

การพัฒนาและประเมินการเคลือบเม็ดดาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และปุ๋ยอินทรีย์ด้วยฟิล์มอัลจินต



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF ENTRAPMENT OF ABUSCULAR MYCORRHIZAL-
ORGANIC FERTILIZER BEAD WITH ALGINATE FILM

Miss Pornpicha Pitaktamrong



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาและประเมินการเคลือบเมล็ดอาร์บัสคูลารีไมคอร์ไรซา และปุ๋ยอินทรีย์ด้วยฟิล์มอัลจิเนต
โดย	นางสาวพรพิชชา พิทักษ์ธำรง
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.จิรัญ กิ่งแก้ว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.จิรัญ กิ่งแก้ว)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์วรรณ โชติพิฤกษ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรวุฒน์ อยู่ยงเวช)

พรพิชชา พิทักษ์ธำรง : การพัฒนาและประเมินการเคลือบเม็ดอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และ ปุ๋ยอินทรีย์ด้วยฟิล์มอัลจิเนต (DEVELOPMENT AND EVALUATION OF ENTRAPMENT OF ABUSCULAR MYCORRHIZAL-ORGANIC FERTILIZER BEAD WITH ALGINATE FILM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร.จิรัณ กิ่งแก้ว, 62 หน้า.

อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา(Abuscular mycorrhizal fungi) เป็นเชื้อราที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทางเกษตรกรรม เนื่องจากเส้นใยของราชนิดนี้มีความจำเพาะกับการดูดซับฟอสฟอรัสและยังทำหน้าที่เปรียบเหมือนรากพืชแต่มีขนาดเล็กกว่า ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซึมสารอาหารให้กับพืชได้ นอกจากนี้ ยังมีบทบาทสำคัญในการช่วยให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ แม้ประสบปัญหาภัยแล้ง โดยในงานวิจัยนี้ ได้มีการเคลือบ Abuscular mycorrhiza (AM) ร่วมกับดิน และปุ๋ยอินทรีย์ (AM-organic fertilizer ; AMF) โดยใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบ ศึกษาความเข้มข้นที่ต่างกัน 3 ค่า คือ 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และยังได้ศึกษาจำนวนชั้นในการเคลือบที่เหมาะสมคือ 1 และ 2 ชั้น โดยเปรียบเทียบผลการวิจัยระหว่างเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ซึ่งจากผลการศึกษาคณสมบัติเชิงกลของเม็ดตัวอย่าง พบว่า ค่าความทนทานต่อการกดอัดของเม็ดตัวอย่าง และเปอร์เซ็นต์(%Porosity) จะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตและจำนวนชั้นในการเคลือบเพิ่มขึ้น และยังพบว่า ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของโซเดียมอัลจิเนต จะให้อัตราการงอกของเชื้อราที่ดีที่สุด และมีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมสำหรับการจัดการ และการขนส่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

5770242021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS: FERTILIZER / ALGINATE / ENTRAPMENT / ABUSCULAR MYCORRHIZA

PORNPICHA PITAKTAMRONG: DEVELOPMENT AND EVALUATION OF ENTRAPMENT OF ABUSCULAR MYCORRHIZAL-ORGANIC FERTILIZER BEAD WITH ALGINATE FILM. ADVISOR: ASSOC. PROF. MUENDUEN PHISALAPHONG, Ph.D., CO-ADVISOR: JEERUN KINGKAEW, Ph.D., 62 pp.

Abuscular mycorrhiza (AM) is a fungus that can penetrate the cortical cells of the roots of a vascular plant. Mycorrhizal fungi help increase the surface area of the plant root system and have been known for the role in supplying phosphorus and relieving drought stress in host plants. In this study, novel approaches of entrapment of Abuscular mycorrhiza spores in sand substrate (AM) and AM-organic fertilizer (AMF) beads with alginate films by varying different concentration of alginate film and number of coating layer for improved efficiency and stability of Abuscular mycorrhiza for further fertilization of crop plants is developed and evaluated. It was demonstrated that the germination rate of Abuscular mycorrhiza mycelium from AM and AMF beads depended on concentration of alginate and number of layer of coating films. For the mechanical property, it was shown that the hardness of AM and AMF beads increased with an increasing number of coating layer and percentage of alginate from 1 to 3%. Sodium alginate of 2% concentration was found to be best for the formulation of coating films with respect to mycelial fungus germination rate and appropriate mechanical property for handling and transportation.

Department: Chemical Engineering

Field of Study: Chemical Engineering

Academic Year: 2016

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

อันดับแรกข้าพเจ้าขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้การสนับสนุน และส่งเสริมให้ข้าพเจ้าในการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม ไม่ว่าจะเป็นการสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ การให้คำแนะนำในด้านต่างๆ หรือการให้กำลังใจในยามที่ข้าพเจ้ามีปัญหา นอกจากนี้ งานวิจัยฉบับนี้ก็จะสำเร็จได้ หากขาดคำแนะนำจาก รองศาสตราจารย์ ดร. เหมือนเดือน พิศาลพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และดร. จีรณ กิ่งแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมอีกท่านหนึ่ง โดยอาจารย์ทั้งสองเป็นบุคคลที่คอยให้คำแนะนำ มอบความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ และความรู้ทั่วไป เพื่อให้เป็นประโยชน์แก่การดำเนินชีวิต

ขอขอบพระคุณประธาน กรรมการสอบโครงร่างและปกป้องวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.บรรเจิด จงสมจิตร ศาสตราจารย์ ดร.อาทิวรรณ โชติพิฤกษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรอุฒน์ อยู่ยงเวชซ์ ที่ให้คำแนะนำ และชี้ให้เห็นถึงข้อบกพร่อง ที่ควรได้รับการปรับปรุง ตลอดจนเติมเต็มส่วนต่างๆ ของวิทยานิพนธ์นี้ ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

สุดท้ายข้าพเจ้าขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนสำหรับงานวิจัยนี้ เพื่อให้เกิดการพัฒนาองค์ความรู้ด้านใหม่ๆ ให้เกิดประโยชน์สืบไป

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป	ญ
สารบัญตาราง.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	2
1.1 วัตถุประสงค์	3
1.2 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	4
2.1 เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular mycorrhizal fungi ; AM).....	4
2.1.1 ความสัมพันธ์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดซับสารอาหารของพืช ..	5
2.1.2 ความสัมพันธ์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของพืช	8
2.1.3 การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับพืชในสภาวะขาดน้ำ	10
2.2 การเคลือบ (Encapsulation).....	11
2.3 โซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate ; Na-alginate)	13
2.3.1 คุณสมบัติโดยทั่วไปของโซเดียมอัลจิเนต	13
2.3.2 การนำไปใช้	15
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	19
3.1.1 ขั้นตอนการอัดเม็ดตัวอย่าง	19
3.1.2 ขั้นตอนการเคลือบเม็ดตัวอย่าง.....	20

3.2 การวิเคราะห์อัตราการเจริญของเส้นใยรา และอัตราการปลดปล่อยสารอาหารไนโตรเจน (NO ₃ ⁻) ฟอสฟอรัส (PO ₄ ³⁻) โพแทสเซียม (K ⁺) แมกนีเซียม (Mg ²⁺) และแคลเซียม (Ca ²⁺).....	21
3.2.1 เปอร์เซ็นต์การเจริญของเส้นใยราภายในเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF	21
3.2.2 อัตราการปลดปล่อยสารอาหาร ไนโตรเจน (NO ₃ ⁻) ฟอสฟอรัส (PO ₄ ³⁻) โพแทสเซียม (K ⁺) แมกนีเซียม (Mg ²⁺) และแคลเซียม (Ca ²⁺)	21
3.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะของเม็ด.....	22
3.3.1 ลักษณะพื้นผิวภายนอก (Surface) และภาพตัดขวาง (Cross-section).....	22
3.3.2 ความทนทานต่อการกดอัด หรือความแข็งของเม็ด.....	22
3.3.3 การย่อยสลายของเม็ดตัวอย่างในวัสดุธรรมชาติ	22
3.3.4 ความเป็นรูพรุน (Porosity)	23
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	24
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของเม็ดตัวอย่าง.....	24
4.1.1 ภาพตัดขวาง และภาพพื้นผิวของเม็ดตัวอย่าง (Cross-section and surface)....	24
4.1.2 ความเป็นรูพรุน (Porosity)	33
4.1.3 การศึกษาความทนทานต่อการกดอัดของเม็ดตัวอย่าง	33
4.2 เปอร์เซ็นต์การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา.....	35
4.3 อัตราการปลดปล่อยสารอาหาร ไนโตรเจน (NO ₃ ⁻) ฟอสฟอรัส (PO ₄ ³⁻) โพแทสเซียม (K ⁺) แมกนีเซียม (Mg ²⁺) และแคลเซียม (Ca ²⁺).....	38
4.4 การย่อยสลายของเม็ดตัวอย่างในวัสดุธรรมชาติ	41
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	38
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
รายการอ้างอิง	39

ภาคผนวก ก คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	44
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลอง และการคำนวณ.....	45
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	62



สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา[15]	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอาร์บัสคูลาร์ (ก) และเวสสิเคิล (ข) [16]	5
รูปที่ 2.3 รูปแบบการเกิดปฏิกิริยา ฟอสฟอรัส ฟิกเซชัน (Phosphorus fixation) [18]	6
รูปที่ 2.4 การดูดซับฟอสฟอรัสจากดินสู่พืช โดยเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา[20]	7
รูปที่ 2.5 ความเครียดจากการสภาวะแห้งแล้งที่ส่งผลต่อการเข้าอยู่อาศัย.....	10
รูปที่ 2.6 การเจริญเติบโตของเส้นใยราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา.....	11
รูปที่ 2.7 ผลของความเข้มข้นของสารเคลือบต่อความหนา.....	12
รูปที่ 2.8 ผลของชนิดพอลิเมอร์ และจำนวนชั้นของการเคลือบ ต่อความเป็นรูพรุนของเม็ด[9]..	12
รูปที่ 2.9 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของโซเดียมอัลจิเนตต่อความเข้มข้นที่ต่างกัน (0.5%-1%)[32]	14
รูปที่ 2.10 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของโซเดียมอัลจิเนตต่อความเข้มข้นที่ต่างกัน (1.0%-2.5) [35].....	14
รูปที่ 2.11 ความเข้มข้นที่ต่างกันของโซเดียมอัลจิเนต.....	15
รูปที่ 2.12 การปลดปล่อยสารกำจัดเชื้อราจากเม็ดเคลือบที่ใช้สารเคลือบต่างกัน คือโซเดียมอัลจิเนต (SA) โซเดียมอัลจิเนตผสมคาโอลิน (SAK) และโซเดียมอัลจิเนตผสมเบนโนไทด์ (SAB) [38].....	18
รูปที่ 2.13 ความสามารถในการดูดซับน้ำของเม็ดตัวอย่าง ที่เคลือบด้วยสารต่างกัน 3 ชนิด คือโซเดียมอัลจิเนต (SA) โซเดียมอัลจิเนตผสมคาโอลิน (SAK) และโซเดียมอัลจิเนตผสมเบนโนไทด์ (SAB)	18
รูปที่ 4.1 ภาพตัดขวาง(Cross section) ของเม็ดตัวอย่าง AM (ก.) และ AMF (ข.).....	24
รูปที่ 4.2 ภาพพื้นผิว (Surface area) ของเม็ดตัวอย่าง AM (ก.) และ AMF (ข.).....	32
รูปที่ 4.3 ลักษณะทางภายนอกของเม็ดตัวอย่าง AMและ AMF เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนต 1(1L) และ 2(2L) ชั้น ที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	32

รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์ความเป็นรูปทรงของเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนต ที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น33

รูปที่ 4.5 ค่าความต้านทานต่อการกอดตัวของเม็ดตัวอย่าง AM ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น34

รูปที่ 4.6 ค่าความต้านทานต่อการกอดตัวของเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น.....34

รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อการกอดตัวของเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF35

รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AM.....35

รูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AM36

รูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AM36

รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AM.....37

รูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยฟอสฟอรัส จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนต ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวน 1 และ 2 ชั้น38

รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยโพแทสเซียม จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนต ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวน 1 และ 2 ชั้น39

รูปที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยไนโตรเจน จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF เคลือบด้วย.39

รูปที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยแมกนีเซียม จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนต ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวน 1 และ 2 ชั้น40

รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยแคลเซียม จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF เคลือบด้วยฟิล์ม40

รูปที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนต.41

รูปที่ ข.1 อัตราการปลดปล่อยของฟอสฟอรัส จากเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น.....47

รูปที่ ข.2 อัตราการปลดปล่อยของโพแทสเซียม จากเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น48

รูปที่ ข.3 อัตราการปลดปล่อยของไนโตรเจน จากเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินต์ที่
ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น.....49

รูปที่ ข.4 อัตราการปลดปล่อยของแมกนีเซียม จากเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินต์
ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น50

รูปที่ ข.5 อัตราการปลดปล่อยของแคลเซียม จากเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินต์ที่
ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น.....51

รูปที่ ข.6 การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัล
จินต์ 1 ชั้น ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....56

รูปที่ ข.7 การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัล
จินต์ 2 ชั้น ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....57

รูปที่ ข.8 การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัล
จินต์ 1 ชั้น ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....58

รูปที่ ข.9 การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัล
จินต์ 2 ชั้น ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....59

รูปที่ ข.10 การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AMF เคลือบด้วย
ฟิล์มอัลจินต์ 1 ชั้น ที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....60

รูปที่ ข.11 การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AMF เคลือบด้วย
ฟิล์มอัลจินต์ 2 ชั้น ที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....61

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ผลของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัส ในตำแหน่งต่างๆของพืชและในที่วัสดุปลูกต่างกัน	6
ตารางที่ 2.2 จำนวนสปอร์และเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราร่วมกับพืช ในวัสดุปลูกที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่างกัน	8
ตารางที่ 2.3 ลักษณะภายนอกของต้นพืช(น้ำหนักรากแห้ง ผล ก้านและใบ รวมถึงความสูงและจำนวนผล) ที่มีและไม่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ที่ปริมาณฟอสฟอรัสต่างกัน.....	9
ตารางที่ 2.4 ลักษณะภายนอกของพืช(น้ำหนักแห้งของต้นเหนือพื้นดิน รากแห้ง ใบแห้ง ก้านแห้ง ดอกแห้งและความยาวราก)ที่มีและไม่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาวะแห้งแล้ง.....	10
ตารางที่ 2.5 ความต้านทานแรงอัดที่ต่างกันของเม็ดปุ๋ย.....	13
ตารางที่ 2.6 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายใต้เม็ดเคลือบโซเดียมอัลจิเนต และพีชตา หลังการเก็บ	16
ตารางที่ 2.7 ปริมาณไนโตรเจนในรูปของไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนีย ในดินที่มีการปลูกพืชและไม่มีการปลูกพืช จากเม็ดปุ๋ยเคลือบ 3 ชนิด	17
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเม็ดตัวอย่าง	19
ตารางที่ ข.1 ค่าความทนทานต่อการกดอัดของเม็ดตัวอย่าง AM ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น.....	45
ตารางที่ ข.2 ค่าความทนทานต่อการกดอัดของเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น.....	45
ตารางที่ ข.3 ค่าอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัส ซึ่งวัดในรูปของ PO_4^{3-} จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น.....	46

ตารางที่ ข.4 ค่าอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม ซึ่งวัดในรูปของ K^+ จากเมล็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น	47
ตารางที่ ข.5 ค่าอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจน ซึ่งวัดในรูปของ NO_3^- จากเมล็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น	48
ตารางที่ ข.6 ค่าอัตราการปลดปล่อยแมกนีเซียม ซึ่งวัดในรูปของ Mg^{2+} จากเมล็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น	49
ตารางที่ ข.7 ค่าอัตราการปลดปล่อยแคลเซียม ซึ่งวัดในรูปของ Ca^{2+} จากเมล็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น	50
ตารางที่ ข.8 แสดงค่าน้ำหนักเปียก(W_w) และน้ำหนักแห้ง(W_d) ของเมล็ดตัวอย่าง AM ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น.....	52
ตารางที่ ข.9 แสดงค่าน้ำหนักเปียก(W_w) และน้ำหนักแห้ง(W_d) ของเมล็ดตัวอย่าง AM ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 2 ชั้น.....	52
ตารางที่ ข.10 แสดงค่าน้ำหนักเปียก(W_w) และน้ำหนักแห้ง(W_d) ของเมล็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น.....	53
ตารางที่ ข.11 แสดงค่าน้ำหนักเปียก(W_w) และน้ำหนักแห้ง(W_d) ของเมล็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 2 ชั้น.....	54
ตารางที่ ข.12 เปอร์เซ็นต์ความเป็นรูพรุนของเมล็ดตัวอย่าง AM ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น.....	54
ตารางที่ ข.13 เปอร์เซ็นต์ความเป็นรูพรุนของเมล็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น.....	55

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบัน สภาวะแห้งแล้งภายในประเทศไทยมีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ จากข้อมูลของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร พบว่าปริมาณน้ำฝนสะสมตลอดปี พ.ศ. 2556 มีค่าน้อยสุดในรอบ 10 ปี รวมถึงน้อยกว่าปี พ.ศ. 2548 ที่ประเทศไทยประสบปัญหาภัยแล้งอย่างรุนแรง[1] โดยปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดสภาวะขาดแคลนน้ำคือ ปริมาณน้ำฝนที่ไม่เพียงพอการใช้งาน ทั้งในด้านอุปโภค และบริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้น้ำในการทำเกษตรกรรม การขาดน้ำจะมีผลต่อการดูดซึมน้ำและธาตุอาหารไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตของพืช เมื่อเปรียบเทียบพืชที่ปลูกในสภาวะปกติ และในสภาวะขาดน้ำ พบว่าพืชที่ปลูกในสภาวะปกติ มีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าพืชที่ปลูกในสภาวะขาดน้ำ[2] และตามธรรมชาติ มีจุลินทรีย์หลายชนิด ที่มีความสามารถในการตรึงฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในสภาวะขาดน้ำ โดยจุลินทรีย์ที่มีหลักฐานทางการศึกษาที่เป็นที่ยอมรับและเป็นที่ยอมรับในการนำมาใช้ในกระบวนการทางเกษตร คือ เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular mycorrhizal fungi; AMF) เนื่องจากเชื้อราชนิดนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งธาตุอาหาร โดยเฉพาะฟอสฟอรัสให้กับพืช[3, 4] และยังพบว่าพืชที่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราชนิดนี้จะมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่าพืชที่ไม่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อรา[5, 6] แต่อย่างไรก็ตาม เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จะเกิดการชะลอของการเจริญเติบโต และการเข้าอยู่อาศัยร่วมกับพืช (Colonization) เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะในสภาวะขาดน้ำ[7, 8] ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง จึงได้มีการนำเทคนิคการห่อหุ้ม หรือการเคลือบ (Encapsulation) มาใช้ในการปกป้องเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม[9-11] นอกจากนี้เทคนิคการเคลือบ ยังช่วยให้เม็ดเคลือบมีประสิทธิภาพในการทำงานทั้งในด้าน การชะลอการปลดปล่อยธาตุอาหาร รวมถึงลดความเป็นพิษที่อาจเกิดกับพืช[12] ซึ่งมีสารหลายชนิดที่นิยมนำมาเป็นวัสดุในการเคลือบ ได้แก่ โพลีแลคติกแอซิด (Polylactic acid) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinylalcohol) หรือสารสกัดที่ได้จากธรรมชาติ เช่น อะการ์ (Agar) โซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate) เป็นต้น โดยคุณสมบัติของการเคลือบจะแตกต่างกันตามวัสดุที่นำมาใช้เป็นสารเคลือบ ความเข้มข้นของสารเคลือบ รวมถึงจำนวนชั้นของการเคลือบ[10, 13] โดยโซเดียมอัลจิเนตเป็นสารสกัดที่ได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล เป็นสารที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและในร่างกายมนุษย์ มีราคาถูก และเหมาะสำหรับการใช้งานกับจุลินทรีย์ทุกชนิดและเนื่องจากโซเดียมอัลจิเนตมีคุณสมบัติในการดูดน้ำที่ดี จึงนิยมใช้เป็นสารก่อเจล (Gel agent) ได้ โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์เป็นสารเชื่อมขวาง ซึ่งโซเดียมอัลจิเนตถูกนำไปใช้ประโยชน์ในหลายๆด้าน ได้แก่

ด้านการแพทย์จะนำมาประยุกต์ใช้ในการรักษาบาดแผล รวมถึงป้องกันการติดเชื้อที่บริเวณปากแผล หรือทำหน้าที่ในการขนส่งสารชีวภาพ เช่นยา และโปรตีน เป็นต้น[13, 14]

นอกจากนี้การพัฒนาการเคลือบเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ (Organic fertilizer) อาจช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของพืชในสภาวะขาดน้ำ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงอาจเป็นการลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นการใช้เทคนิคการเคลือบ นอกจากจะช่วยปกป้องเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมแล้ว อาจช่วยให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะขาดน้ำได้ดีขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อการทำเกษตรกรรมในช่วงแล้งให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ

1.1 วัตถุประสงค์

พัฒนาและประเมินผลของการเคลือบเมล็ดอาบัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา-ปุ๋ยอินทรีย์ภายในฟิล์มอัลจิเนต เพื่อศึกษาอัตราการเจริญของเส้นใยราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และสมบัติต่างๆ ของเมล็ดเคลือบ

1.2 ขอบเขตงานวิจัย

1.2.1 เตรียมเมล็ดตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือเมล็ดตัวอย่างที่มีส่วนประกอบของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพียงอย่างเดียว และเมล็ดตัวอย่างที่ส่วนประกอบของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาผสมกับปุ๋ยอินทรีย์

