

การศึกษาผลของเพคตินนาโนสเฟียร์จากใบกรูงเขมา (*Cissampelos pareira* L.) ร่วมกับไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) ต่อการดูดซึมธาตุอาหารแคลเซียมในต้นอ่อนข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.)



กัญฉิกา เบญจวรรณ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต และปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาชีววิทยา

พฤษภาคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การศึกษาผลของเพคตินนาโนสเฟียร์จากใบกรุงเขมา (*Cissampelos pareira* L.) ร่วมกับไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาไนล (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) ต่อการดูดซึมธาตุอาหารแคลเซียมในต้นอ่อนข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.)



กัญฉฐิกา เบญจวรรณ

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต และปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยา
พฤษภาคม 2566
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

THE STUDY ON THE EFFECTS OF PECTINNANOSPHERE FROM *CISSAMPELOS PAREIRA* L.
LEAVES COMBINED WITH BIONANOCALCIUM FROM NILE TILAPIA (*OREOCHROMIS
NILOTICUS* LINNAEUS, 1758) SCALES ON CALCIUM NUTRIENT ABSORPTION IN WHEAT
GRASS (*TRITICUM AESTIVUM* L.)



KANTIKA BENJAWAN

A Thesis Submitted to University of Phayao
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Bachelor of Science and Master of Science Degree in Biology
May 2023

Copyright 2023 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาผลของเพคตินนาโนสเฟียร์จากใบกรุงเขมา (*Cissampelos pareira* L.) ร่วมกับไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาไนล์ (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) ต่อการดูดซึมธาตุอาหารแคลเซียมในต้นอ่อนข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.)

ของ กัญฉิกา เบญจวรรณ

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต และปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา

ชีววิทยา

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ ธาณี)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิศักดิ์ ปิ่นมงคลกุล)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญช่วง บุญสุข)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา

(รองศาสตราจารย์ ดร. นุจจิรา ทาดัน)

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยนนต์ บุญยรักษ์)

เรื่อง:	การศึกษาผลของเพคตินนาโนสเฟียร์จากใบกรุงเขมา (<i>Cissampelos pareira</i> L.) ร่วมกับไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาไนล์ (<i>Oreochromis niloticus</i> Linnaeus, 1758) ต่อการดูดซึมธาตุอาหารแคลเซียมในต้นอ่อนข้าวสาลี (<i>Triticum aestivum</i> L.)
ผู้วิจัย:	กัณฐิกา เบญจวรรณ, วิทยานิพนธ์: วท.บ. (ชีววิทยา) และ วท.ม. (ชีววิทยา), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2565
อาจารย์ที่ปรึกษา:	รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิศักดิ์ ปิ่นมงคลกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญช่วง บุญสุข
คำสำคัญ:	ใบกรุงเขมา, เพคตินนาโนสเฟียร์, ไบโอนาโนแคลเซียม, เกล็ดปลาไนล์, แคลเซียม, ต้นอ่อนข้าวสาลี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเพคตินที่สกัดจากใบกรุงเขมา ศึกษาผลของเพคตินนาโนสเฟียร์จากใบกรุงเขมาพร้อมกับไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาไนล์ต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลี และผลของการดูดซึมแคลเซียมในต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะการเพาะเลี้ยงความเป็นกรด-เบสที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่าเพคตินที่สกัดได้จากใบกรุงเขมามีค่าผลผลิตร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณกาแลกทูโลนิค เอสเทอริฟิเคชัน และปริมาณเมทอกซิลมีคุณสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกับเพคตินเชิงพาณิชย์ ผลของเพคตินนาโนสเฟียร์จากใบกรุงเขมาพร้อมกับไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาไนล์ต่อการเจริญเติบโตและการดูดแคลเซียมในต้นอ่อนข้าวสาลีในเวลา 7 วัน พบว่าเพคตินนาโนสเฟียร์และสภาวะเบส มีอัตราการงอก ความยาวราก จำนวนราก และความสูงลำต้น เท่ากับ 100%, 124.15±2.41 มิลลิเมตร, 4.33±0.05 มิลลิเมตร, 42.24±1.73 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เพคตินนาโนสเฟียร์ร่วมกับไบโอนาโนแคลเซียมที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรและมีสภาวะกรดอ่อนทำให้ลำต้นและรากของต้นอ่อนข้าวสาลีมีปริมาณแคลเซียม 4.21 และ 4.13 ร้อยละของน้ำหนัก ซึ่งดีกว่าการทดลองในสภาวะอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การวิจัยนี้สรุปได้ว่าเพคตินนาโนสเฟียร์จากใบกรุงเขมาพร้อมกับไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาไนล์สามารถกระตุ้นการเติบโตและเพิ่มแคลเซียมในต้นอ่อนข้าวสาลีได้

- Title:** THE STUDY ON THE EFFECTS OF PECTINNANOSPHERE FROM *CISSAMPELOS PAREIRA* L. LEAVES COMBINED WITH BIONANOCALCIUM FROM NILE TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS* LINNAEUS, 1758) SCALES ON CALCIUM NUTRIENT ABSORPTION IN WHEAT GRASS (*TRITICUM AESTIVUM* L.)
- Author:** Kantika Benjawan, Thesis: B.Sc. (Biology) and M.Sc. (Biology), University of Phayao, 2022
- Advisor:** Associate Professor Dr. SITTHISAK PINMONGKHOLGUL Co–advisor Assistant Professor Dr.Boonchuang Boonsuk
- Keywords:** Pareira barva leaves, Pectinnanosphere, Bionanocalcium, Nile tilapia scales, Calcium, Wheatgrass

ABSTRACT

The purposes of this research were to investigate the chemical of pectin extracted from *Cissampelos pareira* L. leaves, to study the effect of pectin nanosphere from these leaves combined with bionanocalcium from Nile tilapia scales on growth and calcium absorption of wheatgrass cultured under different nutrient conditions and pH levels. The results found that pectin had percent yield, moisture content, ash, D-galacturonic acid, degree of esterification and methoxyl, which were similar to commercial pectin. The growth and calcium absorption of wheat grass cultured in 7 days on pectin nanosphere and alkalosis stimulate the highest germination rate, root length, number of roots and stem height at 100%, 124.15±2.41 mm, 4.33±0.05 mm, 42.24±1.73 mm respectively ($p \leq 0.05$). In addition, pectin nanosphere combined with calcium 10 mg/ml in slightly alkaline condition stimulated calcium at 4.21 and 4.13 weight percentage in stem and root of wheat grass, respectively which was statistically significant higher than the often tests ($p \leq 0.05$). This research could be concluded that pectin nanosphere from *Cissampelos pareira* L. leaves combined with bionanocalcium from Nile tilapia scales can stimulate the growth and calcium contents in wheat grass.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิศักดิ์ ปิ่นมงคลกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาช่วยเหลือในการทำวิจัยและการให้คำแนะนำในทุกขั้นตอนของกระบวนการทำวิจัย ตั้งแต่การคิดหัวข้อวิจัย การวางแผนการวิจัย การเก็บข้อมูล ไปจนถึงการวิเคราะห์ผล สรุปผลการวิจัย และการให้คำปรึกษาในการเขียนรูปเล่มให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญช่วง บุญสุข อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้เกียรติมาเป็นกรรมการในการสอบรูปเล่มวิจัย และให้ความกรุณาให้คำปรึกษาในการปรับแก้ไขรูปเล่ม

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ธานี และรองศาสตราจารย์ ดร.นุจิรา ทาตันที่ให้เกียรติมาเป็นประธานกรรมการและกรรมการในการสอบรูปเล่มวิจัย พร้อมทั้งให้ความกรุณาให้คำปรึกษาในการปรับแก้ไขรูปเล่ม

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรวดี วงศ์เมธีรุ่ง อาจารย์ประจำหลักสูตรนวัตกรรมวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือในระหว่างการทำปฏิบัติการ จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนเรื่องของการศึกษามาโดยตลอด ขอขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการทุกห้องที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษาที่ดี ตลอดจนบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนามที่ให้ความช่วยเหลือมาตลอดจนการทำการศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และผู้วิจัยหวังว่าผลการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจศึกษาสืบไป

กัญฉิกา เบญจวรรณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 สมมุติฐานของการวิจัย.....	4
1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
1.7 ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ความรู้เกี่ยวกับเพศดิน	7
2.3 ประโยชน์ของเพศดิน	9
2.4 ความสำคัญข้าวสาลี.....	14
2.5 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวสาลี	15
2.6 คุณค่าทางอาหารข้าวสาลี	16
2.7 กระบวนการงอกของเมล็ดพืช	17

2.8 ลักษณะทางชีววิทยาของปลานิล.....	18
2.9 เกล็ดปลา.....	20
2.10 องค์ประกอบของเกล็ดปลา.....	20
2.11 ไฮดรอกซีอะพาไทต์.....	22
2.12 ต้นกรุงเขมา.....	25
2.13 สารสำคัญในใบกรุงเขมา.....	27
2.14 การใช้ประโยชน์จากต้นกรุงเขมา.....	27
2.15 แคลเซียม.....	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	32
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	32
3.2.1 การเตรียมการสกัดเพคตินจากใบกรุงเขมากรุงเขมาการสกัดด้วยน้ำกลั่น.....	32
3.2.2 ขั้นตอนการฟอกสีเพคติน.....	32
3.2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเพคติน.....	34
3.2.4 การสังเคราะห์สารประกอบของผงไบโอโนนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล.....	37
3.2.5 ทำการทดสอบการปลูกต้นอ่อนข้าวสาลี.....	40
3.2.6 การวัดอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลี.....	41
3.2.7 วัดการดูดซับของเพคตินนาโนสเฟียร์บนผิวเมล็ดและต้นอ่อนข้าวสาลี.....	42
3.2.8 สถิติที่ใช้ในการทดสอบ.....	42
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	43
4.1 ผลของการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี-ทางกายภาพของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบ พีชกรุงเขมา และไบโอโนนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล.....	43
4.2 ผลของการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินสกัดจากใบกรุงเขมาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM).....	48

4.3 ผลของการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมา ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)	50
4.4 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลาและขนาดอนุภาค ของไบโอคานาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM).....	51
4.5 ผลของการวัดอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลี	54
4.6 ผลการศึกษาการเติบโตของอ่อนข้าวสาลี ที่อายุ 7 วัน.....	56
4.7 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในต้นอ่อนข้าวสาลี.....	63
บทที่ 5 บทสรุป	72
5.1 สรุปผลการวิจัย	72
5.1.1 ผลของการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี-ทางกายภาพของเพคตินนาโน สเฟียร์สกัดจาก ใบกรุงเขมา และไบโอคานาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลา.....	72
5.1.2 ผลของการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินสกัดจากใบกรุงเขมาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)	72
5.1.3 ผลของการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมา ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)	73
5.1.4 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลาและขนาด อนุภาคของไบโอคานาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)	73
5.1.5 ผลของการวัดอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลี.....	74
5.1.6 ผลการศึกษาการเติบโตของอ่อนข้าวสาลี ที่อายุ 7 วัน.....	74
5.1.7 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในต้นอ่อนข้าวสาลี.....	75
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	76
5.2.1 ผลของการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี-ทางกายภาพของเพคตินนาโน สเฟียร์สกัดจาก ใบกรุงเขมา และไบโอคานาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลา.....	76

5.2.2 ผลของการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินสกัดจากใบกรูงเขมาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)	78
5.2.3 ผลของการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)	79
5.2.4 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลานิลและขนาดอนุภาคของไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)	80
5.2.5 ผลของการวัดอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลี	81
5.1.6 ผลการศึกษาการเติบโตของอ่อนข้าวสาลี ที่อายุ 7 วัน	81
5.1.7 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในต้นอ่อนข้าวสาลี	83
บรรณานุกรม	85
ภาคผนวก	94
ภาคผนวก ก	95
ภาคผนวก ข	99
ภาคผนวก ค	101
ภาคผนวก ง	105
ภาคผนวก จ	108
ภาคผนวก ฉ	129
ภาคผนวก ช	147
ประวัติผู้วิจัย	151

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ตารางแสดงการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในดินที่มีไฮโดรเจลจาก PC กับ PVP ทำการดูดซับ ปุ๋ยไนโตรเจน (Sciences and Technology, 2020).....	13
ตาราง 2 องค์ประกอบทางเคมีของเกล็ดปลาชนิด ต่าง ๆ (Zou et al., 2005)	20
ตาราง 3 วางแผนการทดลองการปลูกต้นอ่อนข้าวสาลี	41
ตาราง 4 คุณสมบัติของเพคตินสกัดจากใบพืชกรูงเขมา.....	43
ตาราง 5 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา และไบโอ ไอโนโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล.....	44
ตาราง 6 วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)ของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบ กรูงเขมา และไบโอไอโนโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล	48
ตาราง 7 อัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลี	55
ตาราง 8 การเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลี ที่อายุ 7 วัน	61
ตาราง 9 ผลการเติบโตข้าวสาลี ที่อายุ 7 วัน	62
ตาราง 10 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลี.....	64
ตาราง 11 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในลำต้นของต้นอ่อนข้าวสาลี	67
ตาราง 12 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในรากต้นอ่อนข้าวสาลี.....	70

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 แสดงโมเลกุลของเพคติน (เส้นสีชมพู) ในเนื้อเยื่อของผัก ผลไม้ บริเวณ middle lamella และ ผนังเซลล์ (cell wall)	7
ภาพ 2 การเกิดอันตรกิริยาของสารของเพคตินในอาหาร (Einhorn–Stoll, 2018)	9
ภาพ 3 ลักษณะเจลในแต่ละระดับค่า DE ของเพคติน (Endress and Christensen, 2009)	11
ภาพ 4 ภาพประกอบแผนผังแสดงปฏิกิริยาระหว่าง Ag ⁺ และเพคตินที่ pH พื้นฐาน วงกลมสีน้ำเงินเป็น ตัวแทนของอัลดีไฮด์และหน้าที่ของแอลกอฮอล์ และวงกลมสีแดงแสดงถึงคาร์บอกซิลเลต (Adhikari et al., 2017).....	12
ภาพ 5 กล้าข้าวสาลีแบบใบเลี้ยงอยู่ใต้ดิน	14
ภาพ 6 ปลานิล (<i>Oreochromis niloticus</i> Linnaeus, 1758)	19
ภาพ 7 โครงสร้างไฮดรอกซีอะพาไทต์.....	23
ภาพ 8 a)สังเคราะห์อนุภาคนาโน WH ในระดับกรัมจากแบทช์ 1 ลิตรตามวิธีการที่เราพัฒนาขึ้นล่าสุด b)การยืนยันเฟสที่เป็นเนื้อเดียวกันของอนุภาคนาโน WH จากการวิเคราะห์ XRD อนุภาคนาโน WH ที่สังเคราะห์ขึ้น (สีดำ) แสดงตำแหน่งสูงสุดที่เหมือนกันกับตำแหน่งสูงสุดของ WH ที่รายงานจาก JCPDS 70–2064 (สีม่วง) c)สัณฐานวิทยาที่เป็นเนื้อเดียวกันของอนุภาคนาโน WH สังเกตโดย FESEM d)รูปทรงสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนของอนุภาคนาโน WH ที่มีขนาดประมาณ 50 นาโนเมตร Jang et al., (2015).....	25
ภาพ 9 ภาพลำต้นของใบกรุงเขมา (A)ลำต้นและ (B)ใบของกรุงเขมา	26
ภาพ 10 โครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	29
ภาพ 11 ขั้นตอนการสกัดเพคตินจากใบกรุงเขมา	33
ภาพ 12 ขั้นตอนการฟอกสี	34
ภาพ 13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของเพคตินสกัดจากใบกรุงเขมา และเพคตินเชิงพาณิชย์	44

ภาพ 14 A พื้นผิวของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมา ที่ตำแหน่ง Spectrum 82 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) และกราฟแสดงปริมาณของแคลเซียมในเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมา ที่ตำแหน่ง Spectrum 82 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) ดังภาพ 14 B.....	46
ภาพ 15 A ผลึกของไบโอโนโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาไนล์ ที่ตำแหน่ง Spectrum 77 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) และกราฟแสดงปริมาณของแคลเซียมในผลึกของไบโอโนโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาไนล์ ที่ตำแหน่ง Spectrum 77 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) ดังภาพ 15 B	47
ภาพ 16 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผิวเพคตินสกัดจากใบกรุงเขมาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) A) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า	48
ภาพ 17 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผิวเพคตินสกัดจากใบกรุงเขมาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) B) ผิวเพคตินสกัดจากใบกรุงเขมา กำลังขยาย 5000 เท่า 49	
ภาพ 18 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผิวเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) A), B) และ C) ผิวเพคตินนาโน สเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมา กำลังขยาย 500X, 1000X และ 5000X D) ขนาดของผลึก เพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมา.....	51
ภาพ 19 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลาไนล์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (A), (B) และ (C) กำลังขยาย 500X, 1000X และ 5000X (D) และ (E) สัณฐานวิทยาพื้นผิวของไบโอโนโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาไนล์ ที่กำลังขยาย1000X และกำลังขยาย 10000X (F) ขนาดอนุภาคผลึกของไบโอโนโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาไนล์.....	53
ภาพ 20 กราฟแสดงอัตราการงอกของเมล็ดข้าวสาลี ระยะเวลา 7 วัน	56
ภาพ 21 กราฟแสดงความแตกต่างเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลี	65
ภาพ 22 กราฟแสดงความแตกต่างเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในลำต้นของต้นอ่อนข้าวสาลี ..	68
ภาพ 23 กราฟแสดงความแตกต่างเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในรากต้นอ่อนข้าวสาลี	71

ภาพ 24 ขั้นตอนการเตรียมการสกัดเพคตินจากใบกรุงเขมา.....	97
ภาพ 25 ขั้นตอนการฟอกสีเพคตินจากใบกรุงเขมา	98
ภาพ 26 การสังเคราะห์ไบโอนาโนแคลเซียมจากเกลือปลาไนล.....	100
ภาพ 27 เตรียมวัสดุปลูก ต้นอ่อนข้าวสาลี	103
ภาพ 28 ทดสอบการปลูกต้นอ่อนข้าวสาลี	104
ภาพ 29 วิเคราะห์ลักษณะของเพคตินนาโนสเฟียร์ และไบโอนาโนแคลเซียม กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	107
ภาพ 30 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 46 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX).....	109
ภาพ 31 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 46 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX).....	109
ภาพ 32 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 49 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX)	110
ภาพ 33 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 49 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX).....	110
ภาพ 34 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 53 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX).....	111
ภาพ 35 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere +Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 53 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX).....	111

ภาพ 36 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะต่างจัด (strongly alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere +Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 56 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) 112

ภาพ 37 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะต่างจัด (strongly alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 56 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) .112

ภาพ 38 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere +Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 59 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) 113

ภาพ 39 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 59 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) 113

ภาพ 40 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 1 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) 114

ภาพ 41 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 1 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) 114

ภาพ 42 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 pectic nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 6 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) 115

ภาพ 43 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 6 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) 115

ภาพ 44 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 9 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) 116

ภาพ 63 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดจัด ที่ 5.1–5.5 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 19 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 125

ภาพ 64 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 5.1–5.5 pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 24 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 126

ภาพ 65 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 5.1–5.5 pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 24 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 126

ภาพ 66 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 5.1–5.5 pectin nanosphere+Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 26 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 127

ภาพ 67 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 5.1–5.5 pectin nanosphere+Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 26 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 127

ภาพ 68 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 5.1–5.5 pectin nanosphere+Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 28 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 128

ภาพ 69 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 5.1.1–5.5 pectin nanosphere+Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 28 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 128

ภาพ 70 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 84 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 130

ภาพ 71 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 84 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 130

ภาพ 72 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 91 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 131

ภาพ 73 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 91 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 131

ภาพ 74 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 95 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 132

ภาพ 75 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 95 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 132

ภาพ 76 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 101 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 133

ภาพ 77 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 101 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 133

ภาพ 78 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 108 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 134

ภาพ 79 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 108 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 134

ภาพ 80 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 115 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 135

ภาพ 81 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 115 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX)	135
ภาพ 82 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.1–6.5 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 119 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX)	136
ภาพ 83 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.1–6.5 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 119 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX)	136
ภาพ 84 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.1–6.5 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 126 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX)	137
ภาพ 85 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.1–6.5 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 126 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX)	137
ภาพ 86 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.1–6.5 Pectin nanosphere +Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 126 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX)	138
ภาพ 87 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.1–6.5 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 126 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX)	138
ภาพ 88 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 87 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX)	139
ภาพ 89 กราฟพื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 87 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX)	139

ภาพ 90 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 93 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 140

ภาพ 91 กราฟพื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 93 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 140

ภาพ 92 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere +Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 98 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 141

ภาพ 93 กราฟพื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 98 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 141

ภาพ 94 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 105 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 142

ภาพ 95 กราฟพื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 105 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 142

ภาพ 96 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 110 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 143

ภาพ 97 กราฟพื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 110 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 143

ภาพ 98 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 116 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX) 144

ภาพ 99 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 116 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) 144

ภาพ 100 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1–6.5 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 128 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) 145

ภาพ 101 กราฟพื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1–6.5 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 128 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) 145

ภาพ 102 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1–6.5 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 134 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) 146

ภาพ 103 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1–6.5 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 134 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) 146



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เพคตินเป็นโพลีโพลีเมอร์ธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นส่วนประกอบหลักของพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่มีความซับซ้อน ซึ่งสามารถพบได้ในชั้นผนังเซลล์ปฐมภูมิ และชั้นกลางของลามัลลาในเนื้อเยื่อพืช ซึ่งเพคตินมีคุณสมบัติที่มีความยืดหยุ่นและแข็งแรง พบมากในผลไม้วงศ์ส้มประกอบด้วยโครงสร้างโมเลกุลของ β -1,4D-galacturonicacid และ α 1,4D-galacturonicacid- α -1,2 rhamnose (Savary and Nuñez, 2003) ถูกนำมาใช้ในการเป็นสารที่ทำให้เกิดเจล หรือสารสำหรับคงตัวในอุตสาหกรรมทางอาหาร และเครื่องสำอาง เพคตินยังถูกนำมาใช้ในการเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อย่างหลากหลาย เช่น พิล์มที่สามารถบริโภคได้และย่อยสลายได้ สารให้ความหนืด กระจาดาย โฟม และสารพลาสติกไซเซอร์ (Mohnen, 2008) โดยมีการศึกษาของ Suksaeree et al., (2018) ที่ได้ทำการศึกษาการใช้เพคตินที่แยกได้จากกรงูเขมา (*Cissampelos pareira* L.) มาเป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตแผ่นเจลสำหรับการส่งผ่านนิโคตินสู่อวัยวะ ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าแผ่นแปะจากเพคตินที่สกัดจาก *C. pareira* แล้วมีการผสม DNRL และ glycerin มีคุณสมบัติที่ดี และมีความสามารถในการปล่อยตัวยาที่เหมาะสม แผ่นแปะเพคตินที่แยกได้สามารถปลดปล่อยสารนิโคตินในหลอดทดลอง และในส่วนของการซึมผ่านผิวหนังของสารนิโคติน ยังพบมีประสิทธิภาพมากกว่า Nicotinell TTS-20 ที่เป็นสินค้าเชิงพาณิชย์ที่ถูกนำมาใช้ในกลุ่มของผู้ป่วยที่อยากเลิกบุหรี่ โดยพบข้อดีของเพคตินจาก *C. Pareira* เช่น ความสามารถในการกักเก็บรักษาระดับยาให้คงที่ เพิ่มการดูดซึมตัวยาเข้าสู่ผิวหนังได้ดี

แคลเซียมเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช จัดเป็นกลุ่มธาตุที่จำเป็นและมีความต้องการมาก (macro-nutrient) แคลเซียมมีบทบาทสำคัญในการเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์ พืชที่ได้รับธาตุอาหารแคลเซียมอย่างเพียงพอเซลล์จะมีพัฒนาการดีและแข็งแรง คงทนต่อการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น เช่น ผักผลไม้ที่ได้รับแคลเซียมจะมีความกรอบ และเนื้อแน่น (firmness) (Pilbeam, Kirby and Environment, 1984) และยังมี

เป็นแร่ธาตุที่กรอบ และเนื้อแน่น (firmness) (Pilbeam et al., 1984) และยังเป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อสุขภาพร่างกายเป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน ทำให้โครงสร้างเหล่านี้มีความแข็งแรง อีกทั้งยังเป็นส่วนประกอบที่ช่วยให้เลือดแข็งตัว ช่วยในการทำงานของระบบประสาทในส่วนของกล้ามเนื้อ ช่วยควบคุมการยืดและหดตัวของกล้ามเนื้อในร่างกายตามส่วนต่าง ๆ ทั่วไป ซึ่งรวมไปถึงกล้ามเนื้อหัวใจ อีกทั้งยังควบคุมความเป็นกรดต่างภายในร่างกาย ซึ่งกระแสนิยมของผู้คนในสังคมที่มีความใส่ใจในเรื่องของสุขภาพจะนิยมเลือกการรับประทานผักหรือสมุนไพรมากขึ้น เช่น ต้นอ่อนข้าวสาลี ที่ถูกใช้เป็นหนึ่งแนวทางเลือกเพื่อสุขภาพที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย

