33.33 phr	ยาง+แป้ง 50.00 phr	ยาง+แป้ง 66.67 phr	ยาง+แป้ง 83.33 phr
1 (5 วัน)	4.72	13.15	13.51	14.28	14.53	14.97	15.43
2 (10 วัน)	5.50	16.17	18.87	19.72	19.74	20.17	20.65
3 (15 วัน)	6.49	17.64	24.08	25.00	24.60	26.15	26.82
4 (20 วัน)	7.67	18.08	26.68	32.59	34.63	34.72	36.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การคำนวณการดูดซับน้ำของสารเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณการดูดซับน้ำของสารเคลือบ

การคำนวณร้อยละของการดูดซับน้ำ (% swelling ratio) ของสารเคลือบ จะคำนวณได้เมื่อทราบค่าน้ำหนักของสารเคลือบก่อนและหลังการทดสอบการดูดซับน้ำ จากการทดลองได้ข้อมูลดังตารางที่ จ.1 และ จ.2

ตารางที่ จ.1 น้ำหนักของสารเคลือบก่อนการทดสอบการดูดซับน้ำ

ประเภทสารเคลือบ	น้ำหนักก่อนการดูดซับน้ำ (กรัม)
ยาง	6.2729
ยาง+แป้ง 8.33 phr	4.3313
ยาง+แป้ง 16.67 phr	4.8864
ยาง+แป้ง 33.33 phr	5.3943
ยาง+แป้ง 50.00 phr	5.7867
ยาง+แป้ง 66.67 phr	5.7967
ยาง+แป้ง 83.33 phr	6.0763

ตารางที่ จ.2 น้ำหนักของสารเคลือบหลังการทดสอบการดูดซับน้ำที่เวลาต่าง ๆ

เวลา (วัน)	น้ำหนักหลังการดูดซับน้ำ (กรัม)						
	ยาง	ยาง+แป้ง 8.33 phr	ยาง+แป้ง 16.67 phr	ยาง+แป้ง 33.33 phr	ยาง+แป้ง 50.00 phr	ยาง+แป้ง 66.67 phr	ยาง+แป้ง 83.33 phr
1	7.5683	5.2998	6.0093	6.7823	7.1755	7.3236	7.9144
2	7.6203	5.4271	6.0645	6.8562	7.4961	7.4256	8.0797
3	7.6473	5.4016	6.1813	6.9392	7.4729	7.7589	8.3804
4	7.6536	5.3409	6.2306	6.9042	7.5597	7.9589	8.6204
5	7.7063	5.4977	6.3059	6.9818	7.8028	7.9281	8.7152
10	7.9710	5.6970	6.5375	7.3373	8.4225	8.3426	8.6192
15	7.9879	5.7762	6.6909	7.5660	8.5267	8.2626	8.5354
20	8.0663	5.9343	6.5693	7.4824	8.3473	8.1362	8.4527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณร้อยละของการดูดซับน้ำ (% swelling ratio) ของแผ่นยางที่เวลา 1 วันหลังการทดสอบการดูดซับน้ำ

จากสมการ

$$\% \, swelling \, ratio = \left(\frac{w_2 - w_1}{w_1}\right) \times 100 \qquad (จ.1)$$

เมื่อ w_1= น้ำหนักก่อนการทดสอบการดูดซับน้ำ

w_2= น้ำหนักหลังการทดสอบการดูดซับน้ำ

$$\% \, swelling \, ratio = \left(\frac{7.5683 - 6.2729}{6.2729}\right) \times 100$$

$$\% \, swelling \, ratio = 20.65$$

ดังนั้น เมื่อเวลาผ่านไป 1 วัน สารเคลือบจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นหรือดูดซับน้ำไป 20.65 เปอร์เซ็นต์

ร้อยละของการดูดซับน้ำของสารเคลือบที่เวลาต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ จ.3

ตารางที่ จ.3 ร้อยละของการดูดซับน้ำของสารเคลือบที่เวลาต่าง ๆ

เวลา (วัน)	ร้อยละของการดูดซับน้ำ (% swelling ratio)						
	ยาง	ยาง+แป้ง 8.33 phr	ยาง+แป้ง 16.67 phr	ยาง+แป้ง 33.33 phr	ยาง+แป้ง 50.00 phr	ยาง+แป้ง 66.67 phr	ยาง+แป้ง 83.33 phr
1	20.65	22.36	22.98	25.73	24.00	26.34	30.25
2	21.48	25.30	24.11	27.10	29.54	28.10	32.97
3	21.91	24.71	26.50	28.64	29.14	33.85	37.92
4	22.01	23.31	27.51	27.99	30.64	37.30	41.87
5	22.85	26.93	29.05	29.43	34.84	36.77	43.43
10	27.07	31.53	33.79	36.02	45.55	43.92	41.85
15	27.34	33.36	36.93	40.26	47.35	42.54	40.47
20	28.59	37.01	34.44	38.71	44.25	40.36	39.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้