1.2.2 ศึกษาความเข้มข้นและจำนวนชั้นของการเคลือบของโซเดียมอัลจิเนตที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นสารเคลือบ

1.2.2.1 เปอร์เซ็นต์การงอกของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

(%Germination)

1.2.2.2 อัตราการปลดปล่อยธาตุอาหารจากเมล็ดตัวอย่าง (%Release)

1.2.3 วิเคราะห์คุณสมบัติของเมล็ดตัวอย่าง

1.2.3.1 ภาพพื้นผิว และภาพตัดขวางของเมล็ดตัวอย่าง โดยใช้เทคนิค SEM

1.2.3.2 เปอร์เซ็นต์ความเป็นรูพรุนของเมล็ดตัวอย่าง (%Porosity)

1.2.3.3 ค่าความทนทานต่อการกดอัดของเมล็ดตัวอย่าง (Compressive force)

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้รับความรู้ในการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของการเคลือบที่มีต่อการเจริญของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

1.3.2 สามารถเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ร่วมกับเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

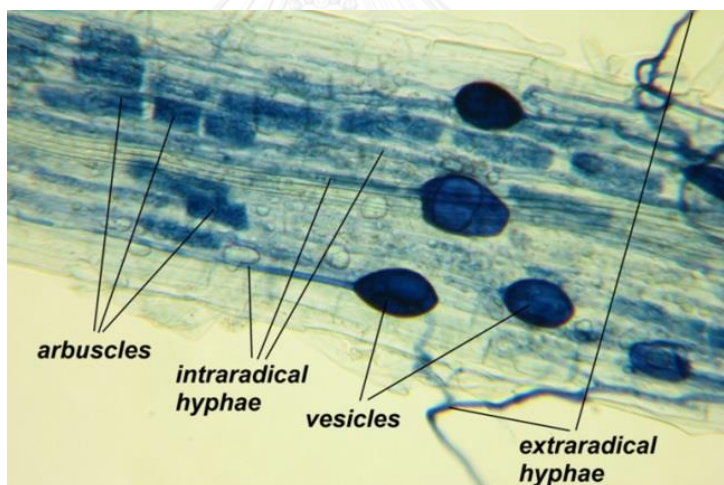


บทที่ 2

ทฤษฎี

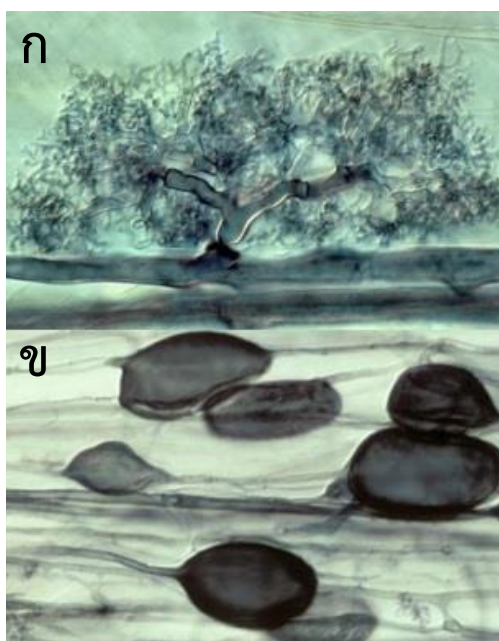
2.1 เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular mycorrhizal fungi ; AM)

อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นราที่สามารถพบได้ทั่วไปตามดิน โดยเชื้อราชนิดนี้มีบทบาทสำคัญกับการเจริญเติบโตของพืช โดยความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และพืชเป็นความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกัน (Symbiosis) คือต่างฝ่ายต่างเอื้อประโยชน์ซึ่งกันและกัน[7] โดยที่เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านธาตุอาหารจากดินสู่พืช เพิ่มความทนทานของพืชในสภาวะแห้งแล้ง รวมถึงทำให้โครงสร้างของดินในบริเวณนั้นให้มีความแข็งแรง ส่วนเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จะได้รับสารประกอบคาร์บอนจำพวกน้ำตาล จากการสังเคราะห์แสงของพืช[3, 4, 7] ซึ่งการเจริญเติบโตของเชื้อรานั้น จะมีการสร้างโครงสร้างพิเศษขึ้นมาในรากพืช คือ อาร์บัสคูลาร์ (Arbuscular) และเวสสิเคิล (Vesicle)[15] ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา[15]

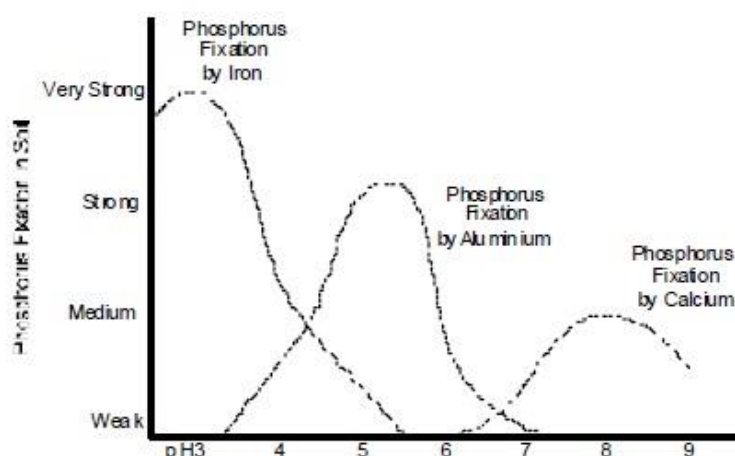
อาร์บัสคูลาร์ (Arbuscular) เป็นโครงสร้างที่เกิดขึ้นภายในชั้นคอร์เทกซ์(Cortex) ของรากพืช ซึ่งจะเกิดประมาณ 2 สัปดาห์หลังจากมีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ร่วมกับพืช โดยทำหน้าที่สำคัญในการส่งผ่านธาตุอาหารจากดินสู่รากพืช โครงสร้างนี้จะมีลักษณะเป็นกิ่งก้านคล้ายต้นไม้ และเวสสิเคิล(Vesicle) เป็นโครงสร้างที่เกิดจากเส้นใยของเชื้อราเกิดการมองตัวเป็นกระเปาะ รูปร่างคล้ายไข่ มีหน้าที่ในการสะสมสารอาหารในรูปของลิพิด และไซโทพลาซึม เป็นโครงสร้างที่เกิดขึ้นภายหลังอาร์บัสคูลาร์[15, 16] ลักษณะของอาร์บัสคูลาร์ และเวสสิเคิลแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของอาร์บัสคูลาร์ (ก) และเวสสิเคิล (ข) [16]

2.1.1 ความสัมพันธ์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการดูดซับสารอาหารของพืช

เมื่อกกล่าวถึงสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช จะประกอบไปด้วย 3 กลุ่มหลักๆ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยสารอาหาร 3 ชนิดนี้เป็นสารอาหารที่พืชมีความต้องการในปริมาณมาก แต่ในดินมักมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการ กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ทั้งสามธาตุนี้สามารถพบในดินได้ในปริมาณมาก กลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย เหล็ก แมงกานีส โมลิบดีนัม โบรอน ทองแดง สังกะสี และคลอรีน สารอาหารในกลุ่มนี้ พืชมีความต้องการเพียงเล็กน้อย จึงสามารถเรียกสารอาหารในกลุ่มที่ 3 ได้อีกชื่อ คือ จุลธาตุอาหาร[17] โดยในที่นี้จะกล่าวถึงฟอสฟอรัสเป็นหลัก เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียม เหล็ก และอะลูมิเนียม เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำยาก เรียกปฏิกิริยานี้ว่า “ฟอสฟอรัส ฟิกเซชัน (Phosphorus fixation)” โดยความรุนแรงของการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับค่าความเป็นกรดเบสที่ต่างกันของดิน[18] ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปแบบการเกิดปฏิกิริยา ฟอสฟอรัส ฟิกเซชัน (Phosphorus fixation) [18]

ดังนั้นพืชจึงสามารถนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่าธาตุอาหารชนิดอื่น แต่จากงานวิจัยของ Drew และคณะ[19] ได้ศึกษาอิทธิพลของวัสดุปลูกที่มีขนาดรูพรุนต่างกัน ต่อความสามารถในการดูดซับฟอสฟอรัสของเส้นใยราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาภายนอกรากพืช พบว่าพืชจะสามารถดูดซับฟอสฟอรัสได้มากขึ้นจากการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัส ในตำแหน่งต่างๆ ของพืชและในวัสดุปลูกต่างกัน

ชนิดของเชื้อรา อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา		ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส / น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง)			
		วัสดุปลูก M1	วัสดุปลูก M2	วัสดุปลูก M3	วัสดุปลูก M4
<i>Glomus intraradices</i>	Shoot	1.2±0.0	1.3±0.1	1.2±0.0	1.3±0.1
	M root	2.7±0.1	2.7±0.1	2.4±0.1	2.6±0.1
	UL root	2.2±0.0	2.2±0.1	2.2±0.1	2.2±0.1
<i>Glomus mosseae</i>	Shoot	1.4±0.0	1.5±0.1	1.3±0.0	1.2±0.1
	M root	2.4±0.2	2.6±0.1	2.6±0.2	2.5±0.2
	UL root	2.0±0.1	2.2±0.1	1.9±0.1	1.8±0.1

ตารางที่ 2.1(ต่อ) ผลของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัส ในตำแหน่งต่างๆของพืชและในที่วัสดุปลูกต่างกัน

ชนิดของเชื้อรา อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา		ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (มก. ฟอสฟอรัส / น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง)			
		วัสดุปลูก M1	วัสดุปลูก M2	วัสดุปลูก M3	วัสดุปลูก M4
Non mycorrhizal	Shoot	1.0 \pm 0.0	1.0 \pm 0.0	1.1 \pm 0.2	1.0 \pm 0.2
	M root	1.0 \pm 0.2	1.5 \pm 0.0	0.9 \pm 0.1	1.1 \pm 0.1
	UL root	1.4 \pm 0.0	1.3 \pm 0.0	1.2 \pm 0.2	1.3 \pm 0.0

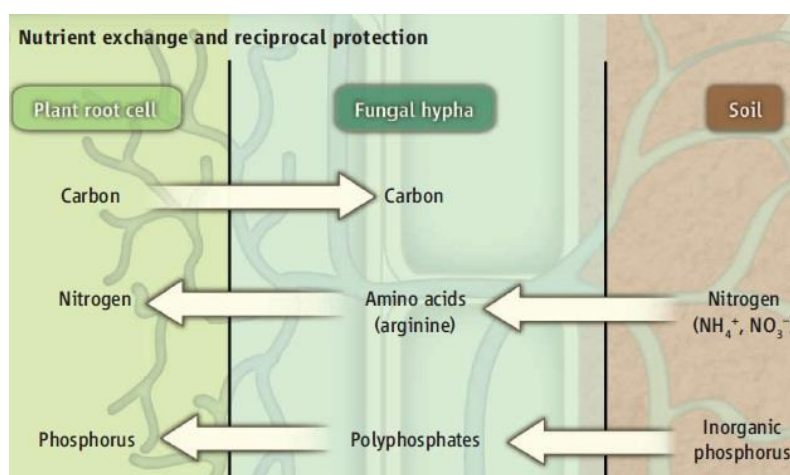
หมายเหตุ M1 คือ วัสดุปลูกผสมระหว่างดินและทราย ในอัตราส่วน 1:1

M2 คือ วัสดุปลูก Quartz sand ที่มีขนาดรูพรุน 100 ไมโครเมตร

M3 คือ วัสดุปลูก Quartz sand ที่มีขนาดรูพรุน 38 ไมโครเมตร

M4 คือ วัสดุปลูก Quartz sand ที่มีขนาดรูพรุน 26 ไมโครเมตร

จากตารางที่ 2.1 จะพบว่าพืชที่ไม่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสน้อยกว่าพืชที่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เนื่องจากเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จะทำหน้าที่เหมือนตัวกลางในการช่วยดูดซับฟอสฟอรัสจากดิน สู่รากพืช[20] โดยมีหลักการคือ เส้นใยราที่อยู่ภายนอกรากพืช (hyphae) จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนรากพืช ทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารได้ แล้วส่งต่อมายัง Arbuscular ซึ่งเป็นโครงสร้างที่อยู่ภายในรากพืช ทำให้พืชสามารถนำธาตุอาหารไปใช้งานได้ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การดูดซับฟอสฟอรัสจากดินสู่พืช โดยเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา[20]

โดยประสิทธิภาพการดูดซับฟอสฟอรัสของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จะขึ้นกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่นำมาปลูกพืชนั้นๆ เนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสในดิน จะส่งผลต่อจำนวนสปอร์ของเชื้อรา และเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราร่วมกับพืช ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ryan และคณะ[21] ศึกษาสภาพแวดล้อมในการปลูกพืช และปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่ต่างกัน ที่ส่งผลต่อจำนวนสปอร์และเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราร่วมกับพืช ได้ผลดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 จำนวนสปอร์และเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราร่วมกับพืช ในวัสดุปลูกที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่างกัน

ปริมาณฟอสฟอรัส (kg P/ha)	จำนวนสปอร์ของเชื้อรา ต่อดิน 100 กรัม		เปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราร่วมกับพืช	
	ดินจากผิวหน้าดิน	ดินจากใต้ผิวดิน	ดินจากผิวหน้าดิน	ดินจากใต้ผิวดิน
0	1797	875	42.2	16.7
33	1937	903	46.1	21.9
92	1793	938	39.1	18.2

จากตารางที่ 2.2 พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่ต่างกัน จะส่งผลต่อจำนวนสปอร์และเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราร่วมกับพืชเพียงเล็กน้อย จึงสรุปได้ว่าดินที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในระดับกลาง จะมีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารของเชื้อราได้ดีที่สุด และความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพืชต่างชนิดกัน จะให้ประสิทธิภาพที่ต่างกัน เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีโครงสร้างของรากพืชที่แตกต่างกันไป เช่น อัตราการเจริญของรากพืช การแตกแขนงของรากพืช เป็นต้น[7]

2.1.2 ความสัมพันธ์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อการเจริญเติบโตของพืช

เนื่องจากเส้นใยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาภายนอกกรากพืช(External hyphae) ทำหน้าที่เปรียบเสมือนรากพืช ส่งผลให้พื้นที่ผิวในการดูดซับฟอสฟอรัสเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับธาตุอาหาร ร่วมถึงน้ำ เพิ่มมากขึ้น[15, 22, 23] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจำเนียร และคณะ[5] ที่ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่าพืชที่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จะมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับพืชที่ไม่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลักษณะภายนอกของต้นพืช(น้ำหนักรากแห้ง ผล ก้านและใบ รวมถึงความสูงและจำนวนผล) ที่มีและไม่มี การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ที่ปริมาณฟอสฟอรัสต่างกัน

พืชทดลองที่ ปริมาณฟอสฟอรัส ต่างกัน (กก./ไร่)	ความสูง ต้น (ซม.)	น้ำหนักรากแห้ง (กรัม/ต้น)	น้ำหนักก้าน และใบแห้ง (กรัม/ต้น)	จำนวน ผลต่อ ต้น	น้ำหนักผล (กรัม/ต้น)
0 AM-	56.8	3.2	11.4	19.5	29.0
20 AM-	57.0	4.1	11.4	17.3	32.6
40 AM-	59.2	4.4	18.1	17.5	33.8
50 AM-	56.2	3.8	14.6	20.7	33.8
60 AM-	55.8	3.8	15.4	17.2	44.4
80 AM-	68	5.8	18.6	25.2	51.4
ค่าเฉลี่ย	58.2	4.2	14.9	19.6	37.5
0 AM+	69.8	5.6	20.9	25.5	60.5
20 AM+	75.5	6.2	22.1	29.5	51.4
40 AM+	73.5	5.7	21.2	32.5	54.9
50 AM+	66.8	5.3	20.0	25.2	58.4
60 AM+	68.0	5.1	17.4	22.0	44.4
80 AM+	71.0	5.6	18.6	23.2	55.4
ค่าเฉลี่ย	70.8	5.6	20.0	26.3	54.2

หมายเหตุ AM- คือ พืชที่ไม่มี การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
AM+ คือ พืชที่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

เมื่อกกล่าวถึงการเจริญเติบโตของพืชในสภาวะแห้งแล้ง พบว่าพืชที่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จะมีความสามารถในการทนความแห้งแล้งได้ดีกว่าพืชที่ไม่มี การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา[24, 25] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Karaki และคณะ[26] ที่มีการเปรียบเทียบลักษณะทางภายนอกของต้นพืชที่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และไม่มี การเข้าอยู่อาศัยของราเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ในสภาวะแห้งแล้ง จะพบว่าพืชที่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อรา จะมีลักษณะทางโครงสร้างที่ดีกว่า ซึ่งแสดงเป็นค่าน้ำหนักแห้งของส่วนต่างๆของพืช รวมถึงมีความยาวรากที่มากกว่า โดยแสดงผลดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ลักษณะภายนอกของพืช(น้ำหนักแห้งของต้นเหนือพื้นดิน รากแห้ง ใบแห้ง ก้านแห้ง ดอกแห้งและความยาวรากที่มี และไม่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในสภาวะแห้งแล้ง

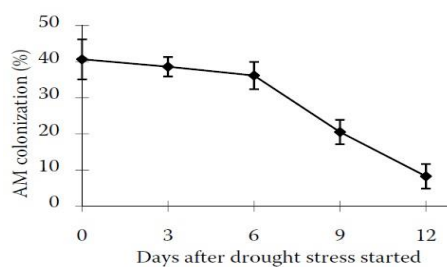
พืชตัวอย่าง	CR057	CR006	CR057	CR006
	AM-	AM-	AM+	AM+
ความยาวราก (ซม./ต้น)	319	338	371	436
น้ำหนักรากแห้ง (กรัม/ต้น)	0.89	0.78	1.05	1.14
น้ำหนักใบแห้ง (กรัม/ต้น)	1.49	1.21	1.74	1.85
น้ำหนักก้านแห้ง (กรัม/ต้น)	1.11	0.96	2.03	1.60
น้ำหนักดอกแห้ง (กรัม/ต้น)	1.44	1.16	1.63	1.36
น้ำหนักแห้งของต้นเหนือพื้นดิน (กรัม/ต้น)	4.0	3.3	5.4	4.8

หมายเหตุ AM- คือ พืชที่ไม่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
AM+ คือ พืชที่มีการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

และเนื่องจากเส้นใยรากภายนอกต้นพืช จะมีขนาดเล็กกว่ารากพืช ทำให้เส้นใยรา สามารถดูดซับน้ำและธาตุอาหารในบริเวณที่รากพืชไม่สามารถเข้าถึงได้[7]

2.1.3 การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับพืชในสภาวะขาดน้ำ

ความแห้งแล้งนอกจากจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชแล้ว ยังส่งผลต่อการเข้าอาศัยของจุลินทรีย์ร่วมกับพืชอีกด้วย เนื่องจากน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่นเดียวกับพืช เมื่อการเจริญเติบโตลดลง ก็จะส่งผลให้ศักยภาพในการเข้าอยู่อาศัยร่วมกับพืชลดลงด้วย[4, 7] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu และคณะ[8] พบว่า การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ร่วมกับรากพืช จะลดลงเนื่องจากความเครียดจากสภาวะแห้งแล้ง ดังรูปที่ 2.5

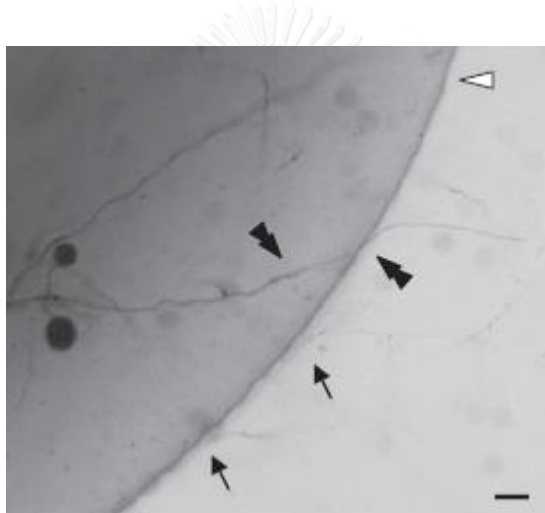


รูปที่ 2.5 ความเครียดจากการสภาวะแห้งแล้งที่ส่งผลต่อการเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ร่วมกับพืช[8]

เนื่องจากในสภาวะแห้งแล้ง อัตราการเจริญเติบโตของพืชจะลดลง ทำให้สารอาหารที่เชื้อราชนิดนี้จะได้จากพืชมีปริมาณลดลง จึงส่งผลให้อัตราการงอกของสปอร์ และเปอร์เซ็นต์การเข้าอยู่อาศัยของเชื้อราร่วมกับพืชลดลง

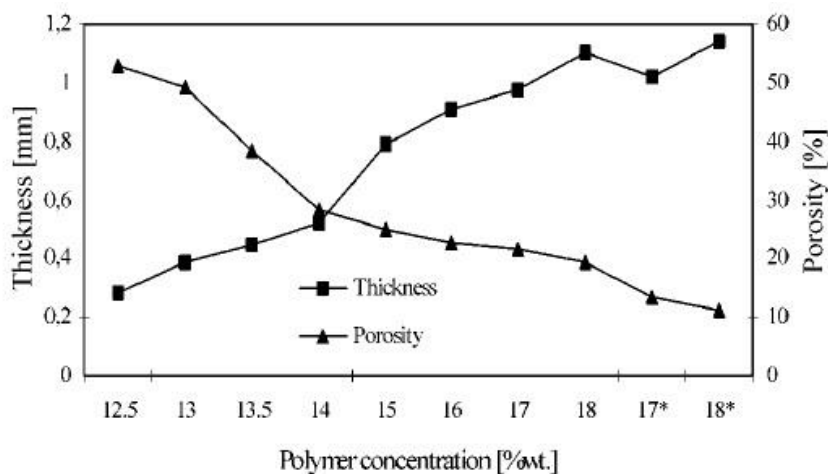
2.2 การเคลือบ (Encapsulation)

การเคลือบเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการปกป้องเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด รวมถึงจุลินทรีย์[27] จากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ที่ไม่เหมาะสม หรือความเครียดทั้งจากสิ่งมีชีวิต และไม่มีชีวิต เป็นต้น[28] ซึ่งจากงานวิจัยของ ของ De Jaeger และคณะ[29] ได้ศึกษาถึงผลของการเคลือบจุลินทรีย์ไว้ภายในเม็ดโซเดียมอัลจิเนต ต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ พบว่าสปอร์ของจุลินทรีย์สามารถงอกและขยายส่วนที่เป็นเส้นใยออกมาภายนอกเม็ดเคลือบได้ ดังรูปที่ 2.6



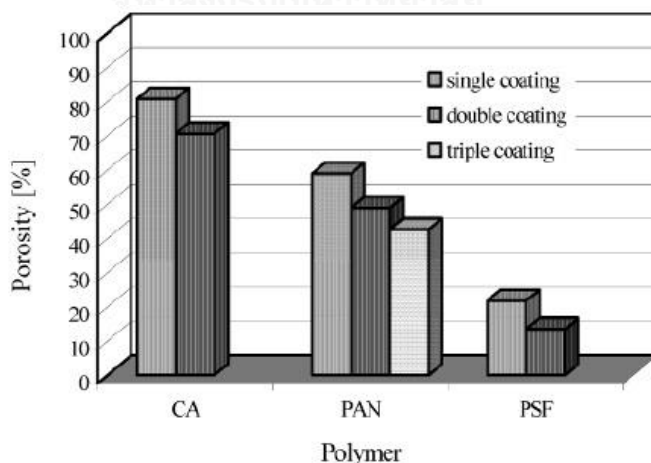
รูปที่ 2.6 การเจริญเติบโตของเส้นใยราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ภายในและภายนอกเม็ดเคลือบ[29]

และนอกจากนี้เทคนิคการเคลือบยังมีบทบาทในการช่วยขนส่งเซลล์หรือสารต่างๆ เพื่อให้ถึงจุดที่ต้องการเข้าทำปฏิกิริยา[30, 31] และในปัจจุบันเทคนิคการเคลือบ (Encapsulation) ได้เข้ามามีบทบาทในการถ่ายเทของธาตุอาหารภายในเม็ดเคลือบออกมาภายนอกเม็ดเคลือบ เนื่องจากการเคลือบมีผลทำให้ความเป็นรุกรุนของเม็ดเคลือบลดลง และการเคลือบยังช่วยลดอัตราการสลายตัวของปุ๋ย รวมถึงลดผลกระทบจากปริมาณธาตุอาหารที่มากเกินไป[11, 27] ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาสปอร์ของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และสามารถเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานานมากขึ้น[32] นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารเคลือบที่ต่างกันยังส่งผลต่อความเป็นรุกรุนของเม็ดเช่นกัน[12] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Maria และคณะ[33] ศึกษาความเข้มข้นของสารเคลือบที่ต่างกันต่อความหนาและความเป็นรุกรุนของเม็ดเคลือบ ได้ผลดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ผลของความเข้มข้นของสารเคลือบต่อความหนา และความเป็นรูพรุนของเม็ดเคลือบ[33]

จากรูปพบว่า ความเข้มข้นของสารเคลือบที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความเป็นรูพรุนของเม็ดลดลง แต่จะให้ความหนาของเม็ดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ชนิดของสารที่นำมาใช้ในการเคลือบ รวมถึงจำนวนชั้นในการเคลือบที่ต่างกันยังส่งผลต่อความเป็นรูพรุนของเม็ดเช่นกัน ซึ่ง Anna และคณะ[9] ได้ศึกษาผลของชนิดโพลิเมอร์ได้แก่ เซลลูโลสอะซิเตต (CA) พอลิอะคริโลไนไตรล์ (PAN) และพอลิซัลโฟน (PSF) และจำนวนชั้นของการเคลือบต่อความเป็นรูพรุนของเม็ดเคลือบ พบว่าจำนวนชั้นในการเคลือบที่เพิ่มขึ้น และชนิดของโพลิเมอร์ที่ต่างกัน จะทำให้ความเป็นรูพรุนของเม็ดต่างกัน ซึ่งได้แสดงผลดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ผลของชนิดโพลิเมอร์ และจำนวนชั้นของการเคลือบ ต่อความเป็นรูพรุนของเม็ด[9]

การเคลือบผิวด้วยสารพอลิเมอร์ยังช่วยเพิ่มความทนทานให้กับเม็ดปุ๋ยได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากเม็ดปุ๋ยอาจได้รับแรงกระแทกจากการบรรจุเก็บ หรือระหว่างการขนส่ง ซึ่งจากงานวิจัยของ Maria และคณะ[33] พบว่าการเคลือบด้วยความเข้มข้นของสารเคลือบที่ต่างกัน รวมถึงจำนวนชั้นในการเคลือบที่ต่างกัน

ตารางที่ 2.5 ความต้านทานแรงอัดที่ต่างกันของเม็ดปุ๋ย

เปอร์เซ็นต์สารเคลือบ	ความต้านทานแรงอัด (กิโลกรัม/เม็ด)
NPK	4.3
NPK-PSF 13.5	5.9
NPK-PSF 16	6.2
NPK-PSF 18	6.3
NPK-PSF 18*	9.4

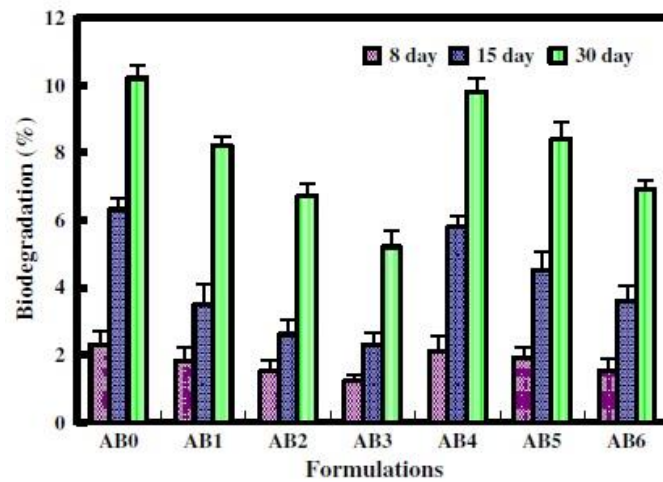
หมายเหตุ PSF คือ โพลีซิลิโคน เป็นโพลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบ
18* คือ เม็ดปุ๋ยที่ทำการเคลือบสองชั้นด้วยโพลิเมอร์ 18 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้เมื่อมีการเปรียบเทียบเทคโนโลยีในการผลิตปุ๋ยเชิงจุลินทรีย์แบบดั้งเดิม (Conventional formulation) ซึ่งใช้เทคนิค solid-, liquid-formulation กับการผลิตปุ๋ยจุลินทรีย์แบบสมัยใหม่(Advanced formulation) ซึ่งใช้เทคนิค การเคลือบเซลล์ พบว่าเทคนิคการเคลือบเซลล์จะช่วยเพิ่มระยะเวลาในการเก็บเชื้อจุลินทรีย์ได้นานกว่า[11]

2.3 โซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate ; Na-alginate)

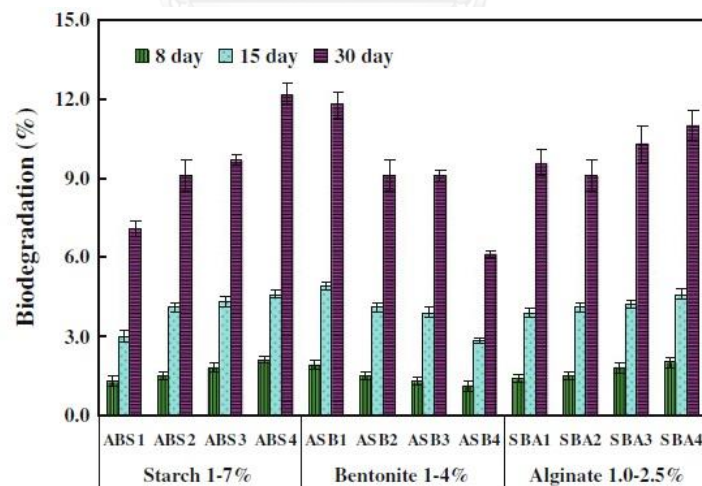
2.3.1 คุณสมบัติโดยทั่วไปของโซเดียมอัลจิเนต

โซเดียมอัลจิเนต จัดเป็นโพลิเมอร์ทางธรรมชาติชนิดหนึ่ง เป็นสารประกอบที่สกัดได้จากผนังเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำตาล มีคุณสมบัติการชอบน้ำ (Hydrophilic) สามารถละลายน้ำได้ถ้ามีการปั่นกววนอย่างรุนแรง (Strong agitation) หรือมีการใช้อุณหภูมิเข้ามาช่วย และยังสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ทำให้ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม[34] ซึ่งจากงานวิจัยของ Yanhui และคณะ[32] ได้ทำการศึกษาการเคลือบปุ๋ยชีวภาพ โดยใช้โซเดียมอัลจิเนต และโซเดียมอัลจิเนตผสมเบนโทไนด์ พบว่าอัตราการย่อยสลายของโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1.5% ที่ไม่มีการผสมเบนโทไนด์ (SA0)จะมีค่าสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้นต่างกันคือ 0.5% (SA1) และ 1.0% (SA4) โดยมีการผสมเบนโทไนด์ในอัตราที่เท่ากัน พบว่าความสามารถในการย่อยสลายตามธรรมชาติของโซเดียมอัลจิเนตจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของไฮโดรเจลอัลจินตต่อความเข้มข้นที่ต่างกัน (0.5%-1%) [32]

นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยของ Zhansheng และคณะ [35] ที่ศึกษาการใช้ไฮโดรเจลอัลจินตเบโทไนต์ และแบ่งเป็นสารเคลือบจุลินทรีย์ เพื่อการใช้งานทางการแพทย์ โดยเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยสลายของสารเคลือบในดิน ซึ่งได้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกันกับงานวิจัยก่อนหน้า ดังรูปที่ 2.10



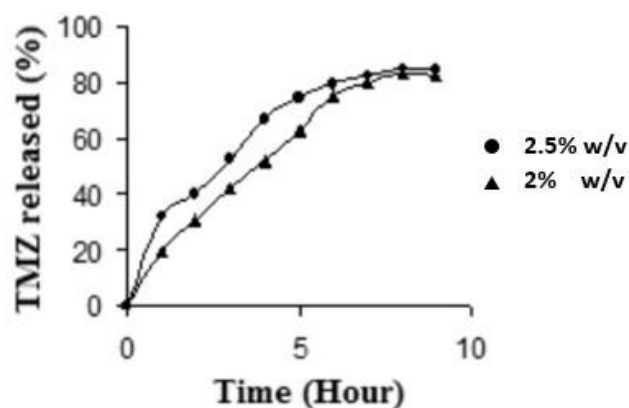
รูปที่ 2.10 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของไฮโดรเจลอัลจินตต่อความเข้มข้นที่ต่างกัน (1.0%-2.5) [35]

2.3.2 การนำไปใช้

โซเดียมอัลจิเนตสามารถใช้งานได้หลายด้าน ทั้งในด้านการแพทย์ เภสัชกรรม หรืองานทางด้านจุลินทรีย์ เป็นต้น

2.3.2.1 การใช้งานทางด้านเภสัชกรรม

เนื่องจากโซเดียมอัลจิเนตสามารถย่อยสลายได้ภายในร่างกายมนุษย์ จึงมีการนำเจลโซเดียมอัลจิเนตมาใช้เป็นตัวกลางในการส่งยาที่มีความเข้มข้นต่ำ รวมถึงส่งโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น โปรตีน เนื่องจากต้องการให้การทำงานของยาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ[14] นอกจากนี้โซเดียมอัลจิเนตยังสามารถช่วยชะลอการปลดปล่อยสารเคมีภายในเม็ดยาได้เช่นกัน โดยงานวิจัยของ Sanchita และคณะ[34] ได้นำโซเดียมอัลจิเนตมาใช้เป็นสารเคลือบเม็ดยา และศึกษาความเข้มข้นที่ต่างกันของโซเดียมอัลจิเนตต่ออัตราการปลดปล่อยสาร พบว่าความเข้มข้นที่ต่างกันของโซเดียมอัลจิเนตส่งผลต่ออัตราการปลดปล่อยสาร ยิ่งความเข้มข้นมากขึ้น อัตราการปลดปล่อยสารก็จะน้อยลงได้ผล ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ความเข้มข้นที่ต่างกันของโซเดียมอัลจิเนต
ที่ส่งผลต่ออัตราการปลดปล่อยสาร TMZ[34]

2.3.2.2 การใช้งานทางการแพทย์

เมื่อเปรียบเทียบการรักษาในปัจจุบันกับในอดีตที่นิยมใช้ผ้าปิดแผลในการป้องกันเชื้อโรค พบว่าโซเดียมอัลจิเนตมีความสามารถในการป้องกันเชื้อโรคได้ดีกว่า เนื่องจากผ้าปิดแผลที่ใช้จะมีลักษณะเป็นตาข่ายขนาดเล็ก ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เชื้อโรคสามารถเข้าถึงบาดแผลได้เร็วกว่าการปิดแผลด้วยโซเดียมอัลจิเนต[14]

2.3.2.3 การใช้งานทางด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อและจุลินทรีย์

โซเดียมอัลจิเนตจะถูกนำมาเป็นระบบจำลองในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม รวมถึงการสร้างหลอดเลือดเทียม เพื่อทดแทนส่วนที่เสียหาย และยังสามารถซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของกระดูกจากความเสียหายได้เช่นกัน[14] นอกจากนี้โซเดียมอัลจิเนตยังนิยมนำมาใช้เป็นสารที่ใช้ในการห่อหุ้มเชื้อรา เพื่อช่วยเพิ่มระยะเวลาในการเก็บ รวมถึงปกป้องจุลินทรีย์จากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยในงานวิจัยของ Bennett และคณะ[36] ได้เปรียบเทียบผลของการเคลือบจุลินทรีย์ในเม็ดโซเดียมอัลจิเนต และเม็ดพีชตา (Pesta granule) ต่อความสามารถในการเจริญเติบโตหลังการเก็บหนึ่งสัปดาห์ และหนึ่งเดือน ภายใต้อุณหภูมิที่ต่างกัน พบว่าการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีการห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจิเนต จะมีความสามารถในการเจริญเติบโตได้ดีกว่าการห่อหุ้มจุลินทรีย์ด้วยพีชตา ได้ผลดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายใต้เม็ดเคลือบโซเดียมอัลจิเนต และพีชตา หลังการเก็บที่อุณหภูมิ 4, 25 และ 37 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	สายพันธุ์	การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หลังการเก็บ					
		1 สัปดาห์			4 สัปดาห์		
		4 °C	25°C	37°C	4°C	25°C	37°C
Alginate	<i>Alternaria</i>	+	+	+	+	-	-
	<i>Phanerochaete</i>	+	+	+	+	+	-
Pesta	<i>Alternaria</i>	+	+	+	+	-	-
	<i>Phanerochaete</i>	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ - คือ ไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์
+ คือ มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

2.3.2.4 การใช้งานทางด้านเกษตรกรรม

โซเดียมอัลจิเนตจะถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบผิวของเม็ดปุ๋ยเพื่อช่วยชะลอการถ่ายเทธาตุอาหาร ซึ่งในงานวิจัยของ M.E. González และคณะ[37] ได้ทำการศึกษาศาสตร์เคลือบที่ต่างกัน 3 ชนิดคือ โซเดียมอัลจิเนต (SA:1%,2.5%) เซลลูโลสอะซิเตท (CA) และเอทิลเซลลูโลส (EC) เพื่อชะลอการถ่ายเทธาตุอาหาร ซึ่งในงานวิจัยนี้คือไนโตรเจน โดยวัดปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากกระบวนการชะล้างของเม็ดปุ๋ยเคลือบสามชนิด ซึ่งวัดในรูปของในรูปของไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนียม และยูเรีย เปรียบเทียบกับตัวอย่าง 3 ชนิด คือดินที่ไม่มีการใส่ธาตุไนโตรเจน (C) ดินที่มี

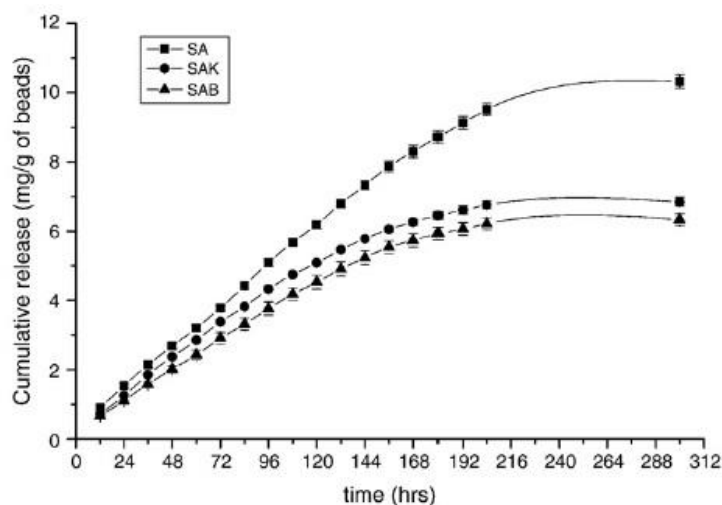
การใส่ยูเรีย (U) และดินที่มีการใส่เม็ดปุ๋ยเคลือบควบคุมการปลดปล่อยไนโตรเจน (ESN) ในดินที่มีการปลูกพืชและไม่มีการปลูกพืช ได้ผลดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ปริมาณไนโตรเจนในรูปของไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนีย ในดินที่มีการปลูกพืช และไม่มีการปลูกพืช จากเม็ดปุ๋ยเคลือบ 3 ชนิด

ชนิด ตัวอย่าง	ตัวอย่างดินที่มีการปลูกต้นไม้			ตัวอย่างดินที่ไม่มีการปลูกต้นไม้		
	NH ₄ ⁺ (mg)	NO ₃ ⁻ (mg)	Urea (mg)	NH ₄ ⁺ (mg)	NO ₃ ⁻ (mg)	Urea (mg)
C	0.04	0.15	nd	0.04	12.77	nd
U	0.06	38.82	7.58	0.07	73.16	4.93
ESN	0.06	6.42	10.77	0.07	53.98	4.29
SA1	0.06	43.24	5.99	0.07	62.78	2.41
SA2	0.07	33.48	4.06	0.08	53.52	3.57
EC1	0.07	34.65	8.89	0.06	58.89	3.95
EC2	0.06	15.14	8.35	0.08	56.15	4.26
CA1	0.08	41.78	6.1	0.13	48.55	3.53
CA2	0.05	36.59	4.4	0.07	62.07	6.01

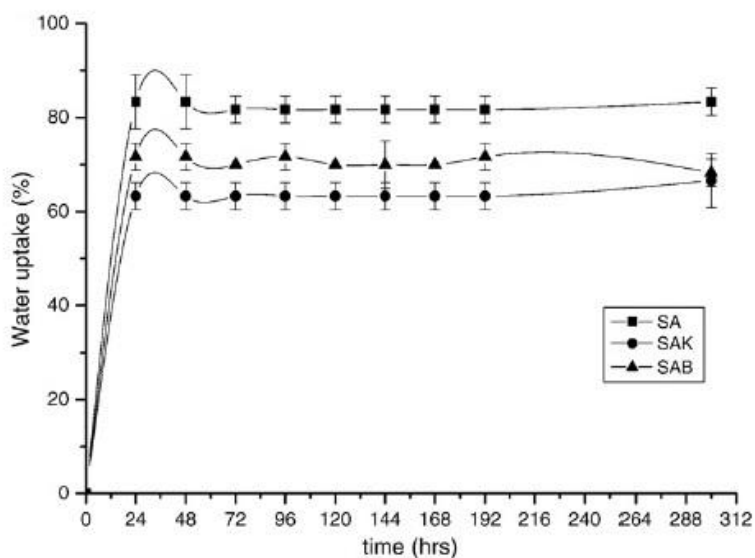
หมายเหตุ nd คือ not detect

จากตารางจะเห็นว่าปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียและยูเรียของเม็ดปุ๋ยเคลือบสามชนิดในตัวอย่างดินที่มีการปลูกพืชและไม่มีการปลูกพืช จะมีค่าใกล้เคียงกับเม็ดปุ๋ยเคลือบควบคุมการปลดปล่อย และพบว่าความเข้มข้นที่ต่างกันของสารเคลือบจะส่งผลต่อปริมาณของไนโตรเจนที่ถูกชะออกมาในน้ำ และนอกจากนี้การใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบปุ๋ยในกระบวนการทางเกษตรแล้ว ยังนำโซเดียมอัลจิเนตมาใช้เป็นสารเคลือบสารกำจัดเชื้อราในพืช ซึ่งอยู่ในรูปคล้ายเม็ดปุ๋ย และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Baljit และคณะ[38] ที่ทำการศึกษาการปลดปล่อยสารกำจัดเชื้อราในพืช โดยใช้โซเดียมอัลจิเนต-แป้ง (SA) เป็นสารเคลือบ โดยมีการผสมคาโอลิน (SAK) และเบนโทไนด์ (SAB) ได้ผลดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การปลดปล่อยสารกำจัดเชื้อราจากเม็ดเคลือบที่ใช้สารเคลือบต่างกัน คือโซเดียมอัลจิเนต (SA) โซเดียมอัลจิเนตผสมคาโอลิน (SAK) และโซเดียมอัลจิเนตผสมเบนโนไทด์ (SAB) [38]