ในปัจจุบันมีนวัตกรรมการผลิตเตรียมเพคตินให้เป็นวัสดุเพคตินนาโนสเฟียร์ ที่สามารถแก้ปัญหาการละลายของเพคตินได้ ปัจจุบันวัสดุเพคตินนาโนสเฟียร์ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในหลาย ๆ ด้าน เนื่องจากเพคตินที่ถูกผลิตเป็นนวัตกรรมนาโนสเฟียร์จะมีขนาดอนุภาคเล็ก มีการกระจายตัวที่ดี มีความเสถียร และอัตราส่วนพื้นผิวต่อปริมาตรสูง (Huang et al., 2018) เพคตินนาโนสเฟียร์เป็นอนุภาคนาโนถูกนำไปใช้เป็นหลักการในการส่งถ่ายหรือการปลดปล่อยสำหรับตัวยาและการเก็บรักษาคุณภาพอาหาร (Al-Asmar et al., 2019; Bostanudin et al., 2019; Gruskiene et al., 2017; Günter et al., 2018) มีการพัฒนานวัตกรรมเพคตินนาโนสเฟียร์เป็นวิธีการพื้นฐานสำหรับการส่งเสริมทางการเกษตร เช่น ปุ๋ยทางเลือก (Bettani et al., 2019) หรือการเน้นการดึงความสามารถของเพคตินในการปลดปล่อยสารต่าง ๆ เช่นอนุภาคนาโนเพคตินเป็นสารปลดปล่อยโคโคโตซาน และไตรโพลีฟอสเฟตที่มีประสิทธิภาพในการลดการดูดซึมความเป็นพิษต่อเซลล์ของพาราควอตภายในดินและการเพิ่มประสิทธิภาพของสารกำจัดวัชพืช (Rashidipour et al., 2019) ซึ่งหากมีการพัฒนานวัตกรรมเพคตินนาโนสเฟียร์ ก็จะมีแนวโน้มที่ดีในการนำไปใช้ทดแทนในการแก้ปัญหาทางการเกษตรอย่างยั่งยืน

ด้วยเหตุนี้จึงนำไปสู่ความสนใจในการศึกษานวัตกรรมเพคตินนาโนสเฟียร์จากใบพืชกรูงเขมาผสมร่วมกับไบโอไนโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาที่ส่งผลต่อการงอกและคุณค่าทางสารอาหารในต้นอ่อนของข้าวสาลี และศึกษาการไบโอไนโนแคลเซียมสกัดจากเกล็ดปลาที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางอุตสาหกรรมทางอาหาร ในพื้นที่จังหวัดพะเยาที่ส่งผลต่อการดูดซึมแคลเซียมในต้นอ่อนข้าวสาลี เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขและลดผลเสียจากการนำสารเคมีลงไปดิน และเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้กับต้นอ่อนข้าวสาลี

1.2 จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเพคตินที่สกัดจากพืชกรงเขมา
2. เพื่อศึกษาผลของเพคตินนาโนสเฟียร์สจากใบกรงเขมาร่วมกับไบโอโนแคลเซียมจากเกลือปลานิลต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลี
3. เพื่อศึกษาผลของการดูดซึมแคลเซียมในต้นอ่อนข้าวสาลี

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ขอบเขตด้านวิธีการทดลอง

1.1 ตัวแปรต้น

1.1.1 เพคตินจากใบกรงเขมา

1.1.2 ปริมาณไบโอโนแคลเซียม

1.2 ตัวแปรตาม

1.2.1 การเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลี

1.2.2 การดูดซึมแคลเซียมของต้นอ่อนข้าวสาลี

2. ขอบเขตด้านเวลา

2.1.1 การเตรียมการสกัดเพคตินจากใบพืชกรงเขมา : เดือนกันยายน

2565

2.1.2 การฟอกสีเพคติน : เดือนกันยายน 2565

2.1.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเพคติน : เดือนตุลาคม 2565

2.1.4 การสังเคราะห์สารประกอบของผงไบโอโนแคลเซียมจาก

เกลือปลานิล : เดือนตุลาคม 2565

2.1.5 การทดสอบการปลูก : เดือนพฤศจิกายน 2565

2.1.6 ศึกษาการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลี : เดือนพฤศจิกายน

2565

2.1.7 วัดการดูดซับของเพคตินนาโนสเฟียร์บนผิวเมล็ดและต้นอ่อนข้าว

สาลี: เดือนธันวาคม 2565

2.1.8 สรุปผล : เดือนมกราคม 2566

2.1.9 อภิปรายผล : เดือนมกราคม 2566

2.1.10 เขียนเล่มวิทยานิพนธ์ : เดือนมกราคม – เมษายน 2566

2.1.11 สอบวิทยานิพนธ์ : เดือนพฤษภาคม 2566

3. ขอบเขตด้านสถานที่

ห้องปฏิบัติการ SC2305 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

1.4 สมมุติฐานของการวิจัย

1. เพคตินนาโนสเฟียร์จากใบกรูงเขมาพร้อมกับไบโอโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาแห้ง สามารถเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับการส่งเสริมเชิงบวกกับอัตราการงอกและการเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลี

2. เพคตินนาโนสเฟียร์จากใบกรูงเขมาพร้อมกับไบโอโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาแห้ง สามารถเพิ่มคุณค่าทางสารอาหารให้กับต้นอ่อนข้าวสาลี

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

การสกัดเพคตินจากใบกรูงเขมา จากพื้นที่อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา โดยเทคนิค การสกัดเพคตินด้วยน้ำกลั่น นำผงเพคตินมาทำเป็นวัสดุนาโนสเฟียร์ผสมร่วมกับผงไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลาแห้ง เพื่อเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับการส่งเสริมเชิงบวกกับการงอกและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลี และเพิ่มคุณค่าทางสารอาหารให้กับต้นอ่อนข้าวสาลี

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

กรุงเขมา *Cissampelos pareira* L. คือ พืชชนิดหนึ่งในวงศ์ Menispermaceae มีลักษณะเป็นไม้เถาเลื้อย เนื้อไม้แข็ง มีขนนุ่มสั้นปกคลุมหนาแน่นตามเถา กิ่ง ช่อดอก และใบ ไม่มีมือเกาะ มีรากสะสมอาหารใต้ดิน ใบเป็นใบเดี่ยว มีหลายรูป เช่น รูปหัวใจ รูปกลม รูปไต มีสรรพคุณทางยา โดยราก แก้ไข้ แก้ดีริ้ว ดีช่าน เป็นยาอายุวัฒนะ บำรุงอวัยวะเพศให้แข็งแรง ใบ พอกเป็นยาเฉพาะที่ แก้โรคผิวหนัง และลำต้น เป็นยาพอกแก้ตาอักเสบ

เพคติน (pectin) คือ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ประเภท heteropolysaccharide มีหน่วยย่อย คือ กรด กาลแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) และเมทิลการแล็กทูโรเนต และน้ำตาลหลายชนิด พบตามธรรมชาติในผนังเซลล์ของพืช (plant cell wall) และรอยต่อระหว่างผนังเซลล์ โดยรวมตัวอยู่กับเซลลูโลส (cellulose) สามารถสกัดได้จากเปลือกผลไม้ หรือพืชบางชนิดเมื่อรวมตัวกับน้ำตาลและกรดในปริมาณที่เหมาะสม จะเกิดเป็นเจลที่อ่อนนุ่ม จึงนิยมนำไปทำแยม และเยลลี่ เพคตินยังมีคุณสมบัติช่วยลดการแยกชั้นในผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรด

เพคตินนาโนสเฟียร์ (pectin nanosphere) คือ การนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีใหม่ของการกักเก็บสารสกัดในระดับนาโนโดยมีการ ด้วยการนำสารสกัดเพคตินจากพืชที่ต้องการมาห่อหุ้มด้วยอนุพันธ์ของธาตุอาหารพืช Ca ที่ซ้อนกันหลาย ๆ ชั้นเพื่อเพิ่มความคงตัว (stability) ของสารที่ถูกกักเก็บไว้ด้านใน ไม่ให้เกิดการออกซิเดชัน (oxidation) หรือ การทำปฏิกิริยาเมื่อสารได้รับธาตุออกซิเจนส่งผลให้สารเหล่านั้นยังคงสภาพเดิม อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการนำพาสารลงสู่ดิน เพื่อให้พืชนำไปใช้ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

ไบโอนานอแคลเซียม (bionanocalcium) คือ แคลเซียมที่ประกอบไปด้วยสายของเปปไทด์ที่มีชีวปริมาณออกฤทธิ์ หรือ bioavailability ที่มีปริมาณสูงมากกว่าแคลเซียมบริสุทธิ์ โดยเปปไทด์จะมีความสามารถในการจับกับแคลเซียม (calcium chelating) โดยมีคุณสมบัติในการป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียมในสถานะของเกลือแคลเซียมฟอสเฟตได้ดี

1.7 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

1. เพศตินนาโนสเฟียร์จากไบกรุงเขมาพร้อมกับไบโอนานอคเลสเซียมจากเกล็ดปลาฉลามสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลีได้
2. วัสดุปลูกเพศตินนาโนสเฟียร์จากไบกรุงเขมาพร้อมกับไบโอนานอคเลสเซียมจากเกล็ดปลาฉลามสามารถเพิ่มคุณค่าทางสารอาหารให้กับต้นอ่อนข้าวสาลีได้

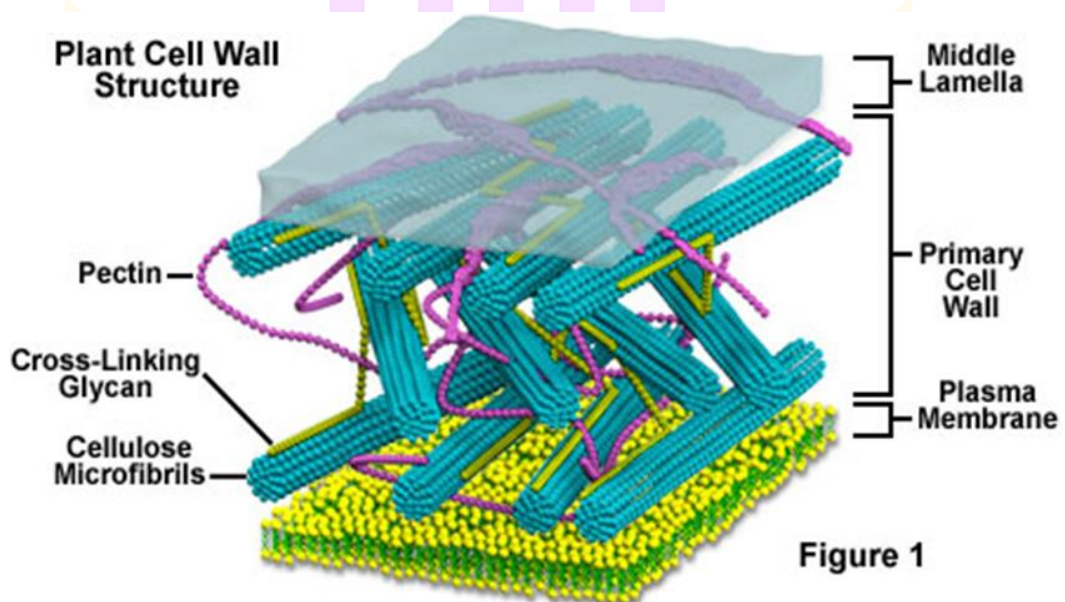


บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เกี่ยวกับเพคติน

เพคติน (pectin) มาจากภาษากรีกที่แปลว่า สารประสานหรือสารทำให้แข็งตัว (congeal or solidity) เพคตินเป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่พบได้ทั่วไปในผนังเซลล์ของพืชที่ยังมีอายุน้อย หรือยังไม่แก่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างเซลล์ และยึดเหนี่ยวเซลล์พืชหลายเซลล์ให้เชื่อมติดกันในบริเวณชั้น middle lamella รวมถึงถูกใช้เป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยาของ เอนไซม์เพคติเนส และเป็นส่วนประกอบสำคัญของเนื้อเยื่อพาเรนไคมา (parenchyma tissue) ซึ่งเพคติน (pectin) เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) เช่นเดียวกับแป้ง และเซลลูโลส ซึ่งพบทั่วไปในผนังเซลล์ของพืช ประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) เป็นหลัก ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก (α -1,4 glycosidic) (ภาพ 1)



ภาพ 1 แสดงโมเลกุลของเพคติน (เส้นสีชมพู) ในเนื้อเยื่อของผัก ผลไม้ บริเวณ middle lamella และ ผนังเซลล์ (cell wall)

พืชมะเขือเทศมีราคาค่อนข้างสูงในประเทศไทย ประมาณ 500 – 10,161 บาทต่อกิโลกรัม อาทิเกรดสำหรับอุตสาหกรรม 500–1,000 บาท/กิโลกรัม และเกรดสำหรับทางการแพทย์ 6,650–10,161 บาทต่อกิโลกรัม ขึ้นกับชนิดวัตถุดิบที่ผลิต และเกรดของพืชมะเขือเทศ เนื่องจากไทยยังไม่มีโรงงานที่สามารถผลิตพืชมะเขือเทศเองได้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นหลัก โดยพืชมะเขือเทศในทางการค้าส่วนใหญ่จะผลิตได้จากผลไม้ตระกูลส้ม และกากของแอปเปิ้ล

2.2 คำจำกัดความและสารที่เกี่ยวข้องกับพืชมะเขือเทศ (Sakai et al., 1993)

American Chemical Society ตั้งคำนิยามไว้ได้แก่

1. Pectic substances คือ กลุ่มอนุพันธ์ของคาร์โบไฮเดรตในรูปคอลลอยด์ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่พบ หรือเตรียมได้จากพืชสารประกอบส่วนใหญ่ คือกรด anhydrogalactouronic ที่เชื่อมต่อกันเป็นลูกโซ่ ซึ่ง carboxyl group อาจจะถูก esterified ด้วย methyl group หรือถูก neutralized เป็นบางส่วนหรือทั้งหมดด้วยต่างตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป (Sakai et al., 1993)

2. Pectinic acids คือ กรด polygalactouronic ที่ถูก esterified ด้วย methyl group มากพอที่จะเกิดเจลกับน้ำตาล และกรดได้ในสภาวะที่เหมาะสม ถ้ามี methyl group ที่ต่ำมาก จะทำปฏิกิริยากับ metalic ion บางตัวได้ ซึ่งเกลือนี้เรียก Pectinates ซึ่งอาจมีคุณสมบัติเป็นกลางหรือกรดก็ได้ (Sakai et al., 1993)

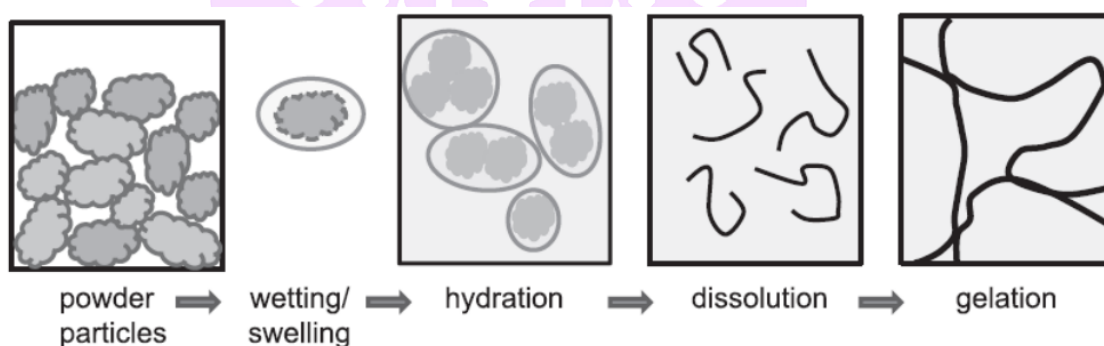
3. Pectic acids คือ กรด polygalactouronic ที่ไม่มี methyl group อยู่เลยหรือ มีในปริมาณที่น้อยมาก pectates คือเกลือของกรด pectic acid (Sakai et al., 1993)

4. Protopectins เป็นสารตัวแรกซึ่งจะเปลี่ยนแปลงต่อไปได้ pectin, protopectin ไม่ละลายน้ำ พบมากในผลไม้สีเขียวโดยอยู่ในส่วนของ middle lamella ปะปนอยู่ในส่วนของ cellulose หรืออาจรวมอยู่กับ cellulose เรียกว่า prot cellulose (Sakai et al., 1993)

5. Pectin คือ สารที่สกัดได้จากพืช ประกอบด้วย pectinic acid เป็นส่วนประกอบหลัก ใน พืชมะเขือเทศสามารถละลายน้ำและก่อเจลได้ในสภาวะที่เหมาะสม (Sakai et al., 1993)

2.3 ประโยชน์ของเพคติน

ในด้านอุตสาหกรรมอาหารเพคตินมีคุณสมบัติแข็งตัวเป็นเจลลี่ได้เมื่อผสมกับน้ำตาลและกรดในปริมาณและอัตราส่วนที่เหมาะสม ดังนั้นจึงใช้เพคตินในอุตสาหกรรมการทำการผลิตเจลลี่และแยมผลไม้ นอกจากนี้เพคตินยังนำมาใช้ในอุตสาหกรรมของผลไม้กระป๋องหรืออุตสาหกรรมผลิตน้ำผลไม้ ด้วยการนำเพคตินมาทำหน้าที่ทำให้ส่วนผสมของสารเข้มข้น และมีความคงตัว นอกจากนี้ในผลิตภัณฑ์นมยังใช้เพคตินเป็นสารทำให้ส่วนผสมเข้มข้นขึ้น ทำให้เกิดความข้น และหนืด ใช้ในการทำน้ำสลัด ซึ่งประโยชน์ของเพคตินในด้านอุตสาหกรรมอาหาร (วัชร เวียงแก้ว, 2550) (ภาพ 2)



ภาพ 2 การเกิดอันตรกิริยาของสารของเพคตินในอาหาร (Einhorn–Stoll, 2018)

เพคตินเป็นสารจำพวกไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ที่ใช้ในอาหารหลายประเภท การผลิตอาหารที่ใช้เพคตินจำเป็นต้องมีส่วนผสมของน้ำที่ใช้ในการละลายเพื่อให้เพคตินทำหน้าที่ในอาหาร เมื่อผสมเพคตินร่วมกับน้ำ (แสดงดังภาพ 2) เพคตินจะเกิดการพองตัว และจะคลายตัวเมื่อได้รับความร้อนสูงขึ้นทำให้เพคตินมีความข้นหนืดและเกิดเป็นลักษณะเจลลี่ขึ้นได้ โดยลักษณะเจลลี่ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ค่าความเป็นกรด-เบส ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid) สัดส่วนระหว่างเพคตินและน้ำ เป็นต้น

ในด้านอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่มนิยมใช้เพคตินเพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหารให้ดีขึ้น โดยใช้เพื่อเป็นสารทำให้เกิดเจล (gelling agent) ในผลิตภัณฑ์แยมเยลลี่ และขนมหวาน หรือใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด (viscosity) ในเครื่องดื่มปรุงรส เชื่อมเข้มข้น น้ำสลัด เครื่องดื่มต่าง ๆ และใช้เป็นสารคงตัว (stabilizer) ในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ นมเปรี้ยว และโยเกิร์ต

เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารที่ทำให้กลไกการเกิดอิมัลชัน (emulsifying agent) ในการผสม กลิ่น รส และป้องกันการแยกชั้นของน้ำมันพืช เพคตินสามารถเป็นสารทดแทนไขมัน (fat replacer) ที่ถูกใช้ในกระบวนการผลิตในไอศกรีม ผลิตภัณฑ์ครีมทาขนมปังต่าง ๆ ส่งผลดีต่อ เนื้อสัมผัสและลักษณะของอาหาร อีกทั้งยังช่วยลดพลังงานจากไขมันได้ (Nazir et al., 2017)

เพคตินมีทั้งหมด 2 ชนิด แบ่งตามระดับของเอสเทอร์ฟิเคชัน (degree of esterification หรือ ค่า DE) ซึ่ง esterification ปฏิกริยาทางชีวเคมีระหว่างกรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ โดยมี เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกริยาได้ เป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่มีหมู่คาร์บอกซิลอิสระ (COOH) และ หมู่คาร์บอกซิลที่รวมอยู่กับหมู่เมทิล (COOCH₃) ทำให้ได้เพคตินดังนี้ (Nazir et al., 2017)

High methoxyl pectin

ระดับของเอสเทอร์ฟิเคชัน (ค่า DE) มากกว่าร้อยละ 50 ในพอลิเมอร์ประเภทนี้ จะมีขนาดโมเลกุลที่แตกต่างกันในพอลิเมอร์โดยจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนและเกิดอันตรกิริยา แบบ hydrophobic กลไกการเกิดเจลจะต้องอาศัยการเติมน้ำตาลและปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้อยู่ในสภาวะที่เป็นกรดในแต่ช่วงของค่า DE จะมีความสามารถเกิดเจลที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับเวลาและค่า pH (ภาพ 3)

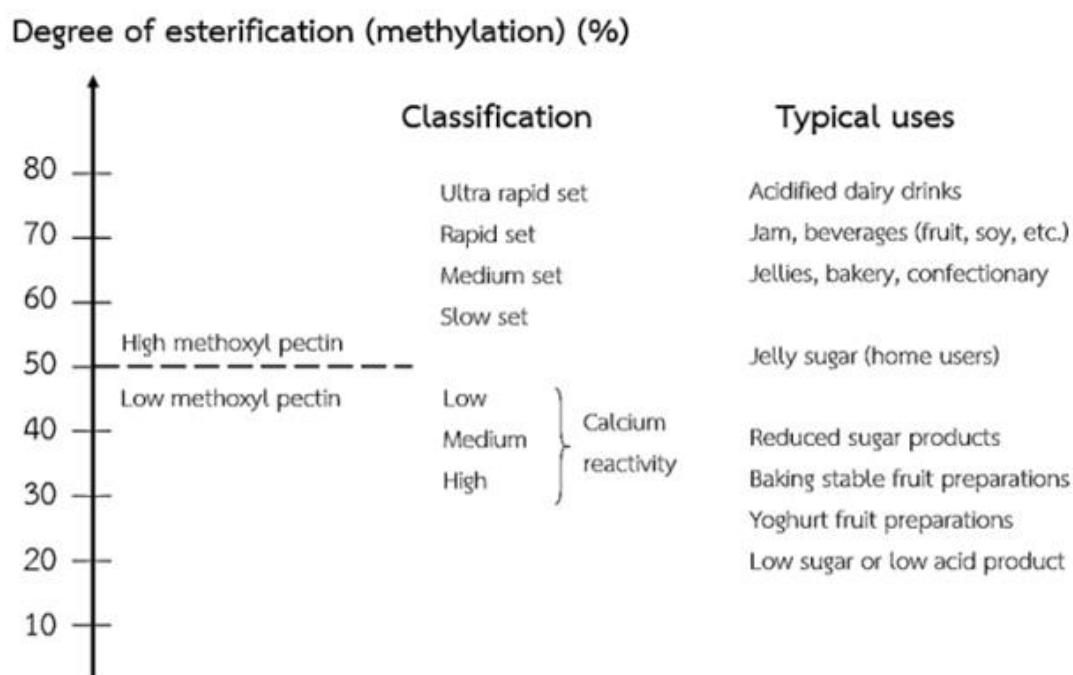
เพคตินชนิดนี้แบ่งย่อยออกเป็นอีก 3 ชนิดตามเวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดเจล (gel)

1. เกิดเจลได้ช้า (slow set)
2. เกิดเจลเร็วปานกลาง (medium set)
3. เกิดเจลรวดเร็ว (rapid set)

การเกิดเจลเร็วมาก (ultra rapid set) โดยระยะเวลาการเกิดเจล จะแตกต่างกันที่ค่า degree of methyl esterification (DM) การนำเพคตินมาใช้ประโยชน์จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ค่าความเป็นกรด-เบส ของอาหาร และชนิดของผลิตภัณฑ์อาหาร

Low methoxyl pectin

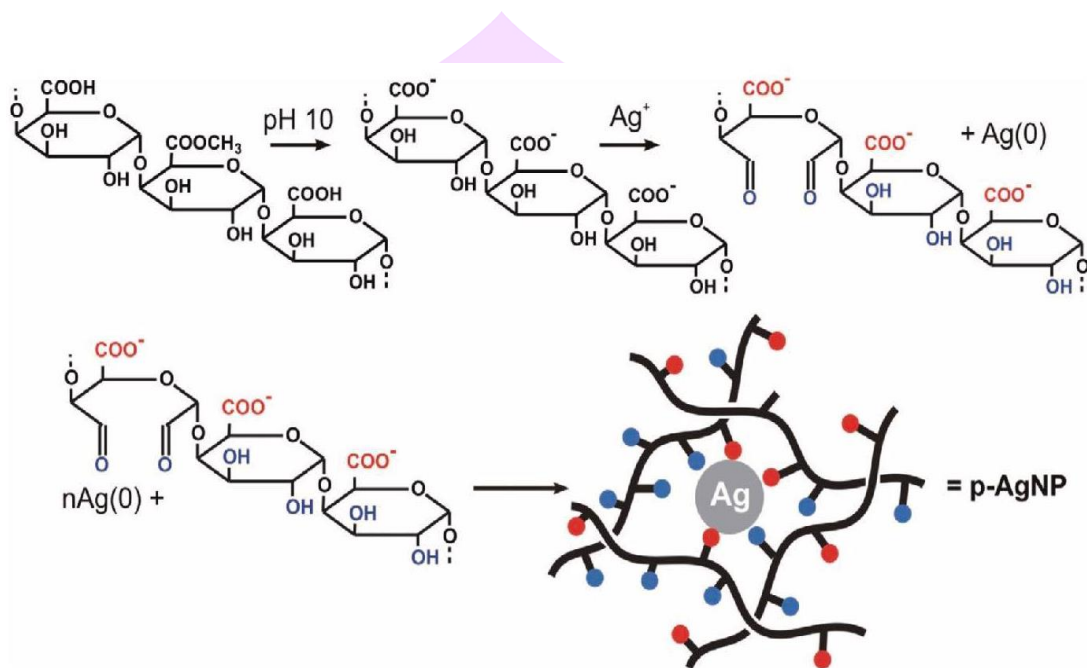
ระดับของเอสเทอร์ฟิเคชันน้อยกว่าร้อยละ 50 จะสามารถสร้างเจล ได้ง่ายกว่า แบบ high methoxyl pectin แต่ต้องอาศัยประจุของแคลเซียมไอออนจึงจะเกิดเจลได้ โดยการเกิดเจลเป็นแบบ egg-box model ในโครงสร้างจะมีประจุแคลเซียมไอออนบริเวณ junction zones (Nazir et al., 2017)