จากรูปจะเห็นว่าสารกำจัดเชื้อรา ที่ถูกเคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตจะมีอัตราการปลดปล่อยออกมาสูงสุด เนื่องจากโซเดียมอัลจิเนตเป็นสารที่มีลักษณะชอบน้ำ ทำให้สามารถดูดซับน้ำไว้ได้เยอะกว่า ส่งผลมีความสามารถในการแพร่สูงกว่าสารอีกสองชนิด ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ความสามารถในการดูดซับน้ำของเม็ดตัวอย่าง ที่เคลือบด้วยสารต่างกัน 3 ชนิด คือ โซเดียมอัลจิเนต (SA) โซเดียมอัลจิเนตผสมคาโอลิน (SAK) และโซเดียมอัลจิเนตผสมเบนโนไทด์ (SAB)

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

การทดลองเพื่อศึกษา ผลของความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตที่ต่างกันในการเคลือบเมล็ด ตัวอย่าง และจำนวนชั้นที่ต่างกันในการเคลือบเมล็ดตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบกับจากอัตราการเจริญของ อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และอัตราการปลดปล่อยสารอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 ส่วน

1. การเตรียมเมล็ดตัวอย่าง และการเคลือบเมล็ดตัวอย่าง
2. การวิเคราะห์อัตราการเจริญ และอัตราการปลดปล่อยสารอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม
3. การวิเคราะห์คุณลักษณะของเมล็ดตัวอย่าง

3.1 การเตรียมเมล็ดตัวอย่าง และการเคลือบเมล็ดตัวอย่าง

วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียม และเคลือบเมล็ดตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมเมล็ดตัวอย่าง

วัสดุและสารเคมี	บริษัทผู้จำหน่าย
Glycerol	QR๕C
Sodium alginate	ACROS
Calcium Chloride	AJEX
ปุ๋ยชีวภาพ อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา	กรมวิชาการเกษตร
ปุ๋ยอินทรีย์ตราดอกบัว	บริษัท ซีพีเอฟ จำกัด

3.1.1 ขั้นตอนการอัดเมล็ดตัวอย่าง

เมล็ดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนั้น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ชนิดแรก คือเมล็ดตัวอย่างที่มีปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular mycorrhiza ; AM) เป็นองค์ประกอบเพียงอย่างเดียว ชนิดที่สองคือเมล็ดตัวอย่างที่มีปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาผสมกับปุ๋ยอินทรีย์ (AM-fertilizer ; AMF) ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก เป็นองค์ประกอบ

1. นำปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา มาร่อนด้วยตะแกรง เพื่อแยกเศษหิน และกรวดออก

2. นำปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ร่อนแล้วมาผสมกับปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก
3. นำปุ๋ยผสม และปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามาผสมกับกลีเซอรอลในอัตราส่วน 3 กรัมปุ๋ย ต่อ 0.3 มิลลิลิตรของกลีเซอรอล
4. ตักตัวอย่างปุ๋ยชีวภาพที่ผสมกลีเซอรอลแล้ว อัดลงไปเครื่องอัดเม็ดยาและกดเม็ดตัวอย่างออกจากเครื่องอัดเม็ดยา จะได้เม็ดที่มีลักษณะคล้ายยาเม็ด

3.1.2 ขั้นตอนการเคลือบเม็ดตัวอย่าง

1. เตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์
2. เตรียมสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยในการเตรียมต้องทำให้น้ำ DI มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสก่อนผสมโซเดียมอัลจิเนตลงไป พร้อมทั้งมีการปั่นกวน เพื่อช่วยให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน
3. นำเม็ดตัวอย่างมาจุ่มในสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่เตรียมไว้ จนสารละลายเคลือบทั่วผิวเม็ด
4. ตักเม็ดตัวอย่างที่เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตจนทั่วแล้ว ไปแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เป็นเวลา 30 นาที
5. ตักเม็ดตัวอย่างขึ้นจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ แล้วนำไปตากในที่มืดเป็นเวลา 1 คืน หรือจนกว่าเม็ดตัวอย่างจะแห้ง จะทำให้ได้เม็ดตัวอย่างทั้งสิ้น 12 ตัวอย่าง
 - ก. AM ที่เคลือบด้วย sodium alginate 1% 1 ชั้น และ 2 ชั้น
 - ข. AM ที่เคลือบด้วย sodium alginate 2% 1 ชั้น และ 2 ชั้น
 - ค. AM ที่เคลือบด้วย sodium alginate 3% 1 ชั้น และ 2 ชั้น
 - ง. AMF ที่เคลือบด้วย sodium alginate 1% 1 ชั้น และ 2 ชั้น
 - จ. AMF ที่เคลือบด้วย sodium alginate 2% 1 ชั้น และ 2 ชั้น
 - ฉ. AMF ที่เคลือบด้วย sodium alginate 3% 1 ชั้น และ 2 ชั้น
6. เก็บเม็ดตัวอย่างที่แห้งแล้วให้พ้นจากแสง ที่อุณหภูมิห้อง

3.2 การวิเคราะห์อัตราการเจริญของเส้นใยรา และอัตราการปลดปล่อยสารอาหารไนโตรเจน (NO_3^-) ฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}) โพแทสเซียม (K^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+})

3.2.1 เพอร์เซ็นต์การเจริญของเส้นใยราภายในเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF

เพื่อวิเคราะห์ผลของปุ๋ยอินทรีย์ ที่มีต่อการงอกของราอับสคูลาไมคอร์ไรซา จึงทำการศึกษาเปอร์เซ็นต์การเจริญของราอับสคูลารไมคอร์ไรซาภายในเม็ดตัวอย่าง ทั้งสองชนิด แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน โดยมีวิธีการศึกษาดังนี้

1. เตรียมภาตแก้วเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 90 มิลลิเมตร สำหรับการวิเคราะห์
2. เตรียมกระดาษทิชชู และกระดาษกรอง whatman No.1 มาตัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับภาตแก้วที่จะใช้
3. นำกระดาษทิชชูจำนวน 10 แผ่นวางในภาตแก้ว และเติมน้ำ DI 10 มิลลิลิตร เพื่อให้กระดาษทิชชู มีความชื้น 100 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำกระดาษกรองวางปิดด้านบน
4. นำเม็ดตัวอย่าง 10 เม็ด วางในภาตแก้ว โดยตัวอย่าง 1 ชนิดใช้ทั้งสิ้น 50 เม็ด
5. นำแต่ละภาตแก้วไปส่องดูการเจริญของราอับสคูลารไมคอร์ไรซา ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ ชนิด 2 ตา (SMZ-161 , Motic)
6. ส่องตัวอย่างทุกๆวัน เป็นเวลา 10 วัน แล้วบันทึกผลที่ได้เพื่อนำมาวิเคราะห์

3.2.2 อัตราการปลดปล่อยสารอาหาร ไนโตรเจน (NO_3^-) ฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}) โพแทสเซียม (K^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+})

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการเคลือบ อัตราการปลดปล่อยสารอาหาร จึงเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญ โดยธาตุอาหารแต่ละชนิด มีวิธีการวัดดังนี้

1. เตรียมเม็ดตัวอย่าง 1 กรัม มาแช่น้ำ DI 50 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุอยู่ในกระบอกพลาสติกที่มีฝาปิด
2. นำกระบอกพลาสติกที่มีตัวอย่างบรรจุอยู่ ไปใส่ในเครื่องเขย่า
3. เก็บน้ำตัวอย่างทุกๆ 12 ชั่วโมง จนครบ 48 ชั่วโมง
4. นำตัวอย่างน้ำที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร โดยใช้เทคนิค High performance liquid chromatography (HPLC)

3.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะของเม็ด

เพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะโดยทั่วไปของเม็ด จึงต้องทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพดังต่อไปนี้

- ก. ลักษณะพื้นผิวภายนอก (Surface) และภาพตัดขวาง (Cross-section)
- ข. ความทนทานต่อการกดอัด หรือความแข็งของเม็ด
- ค. การย่อยสลายของเม็ดเคลือบตัวอย่างในธรรมชาติ
- ง. ความเป็นรูพรุน (Porosity) ความหนาของผิวเคลือบ (Thickness)

3.3.1 ลักษณะพื้นผิวภายนอก (Surface) และภาพตัดขวาง (Cross-section)

ทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวทางภายนอก และภาพตัดขวางของเม็ด เพื่อให้ทราบถึงความหนา-บางของชั้นเคลือบ และทำให้เห็นชั้นของผิวเคลือบได้อย่างชัดเจน โดยใช้เทคนิค SEM (Scanning Electron Microscope)

3.3.2 ความทนทานต่อการกดอัด หรือความแข็งของเม็ด

เนื่องจากในระดับอุตสาหกรรม การขนส่งผลิตภัณฑ์ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่ง ดังนั้นการศึกษาคความแข็งของเม็ด ทำให้เราได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพื่อนำมาใช้งานได้ โดยการศึกษาความแข็งนี้ จะใช้เทคนิค Universal testing โดยใช้เครื่อง Universal testing machine (model ES-Z, SHIMADZU, Japan).

3.3.3 การย่อยสลายของเม็ดตัวอย่างในวัสดุธรรมชาติ

เนื่องจากเม็ดที่เราทำการศึกษา มีการใช้งานทางด้านการเกษตรกรรม ดังนั้นการย่อยสลายของเม็ดตัวอย่างในวัสดุธรรมชาติจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่ง โดยมีวิธีการศึกษาดังนี้

1. เตรียมกระถางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของปากกระถาง 21 เซนติเมตร พร้อมทั้งฝารอง
2. นำดินที่ใช้ในการปลูกพืชทดลอง ใส่ในกระถาง จนมีปริมาณ $\frac{3}{4}$ ของกระถาง (ดินยี่ห้อไม่ลองไม่รู้)
3. นำเม็ดตัวอย่าง 10 เม็ดวางบนผิวหน้าของดิน แล้วนำดินที่เหลือมาใส่จนเต็มกระถาง (1 ตัวอย่างจะใช้ทั้งหมด 10 เม็ด)
4. นำกระถางที่มีการบรรจุเม็ดตัวอย่างไว้ ไปวางในที่โล่ง

5. ทำการสังเกตเม็ดตัวอย่างทุกๆ 3 วันจนครบ 1 เดือน โดยถ้าเม็ดตัวอย่างเริ่มมีรอยปริให้ทำการจดบันทึกไว้

3.3.4 ความเป็นรูพรุน (Porosity)

เนื่องจากความเป็นรูพรุน และความหนาของชั้นผิวเคลือบ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการอัตราการเจริญของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และอัตราการปลดปล่อยสารอาหารที่อยู่ในเม็ดตัวอย่าง ดังนั้นจึงได้การศึกษาดังนี้

ความเป็นรูพรุน(Porosity) [32]

$$\text{สูตร } \epsilon = \frac{\frac{W_w - W_d}{\rho_w} + \frac{W_d}{\rho_p}}{\frac{W_w - W_d}{\rho_w} + \frac{W_d}{\rho_p}} \times 100\% \quad \text{-----(1)}$$

โดยที่ W_w คือ น้ำหนักเปียกของเม็ดตัวอย่าง

W_d คือ น้ำหนักแห้งของเม็ดตัวอย่าง

ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ

ρ_p คือ ความหนาแน่นของโพลิเมอร์

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้ จะอธิบายถึงผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของเม็ดตัวอย่าง อัตราการเจริญของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา อัตราการปลดปล่อยสารอาหาร ไนโตรเจน (NO_3^-) ฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}) โพแทสเซียม (K^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+}) รวมถึงการย่อยสลายตามธรรมชาติของเม็ดตัวอย่าง ตามลำดับ

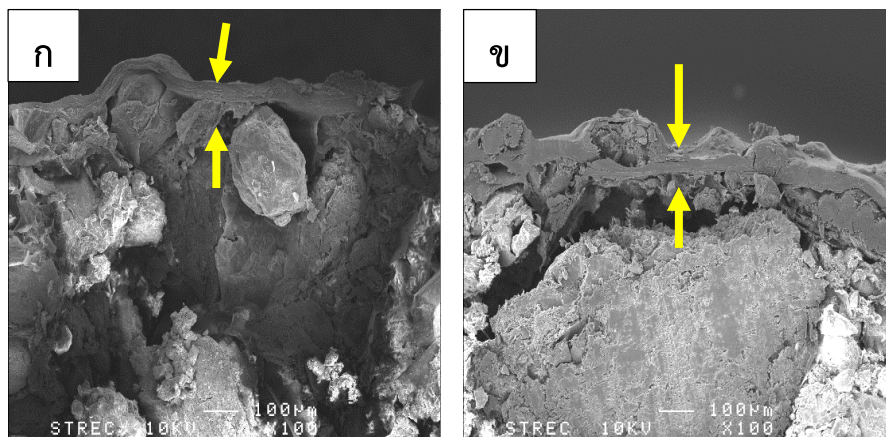
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของเม็ดตัวอย่าง

เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติโดยทั่วไปของเม็ดตัวอย่าง จึงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของเม็ดตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

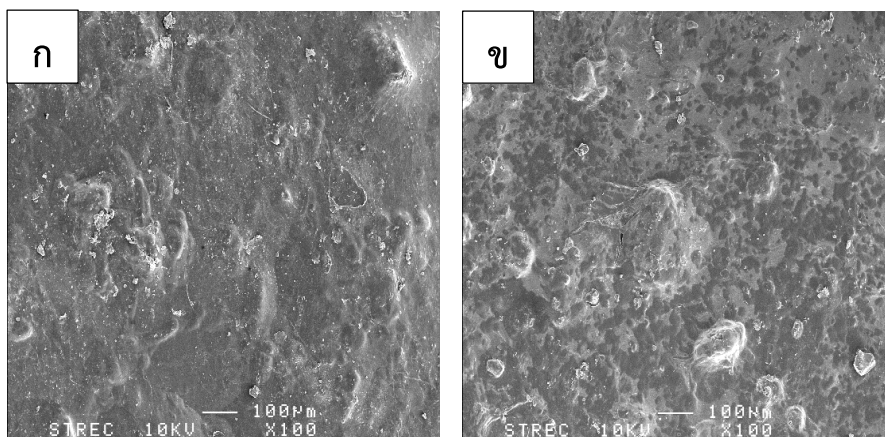
- ภาพตัดขวางและภาพพื้นผิวของเม็ดตัวอย่าง (Cross section and surface)
- ความเป็นรูพรุนและความหนาของชั้นผิวเคลือบ (Porosity and thickness)
- การศึกษาความทนทานต่อการกดอัดของเม็ดตัวอย่าง โดยเทคนิค Universal testing

4.1.1 ภาพตัดขวาง และภาพพื้นผิวของเม็ดตัวอย่าง (Cross-section and surface)

เพื่อให้ทราบลักษณะโดยทั่วไปของเม็ดตัวอย่างอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM) และอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาผสมปุ๋ยอินทรีย์ (AMF) จึงได้นำตัวอย่างไปทำการทดสอบโดยเทคนิค Scanning electron microscope (SEM) เพื่อให้เห็นชั้นของโซเดียมอัลจิเนตที่เคลือบอยู่ภายนอกตัวอย่าง และให้เห็นถึงพื้นผิวของเม็ดตัวอย่าง ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ภาพตัดขวาง (Cross section) ของเม็ดตัวอย่าง AM (ก.) และ AMF (ข.)



รูปที่ 4.2 ภาพพื้นผิว (Surface area) ของเม็ดตัวอย่าง AM (ก.) และ AMF (ข.)

จากรูปที่ 4.1-ก และ ข จะแสดงให้เห็นถึงชั้นความหนาของโซเดียมอัลจิเนตที่เคลือบอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด ได้อย่างชัดเจน ซึ่งมีความหนาเท่ากับ 100 ไมโครเมตร และจากรูปที่ 4.2-ก และ ข จะเห็นว่าลักษณะพื้นผิวของเม็ดตัวอย่างมีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยที่รูป 4.2-ข จะมีลักษณะของจุดดำๆ ที่เห็นได้ชัด เนื่องจาก องค์ประกอบของเม็ดตัวอย่างชนิดนั้น มีปุ๋ยอินทรีย์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งมีลักษณะเป็นสีดำ ทำให้เมื่อทำการทดสอบด้วยเทคนิค SEM จึงทำให้สามารถเห็นได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางภายนอกของเม็ดตัวอย่างทั้งสองชนิด ที่

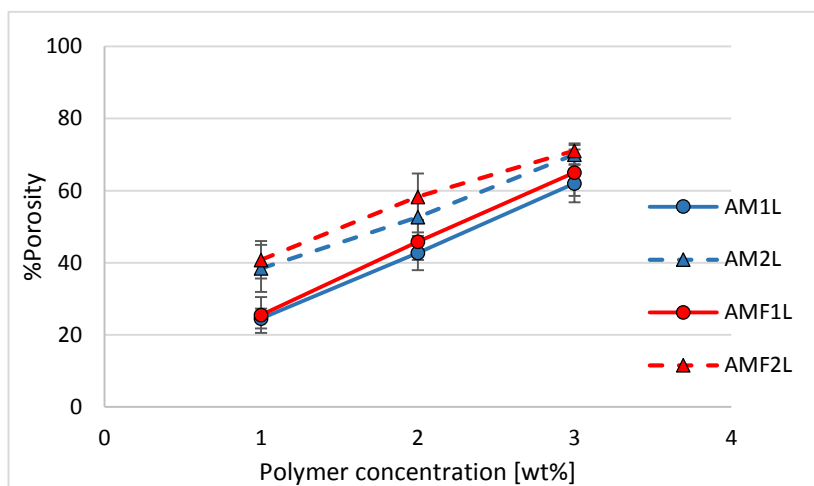


รูปที่ 4.3 ลักษณะทางภายนอกของเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนต 1(1L)

และ 2(2L) ชั้น ที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

4.1.2 ความเป็นรูพรุน (Porosity)

เนื่องจากความเป็นรูพรุนของเม็ด เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการทดลองในการหาค่าการปลดปล่อยสารอาหารที่อยู่ภายในเม็ดตัวอย่าง ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เปรอเซ็นต์ความเป็นรูพรุนของเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปรอเซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

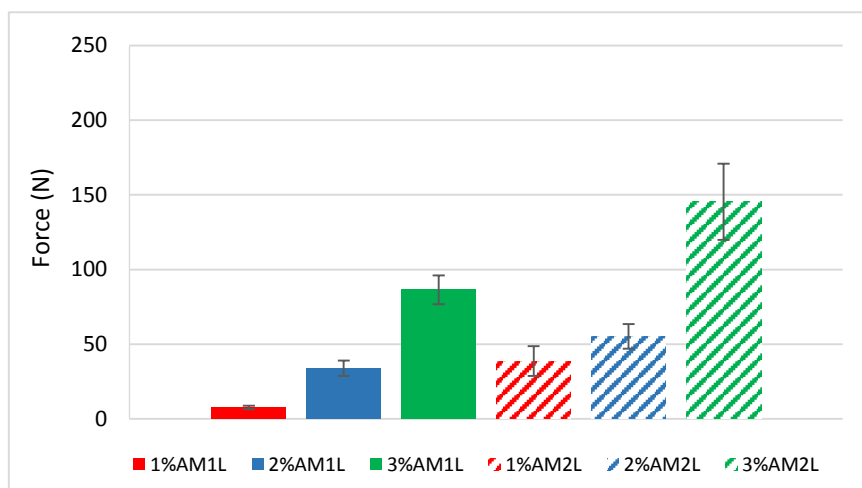
จากรูปที่ 4.4 พบว่าค่าความเป็นรูพรุนของเม็ดตัวอย่าง จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินต ในการเปรียบเทียบระหว่างเม็ดตัวอย่างอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และเม็ดตัวอย่างอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาผสมปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นรูพรุนมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน หรือแทบจะไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเคลือบ 1 ชั้น และการเคลือบ 2 ชั้น เปรอเซ็นต์ความเป็นรูพรุนจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งความเป็นรูพรุนนี้จะมีผลต่อการแพร่ของสารทั้งจากภายนอกเข้าสู่ภายใน และจากภายในสู่ภายนอก

4.1.3 การศึกษาความทนทานต่อการกัดกร่อนของเม็ดตัวอย่าง

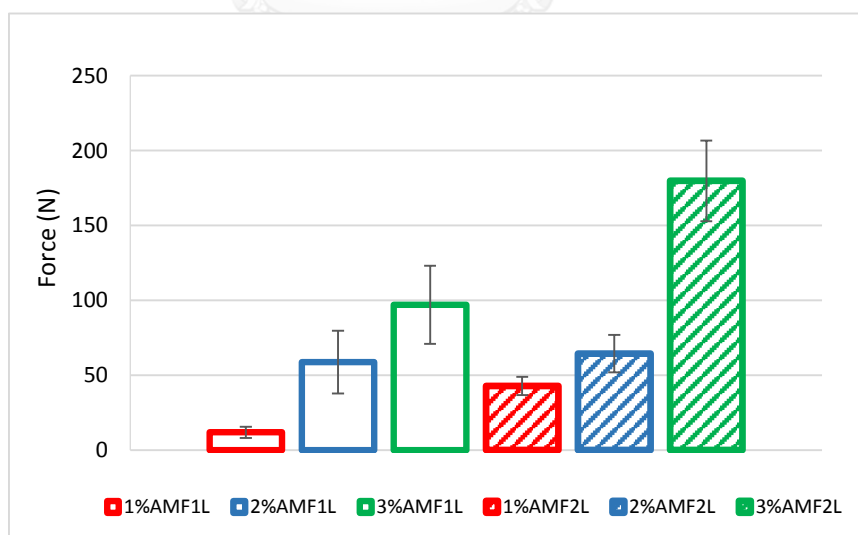
เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงของเม็ดตัวอย่างทั้ง 12 ชนิด โดยแบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือเปรียบเทียบความแข็งแรงของเม็ดตัวอย่างอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และเม็ดตัวอย่างอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาผสมปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งตัวอย่างทั้งสองมีความเข้มข้นของสารเคลือบที่ต่างกัน 3 ค่า ได้ผลดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