ภาพ 3 ลักษณะเจลในแต่ระดับค่า DE ของเพคติน (Endress and Christensen, 2009)

เพคตินยังถูกนำไปใช้ประโยชน์ทางชีวภาพ เนื่องจากเพคตินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์หลายประการ เช่น ราคาถูก ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และปลอดภัยพิษ คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้เป็นถูกใช้เป็นตัวเสถียรที่มีศักยภาพสำหรับการสังเคราะห์ MNPs ที่มีความมีตรต่อสิ่งแวดล้อม เพราะ MNPs สามารถแสดงแนวโน้มการรวมกลุ่มเนื่องจากมีประจุที่พื้นผิวสูง จึงพบว่าเพคตินยับยั้งการรวมกลุ่มโดยการปรับเปลี่ยนพื้นผิวของเพคตินและยังทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ด้วยเพคตินมีส่วนประกอบทางเคมีที่ประกอบไปด้วย rhamnogalacturonan I (RG-I), rhamnogalacturonan II (RG-II), homogalacturonan (HG) และ xylogalacturonan (XGA) RG-I ด้วยสายโซ่กาแลคตัน ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นศูนย์กลางที่มีความเป็นต่าง หลังจากนั้นหมู่ไฮดรอกซิลเหล่านี้จะถูกแปลงเป็นกลุ่มอัลดีไฮด์ ซึ่งลดเกลือของโลหะเป็น MNPs กลุ่มคาร์บอกซิลิกและไฮดรอกซิลที่มีอยู่ในเพคตินช่วยให้มีปฏิสัมพันธ์กับ MNPs และการลดลงเช่นกัน (Ahmed et al., 2016)

เพคตินได้รับความสนใจในการส่งเสริมให้เป็นตัวกลางในการส่งผ่านยาหลายชนิด เช่น AuNPs ที่สังเคราะห์โดยใช้เพคตินแสดงประสิทธิภาพในการส่งผ่านยาได้ คือ zidovudine (AZT) (ยาด้านไวรัส) และ doxorubicin (DOX) (ยาเคมีบำบัด) และส่งผลต่อความเป็นพิษต่อเซลล์ในหลอดทดลองสำหรับมะเร็งลำไส้ใหญ่ (HT-29) (Devendiran et al., 2016) (ภาพ 4)



ภาพ 4 ภาพประกอบแผนผังแสดงปฏิกิริยาระหว่าง Ag⁺ และเพคตินที่ pH พื้นฐาน วงกลมสีน้ำเงินเป็น ตัวแทนของอัลดีไฮด์และหน้าที่ของแอลกอฮอล์ และวงกลมสีแดงแสดงถึงคาร์บอกซิเลต (Adhikari et al., 2017)

เพคตินมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพที่ดีเยี่ยม จึงถูกนำมาใช้ในการจำกัดโปรตีนและยาต่าง ๆ ในสูตรต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจล พิล์ม ไมโครสเฟียร์ และอนุภาคนาโน (Mishra et al., 2012) และพบการใช้ประโยชน์จากเพคตินของ Sciences and Technology, (2020) การสังเคราะห์ไฮโดรเจลเพคตินของเพคตินจากผลข้าวปุ้นพระฤๅษีสำหรับการปลดปล่อยปุ๋ยไนโตรเจน แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ไฮโดรเจลของเพคติน (Pc) ที่สกัดได้จากผลข้าวปุ้นพระฤๅษีและพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ซึ่งมีกลูตารัลดีไฮด์ (GA) ในการทดสอบความสามารถในการดูดซับของเหลวของไฮโดรเจลเพคติน พบว่าไฮโดรเจลเพคตินมีการดูดซับน้ำได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับจนถึงชั่วโมงที่ 8 จากการศึกษาการดูดซับปริมาณไนโตรเจนโดยเทคนิคเจลดาร์ทล์ของไฮโดรเจลที่

เตรียมจากอัตราส่วน PC : PVP พบว่ามีค่า ปริมาณไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 22.57, 4.11 และเมื่อบรรจุไฮโดรเจลเพคติน ลงในถุงชาและนำลงดินเป็นเวลา 14 วัน พบว่าปริมาณไนโตรเจนในดินมีค่าร้อยละ 5.13, 4.12 (ตาราง 1) และการเพิ่ม PVP เป็นการเพิ่มความหนาแน่นของพันธะเชื่อมข้ามของไฮโดรเจลเพคติน ทำให้ไฮโดรเจลมีความแข็งแรงขึ้น จึงทำให้การดูดซับของเหลวมีค่าลดลงและทำให้การปลดปล่อยได้ไม่มาก

ตาราง 1 ตารางแสดงการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในดินที่มีไฮโดรเจลจาก PC กับ PVP ทำการดูดซับ ปุ๋ยไนโตรเจน (Sciences and Technology, 2020)

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจน (%)		
	ก่อนการปลดปล่อยไนโตรเจน	ไฮโดรเจลผสมดิน	ไฮโดรเจลผสมดินใส่ถุงชา
ชุดควบคุม (ดินเปล่า)		3.08	3.08
Pc: PVP 1:0.8	61.59	22.57	5.13
Pc: PVP 1:1	53.35	4.11	4.12

การศึกษาของ (Ashrafi et al., 2019) ที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคนาโนเพคติน โคโคซาน และไตรโพลีฟอสเฟตนาโน ตัวกลางส่งผ่านสารที่มีประสิทธิภาพในการลดการดูดซึมของดินที่ส่งผลต่อความเป็นพิษต่อเซลล์ของสารกำจัดวัชพืชพาราควอต พบว่าเพคตินอนุภาคนาโนค่อนข้างมีประสิทธิภาพมากกว่าเทคนิคการปลดปล่อยสารแบบเดิมคือการเติมพาราควอตลงสู่ดินโดยตรง และมีรูปแบบการปลดปล่อยสารพาราควอตที่ช้ากว่า ซึ่งการส่งสารพาราควอตผ่านวัสดุเพคตินอนุภาคนาโนจะส่งผลดี มีส่วนทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์ที่ต่ำกว่าการปล่อยสารลงสู่ดินโดยตรง นอกจากนี้การละลายพังก์ของพืชด้วยที่ได้รับสารผ่านเพคตินนาโนยังต่ำกว่า การได้รับพาราควอตรูปแบบบริสุทธิ์ที่ให้แบบลงสู่ดินโดยตรงหรือการได้รับพาราควอตที่ใช้ในเชิงพาณิชย์อย่างมาก ดังนั้นความสามารถในการดูดซึมพาราควอตในดินลดลงเมื่อมีการส่งผ่านสารด้วยการใช้นวัตกรรมเพคตินนาโน ซึ่งมีแนวโน้มที่พาราควอตจะซึมลึกน้อยกว่าอาจช่วยให้การเกิดย่อยสลายทางชีวภาพเร็วขึ้น มีฤทธิ์ของสารกำจัดวัชพืชที่

เพิ่มขึ้น ถือได้ว่าเป็นหนึ่งในข้อค้นพบที่สำคัญที่จะลดความพิชต่อสิ่งแวดล้อมและเซลล์ของมนุษย์น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พาราโค้ดแบบโดยตรง หรือการใช้ตามวิธีการดั้งเดิม และมีข้อได้เปรียบที่อาจนำไปปรับใช้ทางการเกษตรในอนาคต

2.4 ความสำคัญข้าวสาลี

ข้าวสาลี (bead wheat, common wheat) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Triticum aestivum* L. จัดเป็นพืชอยู่ในตระกูลหญ้า (Poacea หรือ Gramineae) มีถิ่นกำเนิด และกระจายพันธุ์อยู่ในประเทศแถบตะวันออกเฉียงเหนือ เส้นศูนย์สูตร หรือในเขตอบอุ่น หรือในเขตหนาวบางเขต ส่วนข้าวสาลีในไทยมีการนำมาปลูกในพื้นที่ทางภาคเหนือ เช่น อำเภอสะเมิง และอำเภอฝาง ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ แต่ส่วนใหญ่มักจะเลือกนำเข้าเมล็ดของข้าวสาลีมากกว่าผลิตหรือปลูกเองภายในประเทศ โดยมีผู้ผลิตที่สำคัญของโลก ได้แก่ ประเทศจีน รัสเซีย สหรัฐอเมริกา ยูเครน และแคนาดา ข้าวสาลีถูกกล่าวว่าเป็นธัญพืชเมืองหนาวชนิดหนึ่งที่เติบโตได้ดีในสภาพอากาศหนาว ไม่ต้องการน้ำในปริมาณที่มาก โดยในประเทศไทยนิยมปลูกในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยมีช่วงที่เหมาะสมสำหรับปลูกอยู่ในช่วงตอนปลายฤดูฝนในสภาพไร่ (ในระยะกลางเดือนตุลาคม จนถึงเดือนพฤษภาคม จะแตกต่างกันไปตามแต่ละพื้นที่) โดยอาศัยความชื้นจากช่วงปลายฤดูฝนก็เพียงพอต่อความต้องการสำหรับการเพาะปลูกและเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวสาลี จากนั้นในช่วงต้นของฤดูหนาวในพื้นที่นาหลังเก็บเกี่ยวนาปี (ช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคม) ข้าวสาลีไม่เหมาะสมสำหรับการปลูก เนื่องจากเป็นพืชที่ไม่เหมาะสมที่จะปลูกในสภาพดินที่เป็นกรดจัดหรือดินเหนียวจัด (ภาพ 5)



ภาพ 5 กล้าข้าวสาลีแบบไบเล็ยงอยู่ใต้ดิน

2.5 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวสาลี

ข้าวสาลีไม่มีระบบของรากแก้วเช่นเดียวกับธัญพืชชนิดอื่น ๆ แต่มีระบบรากฝอยแทนที่แบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือ รากดั้งเดิมที่เกิดจากเนื้อเยื่อของเชื้อชีวิตพืช (embryo) เรียกว่า รากจากเมล็ด และรากจากข้อ โดยซึ่งถือกำเนิดจากข้อของเหง้า อันเป็นส่วนโคนของลำต้น อยู่ใต้ผิวดินประมาณ 1 นิ้ว เหง้ามีข้อหลายข้ออยู่ติด ๆ กัน เนื่องจากความยาวของปล้องบริเวณนี้สั้นมากลำต้นของข้าวสาลีแบ่งออกเป็นปล้อง ๆ มีข้อกั้นระหว่างปล้อง จำนวนข้อของลำต้นที่อยู่เหนือดินมี 5-7 ข้อ ลำต้นของข้าวสาลีส่วนมากมีปล้องกลวง และข้อต้น ต้นข้าวสาลีจะล้มง่ายในระยะแรกแต่ต้นจะตั้งตรงขึ้นในระยะหลัง นอกจากต้นแม่ซึ่งเป็นส่วนที่เจริญเติบโตโดยตรงจากเนื้อเยื่อของเชื้อชีวิตแล้ว ต้นข้าวสาลียังมีการแตกหน่อ คือการสร้างลำต้นอันดับสองจากข้อต่าง ๆ ที่อยู่ติดดิน เราเรียกลำต้นอันดับสองนี้ว่า ต้นแขนงข้าวสาลีพันธุ์ปลูกรุ่นเก่า มีความสูงของลำต้น 120-140 เซนติเมตร ปัจจุบันมีการปลูกข้าวสาลีพันธุ์เตี้ยปานกลาง ซึ่งสูง 90-120 เซนติเมตร ข้าวสาลีพันธุ์เตี้ย ซึ่งสูง 60-90 เซนติเมตร ข้าวสาลีพันธุ์เตี้ยปานกลาง และพันธุ์เตี้ยมีการตอบสนองต่อปุ๋ยสูง เพราะต้นล้มยาก ฟางน้อย และแข็ง

ใบของข้าวสาลีประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนคือ กาบใบ และตัวใบ ที่ข้อต่อระหว่างกาบใบ และตัวใบ ด้านที่อยู่ติดกับลำต้นมีเยื่อบาง ๆ ชนิดหนึ่งยื่นออกมาเรียกว่า ลิ้นใบ นอกจากนี้ ยังมี หูใบ โผล่ออกมาที่ข้อต่อใบทั้ง 2 ข้าง บนหูใบมีขนอ่อน ๆ ขึ้นอยู่ โดยปรกติข้าวสาลีมีใบ 7-9 ใบ บนต้นแม่ ใบสุดท้ายเหนือสุดเรียกว่า ใบธง

รวงของข้าวสาลีมีลักษณะต่าง ๆ กัน แล้วแต่รูปร่าง ความสั้นยาวของรวง สีและลักษณะของดอก สีและความสั้นยาวของหาง ระยะความถี่ห่างของกลุ่มดอกที่เกิดขึ้นบนแกนของรวงต้นแม่ และต้นแขนงที่สมบูรณ์ จะผลิตรวงออกมาที่ยอดต้น รวงมีลักษณะเป็นแท่ง มีกลุ่มดอกติดอยู่ที่ข้อของแกนรวง กลุ่มดอกนี้เกิดขึ้นสลับกับบนแกนรวงทั้งสองข้าง หากมองด้านข้างเห็นปล้องของแกนรวงมีลักษณะยกไปยกมา

ดอกข้าวสาลีที่เรียกว่า กลุ่มดอกนั้น ประกอบด้วยกลีบเปล้าจำนวน 2 อัน อยู่ล่างสุดติดกับแกนรวง ภายในกลุ่มดอกมีดอกจำนวน 2 ถึง 6 ดอกติดอยู่เรียงซ้อนกันขึ้นไปเหนือกลีบเปล้า ดอกแรกของกลุ่มที่อยู่ชั้นล่างสุดเป็นดอกที่สมบูรณ์มากที่สุด โดยตามปกติดอกที่สองหรือสาม ในแต่ละกลุ่มของดอกข้าวจะติดเมล็ดดอกขนาดเล็ก ที่อยู่ส่วนปลายในกลุ่มดอกจะลีบทั้งหมด ดอกของข้าวสาลีจะประกอบด้วยกลีบ 2 อัน ประกอบกัน ได้แก่ กลีบใหญ่ และกลีบ

เล็ก ที่ปลายสุดของกลีบขนาดใหญ่กว่าใหญ่ มีลักษณะที่เป็นปลายแหลมยื่นออกมา เรียกว่าหางข้าว นอกจากนี้ข้าวสาลีบางพันธุ์อาจไม่พบส่วนที่เรียกว่าหาง ส่วนที่ถูกหุ้มอยู่ภายในกลีบขนาดใหญ่ และกลีบขนาดเล็ก คือ เกสรตัวผู้ และเกสรตัวเมีย เกสรตัวผู้ประกอบด้วยอับเรณูที่กักเก็บเรณูไว้ภายใน ในดอกข้าวสาลีสมบูรณ์ของแต่ละดอก จะมีอับเรณูจำนวน 3 อัน ส่วนเกสรตัวเมียจะประกอบด้วยยอดเกสรตัวเมียจำนวน 2 อัน แต่ละอันมีก้านเชื่อมติดอยู่กับรังไข่

2.6 คุณค่าทางอาหารข้าวสาลี

องค์ประกอบของเมล็ดข้าวสาลี ทั้งเมล็ดประกอบด้วย เปลือกหุ้มเมล็ดร้อยละ 7-8 เอนโดสเปิร์ม (endosperm) ร้อยละ 90 และเอ็มบริโอ (embryo) ซึ่งในส่วนของเอ็มบริโอนั้นมีส่วนที่อุดมไปด้วยน้ำมันต่าง ๆ โปรตีน และมีส่วนประกอบของแป้ง แต่พบในปริมาณน้อย เนื่องจากในส่วนของเอนโดสเปิร์มจะกักเก็บสะสมสารอาหารจำพวกแป้ง เยื่อชั้นแอลิวโรน (Aleurone Layer) เป็นเยื่อชั้นถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ 17 ชั้น

และมีลักษณะของเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดจะหนากว่าเยื่อหุ้ม ด้านท้อง ซึ่งความหนานี้จะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ข้าว จะอุดมไปด้วยการห่อหุ้มของโปรตีน เมื่อถูกนำไปขัดสีจะได้ในส่วนของเอนโดสเปิร์มที่มีสีขาวย่อออกมา ส่วนของเปลือกหุ้มและเอ็มบริโอจะถูกแยกออกไประหว่างกระบวนการขัดสี ไปเป็นรำข้าวสาลี เมื่อเมล็ดข้าวสาลีปริมาณ 100 กรัม พบว่าส่วนประกอบที่หลากหลาย ได้แก่ พลังงาน 1,300-1,500 กิโลจูล น้ำ 11-14 กรัม โปรตีน 8-16 กรัม ไขมัน 1.7-4.0 กรัม คาร์โบไฮเดรต 69-72 กรัม (Van Ginkel and Villareal, 1996)

จากข้อมูลการศึกษาสารอาหารในต้นอ่อนธัญพืช พบว่าการงอกของเมล็ดเป็นต้นอ่อนถือเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของพืชให้สูงขึ้นตามไปด้วย (Chavan et al., 1989) นอกจากนี้ผลผลิตที่ได้จากหลังจากเกิดกระบวนการงอกของเมล็ดของเมล็ดธัญพืชที่เจริญมาเป็นต้นอ่อน เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ถือเป็นแหล่งที่มีคุณค่า และพบสารอาหารสารอาหารที่สูงมาก เช่น วิตามิน (vitamin) แร่ธาตุ (minerals) โยอาหาร (fiber) สารต้านอนุมูลอิสระ เช่น เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase, SOD) ที่มีคุณสมบัติช่วยในการต้านออกซิเดชัน (anti-oxidation) ใช้เป็นตัวช่วยสำหรับลดการดูดซึมคอเลสเตอรอล และช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด นอกจากนี้ยังพบสารกาบาโดยปกติพบมากในส่วนองเมล็ด

ธัญพืชที่ผ่านการงอกแล้ว ยังสามารถพบได้ในต้นอ่อนด้วย ซึ่งกาบามีสมบัติช่วยป้องกันความดันโลหิตสูง (antihypertensive)

อีกทั้งมีการศึกษาประโยชน์ของกาบามีรายงานการพบสารกาบาส่งผลในระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งสังเคราะห์มาจากกลูตาเมตโดยการเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์ การสังเคราะห์กาบาเกิดขึ้นที่ปลายประสาททำให้มีบทบาทเป็นสารสื่อประสาท สำหรับยับยั้งการส่งผ่านกระแสประสาท เพื่อรักษาสสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้น ทำให้เกิดสถานะที่คลายความกังวล จึงสามารถมีส่วนในการช่วยลดสถานะความเสี่ยงในการเกิดโรคความดันโลหิต

จากงานวิจัยของ Verma Dubey (2003) พบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีในช่วงอายุ 5-20 วัน มีปริมาณสารและเอนไซม์ต้นอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Burkholder and McVeigh, 1942) ที่พบว่าต้นอ่อนธัญพืชที่มีอายุ 0-12 วัน จะมีปริมาณของไทอามิน (thiamin, B1) และไรโบฟลาวิน (riboflavin, B2) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในเมล็ดแห้ง อีกทั้งในงานวิจัยของ (Cheng et al., 2008) พบว่าในต้นอ่อนข้าวที่มีอายุ 15 วัน จะมีปริมาณโปรตีนและสารที่ได้จากการสกัดสามารถเพิ่มจำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาวที่สร้างภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายได้ นอกจากนี้ยังพบสารประกอบที่มีชื่อว่า 6-aminopurine สารประกอบดังกล่าว จะทำให้มีปริมาณของกรดยูริก (uric acid) ในเลือดสูงกว่าปกติ และสามารถเข้าไปสะสมในเยื่อตามข้อและปลายกระดูกส่งผลทำให้เกิดอาการปวดและอักเสบได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดกิจกรรมของเอนไซม์

2.7 กระบวนการงอกของเมล็ดพืช

ในกระบวนการงอกของเมล็ดธัญพืชเป็นเพื่อต้นอ่อน (seedling) จะมีการสร้างวิตามินและแร่ธาตุขึ้น เนื่องจากเกิดกระบวนการสลายสารอาหารที่เก็บสะสมในเมล็ด เพื่อนำไปใช้ในการงอกและเจริญเติบโตของต้นอ่อน การงอก (germination) ของเมล็ด หมายถึง การเกิดกระบวนการต่าง ๆ ภายในเมล็ดพืชที่มีชีวิต (visible) ที่อยู่ในระยะพักหรือสถานะสงบนิ่งแล้วได้รับปัจจัยต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการงอก เช่น ความชื้น อุณหภูมิ อากาศ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเมล็ด กระตุ้น ทำให้เกิดรากอ่อนของต้นแทงทะลุเปลือกหุ้มเมล็ดออกมา ซึ่งทางสรีรวิทยาและ ชีวเคมีถือว่า คือ การงอกของเมล็ด ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงสารอาหารที่อยู่ภายในเมล็ด ส่งผลให้เอนไซม์ที่มีอยู่ภายในเมล็ดถูกกระตุ้นให้มีการทำงานสารอาหาร

ที่ถูกเก็บสะสมไว้ในเมล็ดจะมีการย่อยสลายไปตามกระบวนการชีวเคมีให้ได้เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลเล็ก (oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) โดยการทำงานของเอนไซม์กลุ่มที่ย่อยแป้ง เช่น เอนไซม์อะไมเลส (amylase enzymes) เอนไซม์อินเวอร์เทส (invertase enzymes) เป็นต้น นอกจากนี้โปรตีนจะถูกย่อยให้เป็น กรดอะมิโน (amino acid) และเปปไทด์ (peptide) (Rimsten, 2003) และยังมีการสะสมสารต่าง ๆ เช่น สารแกมมาอะมิโนบิวทีริกแอซิด หรือกาบา (gamma aminobutyric acid, GABA) โยอาหารอินโนซิทอล (inositols) กรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) กรดไฟติก (phytic acid) โทโคเฟอร์รอล (tocopherol) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) แกมมาออโรซานอล (gamma orazynol) และ โพแทสเซียม (potassium) (Kayahara et al., 2001) เป็นต้น

นอกจากนี้การกระตุ้นให้เมล็ดแห้งงอกและเจริญมาเป็นต้นใหม่ จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการ 4 กลุ่มคือ การดูดน้ำ การสร้างระบบเอนไซม์ และการใช้ออกซิเจนเพื่อการหายใจ การเจริญและงอกของส่วนของเอ็มบริโอของพืชที่อยู่ใต้ไฮโปคอติล ซึ่งจะเจริญต่อไปเป็นราก และการเจริญของต้นอ่อน โดยการงอกของเมล็ดธัญพืชเมื่อต้นข้าวเจริญเติบโตในระยะเวลาที่มีการแตกของอ่อนจะมีสร้างสารที่เรียกว่าสารทุติยภูมิ (secondary metabolite) ได้แก่ คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) สารประกอบพอลิฟีนอล (polyphenol) ในพืชตระกูลหญ้า มีการเปลี่ยนแปลงคือ การปิดส่วนยอดของต้นอ่อนไว้ให้อยู่ในปลอกทรงกระบอกรูปทรงซึ่งเรียกว่า Coleoptile การยึดตัวของลำต้นจะเกิดในส่วนที่อยู่ระหว่างเมล็ดและ Coleoptile ซึ่งเรียกว่า Mesocotyl

2.8 ลักษณะทางชีววิทยาของปลานิล

ปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) เป็นปลาน้ำจืด มีถิ่นกำเนิดพบที่พบได้ในแถบลุ่มน้ำแอฟริกาตอนเหนือและพื้นที่ลิแวนต์ เช่น อิสราเอล และเลบานอน แต่พบว่าปลานิลชุกชุมอยู่ในแถบลุ่มแม่น้ำไนล์ เป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากในประเทศไทย ที่สามารถเพาะพันธุ์ และเพาะเลี้ยงได้ง่าย ซึ่งสามารถเลี้ยงได้ทั้งในกระชัง บ่อดิน หรือบ่อซีเมนต์ เป็นปลาที่ในปัจจุบันได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยมีการจำแนกลำดับทางอนุกรมวิธานของปลานิลดังนี้ (ภาพ 6)

Kingdom Animalia

Phylum Chordata

Class Actinopterygii

Order Perciformes

Family Cichlidae

Genus *Oreochromis*

Species *Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758



ภาพ 6 ปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758)

ปลานิล (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) มีรูปร่างลักษณะของปลานิลคล้ายกับปลาหมอเทศ เนื่องจากปลานิลจัดอยู่ในกลุ่มวงศ์เดียวกับปลาหมอ แต่ลักษณะพิเศษของปลานิล (ดังภาพ 6) คือ มีรูปร่างและลักษณะคล้ายกับปลาหมอเทศมากที่สุด แต่จะมีสีจางกว่าปลาหมอเทศเล็กน้อย หัวจะมีลักษณะเล็กลาดเรียบบริเวณริมฝีปากล่างกับริมฝีปากบนจะเสมอกัน มีซี่เหงือกประมาณ 19 - 28 ซี่ ขอบตาปลานิลมีสีแดง ที่กระดุกแก้มจะมีจุดสีเข้มหนึ่งจุด ลำตัวมีลักษณะตัวป้อมมีสีเขียวน้ำตาล และมีลายพาดขวาง ระยะห่างระหว่างแถวขวงลักษณะของลายจะพาดขวางจากส่วนหลังมายังส่วนท้องอย่างสมบูรณ์โดยจะไม่แตกเป็นแถบด้านหลังหน้า มีครีบหลัง ครีบกัน และครีบหางจะมีลายตามแนวเส้นประจุดสีขาวและเส้นสีดำตัดขวาง (เพ็ญพรรณ ศรีสกุลเดี่ยว และคณะ, 2551)

2.9 เกล็ดปลา

สภาพร่างกายของสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังหลายชนิดมักจะมีสิ่งปกคลุมร่างกายด้วยเกล็ด ที่มีต้นกำเนิดมาจาก 2 แหล่งใหญ่ คือ ผิวหนังชั้นนอกและผิวหนังชั้นใน เกล็ดในสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูง เช่น เกล็ดงูมีต้นกำเนิดมาจากผิวหนังชั้นนอก เรียกเกล็ดชนิดนี้ว่า epidermal scale

สำหรับเกล็ดปลา เรียกว่า dermal scale มีต้นกำเนิดจากผิวหนังชั้นใน เนื่องจากเป็นส่วนที่ยื่นออกมาภายนอกร่างกายและห่อหุ้มตัวปลา จึงอาจถือว่าเป็นโครงกระดูกภายนอก (exoskeleton) บางครั้งถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Integumentary skeleton ปลาบางชนิดไม่มีเกล็ด เช่น ปลาดุก ปลากระเบนไฟฟ้า ปลาบางชนิดมีเกล็ดขนาดเล็กมาก และฝังแน่นในผิวหนัง เช่น ปลาไหล ปลาบางชนิดมีเกล็ดตามตัวเป็นหย่อม ๆ หรือบางชนิดมีเพียง 2 -3 แถวเท่านั้น เกล็ดของปลาบางชนิดเป็นแผ่นบางห่อหุ้มรอบตัว เกล็ดปลาบางชนิดยึดติดแน่นกับผิวหนังและบางชนิดหลุดง่าย (วิมล เหมะจันทร์, 2540)

2.10 องค์ประกอบของเกล็ดปลา

ตาราง 2 องค์ประกอบทางเคมีของเกล็ดปลาชนิด ต่าง ๆ (Zou et al., 2005)

ชนิดของปลา	ปริมาณ (ร้อยละ)				
	น้ำ	ไขมัน	ไนโตรเจน (N x 6.25)	เกลือแร่	ฟอสฟอรัส
Herring	51.5 – 56.0	0.5 – 1.0	26.5 – 28.51	26.5 – 28.51	6.5 – 18.5
Sardine	32.5 – 38.5	0.5 – 1.52	9.5 – 36.5	9.5 – 36.5	29.0 – 32.0
Pikeperch	51.5 – 57.5	0.1 – 0.81	9.5 – 26.5	9.5 – 26.5	19.5 – 23.5
Barb	51.0 – 54.5	0.4 – 0.5	32.0 – 34.0	32.0 – 34.0	14.0 – 15.5
Bream	54.5 – 60.5	0.1 – 0.5	25.0 – 31.0	25.0 – 31.0	14.0 – 15.0
Pike	55.5 – 57.5	0.1	24.5 – 26.5	24.5 – 26.5	17.0

จากรายงานของ ประเสริฐ สายสิทธิ์ (2524) ได้กล่าวถึงองค์ประกอบทางเคมีของเกล็ดปลาหลากหลายชนิด สามารถแสดงได้ดังตาราง 2 ซึ่งพบว่าเกล็ดปลามีสารประกอบ

ไนโตรเจนอยู่ค่อนข้างสูงประมาณ 25–35% แต่จะอยู่ในรูปโปรคอลลาเจนเป็นส่วนใหญ่และมีโปรตีน Ichthlipidin ซึ่งมีลักษณะต่างจากโปรคอลลาเจน คือมีความสามารถในการละลายได้ในน้ำร้อน

2.10.1 คุณสมบัติทางเคมี

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Fahmi et al., (2004) ได้รายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีโดยน้ำหนักแห้ง ของเกล็ดปลากระพงแดง (sea bream) พบว่าประกอบด้วย โปรตีน 51.2 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.1 เปอร์เซ็นต์ สารอินทรีย์อื่น ๆ 1.4 เปอร์เซ็นต์และสารอนินทรีย์ 47.3 เปอร์เซ็นต์ และจากรายงานของ (Nagai และคณะ, 2004) ยังแสดงข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบของเกล็ดปลาทั่วไปว่าประกอบด้วย ความชื้นที่ 70 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 27 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 1 เปอร์เซ็นต์ และเถ้า 2 เปอร์เซ็นต์ โดยโปรตีนในเกล็ดปลาส่วนใหญ่ คือ คอลลาเจน ซึ่งการศึกษาของ Ikoma et al., (2003) ที่ได้กล่าวถึงความเกี่ยวกับโครงสร้างของเกล็ดปลากระดูกปลากระพงแดง พบว่าประกอบด้วย extracellular matrix ที่มีคอลลาเจน type I จัดเรียงตัวกันเป็นโครงสร้าง 3 มิติ และมี Calcium-deficient hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) ประกอบอยู่ในโครงสร้างและได้ศึกษาค่า Tensile strength (ค่า stress ที่จุดแตกหัก) ของเกล็ดปลากระดูกปลากระพงแดง

2.10.2 คุณสมบัติของเกล็ดปลา

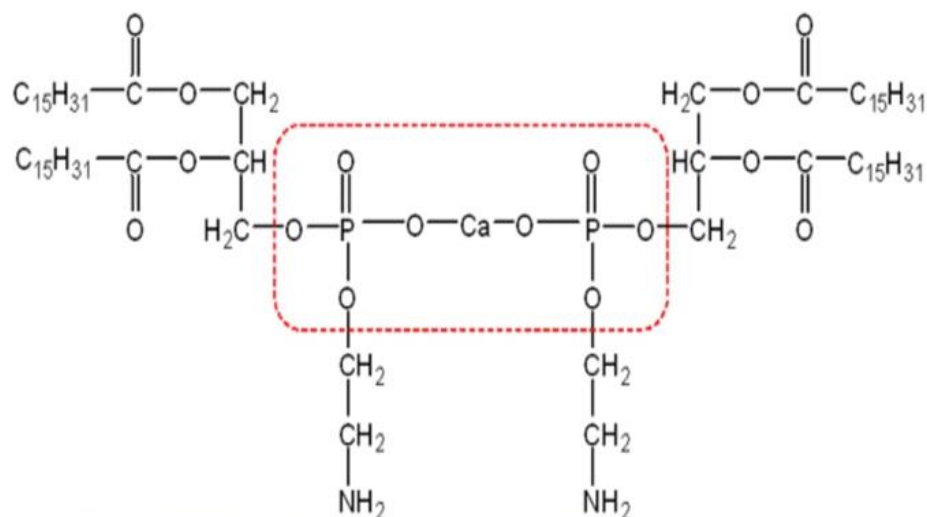
จากการศึกษาของ Ikoma et al., (2003) เกี่ยวกับโครงสร้างของเกล็ดปลา *Pagrus major* พบว่าประกอบด้วย extracellular matrix ที่มีคอลลาเจน type I จัดเรียงตัวกันเป็นโครงสร้าง 3 มิติ และมี calcium-deficient hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) ประกอบอยู่ในโครงสร้างซึ่งส่วนประกอบหลัก คือ คอลลาเจน แคลเซียมฟอสเฟต และน้ำที่เหลือเป็นสารอินทรีย์อื่น ๆ เช่น โปรตีน น้ำตาล และไขมัน ในปริมาณเล็กน้อย โดยคอลลาเจนจะมีเนื้อพื้น (Matrix) ที่อยู่ในรูปไมโครไฟเบอร์และยากที่จะสังเกตเห็นคอลลาเจนอย่างชัดเจน เพราะจะเห็นเป็นลักษณะเหมือนตาข่าย แคลเซียมฟอสเฟตจะอยู่ในรูปผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ (ชนกนันท์ ทะนานแก้ว และคณะ, 2555)

2.11 ไฮดรอกซีอะพาไทต์

ไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นสารในกลุ่มแคลเซียมฟอสเฟตที่ได้รับความสนใจศึกษาอย่างกว้างขวางและยาวนาน เนื่องจากไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นสารที่มีโครงสร้างและส่วนประกอบที่คล้ายกับแร่ที่เป็นเนื้อพื้นของกระดูกธรรมชาติ ทำให้มีความสามารถในการเข้ากันได้เป็นอย่างดีกับส่วนประกอบของกระดูกในร่างกายมนุษย์ มีความสามารถในการตอบสนองทางชีวภาพสูง สามารถเกิดพันธะเคมีได้โดยตรงกับเนื้อเยื่อกระดูกที่มีชีวิต เป็นสื่อชักนำเซลล์ของกระดูกไม่ เป็นพิษไม่ทำให้เกิดการแพ้ และไม่เกิดการต่อต้านจากระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย โดยจุดประสงค์ในการศึกษาสาร อนินทรีย์ชนิดนี้ก็เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ในรูปแบบของผงละเอียดวัสดุผสมหรือสารเคลือบผิว เช่น กระจกเทียมอุปกรณ์สำหรับวัดการตอบสนองต่อการถูกกระตุ้นทางชีวภาพในร่างกายสิ่งมีชีวิต อุปกรณ์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าในเนื้อเยื่อของมนุษย์ สารตัวช่วยในการถ่ายภาพอวัยวะภายในหรือสมองของมนุษย์ เป็นต้น ซึ่งในการนำไปใช้งานนั้นสมบัติของวัสดุจะต้องมีความสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานจริง ดังนั้นนักวิจัยจึงต้องพยายามปรับปรุงสมบัติของวัสดุ เช่น ความสามารถในการตอบสนองทางชีวภาพ (bioactivity) สมบัติเชิงกลความสามารถในการละลาย และความสามารถในการถูกเผาซินเตอร์โดยการควบคุมส่วนประกอบสัณฐานวิทยา และขนาดของอนุภาค

ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite, HAp) เป็นหนึ่งในสารกลุ่มแคลเซียมฟอสเฟตที่มีส่วนประกอบทางเคมี เหมือนกับแร่ที่มีสูตรทางเคมี คือ $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ Hexagonal rhombic prisms ซึ่งเป็นสารแคลเซียมฟอสเฟตที่สำคัญมากที่ใช้สำหรับเป็นวัสดุทดแทนกระดูก ซึ่งปริมาณ (เปอร์เซ็นต์) ชนิดของปลา น้ำ ไขมัน สารไนโตรเจน (N x 6.25) เกลือแร่ ฟอสฟอรัส Herring 51.5 – 56.0 0.5 – 1.0 26.5 – 28.5 1.0 – 1.5 6.5 – 18.5 0.5 – 0.6 Sardine 32.5 – 38.5 0.5 – 1.52 9.5 – 36.5 29.0 – 32.0 – Pikeperch 51.5 – 57.5 0.1 – 0.81 9.5 – 26.5 19.5 – 23.5 4.5 – 8.0 Barb 51.0 – 54.5 0.4 – 0.5 32.0 – 34.0 14.0 – 15.5 1.2 – 2.1 Bream 54.5 – 60.5 0.1 – 0.5 25.0 – 31.0 14.0 – 15.0 1.0 – 2.0 Pike 55.5 – 57.5 0.1 24.5 – 26.5 17.0 2.3 – 3.2 6 ตามลำดับ ไฮดรอกซีอะพาไทต์มีสมบัติความเข้ากันได้ดีทางชีวภาพ (biocompatibility) ที่ดี เนื่องจากไฮดรอกซีอะพาไทต์เป็นวัสดุที่สำคัญที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ (biomedical) เพราะไฮดรอกซีอะพาไทต์มีองค์ประกอบทางเคมีที่มีความเหมือนกับกระดูกจริง และไฮดรอกซีอะพาไทต์ มีสมบัติไบโอแอคทิวิตี (bioactivity) ที่ดีขึ้น

เมื่อเติมซิลิกอนเข้าไปในโครงสร้างของไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Palard Champion and Foucaud, 2008; Rimsten, 2003; Thian et al., 2007; Zou et al., 2005) (ภาพ 7)



ภาพ 7 โครงสร้างไฮดรอกซีอะพาไทต์

ในกรณีของไฮดรอกซีอะพาไทต์ มีรายงานวิจัยและบทความจำนวนมากที่กล่าวว่าเมื่อทำให้วัสดุไฮดรอกซีอะพาไทต์อยู่ในระดับของขนาดนาโนแล้ว จะมีสมบัติในการทำงานที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากขนาดเกรนที่เล็กในระดับนาโน จะทำให้มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมาก โดยธรรมชาติมักจะพบไฮดรอกซีอะพาไทต์ในกระดูก แร่ และเกล็ดปลา

โดยมีการผลิตวัสดุไฮดรอกซีอะพาไทต์จากวัสดุธรรมชาติ เช่น เปลือกไข่ กระดูกสัตว์ ก้างปลา เกล็ดปลา และซากปะการัง ด้วยวิธีการการตกตะกอนทางเคมีลักษณะวัสดุขนาดจะเกี่ยวข้องกับกรรมวิธีการสังเคราะห์นาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์จากวัสดุธรรมชาติ

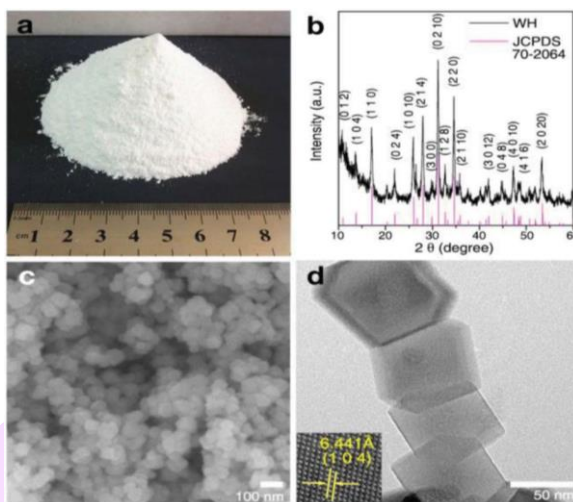
สำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเวชภัณฑ์ทางการแพทย์ด้านกระดูกและฟัน กรรมวิธีการสังเคราะห์นาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์จากวัสดุธรรมชาติที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบ จะใช้วิธีการเผาวัสดุธรรมชาติดังกล่าวที่ทำให้เป็นผงด้วยกระบวนการแคลไซน์ภายใต้สภาวะที่ทำให้ได้ผงแคลเซียมคาร์บอเนต การเผาผงแคลเซียมคาร์บอเนต ดังกล่าวด้วยกระบวนการซินเตอร์ริง ภายใต้สภาวะที่ทำให้ได้ผงแคลเซียมออกไซด์

2.11.1 ประโยชน์ไฮดรอกซีอะพาไทต์

1. สารทดแทนกระดูก

ในปัจจุบันมีการปลูกกระดูก (Bone graft) คือ เป็นกระดูกส่วนที่ตัดออก จากอวัยวะส่วนอื่นในร่างกายของผู้ป่วย หรือการปลูกถ่ายจากกระดูกที่ได้รับบริจาคผู้อื่น (Allograft bone) และการปลูกถ่ายจากกระดูกของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม เช่น กระดูกของวัว (Xenograft bone) มีการยอมรับได้ว่ามีความเหมาะสมหรือคุณสมบัติที่ดีที่สุด สำหรับการใช้ในการพัฒนาแก้ไขปัญหาคายืดติดของกระดูก รวมถึงการเติมลงในส่วนบกพร่องของกระดูก โดยที่ผ่านมากพบปัญหาในกรณีที่ต้องใช้กระดูกเพื่อปลูกถ่ายจำนวนมากหรือมีขนาดชิ้นที่ใหญ่ โดยเฉพาะวิธีการการซ่อมสร้าง (Reconstruction) ส่วนของกระดูกที่พร่องไป และในเชิงการแพทย์ถูกนำมาใช้ในการรักษาเพื่อช่วยในการเสริมสร้างกระดูกให้กับผู้ป่วย นอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้ในการเสริมความงาม เพื่อรักษารอยเหี่ยวย่นบนใบหน้า

Urist (1989) ได้ทำการวิจัยการทดลองสารทดแทนกระดูกจากกระดูกวัว ซึ่งเรียกว่า “anorganic bovine bone particles” และผลิตสำหรับออกมาจำหน่ายในชื่อ “Bio-OSS” โดยได้มีการนำไปทดลองใช้และพบว่าได้ผลดีเทียบเท่ากับการใช้ไฮดรอกซีอะพาไทต์แบบสังเคราะห์และบริษัท Merck, Darmstadt, Germany ก็ได้ผลิตเซรามิกไฮดรอกซีอะพาไทต์แบบมีรูพรุนจากกระดูกวัวออกมาจำหน่ายและ Jang et al., (2015) ได้มีความสนใจในการศึกษาเซรามิกเลียนแบบไบโอเมคานิกส์ (Biomimicking ceramics) ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อกระตุ้นการฟื้นฟูเนื้อเยื่อแข็งที่เสียหายอย่างมีประสิทธิภาพ ในหมู่ไบโอเซรามิกส์ที่มีแคลเซียมฟอสเฟต เนื่องจากมีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกันกับเนื้อเยื่อแข็งของมนุษย์และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ดี หากศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัสดุชีวภาพ จากวิธีการสังเคราะห์อุณหภูมิสูง WH ที่พัฒนาขึ้นเมื่อเร็ว ๆ นี้ พบคุณสมบัติของ WH ในฐานะวัสดุสำหรับเสริมสร้างของเซลล์และการปลูกถ่ายกระดูก คือประเมนและเปรียบเทียบกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) และ β -tricalcium phosphate (β -TCP: β - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) ในการศึกษาครั้งนี้มีการค้นพบใหม่ของคุณสมบัติของ WH ที่แตกต่างจาก HAP และ β -TCP นั้นไม่สามารถหรือผสมเข้ากับเนื้อโครงสร้างกระดูกของมนุษย์ได้ แต่เป็นการเลียนแบบและจำลองเนื้อเยื่อกระดูกในระดับนาโน และการออกแบบไบโอเซรามิกส์ในเชิงหน้าที่ (ภาพ 8)



ภาพ 8 a)สังเคราะห์อนุภาคนาโน WH ในระดับกรัมจากแบทช์ 1 ลิตรตามวิธีการที่เราพัฒนาขึ้นล่าสุด b)การยืนยันเฟสที่เป็นเนื้อเดียวกันของอนุภาคนาโน WH จากการวิเคราะห์ XRD อนุภาคนาโน WH ที่สังเคราะห์ขึ้น (สีดำ) แสดงตำแหน่งสูงสุดที่เหมือนกันกับตำแหน่งสูงสุดของ WH ที่รายงานจาก JCPDS 70-2064 (สีม่วง) c) สัณฐานวิทยาที่เป็นเนื้อเดียวกันของอนุภาคนาโน WH สังเกตโดย FESEM d)รูปทรงสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนของอนุภาคนาโน WH ที่มีขนาดประมาณ 50 นาโนเมตร Jang et al., (2015)

2.12 ต้นกรุงเขมา

2.12.1 ลักษณะทั่วไปของต้นกรุงเขมา

กรุงเขมาเป็นพืชสมุนไพรที่มีสรรพคุณทางยามีชื่ออื่น ๆ ตามท้องถิ่นเรียกว่า ขงเขมา พระพาย หมอน้อย เครือหมาน้อย หมาน้อย ก้นปัด และสีฟัน จัดอยู่ในวงศ์ Menispermaceae กรุงเขมา มีลำต้นเป็นลักษณะเถาเนื้อแข็งขนาดกลาง ใบเดี่ยว รูปหัวใจ มีขนปกคลุมทั่วไปทั้งบนใบและท้องของใบ ก้านใบปัด ดอกตัวผู้และตัวเมียแยกจากกันมีขนาดเล็ก เมล็ดโค้งอเหมือนพระจันทร์ครึ่งซีก พบได้ทั่วไปในที่รกร้างว่างเปล่ากระจายอยู่ทั่วไป มักถูกนำมาประกอบอาหารทั้งคาวและหวาน กรุงเขมาเป็นพืชสมุนไพรที่มีสรรพคุณทางยา รากมีรสหอมเย็น แก้ไข้ ดีซ่าน เป็นยาอายุวัฒนะ แก้กระเพาะปัสสาวะอักเสบ ใบใช้ทาแก้โรคผิวหนัง มีสารอัลคาลอยด์ เช่น Hayatinine, Pelosine Quercitol และ Sterol ลักษณะพิเศษของใบ

กรุงเขมา คือ เมื่อนำมาขยำหรือปั่นกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วจึงกรองเอาเศษใบออก เมื่อตั้งทิ้งไว้สักกระยะจะจับตัวกันเป็นก้อนคล้ายวุ้น เรียกว่า วุ้นกรุงเขมาจากพืชมะเขมา (อุบล โรจนวัน และคณะ, 2560) (ภาพ 9)

นอกจากนี้ในพื้นที่จังหวัดพะเยามีการนิยมนำพืชกรุงเขมามารับประทานกัน ในกลุ่มของชาติพันธุ์ไทลื้อ อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา มีการประกอบอาหารพื้นบ้านไทลื้อที่ทำรับประทานกันอยู่เป็นประจำ และหนึ่งในเมนูประจำท้องถิ่น คือ แอ่งแฉะ ซึ่งทำมาจากใบของพืชกรุงเขมา เมื่อนำใบกรุงเขมาคั้นผสมกับน้ำในปริมาณเล็กน้อย ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 10 – 15 นาที น้ำสีเขียวเข้มจะจับตัวกันกลายเป็นวุ้นที่เกิดจากในใบกรุงเขมาที่มีเพคตินเป็นส่วนประกอบในปริมาณสูง ซึ่งช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด ให้พลังงานต่ำ และมีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น เบต้าแคโรทีนสูง (6,577 ไมโครกรัม เทียบเท่าวิตามินเอ 1,096 RE จากใบกรุงเขมา 10 กรัม) (พัชรินทร์ ใจซ้อ, ม.ป.ป)



ภาพ 9 ภาพลำต้นของใบกรุงเขมา (A)ลำต้นและ (B)ใบของกรุงเขมา

2.13 สารสำคัญในใบกรงเขมา

2.13.1 องค์ประกอบทางเคมี

ในใบกรงเขมาพบสารในกลุ่มแอลคาลอยด์ในปริมาณสูง เช่น hyatine, hyatinine, sepurine, beburine, cissampeline, pelosine นอกจากนี้ยังพบ quercitol, sterol แอลคาลอยด์ hyatine มีฤทธิ์คลายกล้ามเนื้อและลดความดัน (ญาธิปวีร์ บักแก้ว, 2559)

Johns, Lambertson and Sioumis (1967) ได้ศึกษาสารสกัดจากกรงเขมา พบว่ามีสาร pyrrole alkaloid ประกอบด้วย cissampeline, curine, cyclanoline, tetrandrine, obaberine, obamegine, oblongine homoaromoline, nor-N'-chondrocurine, tran-N'-feruloyltyramine, และยังพบสาร coclaurine ซึ่ง cyclanoline, obamegine, homoaromoline, nor-N'-chondrocurine มีฤทธิ์ต้าน acetylcholinesterase สูง และยังพบว่าสาร curine, tetrandrine, obaberine, homoaromoline มีความเป็นพิษที่สามารถต้านเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ (HT29 cell) ได้

2.14 การใช้ประโยชน์จากต้นกรงเขมา

กรงเขมามีการใช้ประโยชน์หลัก ๆ ตามภูมิปัญญาใน 2 รูปแบบ คือ ใช้เป็นอาหารและการใช้เป็นยา ในส่วนของอาหารดั้งเดิมตามภูมิปัญญาด้วยคุณสมบัติของกรงเขมาที่มีองค์ประกอบเป็นเพคตินสูงถึงร้อยละ 30 (พิเชษฐ เทบารุง, 2546)

ในใบของกรงเขมามีเพคตินชนิด low methoxy pectin ที่มีคุณสมบัติเฉพาะ คือ สามารถจับตัวเป็นเจลได้ในน้ำเย็นและไม่ต้องมีกรด หรือน้ำตาล จึงได้มีการนำมาพัฒนาใช้ประโยชน์ในการทำผลิตภัณฑ์ทั้งผลิตภัณฑ์อาหาร และผลิตภัณฑ์เสริมความงาม ในส่วนของ การใช้ประโยชน์ทางยา โดยใช้ส่วนรากของกรงเขมาที่มีฤทธิ์เย็นลดความร้อน ในอดีตเป็นการใช้เป็นตัวยาหลักในการแก้ไข้ และมีการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของยาหอมเพราะกลิ่นจากรากของกรงเขมามีกลิ่นเฉพาะ แต่ในปัจจุบันค่อนข้างจะหาใช้ลำบากเพราะกรงเขมาในธรรมชาติแทบไม่เหลือมีจำนวนน้อย จึงมีการใช้ลดลง และยังเป็นการใช้ส่วนของรากไม่นิยมนำมาใช้มากนัก เพราะหากนำรากของพืชมาใช้เท่ากับว่าต้นพืชนั้นจะต้องตายไป หากมีการปลูกในปริมาณมากขึ้น มีการฟื้นฟูการใช้ประโยชน์จากรากก็น่าจะนำมาฟื้นฟูใช้ประโยชน์ได้ ส่วนของการใช้ประโยชน์ในการบริโภค มีการนำพืชกรงเขมามาใช้ประโยชน์ตามภูมิปัญญาดั้งเดิมโดยใช้