จากรูปที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบที่จำนวนชั้นในการเคลือบเท่ากัน พบว่าค่าความต้านทานต่อการกัดกร่อน จะเพิ่มขึ้น ตามความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินตที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินตเท่ากัน จะเห็นว่าเม็ดตัวอย่างที่มีการเคลือบ 2 ชั้น จะมีค่าความต้านทาน

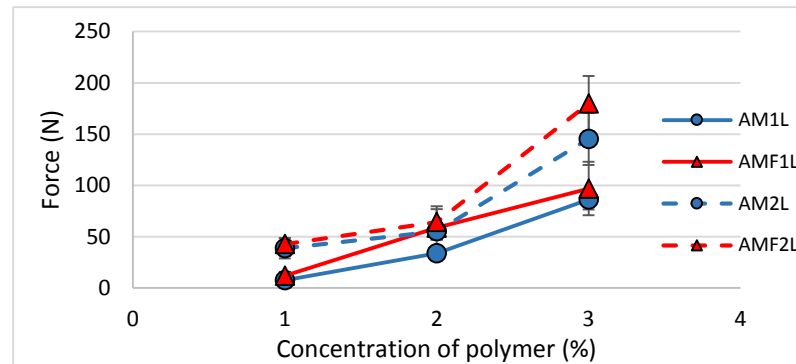
การกดอัดที่มากกว่าการเคลือบเพียงชั้นเดียว และจากรูปที่ 4.6 พบว่าค่าความต้านทานต่อการกดอัดของเม็ดตัวอย่าง AMF ที่มีการเคลือบเพียง 1 ชั้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการเคลือบ 2 ชั้นก็ให้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบที่ค่าความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตเดียวกัน พบว่าค่าความต้านทานการกดอัดของเม็ดตัวอย่าง AMF จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ได้ผลดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.5 ค่าความต้านทานต่อการกดอัดของเม็ดตัวอย่าง AM ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น



รูปที่ 4.6 ค่าความต้านทานต่อการกดอัดของเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

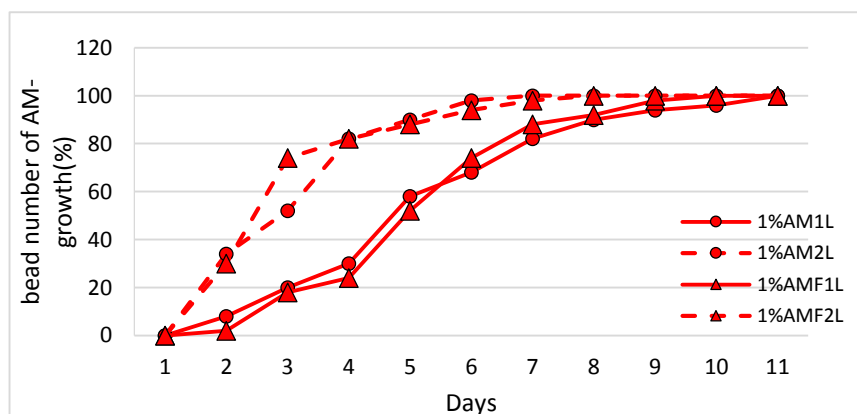


รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อการกดอัดของเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนต ที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเม็ดตัวอย่าง AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนต 1 ชั้น ที่ทุกๆความเข้มข้น จะมีค่าความต้านทานการกดอัดสูงกว่า เม็ดตัวอย่าง AM และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเม็ดตัวอย่าง ที่มีการเคลือบ 2 ชั้น พบว่าได้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกับเม็ดตัวอย่างที่มีการเคลือบ 1 ชั้น

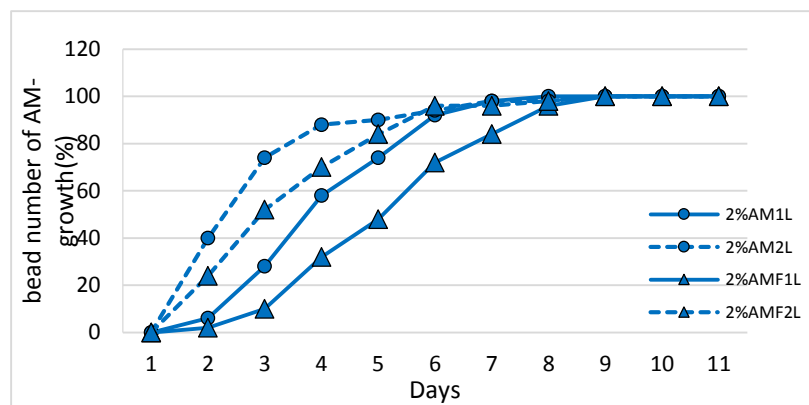
4.2 เปอร์เซ็นต์การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

โดยทั่วไป เทคนิคการเคลือบ(Encapsulation) ทางด้านเกษตรกรรม จะนิยมใช้เพื่อช่วยชะลออัตราการปลดปล่อยของธาตุอาหารภายในสู่ภายนอก ในทำนองเดียวกัน น้ำ หรือออกซิเจนที่อยู่ภายนอก ก็จะถูกจำกัดปริมาณที่จะเข้าไปภายในเม็ดได้เช่นกัน ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงผลของการเคลือบที่มีต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จึงได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ตามความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตที่ต่างกัน คือ 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และได้แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.8 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

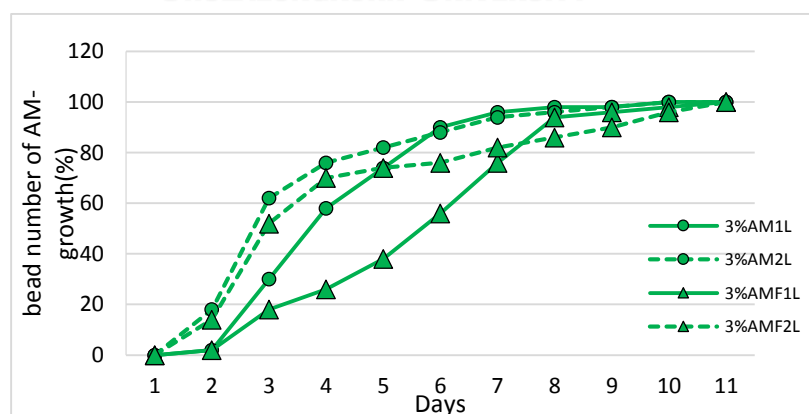


รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

จากรูปที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบที่วันเดียวกัน จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จาก เม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่มีการเคลือบ 2 ชั้น จะมีค่าที่สูงกว่าเม็ดตัวอย่างที่มีการเคลือบเพียงชั้นเดียว ทั้งนี้เนื่องมาจาก การเคลือบ 2 ชั้น มีผลให้ความหนาของชั้นฟิล์มอัลจิเนตมากกว่าการเคลือบเพียงชั้นเดียว จึงทำให้ไซโตเดียมอัลจิเนตสามารถดูดซับน้ำได้ในปริมาณที่มากกว่า ซึ่งส่งผลให้เชื้อราที่อยู่ภายในเม็ดตัวอย่างมีปริมาณที่พอเหมาะต่อการเจริญเติบโตมากกว่า ทำให้มีอัตราการงอกที่สูงกว่าตามไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบที่เม็ดเคลือบต่างชนิดกัน จะพบว่าการเคลือบด้วยไซโตเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้นเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวได้คือ การใช้ไซโตเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลต่ออัตราการงอก หรือการเจริญเติบโตของเชื้อราภายในเม็ดตัวอย่าง

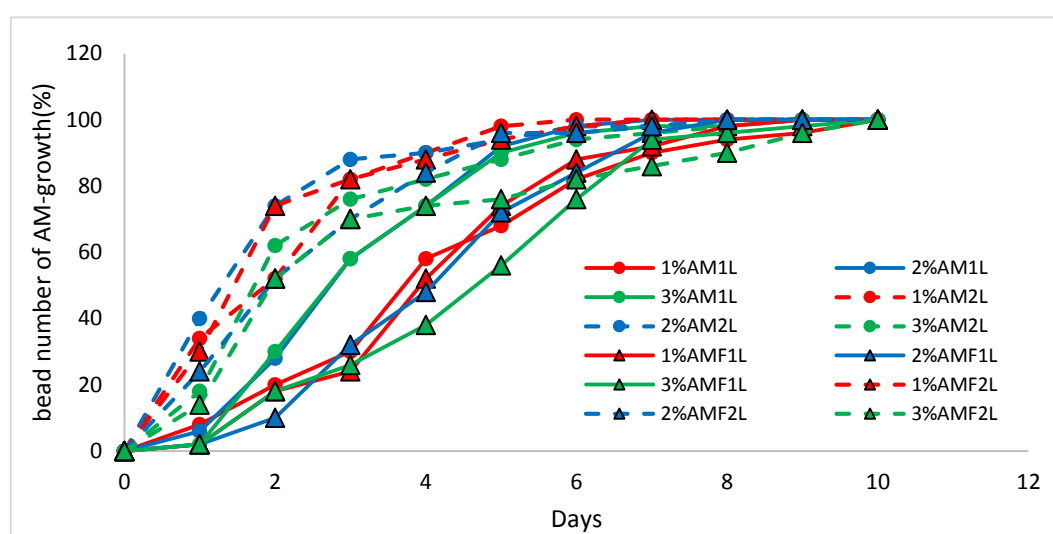


รูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น



รูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 จะพบว่ากราฟมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับรูปที่ 4.8 คือเม็ดตัวอย่างที่มีการเคลือบ 2 ชั้น จะมีเปอร์เซ็นต์การงอกที่สูงกว่าเม็ดตัวอย่างที่มีการเคลือบ 1 ชั้น เมื่อเปรียบเทียบที่ตำแหน่งเดียวกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบที่เม็ดตัวอย่างต่างชนิดกัน แต่จำนวนชั้นเคลือบเท่ากัน จะเห็นว่าเม็ดตัวอย่าง AM จะมีเปอร์เซ็นต์การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่สูงกว่า เม็ดตัวอย่าง AMF เนื่องจากในเม็ดตัวอย่าง AM มีปริมาณของเชื้อราที่มากกว่าในเม็ดตัวอย่าง AMF และเมื่อเรานำเม็ดตัวอย่างที่เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้นต่างกันมาเปรียบเทียบกัน จะได้ผลดังรูปที่ 4.11



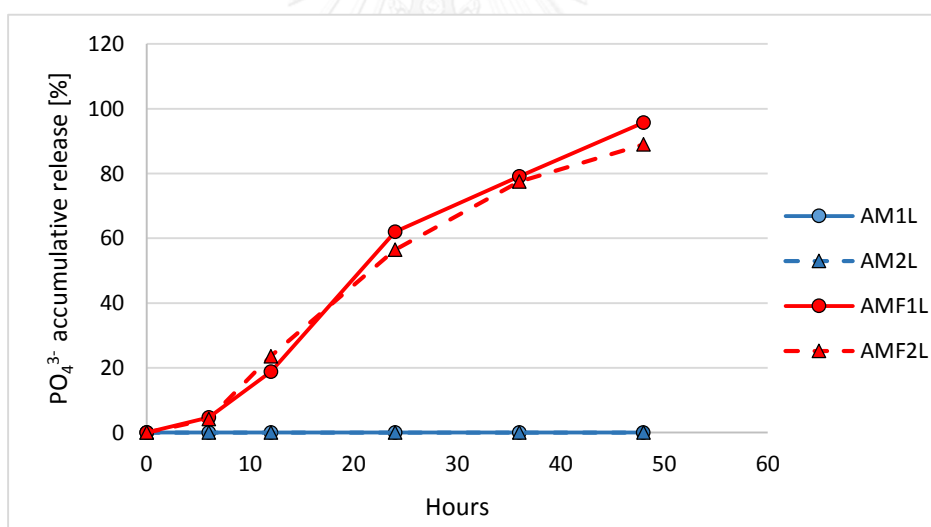
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

จากรูปที่ 4.11 จะพบว่าเม็ดตัวอย่างที่เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์จะมีเปอร์เซ็นต์การงอกของเชื้อราที่สูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีปริมาณการดูดซับน้ำที่สูงกว่า ถึงแม้ว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของฟิล์มอัลจิเนต จะแปรผันตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น แต่จากการทดลองจะพบว่า การเคลือบโซเดียมอัลจิเนตเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ เม็ดตัวอย่างจะมีเปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราที่ต่ำกว่าเพราะโครงสร้างที่หนาแน่นของฟิล์มอัลจิเนต จะไปจำกัดการถ่ายเทออกซิเจนจากภายนอก สู่ภายในเม็ดตัวอย่าง ทำให้เชื้อราภายในเม็ดไม่ได้รับออกซิเจนที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต จึงทำให้การเคลือบเม็ดตัวอย่างด้วยโซเดียมอัลจิเนตเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การงอกของเชื้อราที่ดีที่สุด

นอกจากนี้ ได้แสดงภาพตัวอย่างอย่างงอกของเชื้อรา จากเมล็ดตัวอย่างอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ผสมปุ๋ยอินทรีย์ ที่เคลือบด้วยโซเดียมอัลจิเนต 1 และ 2 ชั้น ที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ ข.6 ถึง ข.11

4.3 อัตราการปลดปล่อยสารอาหาร ไนโตรเจน (NO_3^-) ฟอสฟอรัส (PO_4^{3-}) โพแทสเซียม (K^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และแคลเซียม (Ca^{2+})

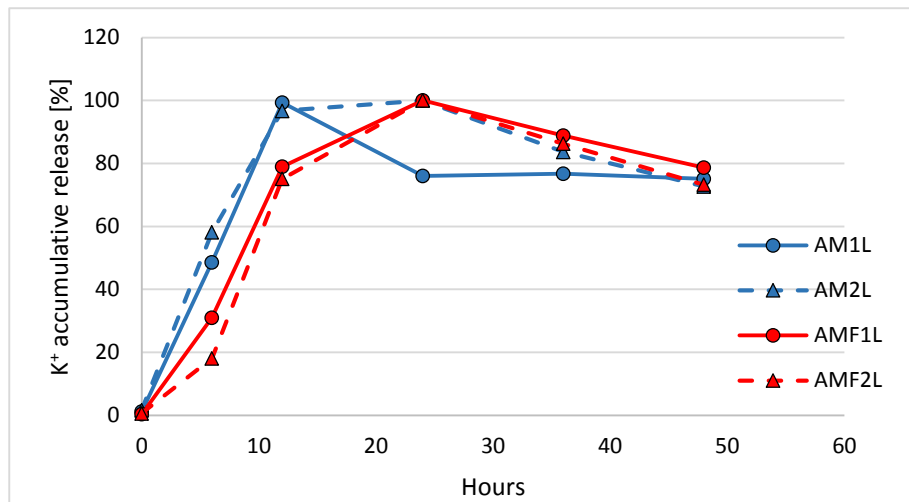
เพื่อให้ทราบถึงปริมาณของสารอาหารที่สามารถปลดปล่อยออกมาจากเม็ด และให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเม็ดตัวอย่างที่เหมาะสมกับการใช้งานทางด้านเกษตรกรรม เนื่องจากสารอาหารภายในเม็ด สามารถตรงผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยสารอาหารที่ทำการศึกษาคือ ไนโตรเจน โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟอสฟอรัส เนื่องจากเป็นสารอาหารที่มีอยู่ในธรรมชาติหน้อย เพียง 10^{-5} โมลาร์ ซึ่งถ้ามีปริมาณที่น้อยกว่านี้ จะทำให้พืชไม่สามารถดูดซับฟอสฟอรัสในดินไปใช้งานได้ ทำให้พืชแสดงอาการขาดฟอสฟอรัส[39] และในการทดลองนี้ ได้ศึกษาเฉพาะเม็ดตัวอย่างที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนต ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.12 4.13 4.14 4.15 และ 4.16



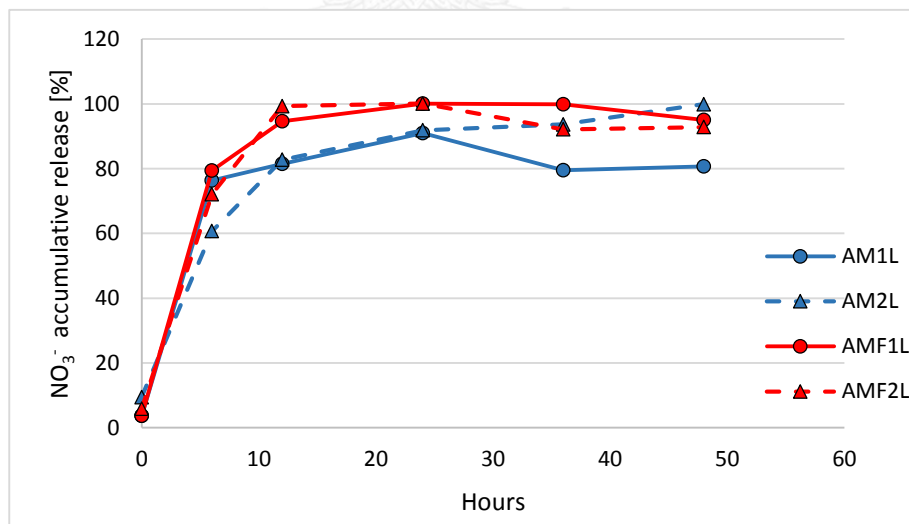
รูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยฟอสฟอรัส จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนต ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวน 1 และ 2 ชั้น

จากรูปที่ 4.12 จะพบว่าค่าการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่อยู่ภายในเม็ดตัวอย่าง AMF มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเม็ดตัวอย่าง AM จะพบว่าเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยฟอสฟอรัสมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากเป็นเม็ดตัวอย่างที่ไม่มีส่วนประกอบของปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลทางวิชาการที่ระบุว่า ในดินมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยมาก เมื่อเทียบกับสารอาหารชนิดอื่น[39]

จากรูปที่ 4.13 พบว่าเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยโพแทสเซียมจากเม็ดตัวอย่างทั้งสองชนิด มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน โดยเม็ดตัวอย่างทั้งสองชนิดจะมีค่าการปลดปล่อยที่มากที่สุดอยู่ระหว่าง 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ แต่จะต่างกันที่ระยะว่าในการปลดปล่อย โดยที่เม็ดตัวอย่าง AM จะมีค่าสูงสุดในชั่วโมงที่ 12 และเม็ดตัวอย่าง AMF จะมีค่าสูงสุดในชั่วโมงที่ 24



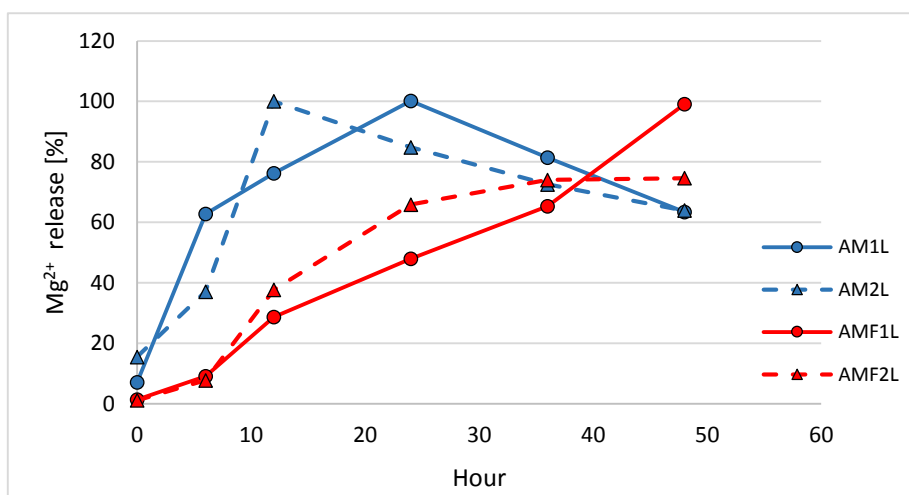
รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยโพแทสเซียม จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินต ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวน 1 และ 2 ชั้น



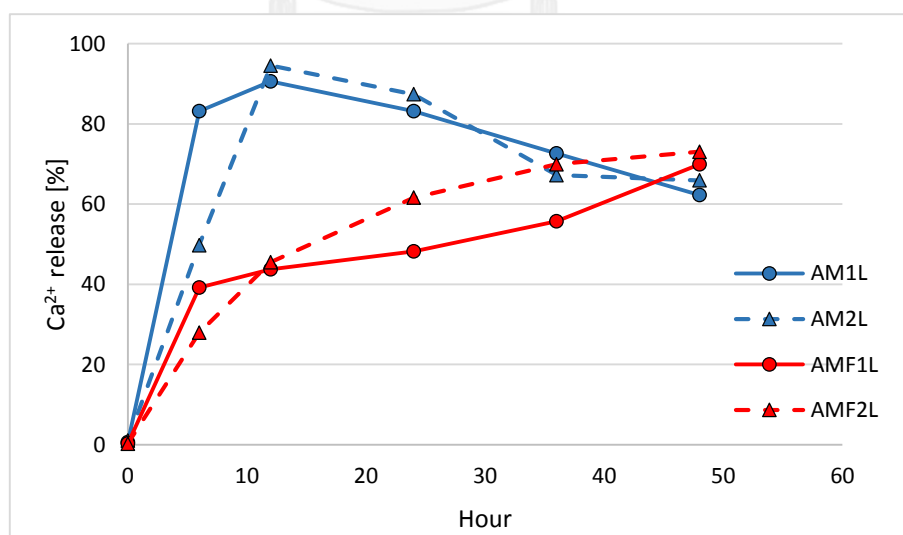
รูปที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยไนโตรเจน จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินต ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวน 1 และ 2 ชั้น

จากรูปที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยไนโตรเจนของเม็ดตัวอย่างทั้งสองชนิด มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก โดยมีเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยสูงสุดอยู่ระหว่าง 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมง 12 จากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ไปจนถึงชั่วโมงที่ 48 จึงค่อยๆลดลง

สารอาหารที่สำคัญรองลงมาจาก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นสารอาหารหลักที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต คือ แมกนีเซียม และ แคลเซียม แสดงผลดังรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยแมกนีเซียม จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินต ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวน 1 และ 2 ชั้น

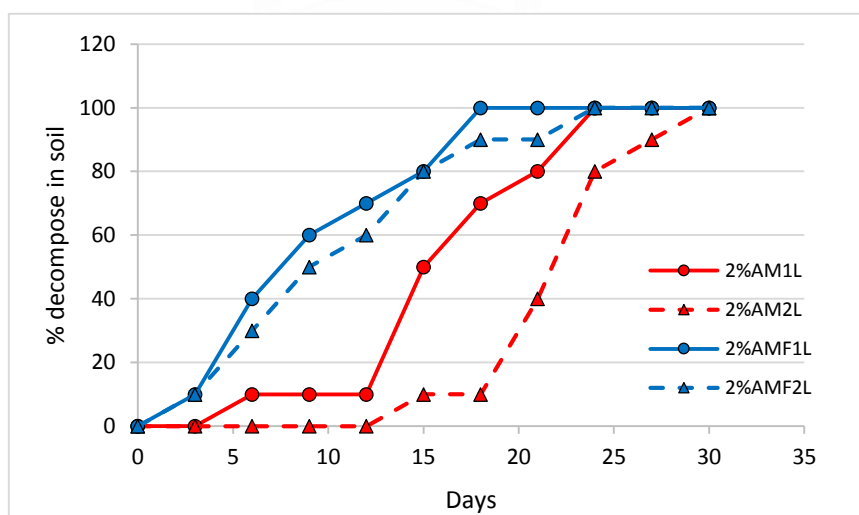


รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยแคลเซียม จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินต ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวน 1 และ 2 ชั้น

จากรูปที่ 4.15 พบว่าเปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยแอมโมเนียของเม็ดตัวอย่างที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนต 2 ชั้น จะมีค่าที่สูงกว่าเม็ดตัวอย่างที่เคลือบเพียง 1 ชั้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นรูพรุนที่ได้กล่าวมาข้างต้น คือการเคลือบ 2 ชั้น จะมีความเป็นรูพรุนที่มากกว่าการเคลือบ 1 ชั้น ทำให้น้ำที่อยู่ภายนอกเม็ดสามารถเข้าไปภายในเม็ดได้ในปริมาณที่มากกว่า เมื่อเทียบที่ช่วงเวลาเดียวกัน จึงทำให้สารที่อยู่ภายในสามารถปลดปล่อยออกมาได้ในปริมาณที่มากกว่าเช่นกัน และจากรูปที่ 4.16 พบว่าหลังจากชั่วโมงที่ 12 เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยแคลเซียม จากเม็ดตัวอย่าง AM มีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ ซึ่งขัดแย้งกับเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เปอร์เซ็นต์การปลดปล่อยแคลเซียมมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเม็ดตัวอย่างทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบที่ต่างกันอย่างหนึ่ง คือ ปุ๋ยอินทรีย์ จึงสามารถสรุปได้ว่า เม็ดตัวอย่างที่มีส่วนประกอบของปุ๋ยอินทรีย์ จะมีปริมาณสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชมากกว่าเม็ดตัวอย่างที่ไม่มีส่วนประกอบของปุ๋ยอินทรีย์

4.4 การย่อยสลายของเม็ดตัวอย่างในวัสดุธรรมชาติ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการทำเกษตรกรรม ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งาน จึงได้มีการทดสอบการย่อยสลายทางธรรมชาติของเม็ดตัวอย่าง เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการใช้งานจริง โดยงานในส่วนนี้ ได้เลือกศึกษาเฉพาะเม็ดตัวอย่างที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนต ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเป็นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นที่มีค่าที่เหมาะสมที่สุดต่อการงอกของเชื้อรา ซึ่งในการทดลองนี้ ได้นำเม็ดตัวอย่างไปฝังลงในดินที่ใช้ในการเพาะปลูก แล้วศึกษาอัตราการย่อยสลายของเม็ดใน 1 เดือน และได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนต ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จำนวน 1 และ 2 ชั้น

จากรูปที่ 4.17 พบว่าการย่อยสลายของเม็ดตัวอย่างทั้งสองชนิดที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินต 1 ชั้น จะมีเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าการเคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตเพียงชั้นเดียว เนื่องจากการเคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตเพียง 1 ชั้น จะมีความหนาของชั้นฟิล์มอัลจินต ที่ต่ำกว่าการเคลือบ 2 ชั้น ทำให้จุลินทรีย์ หรือ แบคทีเรีย ที่อยู่ภายในดิน สามารถย่อยสลายฟิล์มอัลจินตได้ดีกว่า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF จะพบว่าเม็ดตัวอย่างเม็ดตัวอย่าง AMF มีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายทางธรรมชาติที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบที่เวลาเดียวกัน



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในส่วนของการทดลองนี้ บทสรุปจะประกอบด้วย ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต จำนวนชั้นในการเคลือบที่เหมาะสมต่อการใช้งานเม็ดตัวอย่าง และเม็ดตัวอย่างที่เหมาะสมต่อการใช้งานทางด้านเกษตรกรรม

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่พัฒนาประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เพื่อให้สามารถทนทานต่อความแห้งแล้งได้ โดยเลือกนำเทคนิคการเคลือบ(Encapsulation) มาใช้ เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย และมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน โดยโพลิเมอร์ที่นำมาศึกษาคือ โซเดียมอัลจิเนต เนื่องจากเป็นโพลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ นิยมใช้งานกับสิ่งมีชีวิต และย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยความเข้มข้นที่ศึกษามีทั้งหมด 3 ระดับ คือ 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และจากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดต่อการใช้งาน คือ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจาก เชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด และอีกตัวแปรที่ทำการศึกษาคือจำนวนชั้นในการเคลือบที่เหมาะสม โดยแบ่งออก 1 และ 2 ชั้น ซึ่งเมื่อสังเกตจากค่าการปลดปล่อยสารอาหารระหว่างการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้นพบว่า ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้การเคลือบ 1 ชั้น เป็นทางเลือกที่เหมาะสมต่อการใช้งานทางด้านนี้

นอกจากนี้เม็ดตัวอย่างที่นำมาเปรียบเทียบกันในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เม็ดตัวอย่างที่มีส่วนประกอบของปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นส่วนประกอบเพียงอย่างเดียว และอีกชนิดคือ เม็ดตัวอย่างที่มีส่วนประกอบของปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นส่วนประกอบ ซึ่งพบว่า ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ในเม็ดตัวอย่าง ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเม็ดตัวอย่างที่ใช้ในการทำงานวิจัยนี้ มาจากการใช้เครื่องอัดยา ซึ่งต้องทำการอัดด้วยมือ อาจทำให้เม็ดตัวอย่างที่ได้ มีขนาดและน้ำหนักที่ไม่เท่ากัน ซึ่งอาจส่งผลต่อการทดลองในหัวข้ออื่นๆได้

รายการอ้างอิง

- [1] ส. อ. 2015, "สรุปสถานการณ์ช่วงฤดูแล้งปี 2556/2557 (พฤศจิกายน 2556 - เมษายน 2557)," <http://www.thaiwater.net/current/drought57/drought57.html>.
- [2] M. He and F. A. Dijkstra, "Drought effect on plant nitrogen and phosphorus: a meta-analysis," *New Phytol*, vol. 204, pp. 924-31, Dec 2014.
- [3] M. Brundrett, "Mycorrhizas in Natural Ecosystem," *ADVANCES IN ECOLOGICAL RESEARCH*, vol. 21, pp. 171-313, 2009.
- [4] M. J. Harrison, "A Phosphate Transporter from *Medicago truncatula* Involved in the Acquisition of Phosphate Released by Arbuscular Mycorrhizal Fungi," *The Plant Cell Online*, vol. 14, pp. 2413-2429, 2002.
- [5] J. Meesumlee and T. Intala, "Effect of phosphorus in Arbuscular mycorrhizal fungi dependency for growth and yield of chili," *Khon Kaen Agriculture*, vol. 43, pp. 343-352, 2015.
- [6] S. E. Smith and D. J. Read, "Mycorrhizal Symbiosis 2nd," 1997.
- [7] P. Poomipan, "Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant, Soil and Environment," *Thai Journal of Science and Technology*, pp. 92-101, 2013.
- [8] Q. S. Wu and Y. N. Zou, "Mycorrhiza has a direct effect on reactive oxygen metabolism of drought-stressed citrus," *Plant Soil Environ*, vol. 55, pp. 436-442, 2009.
- [9] A. Jarosiewicz and M. Tomaszewska, "Controlled release NPK fertilizer encapsulate by polymeric membranes," *Journal of Agricultural and Food chemistry*, vol. 51, pp. 413-417, 2003.
- [10] X. Han, S. Chen, and X. Hu, "Controlled-release fertilizer encapsulated by starch/polyvinyl alcohol coating," *Desalination*, vol. 240, 2009.
- [11] R. P. John, R. D. Tyagi, S. K. Brar, R. Y. Surampalli, and D. Prevost, "Bio-encapsulation of microbial cells for targeted agricultural delivery," *Crit Rev Biotechnol*, vol. 31, pp. 211-26, Sep 2011.
- [12] M. Tomaszewska and A. Jarosiewicz, "Encapsulation of mineral fertilizer by polysulfone using a spraying method," *Desalination*, vol. 198, pp. 346-352, 2006.

- [13] A. Nussinovitch, "Bead Formation, Strengthening, and Modification," in *Polymer Macro- and Micro-Gel Beads*, ed, 2010, pp. 27-52.
- [14] K. Y. Lee and D. J. Mooney, "Alginate: properties and biomedical applications," *Prog Polymer Science*, vol. 37, pp. 106-126, Jan 2012.
- [15] N. Boonkerd, N. Taeumroong, and P. Titrabutr, "Bio-Fertilizer," 2013.
- [16] M. Brundrett, "Arbuscular mycorrhizal " <http://mycorrhizas.info/resource.html#photos>, 2012.
- [17] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน ฉบับที่ 18 เรื่องที่ 8 ดินและปุ๋ย [Online].
- [18] B. A. Harrington and G. S. Humphreys, "Plant accessible phosphorus as a discriminator of native vegetation in the upper Blue Mountain," 2004.
- [19] E. A. Drew, R. S. Murray, S. E. Smith, and I. Jakobsen, "Beyond the rhizosphere growth and function of arbuscular mycorrhizal external hyphae in sands of varying pore size," *Plant and Soil*, vol. 251, pp. 105-114, 2003.
- [20] M.-A. Selosse and F. Rousset, "The Plant-Fungal Marketplace," *Sciencemag*, vol. 333, 2011.
- [21] P. Poomipan, A. Suwanarit, P. Suwanarit, O. Nopamornbodi, and B. Dell, "Reintroduction of a native *Glomus* to a tropical Ultisol promoted grain yield in maize after fallow and restored the density of arbuscular mycorrhizal fungal spores," *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, vol. 174, pp. 257-268, 2011.
- [22] J. Kong, Z. Pei, M. Du, G. Sun, and X. Zhang, "Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the drought resistance of the mining area repair plant Sainfoin," *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 24, pp. 485-489, 2014.
- [23] Q.-S. Wu, Y.-N. Zou, and X.-H. He, "Differences of hyphal and soil phosphatase activities in drought-stressed mycorrhizal trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata*) seedlings," *Scientia Horticulturae*, vol. 129, pp. 294-298, 2011.
- [24] T. Leawsiripong and W. Nuangmek, "Application of Arbuscular mycorrhizal fungi for improve soil quality and downy mildew resistance in cucumber," *Phayao Research Conference*, vol. 1, pp. 80-86.

- [25] J. M. Ruiz-Lozano, C. Collados, J. M. Barea, and R. Azcon, "Arbuscular mycorrhizal symbiosis can alleviate drought-Induced nodule senescence in soybean plants," *The new phytologist* vol. 151, pp. 493-502, 2001.
- [26] G. N. Al-Karaki and A. Al-Raddad, "Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress on growth and nutrient uptake of two wheat genotypes differing in drought resistance," *Mycorrhiza*, vol. 7, pp. 83-88, 1997.
- [27] S. Mazzitelli, M. Borgatti, G. Breveglieri, R. Gambari, and C. Nastruzzi, "Encapsulation of eukaryotic cells in alginate microparticles: cell signaling by TNF-alpha through capsular structure of cystic fibrosis cells," *J Cell Commun Signal*, vol. 5, pp. 157-65, Jun 2011.
- [28] L. Herrmann and D. Lesueur, "Challenges of formulation and quality of biofertilizers for successful inoculation," *Appl Microbiol Biotechnol*, vol. 97, pp. 8859-73, Oct 2013.
- [29] N. De Jaeger, I. E. de la Providencia, H. Rouhier, and S. Declerck, "Co-entrapment of *Trichoderma harzianum* and *Glomus* sp. within alginate beads: impact on the arbuscular mycorrhizal fungi life cycle," *J Appl Microbiol*, vol. 111, pp. 125-35, Jul 2011.
- [30] V. Nedovic, A. Kalusevic, V. Manojlovic, S. Levic, and B. Bugarski, "An overview of encapsulation technologies for food applications," *Procedia Food Science*, vol. 1, pp. 1806-1815, 2011.
- [31] M. Durante, M. S. Lenucci, B. Laddomada, G. Mita, and S. Caretto, "Effects of sodium alginate bead encapsulation on the storage stability of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) bran oil extracted by supercritical CO₂," *J Agric Food Chem*, vol. 60, pp. 10689-95, Oct 24 2012.
- [32] Y. He, Z. Wu, L. Tu, Y. Han, G. Zhang, and C. Li, "Encapsulation and characterization of slow-release microbial fertilizer from the composites of bentonite and alginate," *Applied Clay Science*, vol. 109-110, pp. 68-75, 2015.
- [33] M. Tomaszewska and A. Jarosiewicz, "Use of Polysulfone in Controlled-Release NPK Fertilizer Formulations," *Journal of Agricultural and Food chemistry*, vol. 50, pp. 4634-4639, 2002.

- [34] S. Mandal, S. S. Kumar, B. Krishnamoorthy, and S. K. Basu, " Development and evaluation of calcium alginate beads prepared by sequential and simultaneous methods," *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 46, pp. 785-793, 2010.
- [35] Z. Wu, L. Guo, and S. Qin, "Encapsulation of *R. planticola* Rs-2 from alginate-starch-bentonite and its controlled released and swelling behavior under simulated soil conditions," *J Ind Microbial Biotechnol*, vol. 39, pp. 317-327, 2012.
- [36] J. W. Bennett, A. J. Turner, A. K. Lomis, and W. J. Connick, "Comparision of alginate and Pesta for formation of *Phanerochaete chrysosporium*," *Biotechnology Techniques*, vol. 10, pp. 7-12, 1996.
- [37] M. E. Gonzalez, M. Cea, J. Medina, A. Gonzalez, M. C. Diez, P. Cartes, *et al.*, " Evaluation of biodegradable polymer as encapsulating agents for the development of a urea controlled-release fertilizer using biochar as support material," *Science of the Total Environment*, vol. 505, pp. 446-453, 2015.
- [38] B. Singh, D. K. Sharma, R. Kumar, and A. Gupta, "Controlled release of the fungicide thiram from starch-alginate-clay based formulation," *Applied Clay Science*, vol. 45, pp. 76-82, 2009.
- [39] M.-S. A. center, "Phosphorus in soil and phosphorus fertilizer," A. Production, Ed., ed. Mae Jo University, pp. 1-33.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

AM	=	เข็มนาฬิกาแบบสุญญากาศไมโครโรเซา
AMF	=	เข็มนาฬิกาแบบสุญญากาศไมโครโรเซาผสมปุ๋ยอินทรีย์
1L	=	เคลือบ 1 ชั้น
2L	=	เคลือบ 2 ชั้น
1%,2%,3%	=	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของฟิล์มอัลจิเนต โดยน้ำหนัก



ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการทดลอง และการคำนวณ

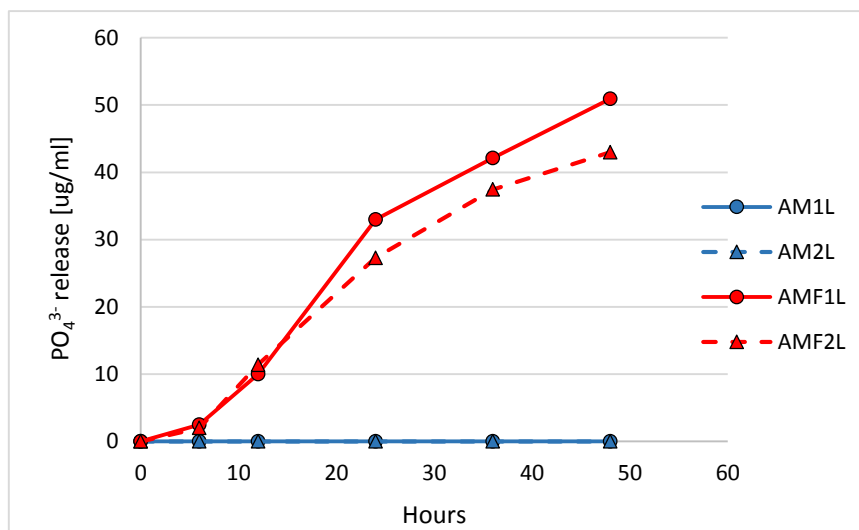
1) ความทนทานการกัดกัดของเม็ดตัวอย่าง

ตารางที่ ข.1 ค่าความทนทานต่อการกัดกัดของเม็ดตัวอย่าง AM ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

Sample	Force(N)					
	1%AM 1L	1%AM 2L	2%AM 1L	2%AM 2L	3%AM 1L	3%AM 2L
1	7.7620	43.1490	41.4875	46.4150	73.5500	169.7750
2	7.2560	21.4920	42.2525	51.2575	97.0750	101.1250
3	5.7370	30.1930	41.3875	64.6000	88.3500	171.0250
4	9.8900	36.1880	38.6900	65.3250	83.6000	135.7750
5	7.1550	43.9230	30.4900	50.8900	92.3750	132.3750
6	8.1471	46.6300	44.1925	46.9800	95.5250	166.0750
7	8.0660	49.3370	33.0850	60.9525	74.0750	141.4500
mean	7.7162	38.7017	33.8812	55.2029	86.36429	145.3714
S.D.	1.163707	9.9825	5.109566	8.193807	9.674568	25.54865

ตารางที่ ข.2 ค่าความทนทานต่อการกัดกัดของเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

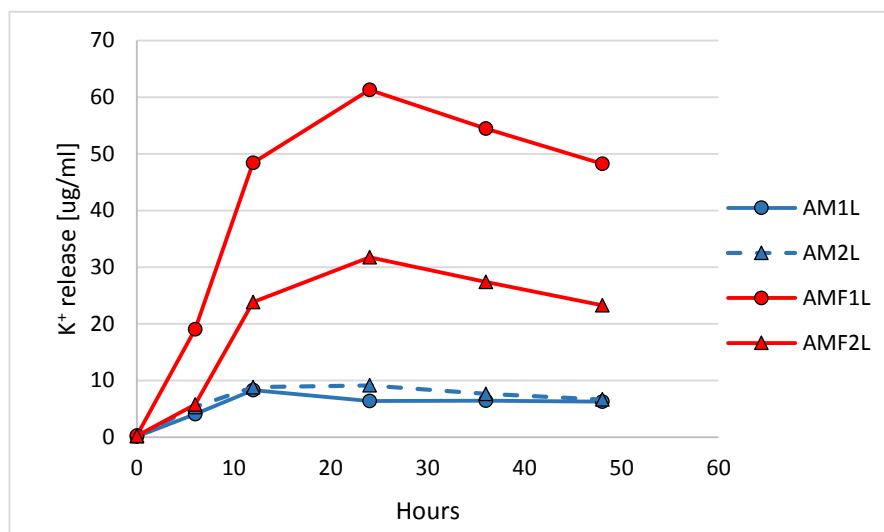
Sample	Force(N)					
	1%AMF 1L	1%AMF 2L	2%AMF 1L	2%AMF 2L	3%AMF 1L	3%AMF 2L
1	9.7500	45.7350	46.7875	49.6520	88.5500	169.8250
2	16.3475	42.6675	82.1250	66.2500	131.2000	170.5250
3	7.2675	39.1550	32.1875	58.8020	73.0750	164.8250
4	9.0025	30.3575	82.3500	64.9500	79.6500	220.4500
5	16.5425	47.1550	64.5000	78.5750	134.7000	216.5750



รูปที่ ข.1 อัตราการปลดปล่อยของฟอสฟอรัส จากเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