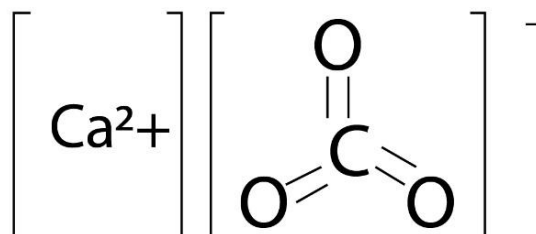
เป็นอาหารคาว ที่เรียกว่าลาบหมาน้อย (ภาษาถิ่นของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) ด้วยสรรพคุณของใบกรูงเขมาที่ท้องถิ่นมีการใช้ประโยชน์กรูงเขมามาแต่อดีต เป็นที่ทราบดีว่าเป็นยาเย็นนั้นมีสรรพคุณช่วยถอนพิษ ไข้ดั่งนั้น จึงเหมาะที่จะเป็นอาหารที่ให้กับผู้ป่วยหรือคนที่ฟื้นฟูไข้ได้ รับประทานจากลักษณะของใบกรูงเขมาที่เมื่อช้ำกับน้ำแล้วจะเกิดเป็นเจล หรือ ที่เรียกว่าวุ้นนั้น เมื่อรับประทานจะเคลือบกระเพาะ ช่วยลดอาการแสบร้อนในคนที่เป็โรครกระเพาะ

รายงานวิจัยรองรับถึงผลของน้ำคั้นกรูงเขมาช่วยลดการเป็นแผลในกระเพาะอาหาร ในหนูทดลองที่ได้รับยาแอสไพรินที่มีคุณสมบัติกัดกระเพาะอย่างแรงพบว่าในหนูที่ได้รับยาแอสไพรินอย่างเดี๋ยวกเกิดแผลและมีเลือดไหลในกระเพาะส่วนในหนูที่ได้รับยาแอสไพรินร่วมกับน้ำคั้นใบกรูงเขมา 2.5, 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อตรวจสอบการเกิดแผลในกระเพาะอาหารหนูนั้น พบว่าการเกิดแผลต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการได้รับและการไม่ได้รับน้ำคั้นใบกรูงเขมา โดยหนูที่ได้รับน้ำคั้นใบหมาน้อยในทุกความเข้มข้นไม่พบการเกิดแผลในกระเพาะของหนูทดลองในทุกอัตราที่ได้รับ แสดงให้เห็นว่าน้ำคั้นใบกรูงเขมา สามารถป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะได้ (Siregar and Miladiyah, 2011)

นอกจากนั้น (ราตรี พระนคร และคณะ, 2560) พบว่าการให้สารละลายน้ำตาลร่วมกับ วุ้นจากใบกรูงเขมาีผลทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดของอาสาสมัครที่อยู่ในสภาวะปกติมีการเพิ่มขึ้นต่ำกว่าการที่อาสาสมัครได้รับสารละลายน้ำตาลเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงเป็นข้อมูล ที่ช่วยสนับสนุนการรับประทานน้ำคั้นจากใบกรูงเขมาที่ช่วยป้องกันการเป็นแผลในกระเพาะอาหารรวมถึงช่วยชะลอการเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดขึ้นแบบรวดเร็ว ซึ่งอาจจะช่วยป้องกันในผู้ป่วยเบาหวานเมื่อรับประทานของหวานทำให้ระดับน้ำตาลขึ้นลงรวดเร็วที่อาจทำให้ระดับความรู้สึกตัวลดลง เกิดอาการชักเกร็ง และหมดสติลง ซึ่งต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในผู้ป่วยจริง

และมีการใช้ประโยชน์ในเชิงผลิตภัณฑ์เสริมความงาม นอกจากนี้ได้มีการใช้ประโยชน์ในด้านอาหารแล้วด้วยองค์ประกอบของกรูงเขมาที่มีเพคตินเป็นองค์ประกอบ และด้วยสรรพคุณของเพคตินที่มีคุณสมบัติหลายอย่างเช่น ช่วยเพิ่มความชุ่มชื้น ความนุ่มเนียน ลดความร้อนภายใต้ผิวหนัง ซึ่งในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์หลายอย่างออกมา และหลายผู้ประกอบการ ที่ทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เสริมความงาม

2.15 แคลเซียม



Calcium carbonate

ภาพ 10 โครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต

แคลเซียมเป็นธาตุเคมีในตารางธาตุซึ่งมี สัญลักษณ์เป็น Ca มีเลขอะตอม 20 แคลเซียมเป็นธาตุโลหะหนักประเภทอัลคาไลน์ (alkaline) ที่มีสีเทาอ่อน ซึ่งอยู่ในกลุ่ม 50 ธาตุที่มีมากที่สุดบนเปลือกโลกประมาณร้อยละ 5.4 โดยมวล พบอยู่ในรูปของสารประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ที่เป็นองค์ประกอบของหินปูน หินงอก หินย้อย เปลือกหอย และพบในสารประกอบซัลเฟต เช่น ยิปซัมเป็นต้น แคลเซียมเป็นแร่ธาตุสำคัญต่อสิ่งแวดล้อม พืช และสัตว์ แร่แคลเซียมสามารถแตกตัวละลายน้ำ และทำปฏิกิริยากับธาตุอื่น ทำให้เกิดสภาวะความเป็นกรด-เบสของสภาพแวดล้อม (ชอลัดดา เทียงพุก, 2563) (ภาพ 10)

แคลเซียมถูกจัดแบ่งอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ 1. แคลเซียมเชิงซ้อน (complex calcium) แคลเซียมไอออนจับอยู่กับสารประกอบอื่น เช่น คาร์บอเนต (carbonate) และซัลเฟต (sulfate) เป็นต้น 2. แคลเซียมที่แตกตัวเป็นไอออน (ionized calcium) ซึ่งแคลเซียมที่ถูกจัดอยู่ในรูปแบบมากที่สุด คือมีมากกว่าร้อยละ 50 3. โปรตีนที่จับกับแคลเซียม (protein bound calcium) เป็นรูป inactive ร่างกายจะมีกลไกที่ทำหน้าที่ควบคุมระดับแคลเซียมในเลือดให้สมดุล หากในเลือดมีระดับ แคลเซียมต่ำ ร่างกายจะดึงแคลเซียมที่สะสมในกระดูกมาใช้เพื่อรักษาสมดุลของแคลเซียมในเลือด (ชอลัดดา เทียงพุก, 2563)

แคลเซียมพบมากที่สุดในองค์ประกอบของร่างกายมนุษย์ที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบการทำงานของกระดูกและฟัน นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในกระบวนการทำงานของอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย (physiological activities) เช่น กระบวนการยึดหดของกล้ามเนื้อ (modulating muscle function) การไหลของเลือด (blood flow of capillary) การแข็งตัวของเลือด (blood coagulation)

การส่งสัญญาณประสาท (nerve impulse transfer) รวมทั้งการควบคุมอัตราการเต้นของหัวใจ ฯลฯ ปัจจุบันทั่วโลกมีรายงานภาวะพร่องแคลเซียมและโรคกระดูกพรุน (osteoporosis) ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณแคลเซียมที่ได้รับไม่เพียงพอต่อปริมาณที่ร่างกายต้องการ ในหลายประเทศได้กำหนดมาตรฐานปริมาณแคลเซียมต่ำสุดที่ร่างกายควรได้รับต่อวัน สำหรับประเทศไทย ปริมาณแคลเซียมต่ำสุดที่ร่างกายควรได้รับต่อวันอยู่ที่ 600 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับวัยเด็ก และ 1,000–1,500 มิลลิกรัมต่อวัน สำหรับวัยรุ่น ส่วนวัยผู้ใหญ่ต้องการแคลเซียม 800–1,000 มิลลิกรัมต่อวัน (นทีทิพย์ กฤษณามระ, 2553)



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การเตรียมการสกัดเพคตินจากใบกรูงเขมากรูงเขมาการสกัดด้วยน้ำกลั่น

3.2.1.1 ทำการตัดแปลงมาจากวิธีการของ ชนิษฐา เลิกชัยภูมิ (2545) นำใบกรูงเขมา (*Cissampelos pareira* L.) ที่ขนาดใบแก่ หรือมีขนาดใบประมาณ 5-6 เซนติเมตร ขึ้นไป จากพื้นที่อำเภอเชียงคำ จังหวัดพะเยา

3.2.1.2 นำไปอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส

3.2.1.3 บดแห้งใบกรูงเขมาที่เตรียมไว้ 80 กรัม ใส่บีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น อัตราส่วนของผงใบบดแห้งต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v)

3.2.1.4 นำไปสกัดในอ่างควบคุม อุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.2.1.5 กรองผ่านผ้าขาวบางขนาด 35 mesh 1 ชั้น แล้วนำสารละลายส่วนที่กรองได้ไปเติมน้ำกลั่น ในอัตราส่วนของใบกรูงเขมาต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:12 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v)

3.2.1.6 นำไปสกัดอีกครั้ง กรองผ่านผ้าขาวบาง 35 mesh 1 ชั้น นำสารละลายที่กรองได้ทั้งสองครั้งมารวมกัน และทำการตกตะกอนเพคติน โดยเติมเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 95 ในอัตราส่วนสารละลายต่อเอทานอล 1:1 โดยปริมาตร (v/v) ทำการคนผสมอย่างต่อเนื่องที่ 120 รอบต่อนาที ให้เข้ากัน

3.2.1.7 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 ชั่วโมง ทำการกรองแยก เอาตะกอนเพคตินผ้าขาวบาง ขนาด 35 mesh 2 ชั้น พร้อมทั้งล้างตะกอนเพคตินที่ได้ล้างด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 3 ครั้ง ล้างตะกอนเพคตินด้วย อะซิโตนความเข้มข้นที่ร้อยละ 50 จำนวน 3 ครั้ง

3.2.1.8 นำตะกอนเพคตินที่ได้อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส บดให้เป็นผง และเก็บไว้ในที่แห้ง (ภาพ 11)

3.2.2 ขั้นตอนการฟอกสีเพคติน

3.2.1.1 นำเพคตินกวนด้วย NaOH 99% เป็นระยะเวลา 60 นาที บนเครื่อง Magnetic stirrer อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

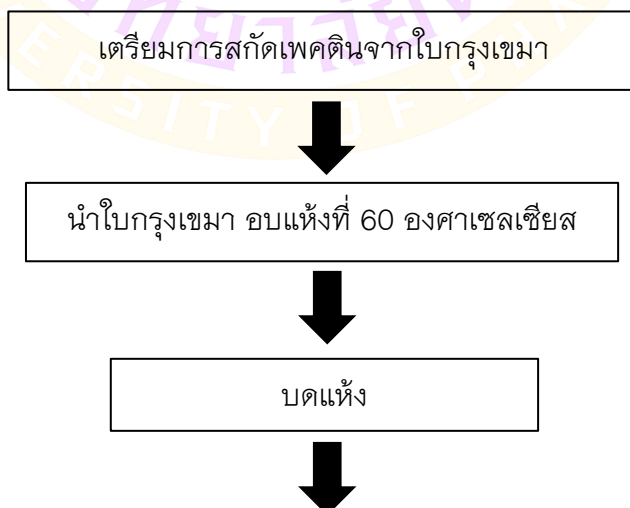
3.2.1.2 ล้างด้วยน้ำกลั่น 4-5 ครั้ง จนกว่าเพคตินที่จะมีค่าความเป็นกรด-เบส ให้เป็นกลางประมาณ 7.0

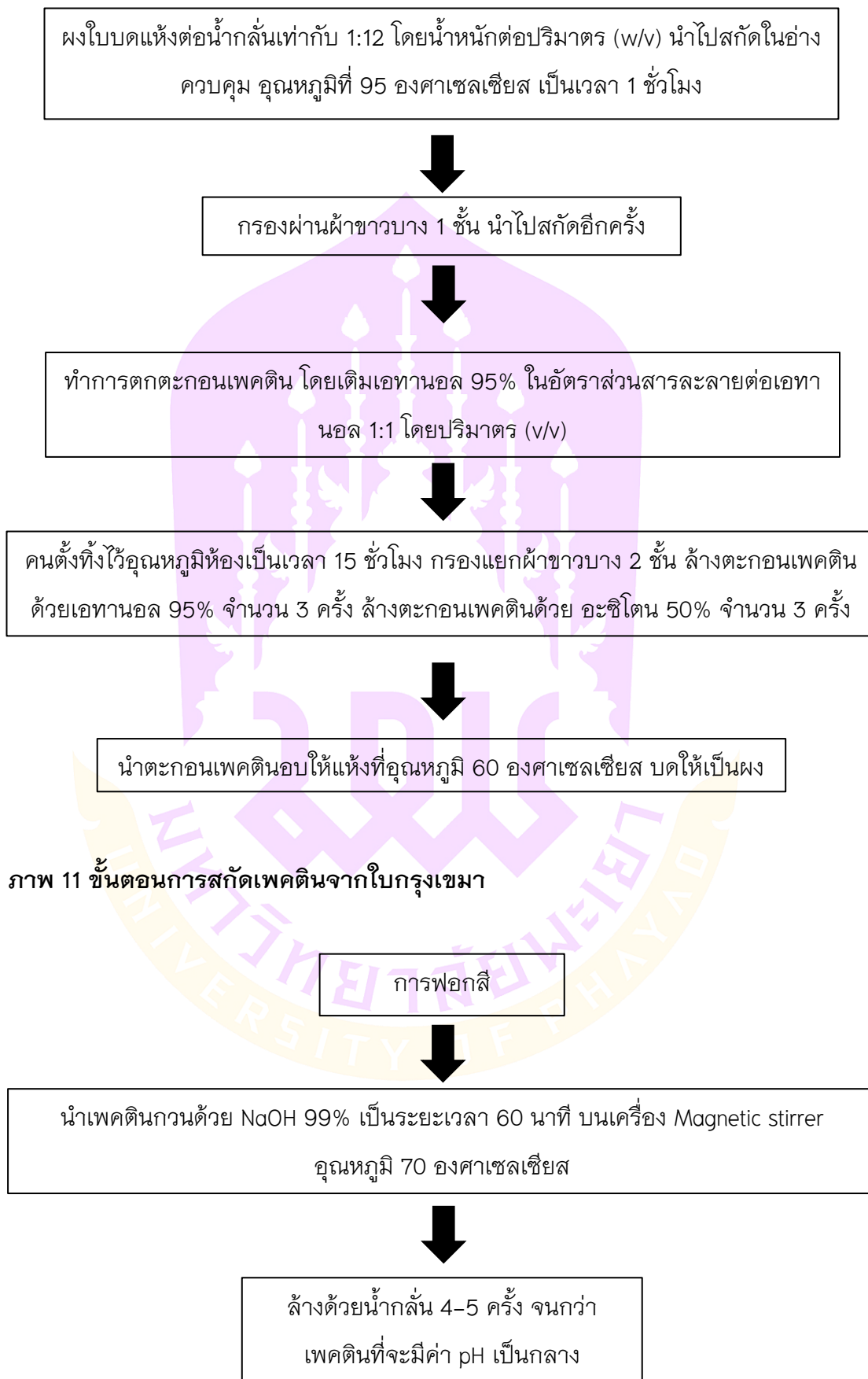
3.2.1.3 นำเพคตินกวนด้วย H_2O_2 12% เป็นระยะเวลา 60 นาที บนเครื่อง Magnetic stirrer อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

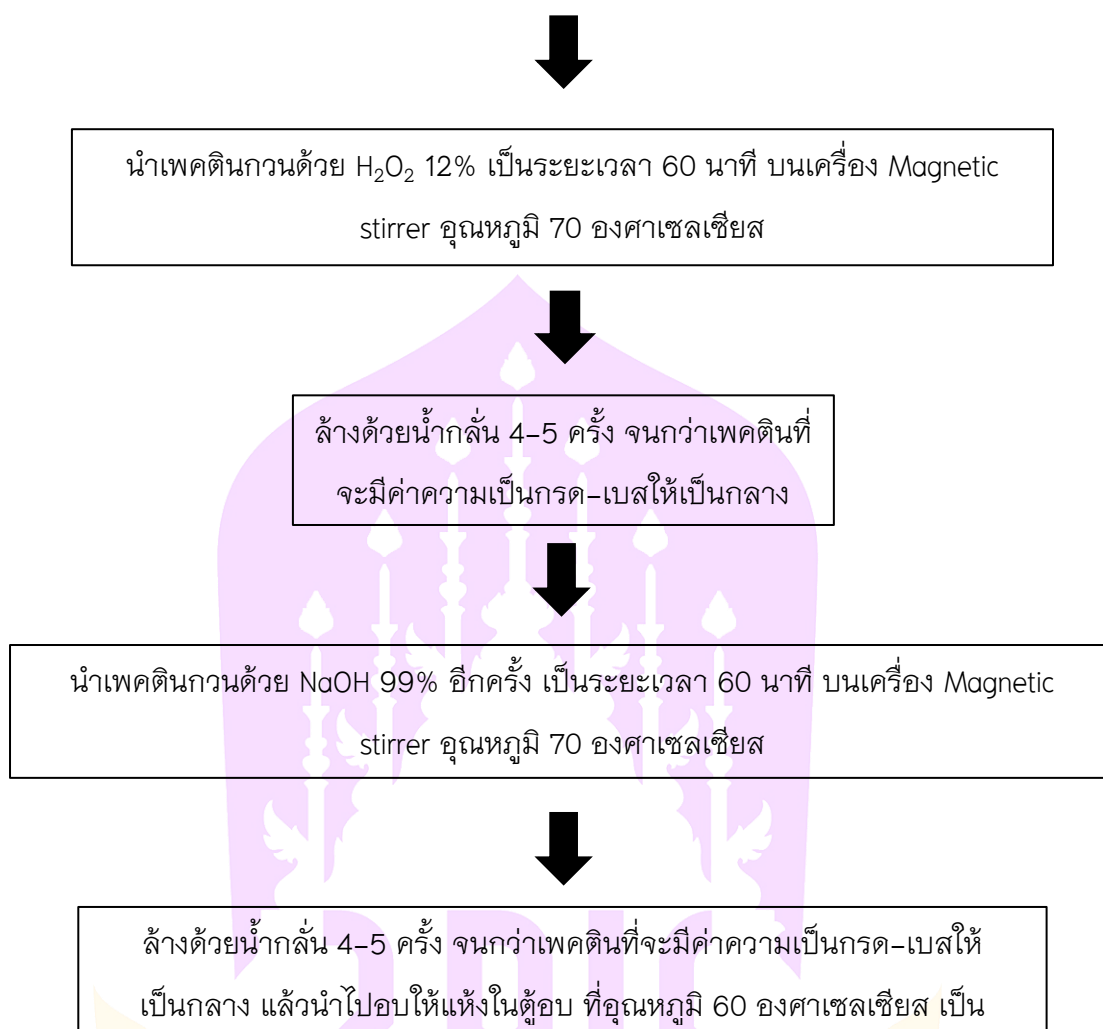
3.2.1.4 ล้างด้วยน้ำกลั่น 4-5 ครั้ง จนกว่าเพคตินที่จะมีค่าความเป็นกรด-เบส ให้เป็นกลาง 7.0

3.2.1.5 นำเพคตินกวนด้วย NaOH 99% อีกครั้ง เป็นระยะเวลา 60 นาที บนเครื่อง Magnetic stirrer อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

3.2.1.6 ล้างด้วยน้ำกลั่น 4-5 ครั้ง จนกว่าเพคตินที่จะมีค่าความเป็นกรด-เบส ให้เป็นกลาง 7.0 แล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง (ภาพ 12)







ภาพ 12 ขั้นตอนการฟอกสี

3.2.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเพคติน

3.2.3.1 คำนวณค่า ร้อยละของผลผลิต (%Yield)

3.2.3.1.1 นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดให้เป็นผง

3.2.3.1.2 นำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh นำเพคตินที่ได้มาหาค่าร้อยละของผลผลิต (%Yield) โดยสมการดังนี้ (ขมิษฐา เลิกชัยภูมิ, 2545)

ปริมาณผลผลิต (%) = น้ำหนักเพคตินหลังอบ x 100 / น้ำหนักวัตถุดิบเริ่มต้น

3.2.3.2 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น

โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างเพคติน 2 กรัม ใส่ภาชนะที่อบแห้งจนน้ำหนักคงที่แล้ว นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่นำไปใส่ถาดความเพื่อชั่งน้ำหนักที่ส่วนที่เหลือ และคำนวณหาปริมาณความชื้น (Lineth, 2016)

ตามสูตรการหาปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) = (น้ำหนักเริ่มต้น - น้ำหนักหลังการอบ) x 100 / น้ำหนักเริ่มต้น

3.2.3.3 วิเคราะห์ปริมาณเถ้า

3.2.3.3.1 โดยการเผาที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นชั่งน้ำหนัก ชั่งตัวอย่าง 3 กรัม

3.2.3.3.2 เเผาจนหมดควันนำเถ้าที่ได้ไปเผาต่อในเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาวทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักเถ้าและนำไปคำนวณหาเถ้า (Lineth, 2016)

ปริมาณเถ้าทั้งหมด (ร้อยละของน้ำหนัก) = $\frac{(w_3 - w_1) \times 100}{(w_2 - w_1)}$

เมื่อ w_1 = น้ำหนักโถ (กรัม)

w_2 = น้ำหนักโถและตัวอย่าง (กรัม)

w_3 = น้ำหนักโถและเถ้า (กรัม)

3.2.3.4 วิเคราะห์ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid) (ชนิดชิวชิว เลิกชัยภูมิ, 2545)

3.2.3.4.1 โดยชั่งเพดติน 0.1 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล ลงในบีกเกอร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที

3.2.3.4.2 ปิเปตสารละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร และทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ 100 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายที่เตรียมไว้ 2 มิลลิลิตร เติมลงในหลอดทดลอง และเติมคาร์บาซอล (carbazole) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 จำนวน 1 มิลลิลิตร

3.2.3.4.3 หลังจากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 12 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 25 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร และเปรียบเทียบกับปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกกับกราฟมาตรฐาน (ชนิดชิวชิว เลิกชัยภูมิ, 2545)

3.2.3.4.4 ทำกราฟมาตรฐาน ชั่งน้ำหนักกรดกาแลคทูโรนิก 0.1 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายกรดกาแลคทูโรนิก ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

3.2.3.4.5 แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปิเปตสารละลายมา 1,2,3,4,5,6,7,8 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร อย่างละ 1 ขวด และปรับปริมาตรแต่ละขวดให้เป็น 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ปิเปตสารละลายในแต่ละความเข้มข้น ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด กลาง 3 หลอด ๆ ละ 2 มิลลิลิตร

3.2.3.4.5 เมื่อปิเปตสารละลายจนครบทุกความเข้มข้นใส่ในหลอดทดลองทั้งหมด เติมสารละลายคาร์บาซอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ในแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากัน

3.2.3.4.6 เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น ปริมาตร 12 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 25 นาทีนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร แล้วสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าดูดกลืนแสง (ชนิดชิวชิว เลิกชัยภูมิ, 2545)

3.2.3.5 วิเคราะห์ปริมาณระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันและปริมาณเมทอกซิล (พวงทอง ใจสันต์, 2541)

3.2.3.5.1 ชั่งน้ำหนักเพคติน ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร ขวดละ 0.5 กรัม เติมเอทานอล 2 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เติมฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด

3.2.3.5.2 นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ เป็นปริมาตรที่ 1 (Vol.1) จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

3.2.3.5.2 เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าจนสีชมพูหายไป และหยดฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด นำไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ เป็นปริมาตรที่ 2 (Vol.2) คำนวณหาระดับการระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน และ คำนวณหาปริมาณเมทอกซิล (พวงทอง ใจสันต์, 2541)

3.2.4 การสังเคราะห์สารประกอบของผงไบโอโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาแห้ง

3.2.4.1 เตรียมผงไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลาแห้งโดยการนำเกล็ดปลาแห้งมาล้างทำความสะอาด แล้วนำมาต้มในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25-30 นาที

3.2.4.2 จากนั้นล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น นำไปแช่ต่อในสารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง เพื่อปรับค่ากรด-เบส ให้เป็นกลาง ที่ระดับกรด-เบส 7.0

3.2.4.3 จากนั้นต้มในน้ำเดือดด้วยอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง นำมาล้าง ทำซ้ำอีก 3 ครั้ง นำเกล็ดปลาแห้งมาล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาดพักให้สะเด็ดน้ำ

3.2.4.4 นำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

3.2.4.5 นำเกล็ดปลาที่ผ่านการอบให้แห้งมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นแห้งจนละเอียด นำมาร่อนผ่านตะแกรง 30 Mesh จะได้ผงเกล็ดปลา

3.2.4.6 จากนั้นนำผงเกล็ดปลา มาลดอนุภาคขนาดให้ได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 100 นาโนเมตร ด้วยเครื่องบดและผสมสารแบบตั้งโต๊ะในแนวนอน (ball milling)

3.2.4.7 เติมผงแคลเซียมบดละเอียด 20 กรัม และเติมตัวทำละลายเอทานอล ความเข้มข้น 95

3.2.4.8 จากนั้นนำไปลดอนุภาคด้วยการปั่นหมุนด้วยเครื่องบดผสมสาร (ball milling) เป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 48 ชั่วโมง

3.2.4.9 นำสารละลายที่ได้ มาทำการกวนระเหยด้วยเครื่องกวนสาร (Hotplate Stirrer) และนำตะกอนแคลเซียมไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ผงไบโอโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล

3.2.4.10 บรรจุในภาชนะเพื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการวิเคราะห์ขนาดและพื้นผิวของผงไบโอโนแคลเซียม องค์ประกอบของสารอาหารจากเกล็ดปลา ความชื้น เถ้า และแคลเซียม และเพื่อไปใช้สำหรับการทดลองในขั้นตอนถัดไป

3.2.4.11 ทำการดัดแปลงวิธีการของ เรวดี วัฒนารักษ์ (2021) เตรียมสารละลายเพคตินที่ได้มาทำเป็นวัสดุนาโน ด้วยการนำสารละลายมาปั่นกวนด้วยความเร็วสูง โดยใช้คลื่นเหนือเสียง Ultrasonication (เครื่องอัลตราโซนิคแบบโพรบ) และกำหนดการใช้พลังงานที่ 40 วัตต์ แอมพลิจูดร้อยละ 30 (30% Amp) ความเร็วรอบที่ 8000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที

3.2.4.12 จากนั้นเติมผงนาโนไบโอแคลเซียมเกล็ดปลา ปริมาณสารสกัดที่ร้อยละ 0, 10, 50 และ 100 โดยน้ำหนัก (w/w)

3.2.4.13 กวนต่อที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และมีอนุภาคนาโนตามต้องการ

3.2.4.14 จากนั้นนำไปทำให้แห้งเป็นผงด้วยเครื่อง Lyophilization (Freeze-drying)

3.2.4.15 ทำการวิเคราะห์ลักษณะของเพคตินนาโนสเฟียร์ ทำการวิเคราะห์ขนาดอนุภาค และศึกษาลักษณะของเพคตินนาโนสเฟียส โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยศึกษาจากขนาดของผลึก (Scanning Electron Microscopy, SEM) (Li et al., 2021)

หลักการประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) ลงไปบนผิวและส่วนต่าง ๆ ขาวสาลีที่ต้องการศึกษา ซึ่งชิ้นส่วนขาวสาลีและวัตถุที่นำมาส่งไม่มีการนำไฟฟ้า ต้องมีการเคลือบทอง หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นส่วนจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอตริทัศน์ได้เลย

วิธีการทำการเตรียมตัวอย่างทางวัสดุศาสตร์ สำหรับการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.2.4.15.1 การเตรียมตัวอย่างให้แห้ง ก่อนที่จะศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) จำเป็นที่จะต้องลดความชื้น ของตัวอย่างให้น้อยกว่า 6% เพื่อลดการสะสมประจุ (Charging effect) ที่ผิวของชิ้นงานซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการบันทึกภาพ และต้องเก็บรักษาชิ้นงานในตู้ดูดความชื้น (Desiccator) หรือกล่องที่มีการบรรจุซิลิกาเจล (Silica gel) ก่อนที่จะนำชิ้นงานมาติดลงบนแท่นติดตัวอย่างต่อไป

3.2.4.15.2. การติดตัวอย่างบนแท่นติดตัวอย่าง ตัวอย่างที่เป็นผง วิธีโดยตรง ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นผงสามารถนำไปติดบนแท่นติด ตัวอย่างได้โดยนำตัวอย่างที่เป็นผงกระจายอย่างสม่ำเสมอลงบนแท่น ติดตัวอย่างที่มีเทปคาร์บอน (Carbon tape) เพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้า และใช้ที่เป่าลม (Blower) เป่าผงส่วนเกินออกเพื่อป้องกันการ ปนเปื้อนภายในกล้องจุลทรรศน์ ฯ ชิ้นตัวอย่างขนาดใหญ่ ศึกษาบริเวณพื้นผิวของตัวอย่าง สามารถนำตัวอย่างที่ต้องการ ศึกษา ตัดให้มีขนาดเล็กกว่าแท่นติดตัวอย่างและสามารถติดลงบน เทปกาวยคาร์บอนได้ทันที

3.2.4.15.3. การฉาบผิวตัวอย่าง การฉาบผิวตัวอย่างเพื่อให้ตัวอย่างนำไฟฟ้าที่สภาวะความสุญญากาศสูงและลดความเสียหายจาก ความร้อนของลำอิเล็กตรอนที่

กระทบกับตัวอย่างจะใช้ในการฉาบผิวได้แก่ (Au) มีขนาด Gain size เท่ากับ 5-10 นาโนเมตร จากนั้นนำตัวอย่างเข้าศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดต่อไป

3.2.5 ทำการทดสอบการปลูกต้นอ่อนข้าวสาลี

3.2.5.1 เตรียมเมล็ดข้าวสาลี นำมาทำการฆ่าเชื้อโดยวิธีการแช่ลงในสารละลายเอทานอลต่อน้ำกลั่น (3:1) หลังจากนั้นล้างเมล็ดด้วยน้ำกลั่น 4 ครั้ง

3.2.5.2 เตรียมอาหารวุ้น โดยเติมวุ้น 7 กรัมต่อปริมาตร 1 ลิตร คนให้เข้ากัน แล้วนำบีกเกอร์ไปตั้งไฟแรงให้วุ้นละลาย เมื่ออาหารเพาะเลี้ยงเดือด จึงทำการเบาไฟลง เมื่อวุ้นละลายหมดแล้วจึงทำการสารละลายวุ้นลงในหลอดทดลอง แล้วนำเข้าเครื่องหมักนึ่งฆ่าเชื้อ โดยใช้ความดันไอน้ำร้อนแรงดันสูง (Auto-Clave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 15-20 นาที แล้วเก็บไว้ประมาณ 3-7 วัน สังเกตการปนเปื้อนของอาหารเพาะเลี้ยง

3.2.5.3 แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCBD) โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ซึ่งจะวางเมล็ดข้าวสาลีลงในหลอดที่บรรจุอาหารวุ้น (Agar) ผสมกับไบโอนาโนแคลเซียมในปริมาตร (0, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และวางเมล็ดข้าวสาลีวุ้นจากสารละลายเพคตินนาโนสเฟียร์ผสมกับไบโอนาโนแคลเซียมในปริมาตร (0, 10, 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) โดยมีการทดสอบแบ่งตามความเข้มข้นของสภาวะความเป็นกรด-เบส (pH) 8.5- 5.5 แล้วนำหลอดอาหารเพาะเลี้ยงไปวางไว้ในที่แสงแดดส่องถึง อุณหภูมิ 35-38 องศาเซลเซียส มีการวัดความเข้มข้นของแสงด้วยเครื่องมือลักซ์มิเตอร์ ในช่วงเวลา 8.00น และ 16.00น. เมื่อครบ 7 วัน จะทำการตรวจสอบการงอก (Jiang et al., 2014)

ตาราง 3 วางแผนการทดลองการปลูกต้นอ่อนข้าวสาลี

pH	Treatment	จำนวนซ้ำการทดลอง		
		R1	R2	R3
8.5–9.0 Strongly alkaline	Agar (T1)	T1R1	T1R2	T1R3
	Pectin nanosphere (T2)	T2R1	T2R2	T3R3
	Pectin nanosphere + ca ⁺ 10 mg/ ml (T3)	T3R1	T3R2	T3R3
	Pectin nanosphere + ca ⁺ 50 mg/ ml (T4)	T4R1	T4R2	T4R3
	Pectin nanosphere + ca ⁺ 100 mg/ ml (T5)	T5R1	T5R2	T5R3
6.6–7.3 neutral	Agar (T6)	T6R1	T6R2	T6R3
	Pectin nanosphere (T7)	T7R1	T7R2	T7R3
	Pectin nanosphere + ca ⁺ 10 mg/ ml (T8)	T8R1	T8R2	T8R3
	Pectin nanosphere + ca ⁺ 50 mg/ ml (T9)	T9R1	T9R2	T9R3
	Pectin nanosphere + ca ⁺ 100 mg/ ml (T10)	T10R1	T10R2	T10R2
6.1–6.5 Slightly acid	Agar (T11)	T11R1	T11R2	T11R3
	Pectin nanosphere (T12)	T12R1	T12R2	T12R3
	Pectin nanosphere + ca ⁺ 10 mg/ ml (T13)	T13R1	T13R2	T13R3
	Pectin nanosphere + ca ⁺ 50 mg/ ml (T14)	T14R1	T14R2	T14R3
	Pectin nanosphere + ca ⁺ 100 mg/ ml (T15)	T15R1	T15R2	T15R3
5.1–5.5 Strongly acid	Agar (T16)	T16R1	T16R2	T16R3
	Pectin nanosphere (T17)	T17R1	T17R2	T17R3
	Pectin nanosphere + ca ⁺ 10 mg/ ml (T18)	T18R1	T18R2	T18R3
	Pectin nanosphere + ca ⁺ 50 mg/ ml (T19)	T19R1	T19R2	T19R3
	Pectin nanosphere + ca ⁺ 100 mg/ ml (T20)	T20R1	T20R2	T20R3

3.2.6 การวัดอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลี

ดัชนีการงอก (GI) คำนวณจากสูตรดังต่อไปนี้

$$GI = Gt/Tt$$

(Gt : จำนวนเมล็ดตงอกทั้งหมดในวันที่ t, Tt : วันของการงอก) และ วัดดัชนีต้นกล้าคำนวณตามสูตร

Seedling Index = underground fresh weight /aboveground fresh weight × Fresh Weight

เป็นเวลา 7 วันและทำการวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier Calipers) (Kaya et al., 2008; Zhang et al., 2007)

3.2.7 วัดการดูดซับของเพคตินนาโนสเฟียร์บนผิวเมล็ดและต้นอ่อนข้าวสาลี

3.2.7.1 นำเมล็ดข้าวสาลี 30 เมล็ดใส่หลอดทดลองมี bank medium และ เพคตินนาโนสเฟียร์ที่กักเก็บผงแคลเซียมสกัดจากเกล็ดปลาในแต่ละปริมาณที่ความเข้มข้น 0, 10, 50 และ 100 เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.2.7.2 หลังจากนั้นนำเปลือกหุ้มเมล็ดของข้าวสาลีออก และนำกระดาษกรองซับสารละลายส่วนเกินบนพื้นผิว

3.2.7.3 ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDS) และ (ICP-OES) (Li et al., 2021)

3.2.8 สถิติที่ใช้ในการทดสอบ

นำเสนอข้อมูลด้วย Mean±SD (n=5) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยสถิติ Oneway Analysis of Variance (one-way ANOVA) และการทดสอบ Duncan's Multiple Range Test ใช้ค่าความเชื่อมั่นทางสถิติที่ร้อยละ 95 หากค่า $p \leq 0.05$ แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

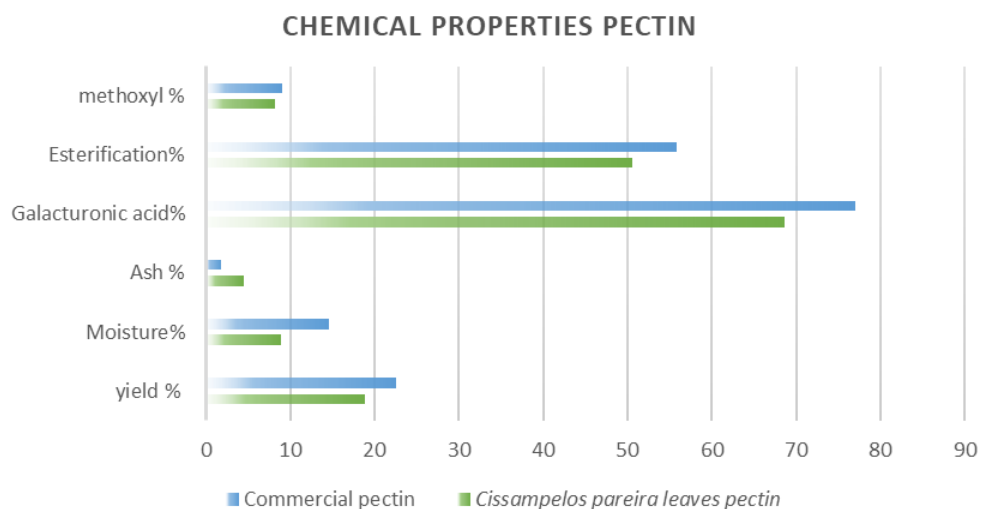
4.1 ผลของการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี-ทางกายภาพของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบพืชกรูงเขมา และไบโอนาโนแคปซูลเชื่อมจากเกล็ดปลานิล

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณร้อยละของผลผลิต (%yield) ปริมาณความชื้น (moisture) ปริมาณเถ้า (ash) ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน (degree of esterification) และปริมาณเมทอกซิล (methoxy) ของเพคตินจากการสกัดเพคตินจากใบของพืชกรูงเขมา และเพคตินเชิงพาณิชย์ พบว่าผลของ คุณสมบัติทางเคมีของเพคตินปรากฏว่าเพคตินที่สกัดจากใบพืชกรูงเขมามีค่ามีผลผลิต $18.89 \pm 0.52\%$ ปริมาณความชื้น $8.96 \pm 0.30\%$ ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก $68.66 \pm 0.26\%$ ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน $50.55 \pm 0.06\%$ และปริมาณเมทอกซิล $8.25 \pm 0.41\%$ มีปริมาณที่น้อยกว่าเพคตินเชิงพาณิชย์ ส่วนปริมาณเถ้า เท่ากับ $4.46 \pm 0.67\%$ ซึ่งมีปริมาณที่น้อยกว่าเพคตินเชิงพาณิชย์ ซึ่งสามารถระบุได้ว่าเพคตินที่สกัดจากใบกรูงเขมามีคุณสมบัติที่เทียบเคียงกับได้เพคตินที่ถูกใช้เป็นเพคตินเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง 4) (ภาพ 13)

ตาราง 4 คุณสมบัติของเพคตินสกัดจากใบพืชกรูงเขมา

ชนิด เพคติน	คุณสมบัติ					
	ปริมาณ ผลผลิต (ร้อยละ)	ปริมาณ ความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	กรดกาแลคทู โรนิก (ร้อยละ)	ระดับการเกิด เอสเทอร์- ริเคชัน (ร้อยละ) ^{ns}	ปริมาณ เมทอกซิล (ร้อยละ)
ใบกรูงเขมา	18.89 ± 0.52^b	8.96 ± 0.30^b	4.46 ± 0.67^b	68.66 ± 0.26^b	50.55 ± 0.06^a	8.25 ± 0.41^a
เพคตินเชิง พาณิชย์	22.55 ± 0.02^a	14.56 ± 0.36^a	1.74 ± 0.56^a	76.96 ± 0.26^a	55.88 ± 0.97^a	8.99 ± 0.13^a

หมายเหตุ ค่าแสดงเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยอักษรแนวตั้ง a, b แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



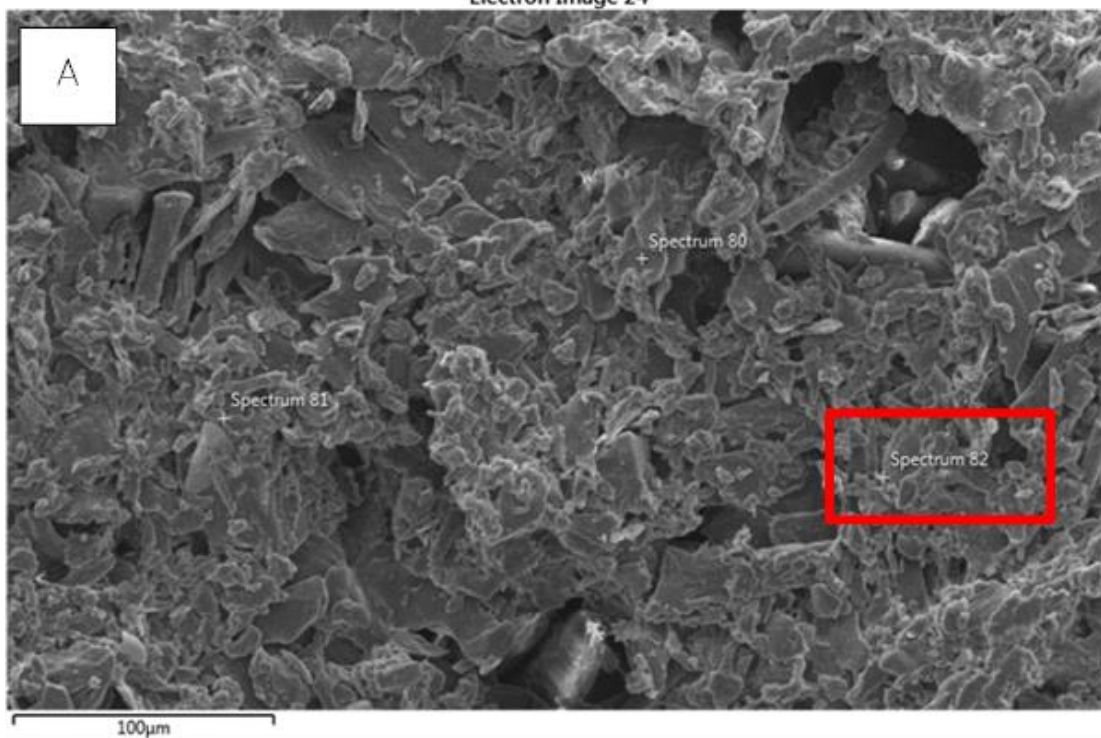
ภาพ 13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของเพคตินสกัดจากใบกรูงเขมา และเพคตินเชิงพาณิชย์

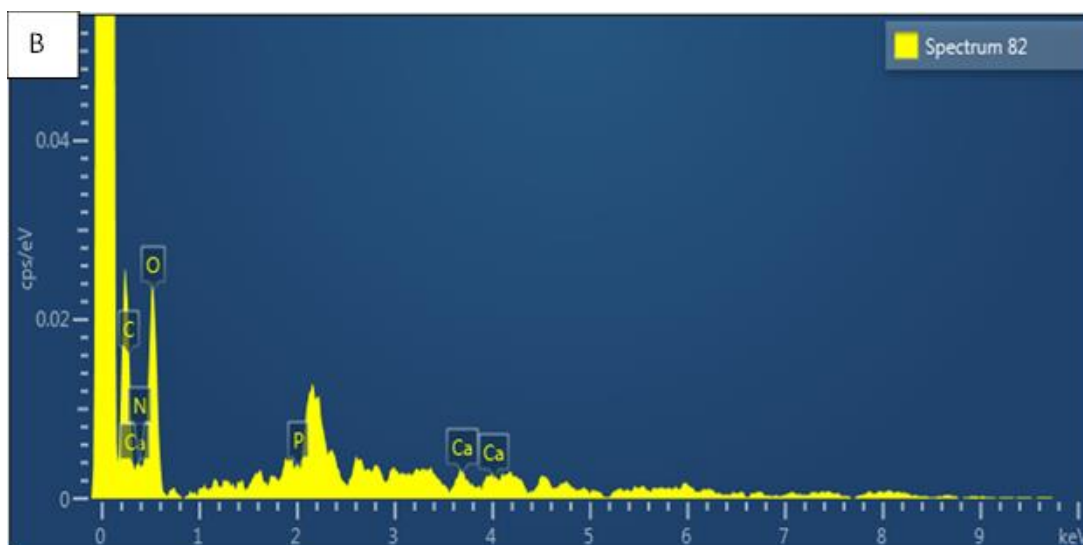
ตาราง 5 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา และไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาฉลาม

ตัวอย่าง	ปริมาณแก้ว (%)	ปริมาณ ความชื้น (%)	สี	รูปภาพ
เพคตินนาโน สเฟียร์ สกัดจากใบ พืชกรูงเขมา	2.14±0.02	4.47±0.13	น้ำตาลอ่อน	
ไบโอนาโน แคลเซียม จาก เกล็ดปลาฉลาม	45.68±0.25	4.91±0.02	ขาว	

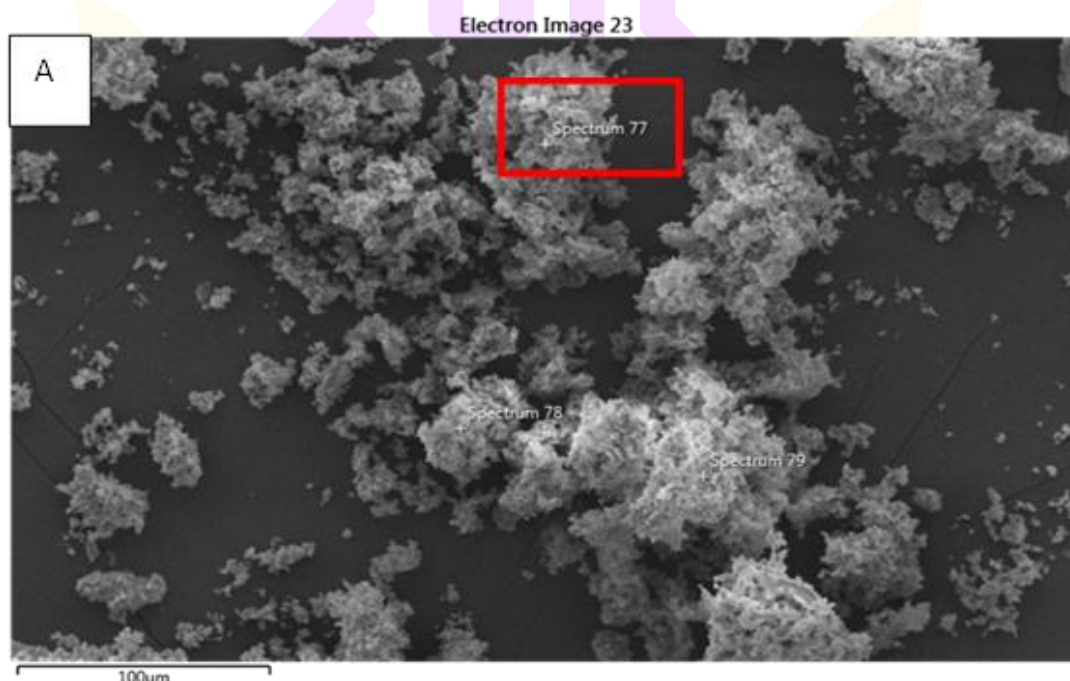
จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านกายภาพเบื้องต้นของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบพีชกรุงเทพฯ พบว่าปริมาณเถ้า $2.14 \pm 0.02\%$ ความชื้น $4.47 \pm 0.13\%$ ผงของเพคตินจะมีสีน้ำตาลอ่อน ไบโอนานโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล มีปริมาณเถ้า (ash) $45.68 \pm 0.25\%$ ความชื้น (moisture) $4.91 \pm 0.02\%$ ลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด ดังตาราง 5 และจากการวิเคราะห์พื้นผิวของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเทพฯ และไบโอนานโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล นำมาบดหยาบนำมาส่องผ่านด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) พบว่ามีปริมาณของธาตุในผลึกของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบพีชกรุงเทพฯ พบธาตุแคลเซียม 13.80 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 1.28 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน 84.91 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 14

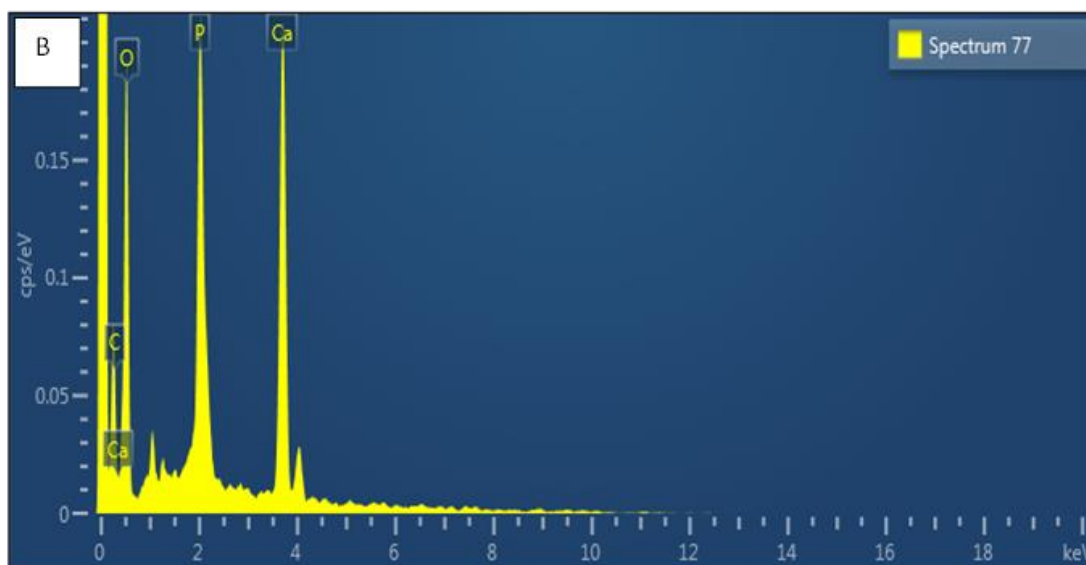
Electron Image 24





ภาพ 14 A พื้นผิวของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมา ที่ตำแหน่ง Spectrum 82 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) และกราฟแสดงปริมาณของแคลเซียมในเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมา ที่ตำแหน่ง Spectrum 82 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) ดังภาพ 14 B





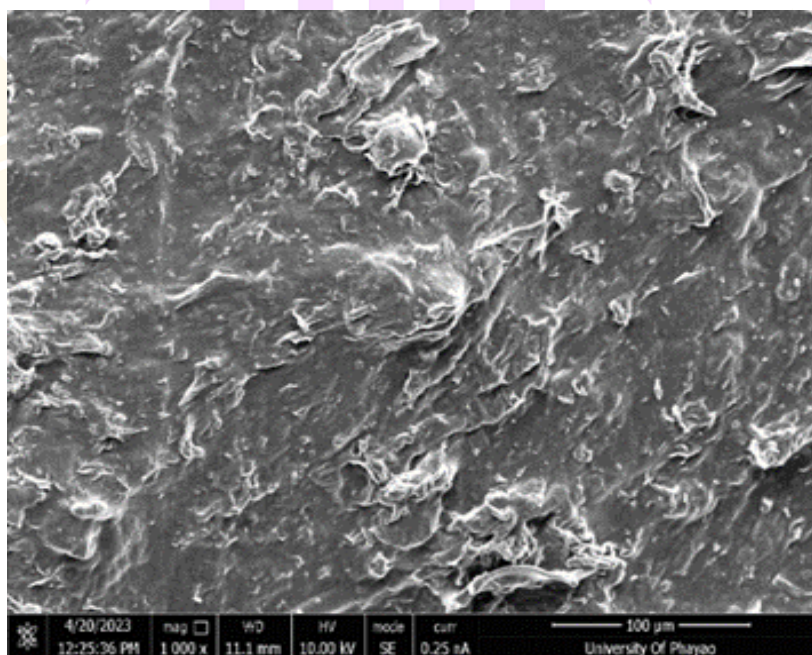
ภาพ 15 A ผลึกของไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล ที่ตำแหน่ง Spectrum 77 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) และกราฟแสดงปริมาณของแคลเซียมในผลึกของไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล ที่ตำแหน่ง Spectrum 77 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) ดังภาพ 15 B

จากผลการศึกษากราฟแสดงปริมาณของแคลเซียมในผลึกของไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล ที่ตำแหน่ง Spectrum 77 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) พบปริมาณธาตุที่พบในผลึกของไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิลพบธาตุแคลเซียม 28.56 เปอร์เซ็นต์ ฟอสเฟต 10.65 % คาร์บอน 13.30 % และออกซิเจน 47.49 % ตามที่ปรากฏในตาราง 6

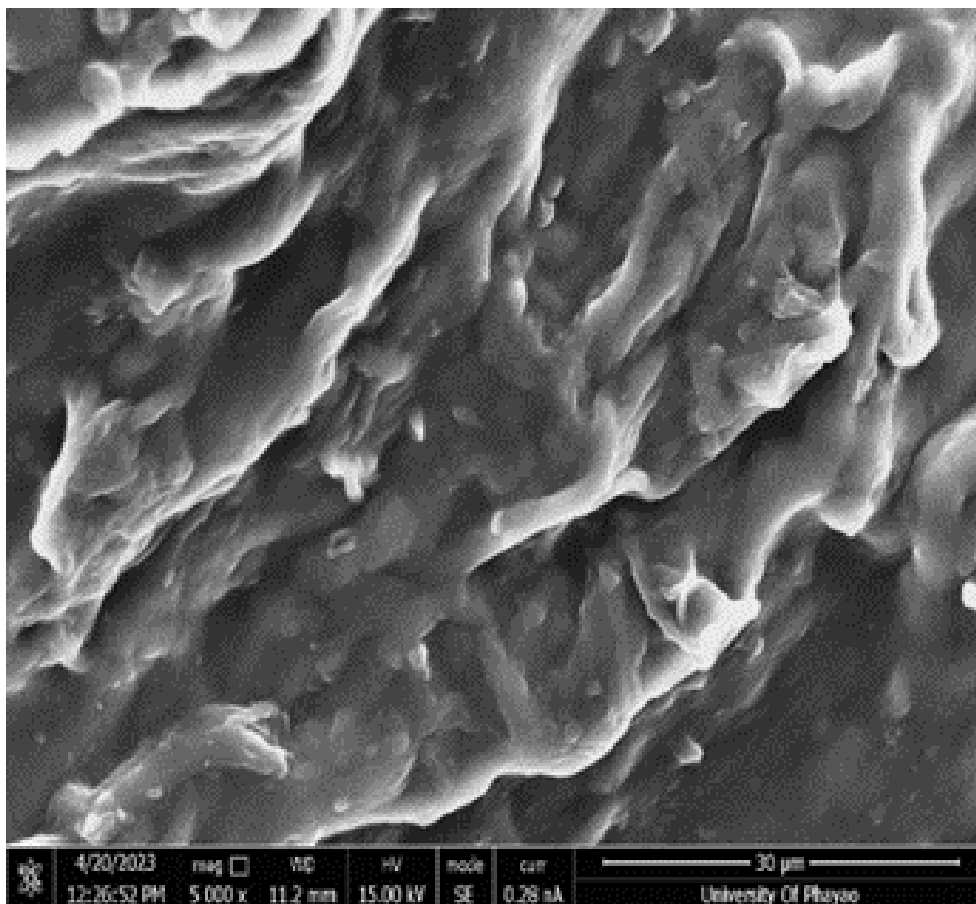
ตาราง 6 วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) ของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรงเขมา และไบโอนานोकัลเซียมจากเกล็ดปลาฉลาม

Element (Weight %)	เพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบ กรงเขมา (Weight %)	ไบโอนานोकัลเซียมจากเกล็ด ปลาฉลาม (Weight %)
N	0.00	0.00
P	0.00	10.65
K	1.28	0.00
C	0.00	13.30
Ca	13.80	28.56
O	84.91	47.49

4.2 ผลของการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินสกัดจากใบกรงเขมาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)



ภาพ 16 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผิวเพคตินสกัดจากใบกรงเขมาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) A) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า



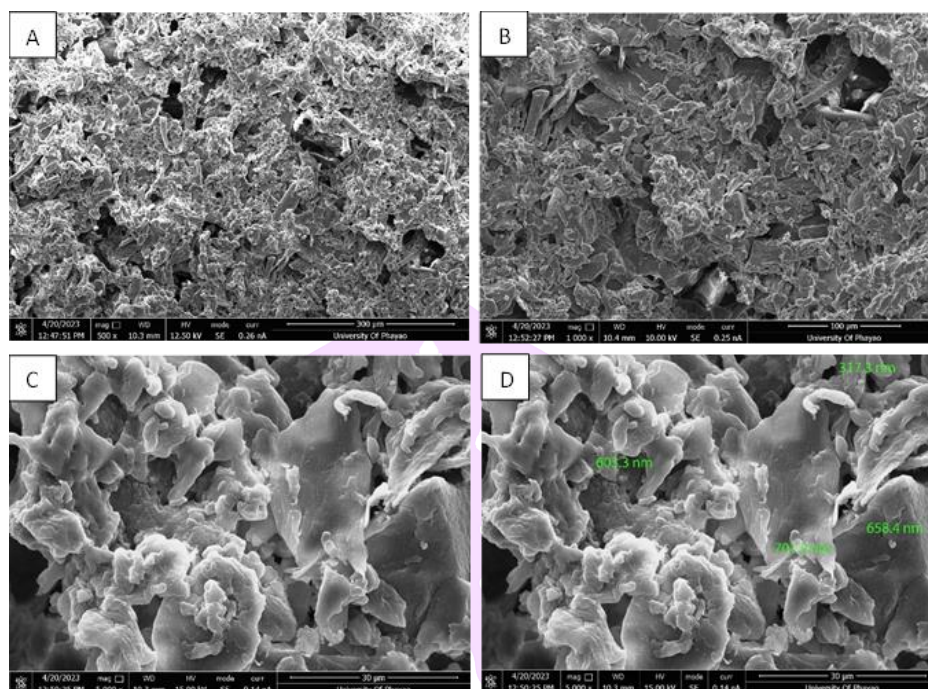
ภาพ 17 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผิวเพคตินสกัดจากใบกรุงเขมาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) B) ผิวเพคตินสกัดจากใบกรุงเขมา กำลังขยาย 5000 เท่า

จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินสกัดจากใบกรุงเขมา นำมาบดหยาบและนำมาศึกษาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า และ 5000 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวของเพคตินที่สกัดได้จากใบกรุงเขมา มีลักษณะผลึกผลสานค่อนข้างเป็นแผ่นเรียบเป็นแผ่นใหญ่ ๆ ทับซ้อนหลายชั้น หลายขนาด บางส่วนมีบางบริเวณหรือบางจุดมีการทับซ้อนเป็นชั้นสูง จึงเกิดความต่างของระดับความสูงของพื้นผิว ทำให้ผิวไม่มีความเรียบเสมอกันทั้งแผ่นผลึกมากขึ้น (ภาพ 16 และภาพ 17)

4.3 ผลของการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบ กรูงเขมาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)

ผลจากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา ด้วยการนำเพคตินที่สกัดได้จากใบกรูงเขมานำมาลดขนาดอนุภาค จากนั้นนำมาทำให้แห้งด้วยการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดหยาบ และทำการศึกษาผ่านเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) ดังที่ปรากฏในภาพ 18 (A), (B) และ (C) แสดงให้เห็นถึงผิวของผลึกเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา ที่กำลังขยาย 500 เท่า 1000 เท่า และ 5000 เท่า ที่มีผลึกหลากหลายขนาดและหลากหลายรูปร่าง เช่น มีลักษณะผลึกยาวทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทรงกลม ทรงรี หลากหลายขนาดมาเรียงซ้อนทับกันอย่างไม่เป็นระเบียบ และเกิดลำดับความหนาที่ต่างกันตามจำนวนผลึกที่ทับซ้อนกันอยู่ของแต่ละพื้นที่ผิวของวัสดุ จากภาพ 18 (D) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า จะสังเกตเห็นว่าขนาดของผลึกเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมาจะมีผลึกที่มีความเรียบ แต่ยังคงมีการเรียงตัวมีการทับซ้อนกันของผลึกที่ไม่เป็นระเบียบและไม่เรียงตัวไปทิศทางเดียวกัน รูปร่างของผลึกมีลักษณะทรงกลมรี ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความแตกต่างกับภาพ 18 (B) ที่เป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผิวเพคตินสกัดจากใบกรูงเขมาที่ยังไม่ถูกลดขนาดอนุภาคลง ที่กำลังขยาย 5000 เท่า พบว่าลักษณะของผลึกเพคตินมีความแตกต่างกัน คือ เพคตินสกัดที่ยังไม่ถูกลดขนาดมีผลึกที่ใหญ่ติดผสานกันคล้ายกับเป็นเนื้อเดียวกันแผ่นใหญ่ มีการเรียงตัวไปตามแนวอนในระนาบเดียวกัน

ส่วนเพคตินที่ถูกลดขนาดอนุภาคด้วยการบดย่อยภาพ 18 (C) พบว่าผลึกมีขนาดเล็กมาก และมีการกระจายแบบอิสระ ไม่เรียงอยู่ในระนาบเดียวกัน เนื่องจากการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ครั้งนี้ไม่ได้ทำการบดตัวอย่างแบบบดละเอียดทำให้บางผลึกที่ไม่ถูกบดจะมีขนาดใหญ่ และบางบริเวณจะมีการผสานกันของผลึกใน ภาพ 18 (D) แสดงให้เห็นถึงขนาดผลึกที่เป็นผลึกเดี่ยว โดยทำการวัดขนาดผลึกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เช่นกัน ผลปรากฏว่าผลึกเดี่ยวของเพคตินนาโนที่สกัดจาก ใบกรูงเขมา ในเบื้องต้นพบว่ามีขนาดอนุภาคเท่ากับ 701.5 นาโนเมตร 658.4 นาโนเมตร 603.3 นาโนเมตร และขนาดเล็กถึง 317.3 นาโนเมตร ตามลำดับ ดังภาพ 18 (D)



ภาพ 18 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผิวเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) A), B) และ C) ผิวเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา กำลังขยาย 500X, 1000X และ 5000X D) ขนาดของผลึกเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา

4.4 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลาและขนาดอนุภาคของไบโอคานาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลา ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)

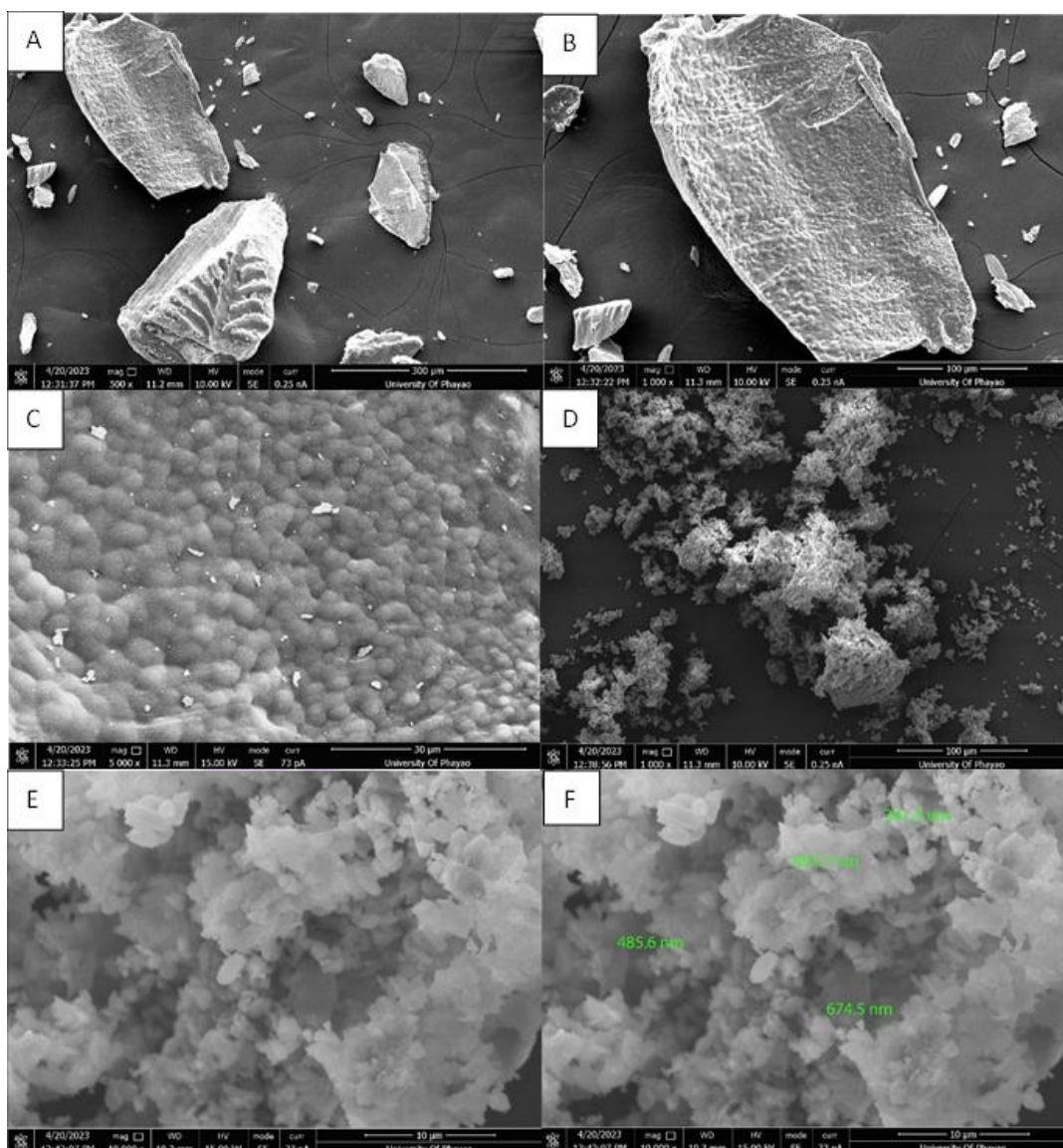
จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลาและขนาดอนุภาคของไบโอคานาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลา ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) จะเห็นว่ามีผิวไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลาที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1000 เท่า (ภาพประกอบ 19 A และ B) มีลักษณะผิวของผลึกบางส่วนที่มีขนาดใหญ่และผลึกขนาดเล็กบางส่วนแตกกระจายแยกกัน และผิวของผลึกในแผ่นผลึกบางแผ่นจะมีส่วนพื้นผิวที่เรียบ แต่เมื่อเพิ่มกำลังขยายมากขึ้นเป็น เป็น 1000 เท่า (ภาพประกอบ 19 B) จะสังเกตเห็นว่าในบผิวของแผ่นผลึก มีลักษณะขรุขระทรงกลมมนขึ้นมาจากพื้นผิว เมื่อที่กำลังขยาย 5000 เท่า

(ภาพประกอบ 19 C) ผิวผลึกมีรูปร่างของอนุภาคเป็นทรงกลม เรียงตัวเกาะกันจนเป็นแผ่นของผลึก

ในส่วนของ (ภาพประกอบ 19 D) แสดงให้เห็นถึงสัณฐานวิทยาของอนุภาคไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลา ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ผลึกจะมีขนาดอนุภาคเล็กลง และมีความลักษณะการกระจายตัว มีการเกาะตัวของอนุภาคเป็นก้อน ทำให้เกิดผลึกคล้ายกับว่าก้อนผลึกมีความพองกระจายตัวเพิ่มขึ้น และเมื่อสังเกตใน (ภาพประกอบ 19 E) จะพบว่าอนุภาคของผลึกมีรูปร่างที่ไม่สมมาตร แต่มีรูปร่างคล้ายทรงกลมรี ผสานเกาะรวมกลุ่มกัน โดยมีการศึกษาขนาดของผลึกอนุภาคไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลา (ภาพประกอบ 19 F)

โดยทำการศึกษาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ทำการวัดขนาดเบื้องต้นของผลึกที่โดดเดี่ยว พบว่ามีขนาดอนุภาคขนาดเล็กถึงในระดับนาโนเมตร ดังเช่นในภาพจะเห็นว่าผลึกโดดเดี่ยว 897.7 นาโนเมตร 674.5 นาโนเมตร 485.6 นาโนเมตร และ 341.3 นาโนเมตร





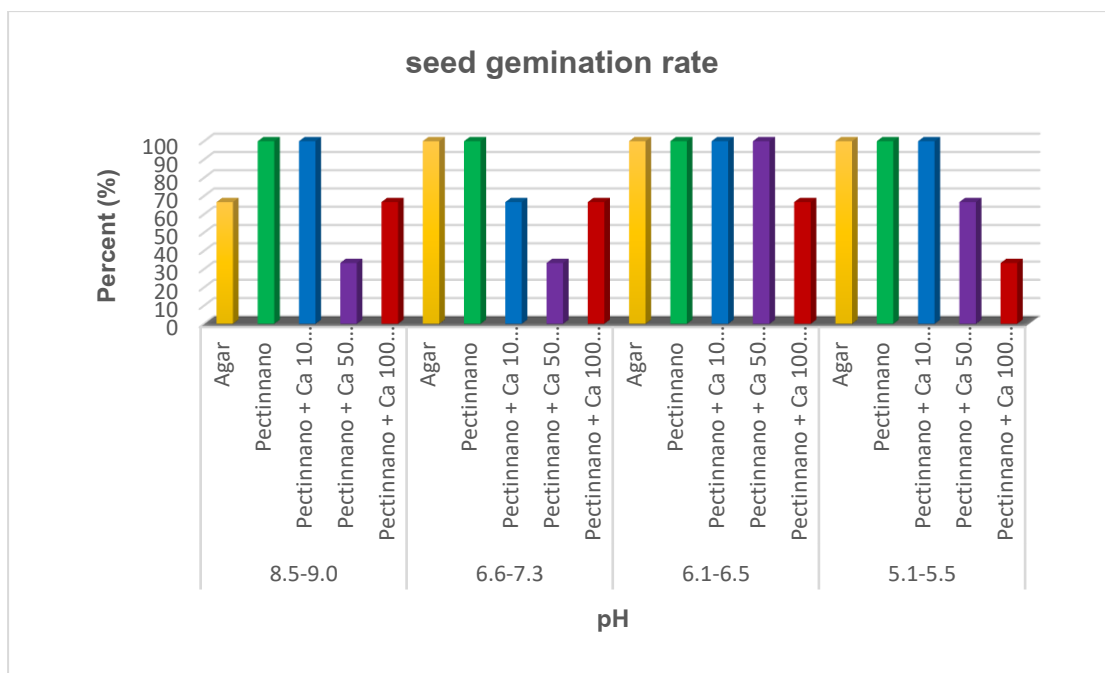
ภาพ 19 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (A), (B) และ (C) กำลังขยาย 500X, 1000X และ 5000X (D) และ (E) สัณฐานวิทยาพื้นผิวของไบโอโนแคลเซียมจากเกล็ดปลา ที่กำลังขยาย 1000X และกำลังขยาย 10000X (F) ขนาดอนุภาคผลึกของไบโอโนแคลเซียมจากเกล็ดปลา

4.5 ผลของการวัดอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลี

จากผลการวัดอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลี โดยมีการบันทึกวันที่งอกของเมล็ด และนับจำนวนเมล็ดที่พบว่าอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกปลูกในสภาวะความเป็นกรดอ่อน (Slightly acid) ที่ระดับกรด-เบส 6.1- 6.5 มีอัตราการงอกสูงที่สุดโดยในกลุ่มที่อยู่ในกรดอ่อน ได้แก่ ข้าวสาลีที่ปลูกใน พงวุ้น (Agar), เพคตินนาโนสเฟียร์ (Pectin nanosphere) เพคตินนาโนสเฟียร์ร่วมกับไบโอแคลเซียมจากเกลือปลาไนล 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) เพคตินนาโนสเฟียร์ร่วมกับไบโอแคลเซียมจากเกลือปลาไนล 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) มีอัตราการงอก 100 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเข้มข้นเพคตินนาโนสเฟียร์ร่วมกับไบโอแคลเซียมจากเกลือปลาไนล 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) มีอัตราการงอก 67 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ กลุ่มที่ปลูกในสภาวะกรดจัด (Strongly acid) ที่ค่าความเป็นกรด-เบส 5.1-5.5 ข้าวสาลีที่ปลูกใน Agar, Pectin nanosphere, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีอัตราการงอก 100 เปอร์เซ็นต์ ข้าวสาลีที่ปลูกใน Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 67 เปอร์เซ็นต์ และ Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 33 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่กรด-เบส 8.5-9.0 ข้าวสาลีที่ปลูกใน Pectin nanosphere, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีอัตราการงอก 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ถูกปลูกใน Agar, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีอัตราการงอก 67 เปอร์เซ็นต์ ปลูกใน Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีอัตราการงอกถึง 33 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มสุดท้ายกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกลาง (neutral) ที่ค่าความเป็นกรด-เบส 6.6-7.3 ข้าวสาลีที่ปลูกใน Agar และ Pectin nanosphere มีอัตราการงอกถึง 100 เปอร์เซ็นต์ Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีอัตราการงอก 67 เปอร์เซ็นต์ และข้าวสาลีที่ปลูกใน Pectin nanosphere+ Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตาราง 7) (ภาพ 20)

ตาราง 7 อัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลี

pH	Treatment	เปอร์เซ็นต์ (%)
8.5–9.0 alkaline	Agar	67
	Pectin nanosphere	100
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ml	100
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ml	33
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ml	67
6.6–7.3 neutral	Agar	100
	Pectin nanosphere	100
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ml	67
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ml	33
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ml	67
6.1–6.5 Slightly acid	Agar	100
	Pectin nanosphere	100
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ml	100
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ml	100
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ml	67
5.1–5.5 Strongly acid	Agar	100
	Pectin nanosphere	100
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ml	100
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ml	67
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ml	33



ภาพ 20 กราฟแสดงอัตราการงอกของเมล็ดข้าวสาลี ระยะเวลา 7 วัน

4.6 ผลการศึกษาการเติบโตของอ่อนข้าวสาลี ที่อายุ 7 วัน

จากผลการวิเคราะห์น้ำหนักสด (fresh weight) ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกเพาะในสภาวะความเป็นกรด-เบส ต่างกัน และวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน เมื่ออายุครบ 7 วัน พบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีในกลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 โดยน้ำหนักสดของต้นอ่อนที่ถูกปลูกใน Agar เท่ากับ 0.09 ± 0.05 กรัม, Pectin nanosphere เท่ากับ 0.10 ± 0.05 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.12 ± 0.05 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.04 ± 0.03 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.07 ± 0.05 กรัม ตามลำดับ ในสภาวะกลาง (neutral) ที่ 6.6–7.3 น้ำหนักสดของต้นอ่อนที่ถูกปลูกใน Agar เท่ากับ 0.72 ± 0.05 กรัม, Pectin nanosphere เท่ากับ 0.06 ± 0.04 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.06 ± 0.02 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.04 ± 0.02 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.07 ± 0.05 กรัม ตามลำดับ ในสภาวะกรดอ่อน (slightly acid) ที่ 6.1–6.5 น้ำหนักสดของต้นอ่อนที่ถูกปลูกใน Agar เท่ากับ

0.07±0.05 กรัม, Pectin nanosphere เท่ากับ 0.12±0.03 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.10±0.06 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.08±0.07 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.08±0.01 กรัม ตามลำดับ และในสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1–5.5 น้ำหนักสดของต้นอ่อนที่ถูกปลูกใน Agar เท่ากับ 0.07±0.05 กรัม, Pectin nanosphere เท่ากับ 0.07±0.02 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.08±0.08 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.07±0.02 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.08±0.05 กรัม ตามลำดับ ซึ่งการทดลองทั้ง 4 กลุ่มในครั้งนี้น้ำหนักสดของต้นอ่อนข้าวสาลี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง (dry weight) ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกเพาะในสภาวะความเป็นกรด-เบสต่างกัน และปลูกในวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน ที่มีอายุครบ 7 วัน พบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีในกลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 โดยน้ำหนักแห้งของต้นอ่อนที่ถูกปลูกใน Agar เท่ากับ 0.03±0.00 กรัม, Pectin nanosphere เท่ากับ 0.03±0.00 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 0.04±0.00 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 0.03±0.01 กรัม, ตามลำดับ ในสภาวะกลาง (neutral) ที่ 6.6–7.3 น้ำหนักแห้งของต้นอ่อนที่ถูกปลูกใน Agar เท่ากับ 0.02±0.01 กรัม, Pectin nanosphere 0.05±0.02 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 0.03±0.01 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 0.04±0.03 กรัม ตามลำดับ ในกลุ่มของสภาวะกรดอ่อน (slightly acid) ที่ 6.1–6.5 น้ำหนักแห้งของต้นอ่อนที่ถูกปลูกใน Agar เท่ากับ 0.03±0.02 กรัม, Pectin nanosphere 0.02±0.01 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 0.03±0.01 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 0.04±0.02 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 0.04±0.02 กรัม ตามลำดับ และในสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1–5.5 น้ำหนักแห้งของต้นอ่อนที่ถูกปลูกใน Agar เท่ากับ 0.04±0.03 กรัม, Pectin nanosphere เท่ากับ 0.05±0.00 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.05±0.03 กรัม, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.05±0.03 กรัม, และ Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 0.04±0.02 กรัม ตามลำดับ ซึ่งการทดลองทั้ง 4 กลุ่มที่กล่าวมาข้างต้นของน้ำหนัก