ตารางที่ ข.4 ค่าอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม ซึ่งวัดในรูปของ K⁺ จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น

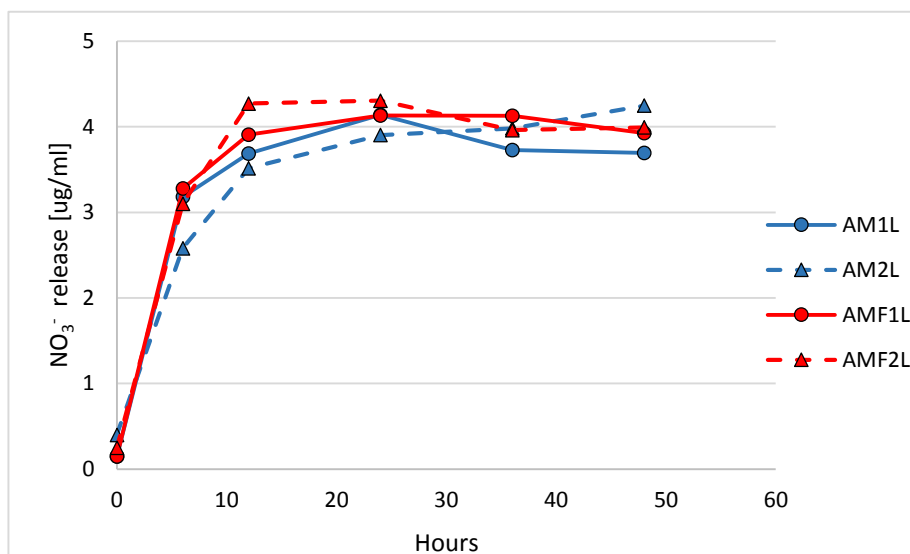
Hour	AMF1L			AMF2L		
	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average
0	0.20	0.30	0.25	0.10	0.30	0.20
6	12.10	25.90	19.00	6.40	5.10	5.75
12	43.50	45.70	48.40	20.00	25.40	23.85
24	54.40	48.80	61.28	24.10	29.90	31.77
36	44.80	39.60	54.46	19.40	22.70	27.40
48	40.90	33.80	48.24	17.60	18.00	23.28
Hour	AM1L			AM2L		
	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average
0	0.00	0.20	0.1	0.10	0.20	0.15
6	1.00	7.10	4.07	5.00	5.60	5.30
12	7.50	7.50	8.31	8.20	7.30	8.81
24	6.90	2.50	6.36	8.80	5.90	9.11
36	5.20	5.10	6.42	6.90	4.70	7.62
48	5.10	4.90	6.38	9.50	0.70	6.62



รูปที่ ข.2 อัตราการปลดปล่อยของโพแทสเซียม จากเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

ตารางที่ ข.5 ค่าอัตราการปลดปล่อยไนโตรเจน ซึ่งวัดในรูปของ NO_3^- จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น

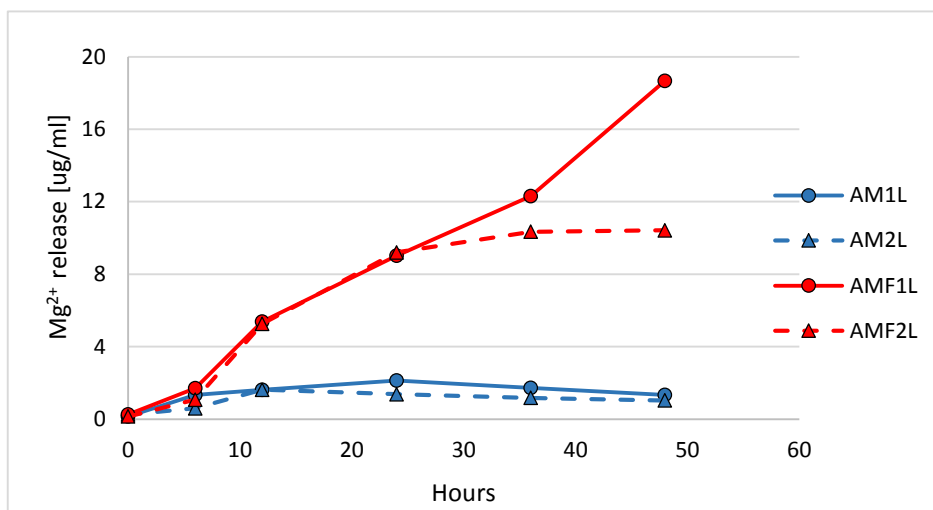
Hour	AMF1L			AMF2L		
	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average
0	0.20	0.10	0.15	0.30	0.20	0.25
6	3.50	3.00	3.28	3.80	2.30	3.10
12	3.70	2.80	3.91	3.70	3.60	4.27
24	3.50	3.20	4.13	3.80	3.10	4.30
36	3.40	3.20	4.13	3.10	3.10	3.96
48	3.30	2.90	3.93	2.80	3.60	3.99
Hour	AM1L			AM2L		
	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average
0	0.10	0.20	0.15	0.50	0.30	0.40
6	3.20	3.10	3.18	2.80	2.26	2.58
12	3.00	3.10	3.69	2.90	3.55	3.52
24	3.20	3.60	4.14	3.40	3.71	3.90
36	3.10	2.70	3.73	2.90	4.24	3.98
48	2.80	3.10	3.70	2.80	4.95	4.25



รูปที่ ข.3 อัตราการปลดปล่อยของไนโตรเจน จากเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

ตารางที่ ข.6 ค่าอัตราการปลดปล่อยแมกนีเซียม ซึ่งวัดในรูปของ Mg^{2+} จากเม็ดตัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น

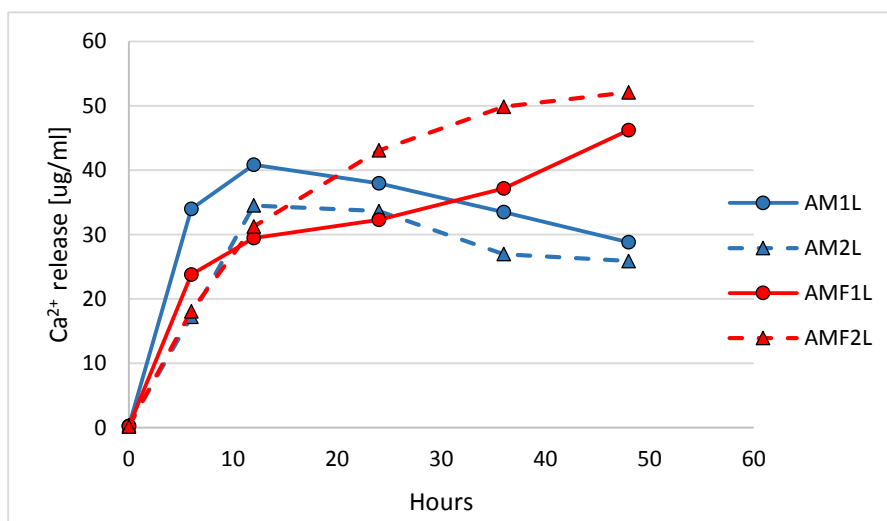
Hour	AMF1L			AMF2L		
	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average
0	0.10	0.30	0.20	0.2	0.10	0.15
6	18.20	29.0	23.79	18.40	17.70	18.08
12	25.00	24.40	29.46	26.90	28.40	31.27
24	25.50	2.90	32.29	34.60	39.10	43.10
36	30.30	31.10	37.16	43.70	38.80	49.87
48	38.10	39.50	46.23	45.20	39.10	52.12
Hour	AM1L			AM2L		
	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average
0	0.20	0.30	0.25	0.30	0.40	0.35
6	29.60	38.30	34.00	15.50	18.80	17.22
12	35.80	32.30	40.85	31.30	30.90	34.54
24	29.30	30.30	37.97	22.90	30.60	33.66
36	25.92	25.90	33.50	16.70	23.80	26.98
48	23.50	20.70	28.80	16.50	24.50	25.90



รูปที่ ข.4 อัตราการปลดปล่อยของแมกนีเซียม จากเม็دتัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

ตารางที่ ข.7 ค่าอัตราการปลดปล่อยแคลเซียม ซึ่งวัดในรูปของ Ca²⁺ จากเม็دتัวอย่าง AM และ AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น

Hour	AMF1L			AMF2L		
	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average
0	0.10	0.30	0.20	0.20	0.10	0.15
6	18.20	29.30	23.79	18.40	17.70	18.08
12	25.00	24.40	29.46	26.90	28.40	31.27
24	25.50	27.30	32.29	34.60	39.10	43.10
36	30.30	31.10	37.16	43.70	38.80	49.87
48	38.10	39.50	46.23	45.20	39.10	52.12
Hour	AM1L			AM2L		
	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average	R ₁ (ug/ml)	R ₂ (ug/ml)	Average
0	0.20	0.30	0.25	0.30	0.40	0.35
6	29.60	38.30	34.00	15.50	18.80	17.22
12	35.80	32.30	40.85	31.30	30.90	34.54
24	29.30	30.30	37.97	22.90	30.60	33.66
36	25.92	25.90	33.50	16.70	23.80	26.98
48	23.50	20.70	28.80	16.50	24.50	25.90



รูปที่ ข.5 อัตราการปลดปล่อยของแคลเซียม จากเม็دتัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

3) การคำนวณหาความเป็นรูพรุนของเม็دتัวอย่าง

$$\text{สูตร } \epsilon = \frac{\frac{W_w - W_d}{\rho_w}}{\frac{W_w - W_d}{\rho_w} + \frac{W_d}{\rho_p}} \times 100\%$$

โดยที่ W_w คือ น้ำหนักเปียกของเม็دتัวอย่าง(กรัม)

W_d คือ น้ำหนักแห้งของเม็دتัวอย่าง(กรัม)

ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (1กรัม/มิลลิลิตร)

ρ_p คือ ความหนาแน่นของโพลีเมอร์ (ความหนาแน่นของโซเดียมอัลจินต เท่ากับ 1.016 กรัม/มิลลิลิตร)

หมายเหตุ : ค่าน้ำหนักเปียก(W_w) และน้ำหนักแห้ง(W_d) ของเม็دتัวอย่างแสดงดัง ตารางที่ .1 ถึง .4

ตารางที่ ข.8 แสดงค่าน้ำหนักเปียก(W_w) และน้ำหนักแห้ง(W_d) ของเม็ดตัวอย่าง AM ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่มีความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น

Sample	1%AM1L		2%AM1L		3%AM1L	
	W_w	W_d	W_w	W_d	W_w	W_d
1	0.3204	0.2521	0.4633	0.2657	0.7712	0.2710
2	0.3448	0.2601	0.4613	0.2766	0.9087	0.3021
3	0.3641	0.2755	0.4587	0.2646	0.9514	0.3212
4	0.3323	0.2630	0.5911	0.2952	0.9044	0.3154
5	0.3568	0.2771	0.4391	0.2500	1.0075	0.2816
6	0.2929	0.2216	0.5171	0.2816	0.6638	0.2709
7	0.3472	0.2396	0.5608	0.2637	0.7071	0.2627
8	0.3527	0.2729	0.5021	0.2954	0.6413	0.2722
9	0.3403	0.2642	0.4554	0.2758	0.6248	0.2830
10	0.3637	0.2609	0.4532	0.2776	0.8321	0.3105
11	0.3336	0.2491	0.4425	0.2638	0.7045	0.2801
12	0.3396	0.2641	0.4584	0.2674	0.6490	0.2787
13	0.3326	0.2481	0.3845	0.2538	0.5155	0.2429
14	0.3173	0.2415	0.5060	0.3050	0.6719	0.2722
Average	0.3385	0.2564	0.4760	0.2716	0.7601	0.2840

ตารางที่ ข.9 แสดงค่าน้ำหนักเปียก(W_w) และน้ำหนักแห้ง(W_d) ของเม็ดตัวอย่าง AM ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่มีความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 2 ชั้น

Sample	1%AM2L		2%AM2L		3%AM2L	
	W_w	W_d	W_w	W_d	W_w	W_d
1	0.4985	0.2418	0.4633	0.2657	0.7712	0.2710
2	0.4288	0.2466	0.4613	0.2766	0.9087	0.3021
3	0.4171	0.2260	0.4587	0.2646	0.9514	0.3212
4	0.3847	0.2678	0.5911	0.2952	0.9044	0.3154
5	0.4420	0.2805	0.4391	0.2500	1.0075	0.2816
6	0.4089	0.2777	0.5171	0.2816	0.6638	0.2709
7	0.4155	0.2729	0.5608	0.2637	0.7071	0.2627
8	0.3886	0.2401	0.5021	0.2954	0.6413	0.2722

ตารางที่ ข.9(ต่อ) แสดงค่าน้ำหนักเปียก(W_w) และน้ำหนักแห้ง(W_d) ของเม็ดตัวอย่าง AM ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 2 ชั้น

Sample	1%AM2L		2%AM2L		3%AM2L	
	W_w	W_d	W_w	W_d	W_w	W_d
9	0.4287	0.2263	0.4554	0.2758	0.6248	0.2830
10	0.4095	0.2624	0.4532	0.2776	0.8321	0.3105
11	0.3923	0.2529	0.4425	0.2638	0.7045	0.2801
12	0.4098	0.2520	0.4584	0.2674	0.6490	0.2787
13	0.3177	0.2106	0.3845	0.2538	0.5155	0.2429
14	0.3534	0.2472	0.5060	0.3050	0.6719	0.2722
Average	0.4068	0.2503	0.5800	0.2756	0.9280	0.2811

ตารางที่ ข.10 แสดงค่าน้ำหนักเปียก(W_w) และน้ำหนักแห้ง(W_d) ของเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 ชั้น

Sample	1%AMF1L		2%AMF1L		3%AMF1L	
	W_w	W_d	W_w	W_d	W_w	W_d
1	0.3348	0.2702	0.4122	0.2546	0.9566	0.2989
2	0.3215	0.2453	0.4312	0.2301	0.9345	0.2903
3	0.2956	0.2451	0.5112	0.2897	0.9481	0.2624
4	0.3566	0.2541	0.5003	0.2653	0.7541	0.2877
5	0.3412	0.2411	0.5123	0.3012	0.8123	0.3210
6	0.2812	0.2012	0.4912	0.2415	0.8013	0.3120
7	0.3211	0.2316	0.4653	0.2248	0.7312	0.3126
8	0.3301	0.2691	0.5102	0.3109	0.8603	0.2586
9	0.3506	0.2601	0.5019	0.2487	1.0724	0.2897
10	0.3104	0.2233	0.4391	0.2704	0.8512	0.2847
11	0.2910	0.1998	0.4992	0.2416	1.0019	0.2792
12	0.3218	0.2622	0.4879	0.2877	0.6911	0.2987
13	0.3126	0.2354	0.4415	0.2364	0.6812	0.3196
14	0.3841	0.2654	0.4509	0.2259	0.7991	0.3061
Average	0.3252	0.2431	0.4753	0.2592	0.8497	0.2944

ตารางที่ ข.11 แสดงค่าน้ำหนักเปียก(W_w) และน้ำหนักแห้ง(W_d) ของเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 2 ชั้น

Sample	1%AMF1L		2%AMF1L		3%AMF1L	
	W_w	W_d	W_w	W_d	W_w	W_d
1	0.3155	0.2013	0.7695	0.3129	0.7801	0.2579
2	0.4011	0.2541	0.6952	0.2544	0.9174	0.2614
3	0.3797	0.1951	0.5801	0.2153	0.8814	0.2484
4	0.3844	0.2039	0.6682	0.2814	1.0073	0.3109
5	0.3359	0.2013	0.6528	0.2847	0.8943	0.2459
6	0.3556	0.2411	0.5410	0.2611	1.0625	0.2796
7	0.3683	0.2191	0.8149	0.2991	0.9481	0.2869
8	0.4103	0.2311	0.5575	0.3019	1.0011	0.2854
9	0.3012	0.1670	0.5325	0.3001	0.9285	0.2711
10	0.3923	0.2314	0.6881	0.2699	0.9576	0.2735
11	0.3753	0.2619	0.6687	0.2689	1.0612	0.2899
12	0.3325	0.1909	0.6464	0.2451	0.7231	0.2387
13	0.3930	0.2359	0.5049	0.1818	0.9452	0.2914
14	0.4312	0.2514	0.5615	0.2315	0.9534	0.2690
Average	0.3697	0.2204	0.6344	0.2649	0.9329	0.2721

ตารางที่ ข.12 เปอร์เซ็นต์ความเป็นรูพรุนของเม็ดตัวอย่าง AM ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจิเนตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น

Sample	%Porosity					
	1%AM1L	2%AM1L	2%AM1L	1%AM2L	2%AM2L	3%AML
1	21.63545	43.11293	65.289	51.96586	54.99395	68.80652
2	24.91646	40.49308	67.17232	42.95261	48.6673	68.0422
3	24.68325	42.77669	66.66009	46.28535	62.68476	74.01221
4	21.16795	50.53114	65.55357	30.78812	54.56131	68.4111
5	22.66664	43.52882	72.42821	36.9773	53.67595	69.36849
6	24.69214	46.01102	59.64472	32.49883	46.55601	69.53443
7	31.39596	53.44788	63.28796	34.74688	48.23082	71.77499
8	22.95765	41.62507	58.01547	38.66081	55.97413	70.44888
9	22.69208	39.88963	55.17284	47.68322	53.89385	68.50737

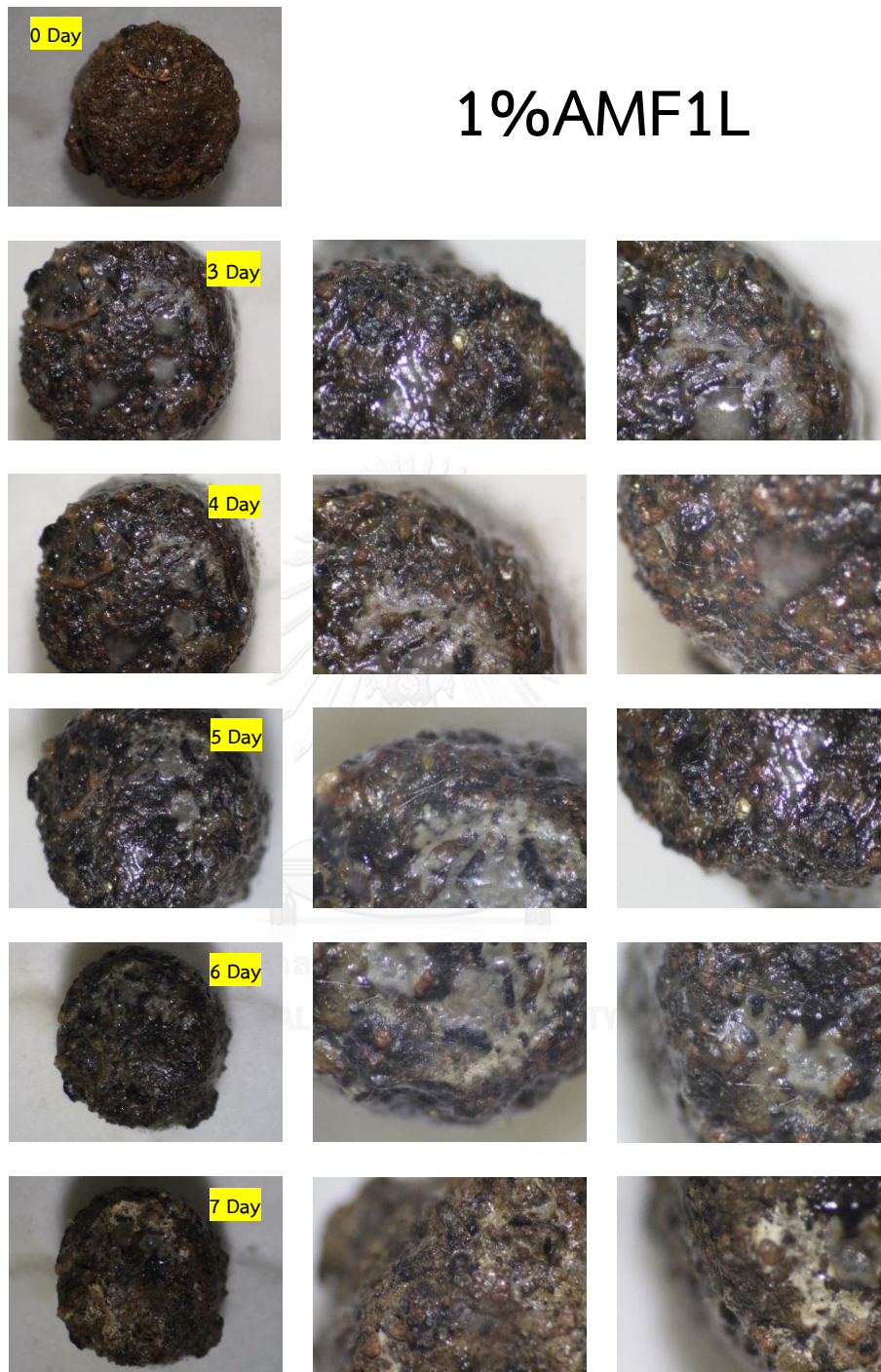
ตารางที่ ข.12(ต่อ) เปอร์เซ็นต์ความเป็นรูพรุนของเม็ดตัวอย่าง AM ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น

Sample	%Porosity					
	1%AM1L	2%AM1L	2%AM1L	1%AM2L	2%AM2L	3%AML
10	28.64939	39.19567	63.12528	36.35753	53.95176	68.07309
11	25.68845	40.83949	60.69257	35.96764	54.14795	70.45282
12	22.56013	42.12621	57.51893	38.95456	51.26337	75.26817
13	25.76531	34.41704	53.35081	34.13419	50.10353	65.12617
14	24.23399	40.17619	59.94214	30.44924	48.21926	72.23356
Average	24.5503	42.7265	61.9896	38.4587	52.6374	70.0043
S.D.	2.7755	4.7526	5.2069	6.5226	4.1879	2.6383

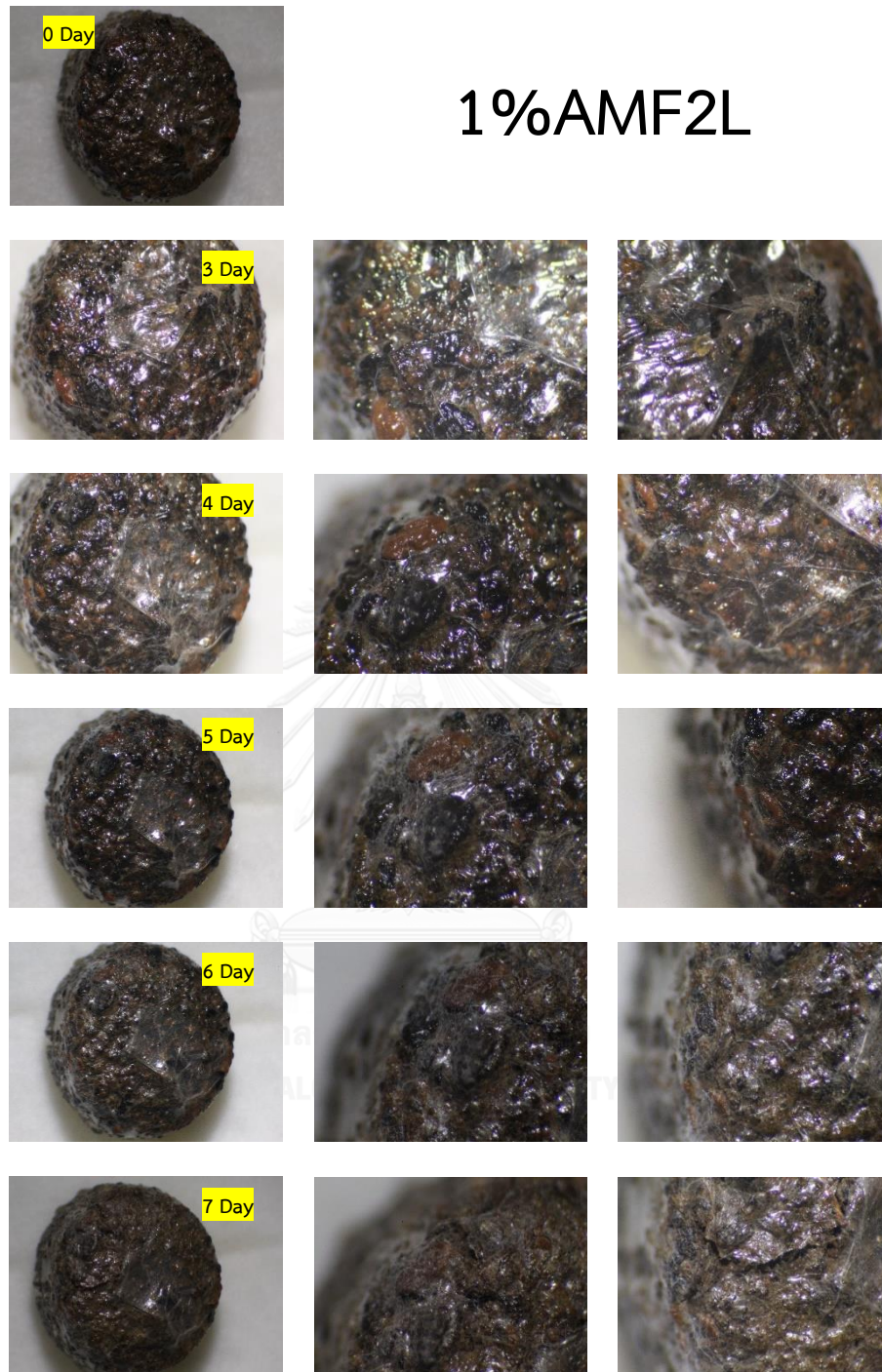
ตารางที่ ข.13 เปอร์เซ็นต์ความเป็นรูพรุนของเม็ดตัวอย่าง AMF ที่เคลือบด้วยฟิล์มอัลจินตที่ความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น

Sample	%Porosity					
	1%AM1L	2%AM1L	3%AM1L	1%AM2L	2%AM2L	3%AML
1	19.5908	38.68066	69.15803	36.63362	59.79191	67.35656
2	24.0445	47.10739	69.33807	37.08861	63.84311	71.8895
3	17.3530	43.79354	72.69987	49.08902	63.32523	72.19807
4	29.1319	47.44229	62.293	47.42675	58.34637	69.53667
5	29.7305	41.66442	60.93288	40.52563	56.85154	72.87838
6	28.8353	51.30642	61.51116	32.61261	52.20873	74.04911
7	28.2540	52.15833	57.70974	40.9662	63.73357	70.13638
8	18.7653	39.51339	70.3361	44.1403	46.31658	71.87455
9	26.1760	50.92015	73.35641	45.02193	44.10805	71.19109
10	28.4432	38.86709	66.972	41.472	61.22515	71.82263
11	31.7478	52.07387	72.51083	30.61536	60.24066	73.05509
12	18.8074	41.49053	57.24171	43.04867	62.52567	67.40546
13	25.0488	46.92514	53.55266	40.42837	64.42669	69.57165
14	31.3080	50.37214	62.13954	42.15723	59.2278	72.16597
Average	25.5169	45.8797	64.9823	40.8019	58.2979	71.0808
S.D.	5.0034	5.1200	6.4605	5.1968	6.4481	2.0219

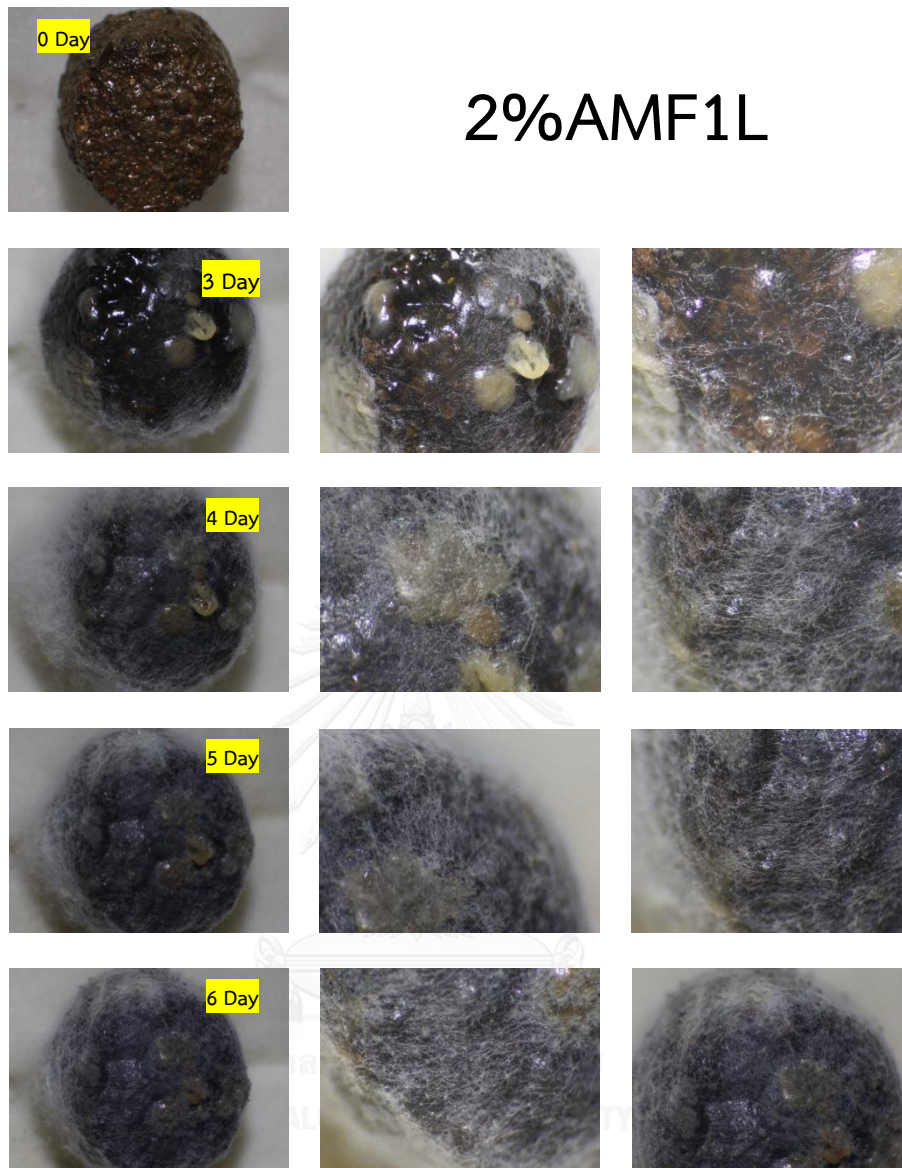
4) การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา



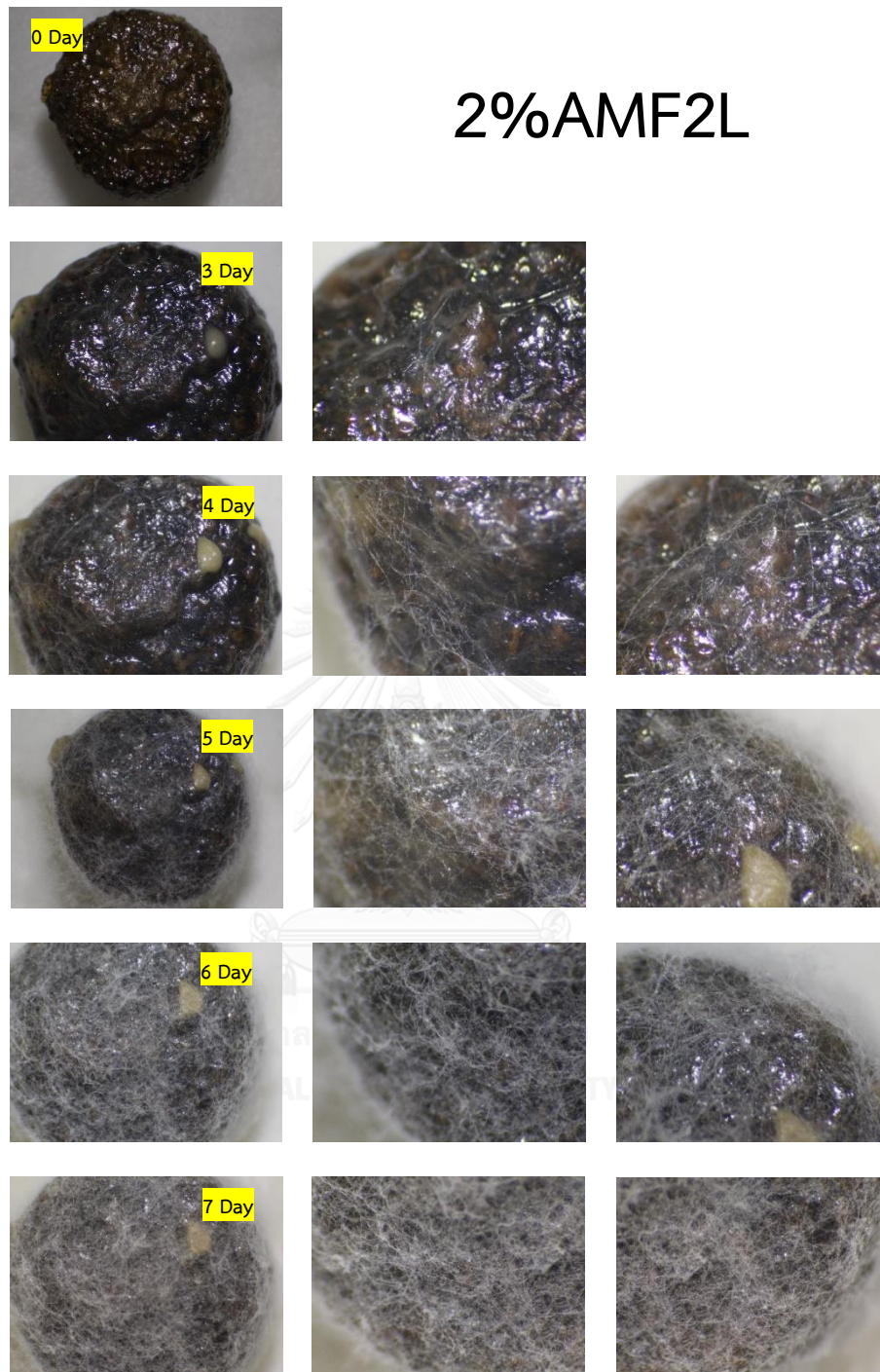
รูปที่ ข.6 การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเมล็ดตัวอย่าง AMF เคลือบด้วย
ฟิล์มอัลจิเนต 1 ชั้น ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



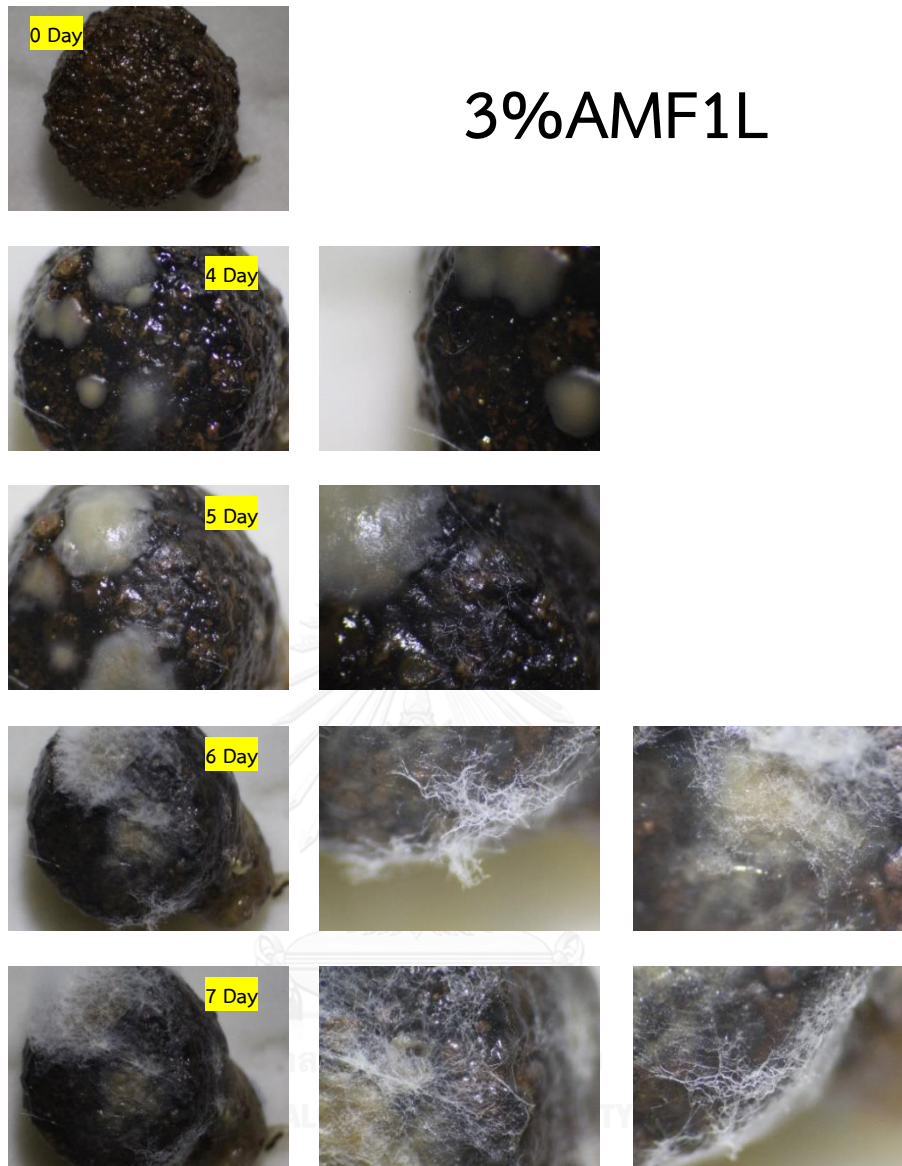
รูปที่ ข.7 การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเมล็ดตัวอย่าง AMF เคลือบด้วย
ฟิล์มอัลจิเนต 2 ชั้น ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



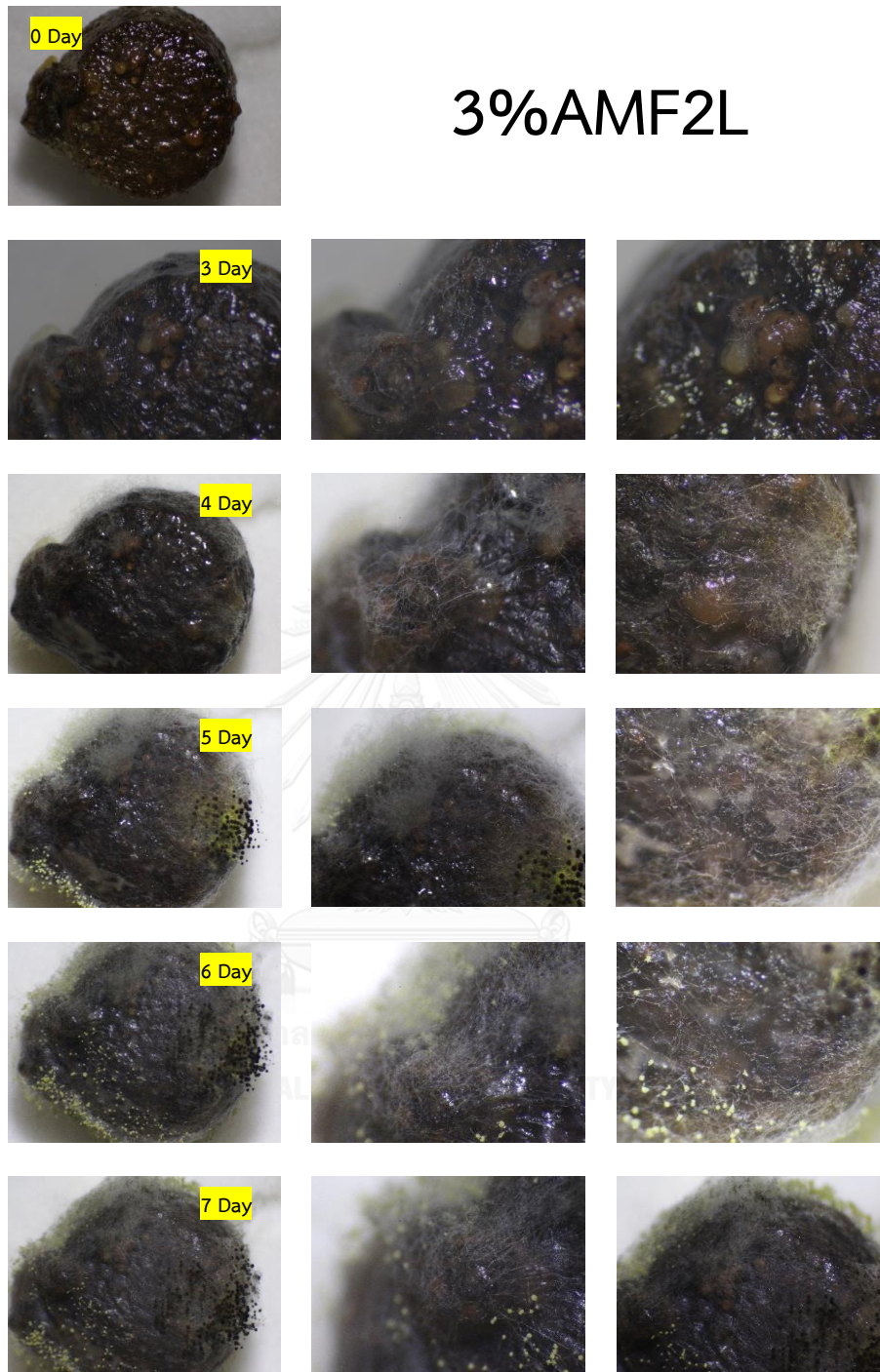
รูปที่ ข.8 การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเมล็ดตัวอย่าง AMF เคลือบด้วย
ฟิล์มอัลจิเนต 1 ชั้น ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ ข.9 การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเมล็ดตัวอย่าง AMF เคลือบด้วย
ฟิล์มอัลจิเนต 2 ชั้น ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ ข.10 การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเมล็ดตัวอย่าง AMF เคลือบด้วย
ฟิล์มอัลเนต 1 ชั้น ที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ ข.11 การงอกของเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา จากเมล็ดตัวอย่าง AMF เคลือบ
ด้วยฟิล์มอัลจินต 2 ชั้น ที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพรพิชชา พิทักษ์ธำรง เกิดวันพฤหัสบดีที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2534 จังหวัด กรุงเทพมหานคร ประวัติการศึกษา จบการศึกษาระดับมัธยม สาขา วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โรงเรียนราชินีบน และสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี จาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล ในปี 2557 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยอยู่ในกลุ่ม งานวิจัยเกี่ยวกับวิศวกรรมชีวเคมี(Biochemical Engineering)

การนำเสนอผลงานทางวิชาการ หัวข้อเรื่อง “Development and evaluation of entrapment of Abuscular mycorrhizal-organic fertilizer bead with alginate film” ใน งาน The International Polymer Conference of Thailand : PCT-6 จัดขึ้นที่ โรงแรมปทุมวัน ปริ้นเซส เขตปทุมวัน จังหวัด กรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 30 มิถุนายน ถึง 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2559