แห้งของของต้นอ่อนข้าวสาลี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ และไม่มี ความแตกต่างจากกลุ่มที่ปลูก Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ pH 8.5–9.0 เท่ากับ 0.08 ± 0.01 กรัม และในกลุ่มที่ปลูกที่ Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ pH 6.6–7.3 เท่ากับ 0.06 ± 0.02

ผลการวิเคราะห์ความยาวราก (root) ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกเพาะปลูกในสภาวะความเป็นกรด-เบส ต่างกัน และวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน ที่มีอายุครบ 7 วัน พบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีในกลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 โดยความยาวรากต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกปลูกใน Pectin nanosphere มีค่าเท่ากับ 124.15 ± 2.91 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับที่ปลูกใน Agar เท่ากับ 38.20 ± 5.47 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 25.30 ± 2.04 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 13.01 ± 0.01 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 5.55 ± 5.13 มิลลิเมตร ตามลำดับ กลุ่มของสภาวะกลาง (neutral) ที่ 6.6–7.3 ความยาวรากของต้นอ่อนที่ถูกปลูกใน Agar เท่ากับ 1.48 ± 1.52 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere เท่ากับ 11.66 ± 5.85 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 3.10 ± 5.21 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 2.96 ± 5.13 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.00 ± 0.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มที่ปลูกในสภาวะกรดอ่อน (slightly acid) ที่ 6.1–6.5 โดยมีความยาวรากต้นอ่อนข้าวสาลี Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 6.82 ± 2.54 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.00 ± 0.00 มิลลิเมตร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนที่ปลูกใน Agar เท่ากับ 52.91 ± 2.27 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere เท่ากับ 64.39 ± 4.74 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 97.42 ± 8.45 มิลลิเมตร ตามลำดับ ถือซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และกลุ่มของสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1–5.5 ความยาวรากของต้นอ่อนที่ถูกปลูกใน Agar เท่ากับ 12.35 ± 8.40 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere 23.74 ± 1.27 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 2.28 ± 6.31 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 0.00 ± 0.00

มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 1.09 ± 1.88 มิลลิเมตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์จำนวนราก (root) ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกเพาะปลูกในสภาวะความเป็นกรด-เบส ต่างกัน และวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน ที่มีอายุครบ 7 วัน พบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีในกลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 จำนวนรากเฉลี่ยที่ดีที่สุดคือ Pectin nanosphere 4.33 ± 0.05 แต่ต้นอ่อนที่ถูกปลูกใน Agar เท่ากับ 2.33 ± 0.02 , Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 2.33 ± 1.53 , Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 1.00 ± 1.73 , Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.67 ± 0.58 ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในกลุ่มของสภาวะกลาง (neutral) ที่ 6.6–7.3 ค่าเฉลี่ยของจำนวนรากต้นอ่อนที่ถูกปลูกในพบว่า Agar เท่ากับ 1.00 ± 1.73 , Pectin nanosphere เท่ากับ 2.33 ± 1.73 , Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 1.00 ± 0.00 , Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 1.00 ± 0.58 , Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.00 ± 1.15 ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มของสภาวะกรดอ่อน (slightly acid) ที่ 6.1–6.5 ค่าเฉลี่ยของจำนวนรากต้นอ่อนที่ถูกปลูกในพบว่า Agar เท่ากับ 0.00 ± 2.64 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ความเชื่อมั่น $p \leq 0.05$ กับ Pectin nanosphere เท่ากับ 3.67 ± 0.00 , Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 3.33 ± 0.00 Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 3.00 ± 0.00 , Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 1.00 ± 0.00 ตามลำดับ และกลุ่มของสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1–5.5 ค่าเฉลี่ยของจำนวนรากต้นอ่อนที่ถูกปลูกในพบว่า Agar เท่ากับ 2.00 ± 1.00 , Pectin nanosphere เท่ากับ 2.67 ± 0.58 , Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 1.00 ± 1.00 , Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.00 ± 0.00 , Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.00 ± 0.00 ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ความสูงของลำต้น (stem) ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกเพาะปลูกในสภาวะความเป็นกรด-เบสต่างกัน และในวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน ที่มีอายุครบ 7 วัน พบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีในกลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 ความสูงของข้าวสาลีเฉลี่ยที่ดีที่สุดคือ Pectin nanosphere เท่ากับ 42.24 ± 1.73 มิลลิเมตร แต่ข้าวสาลีที่ถูกปลูกใน Agar

เท่ากับ 7.22 ± 1.65 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 14.74 ± 3.25 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 5.29 ± 1.91 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 2.98 ± 2.26 มิลลิเมตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กลุ่มของสภาวะกลาง (neutral) ที่ 6.6–7.3 ค่าเฉลี่ยของความสูงลำต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกปลูกในพบว่า Agar เท่ากับ 10.59 ± 0.94 , Pectin nanosphere เท่ากับ 10.68 ± 0.60 , Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 4.31 ± 1.77 , Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 1.35 ± 2.33 , Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.00 ± 0.00 ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนของข้าวสาลีในกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกรดอ่อน (slightly acid) ที่ 6.1–6.5 ความสูงของต้นอ่อนข้าวสาลีเฉลี่ยที่ดีที่สุดคือ Pectin nanosphere เท่ากับ 28.94 ± 2.48 มิลลิเมตร และ Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 28.47 ± 1.66 มิลลิเมตร มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับ Agar เท่ากับ 17.21 ± 1.23 มิลลิเมตร Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.00 ± 0.00 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.00 ± 0.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ และกลุ่มสุดท้ายคือที่ถูกปลูกในสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1–5.5 ความสูงของต้นอ่อนข้าวสาลีเฉลี่ย Agar เท่ากับ 1.03 ± 1.00 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere เท่ากับ 9.30 ± 0.46 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 6.14 ± 0.59 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.00 ± 0.00 มิลลิเมตร, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 1.87 ± 1.88 มิลลิเมตร ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตาราง 8 และ 9)

ตาราง 8 การเติบโตของขอนข้าวสาลี ที่อายุ 7 วัน

pH	Treatment	Fresh weight (mg explant ⁻¹)*	Dry weight (mg explant ⁻¹)	Root/shoot ratio	จำนวนราก (mm)	ความสูง ลำต้น (mm)
	Agar	0.09±0.05	0.03±0.00 ^{ab}	38.20±5.47 ^{cd}	2.33±0.02 ^{abcd}	7.22±1.65 ^d
8.5-9.0	Pectin nanosphere	0.10±0.05	0.03±0.00 ^{ab}	124.15±2.91 ^a	4.33±0.05 ^a	42.24±1.73 ^a
Strongly alkaline	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ml	0.12±0.05	0.04±0.00 ^{ab}	25.30±2.04 ^{cd}	2.33±1.53 ^{abcd}	14.74±3.25 ^{bcd}
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ml	0.04±0.03	0.03±0.01 ^{ab}	13.01±2.25 ^{cd}	1.00±1.73 ^{bcd}	5.29±1.91 ^d
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ml	0.07±0.05	0.05±0.03 ^a	5.55±5.13 ^d	0.67±0.58 ^{cd}	2.98±2.26 ^d
	Agar	0.72±0.05	0.02±0.01 ^{ab}	1.48±1.52 ^d	1.00±1.73 ^{bcd}	10.59±0.94 ^{bcd}
6.6-7.3 neutral	Pectin nanosphere	0.06±0.04	0.05±0.02 ^{ab}	11.66±5.85 ^{cd}	2.33±1.73 ^{abcd}	10.68±0.60 ^{bcd}
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ml	0.06±0.02	0.02±0.02 ^b	3.10±5.21 ^d	1.00±0.00 ^{bcd}	4.31±1.77 ^d
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ml	0.04±0.02	0.03±0.01 ^{ab}	2.96±5.13 ^d	1.00±0.58 ^{bcd}	1.35±2.33 ^d
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ml	0.07±0.05	0.04±0.03 ^{ab}	0.00±0.00 ^d	0.00±1.15 ^d	0.00±0.00 ^d

หมายเหตุ ค่าแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยอักษรแนวตั้ง a, b, c, d แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 9 ผลการเติบโตของสาหร่าย ที่อายุ 7 วัน

pH	Treatment	Fresh weight (mg explant ⁻¹)	Dry weight (mg explant ⁻¹)	Root/shoot Ratio	จำนวนราก (mm)	ความสูง ลำต้น (mm)
6.1-6.5	Agar	0.07±0.05	0.03±0.02 ^{ab}	52.91±2.27 ^{cbd}	0.00±2.64 ^a	17.21±1.23 ^{bcd}
	Pectin nanosphere	0.12±0.03	0.02±0.01 ^{ab}	64.39±4.74 ^{bc}	3.67±0.00 ^{ab}	28.94±2.48 ^{ab}
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ml	0.10±0.06	0.03±0.01 ^{ab}	97.42±8.45 ^{ab}	3.33±0.00 ^{abc}	28.47±1.66 ^{abc}
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ml	0.08±0.07	0.04±0.02 ^{ab}	6.82±2.54 ^d	3.00±0.00 ^{bcd}	0.00±0.00 ^d
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ml	0.08±0.01	0.04±0.02 ^{ab}	0.00±0.00 ^d	1.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d
5.1-5.5	Agar	0.07±0.05	0.04±0.03 ^{ab}	12.35±8.40 ^{cd}	2.00±1.00 ^{abcd}	1.03±1.00 ^d
	Pectin nanosphere	0.07±0.02	0.05±0.00 ^{ab}	23.74±1.27 ^{cd}	2.67±0.58 ^{abc}	9.30±0.46 ^{cd}
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ml	0.08±0.08	0.05±0.03 ^{ab}	2.28±6.31 ^d	1.00±1.00 ^{bcd}	6.14±0.59 ^d
Strongly acid	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ml	0.07±0.02	0.05±0.03 ^{ab}	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ml	0.08±0.05	0.04±0.02 ^{ab}	1.09±1.88 ^d	0.00±0.00 ^d	1.87±1.88 ^d

หมายเหตุ ค่าแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยอักษรแนวตั้ง a, b, c, d แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p \leq 0.05$)

4.7 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในต้นอ่อนข้าวสาลี

4.7.1 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในพืชมะลัดงอกต้นอ่อนข้าวสาลี ที่ปลูกในวัสดุปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมา และปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมาผสมกับไบโอนาโนแคลเซียม ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) พบว่าในกลุ่มทดลองที่ปลูกในสภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 พบว่าแคลเซียมในพืชมะลัดงอกต้นอ่อนข้าวสาลี Agar เท่ากับ 0.4 weight%, Pectin nanosphere เท่ากับ 6.43 weight%, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.43 weight%, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 2.26 weight%, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.00 weight% ตามลำดับ

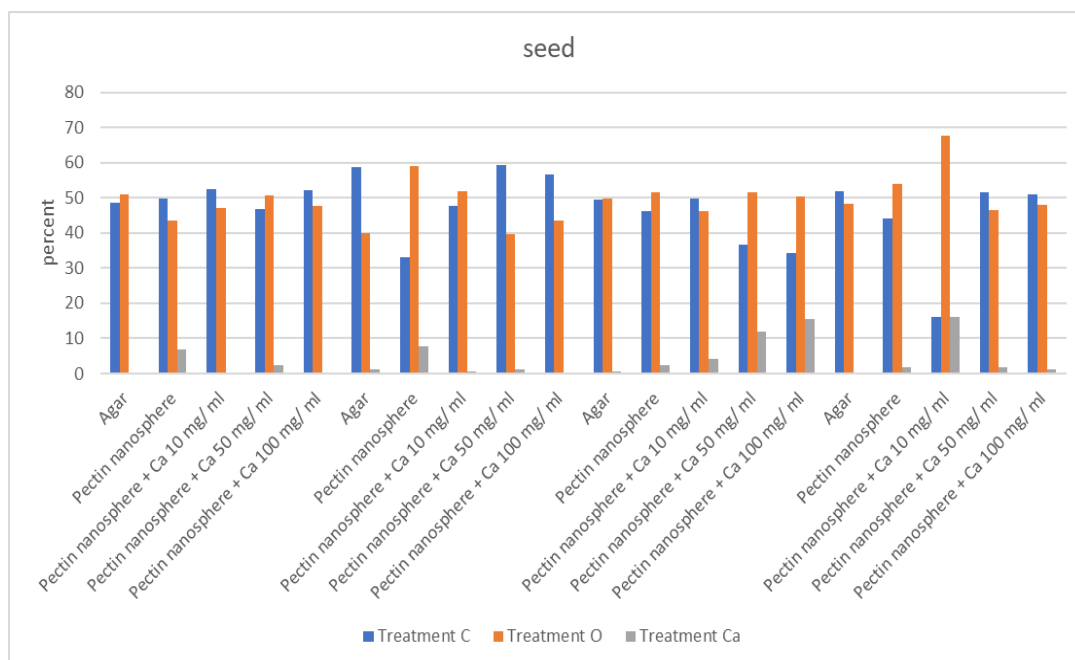
สภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกลาง (neutral) ที่ 6.6–7.3 พบว่าแคลเซียมในพืชมะลัดงอกต้นอ่อนข้าวสาลี Agar เท่ากับ 1.09 weight%, Pectin nanosphere เท่ากับ 7.83 weight%, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.46 weight%, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 1.07 weight%, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.40 weight% ตามลำดับ

สภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกรดอ่อน (slightly acid) ที่ 6.1–6.5 พบว่าแคลเซียมในพืชมะลัดงอกต้นอ่อนข้าวสาลี Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 15.36 weight%, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 11.78 weight%, Agar เท่ากับ 0.74 weight%, Pectin nanosphere เท่ากับ 2.27 weight%, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 4.21 weight%, ตามลำดับ

สภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1–5.5 พบว่าแคลเซียมในพืชมะลัดงอกต้นอ่อนข้าวสาลี Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 16.05 weight%, Pectin nanosphere เท่ากับ 1.86 weight%, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 1.85 weight%, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 1.19 weight% Agar เท่ากับ 0 weight%, ตามลำดับ (ตาราง 10)

ตาราง 10 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลี

pH	Treatment	Element (Weight %)		
		C	O	Ca
8.5-9.0	Agar	48.5	51.1	0.4
	Pectin nanosphere	49.72	43.55	6.73
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ ml	52.55	47.02	0.43
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ ml	46.91	50.84	2.26
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ ml	52.32	47.68	0
6.6-7.3	Agar	58.85	40.06	1.09
	Pectin nanosphere	33.14	59.03	7.83
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ ml	47.74	51.81	0.46
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ ml	59.39	39.54	1.07
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ ml	56.57	43.4	0.4
6.1-6.5	Agar	49.55	49.71	0.74
	Pectin nanosphere	46.14	51.6	2.27
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ ml	49.83	46.14	4.21
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ ml	36.54	51.68	11.78
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ ml	34.16	50.48	15.36
5.1-5.5	Agar	51.82	48.18	0
	Pectin nanosphere	44.06	54.07	1.86
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ ml	16.04	67.6	16.05
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ ml	51.56	46.59	1.85
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ ml	50.9	47.92	1.19



ภาพ 21 กราฟแสดงความแตกต่างเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลี



4.7.2 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในลำต้นอ่อนข้าวสาลี ที่ปลูกในวัสดุปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมา และปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมาผสมกับไบโอนาโนแคลเซียม ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) พบว่าในกลุ่มทดลองที่ปลูกในสภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 พบว่าแคลเซียมในลำต้นอ่อนข้าวสาลี Agar เท่ากับ 3.91 weight%, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.97 weight, Pectin nanosphere เท่ากับ 0.47 weight%, ตามลำดับ

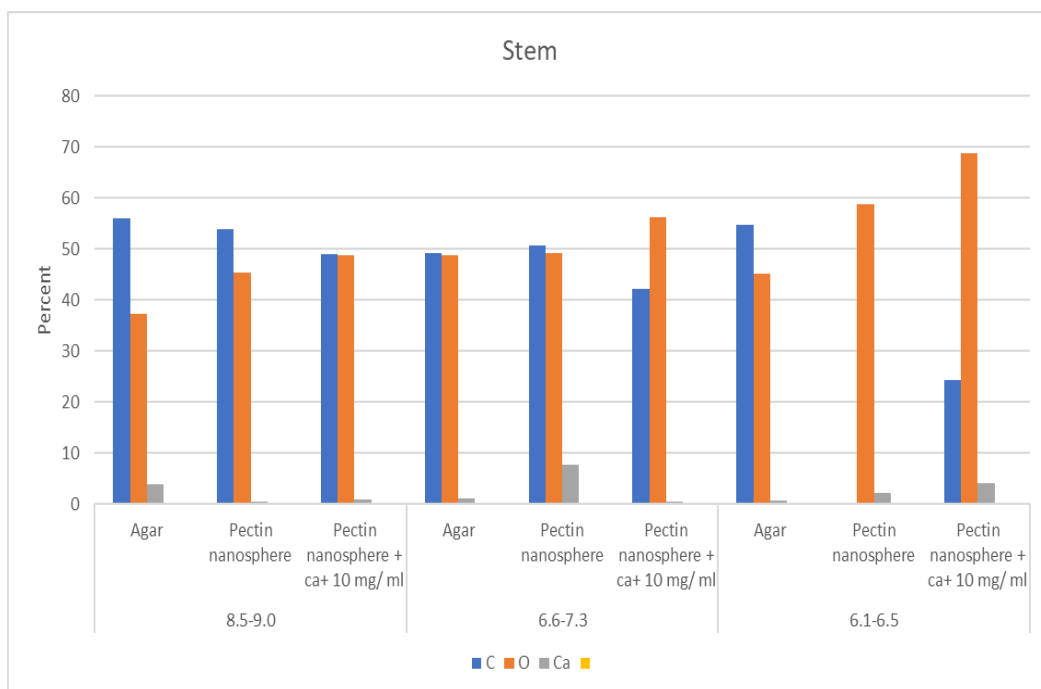
สภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกลาง (neutral) ที่ 6.6–7.3 พบว่าแคลเซียมในลำต้น Agar เท่ากับ 1.09 weight%, Pectin nanosphere เท่ากับ 7.83 weight%, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.46 weight%, ตามลำดับ

ส่วนในกลุ่มสภาวะที่ปลูกในกรดอ่อน (slightly acid) ที่ 6.1–6.5 พบว่าแคลเซียมในลำต้นอ่อน Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 1.68 weight%, Agar เท่ากับ 0 weight%, Pectin nanosphere เท่ากับ 0 weight%, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0 weight%, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0 weight% ตามลำดับ

สภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1–5.5 พบว่าสภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1–5.5 ไม่พบแคลเซียมในต้นอ่อนข้าวสาลี (ตาราง 11)

ตาราง 11 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในลำต้นของต้นอ่อนข้าวสาลี

pH	Treatment	Element (Weight %)		
		C	O	Ca
8.5-9.0	Agar	56.07	37.21	3.91
	Pectin nanosphere	53.85	45.49	0.47
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ml	49.07	48.82	0.97
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ml	-	-	-
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ml	-	-	-
6.6-7.3	Agar	58.85	40.06	1.09
	Pectin nanosphere	33.14	59.03	7.83
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ml	47.74	51.81	0.46
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ml	-	-	-
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ml	-	-	-
6.1-6.5	Agar	49.55	49.71	0.74
	Pectin nanosphere	46.14	51.6	2.27
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ml	49.83	46.14	4.21
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ml	-	-	-
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ml	-	-	-
5.1-5.5	Agar	-	-	-
	Pectin nanosphere	-	-	-
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ml	-	-	-
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ml	-	-	-
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ml	-	-	-



ภาพ 22 กราฟแสดงความแตกต่างเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในลำต้นของต้นอ่อนข้าวสาลี



4.7.3 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในลำต้นอ่อนข้าวสาลี ที่ปลูกในวัสดุปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา และปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมาผสมกับไบโอนาโนแคลเซียม ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) พบว่าในกลุ่มทดลองที่ปลูกในสภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5-9.0 พบว่าแคลเซียมในลำต้นอ่อนข้าวสาลี Pectin nanosphere เท่ากับ 4.5 weight%, Agar, Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 1.54 weight%, เท่ากับ 0.36 weight%, ตามลำดับ

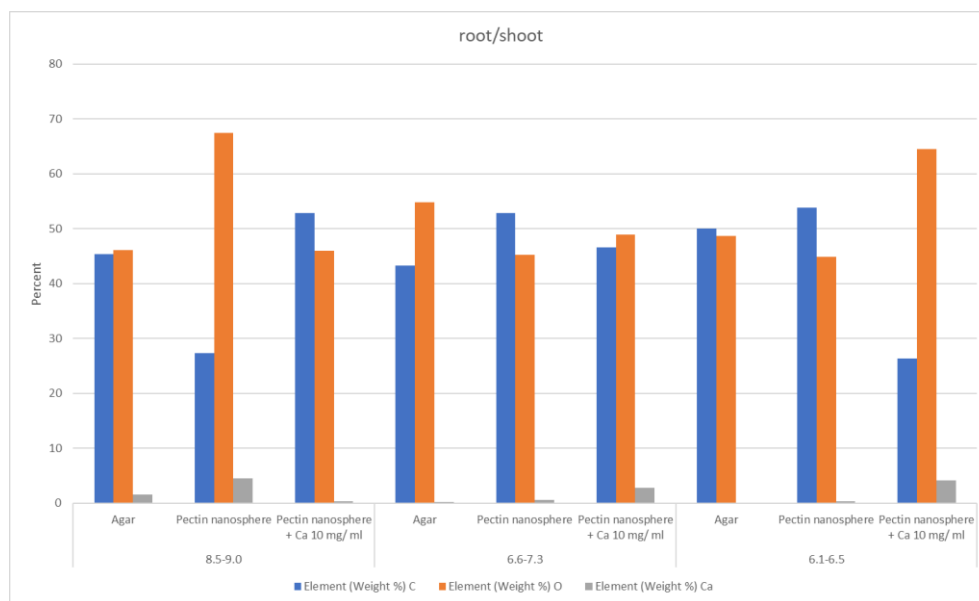
สภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกลาง (neutral) ที่ 6.6-7.3 พบว่าแคลเซียมในลำต้น Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 2.86 weight%, Pectin nanosphere เท่ากับ 0.58 weight%, Agar เท่ากับ 0.17 weight% และ Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0 weight%, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0 weight% ตามลำดับ

ส่วนในกลุ่มสภาวะที่ปลูกในกรดอ่อน (slightly acid) ที่ 6.1-6.5 พบว่าแคลเซียมในลำต้นอ่อน Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 4.13 weight%, Pectin nanosphere เท่ากับ 0.34 weight%, Agar เท่ากับ 0 weight%, Pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0 weight%, Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0 weight% ตามลำดับ

สภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1-5.5 พบว่าสภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1-5.5 ไม่พบแคลเซียมในรากต้นอ่อนข้าวสาลี (ตาราง 11)

ตาราง 12 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในรากต้นอ่อนข้าวสาลี

pH	Treatment	Element (Weight %)		
		C	O	Ca
8.5-9.0	Agar	45.33	46.07	1.54
	Pectin nanosphere	27.36	67.46	4.5
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ ml	52.84	45.99	0.36
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ ml	-	-	-
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ ml	-	-	-
6.6-7.3	Agar	43.27	54.82	0.17
	Pectin nanosphere	52.9	45.28	0.58
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ ml	46.61	48.95	2.86
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ ml	-	-	-
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ ml	-	-	-
6.1-6.5	Agar	50	48.69	0
	Pectin nanosphere	53.88	44.9	0.34
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ ml	26.39	64.54	4.13
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ ml	-	-	-
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ ml	-	-	-
5.1-5.5	Agar	-	-	-
	Pectin nanosphere	-	-	-
	Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ ml	-	-	-
	Pectin nanosphere + Ca 50 mg/ ml	-	-	-
	Pectin nanosphere + Ca 100 mg/ ml	-	-	-



ภาพ 23 กราฟแสดงความแตกต่างเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในรากต้นอ่อนข้าวสาลี



บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลของการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี-ทางกายภาพของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมา และไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาฉลาม

จากการศึกษาพบว่าผลของคุณสมบัติทางเคมีของเพคตินปรากฏว่าเพคตินที่สกัดจากใบกรุงเขมาที่มีค่ามีผลผลิต ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชัน และปริมาณเมทอกซิล ซึ่งมีคุณสมบัติที่เทียบเคียงกับได้เพคตินที่ถูกใช้เป็นเพคตินเชิงพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น $p \leq 0.05$ ซึ่งผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเพคตินที่สกัดได้จากใบกรุงเขมาอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานสากล จึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการใช้เพื่อทดแทนเพคตินเชิงพาณิชย์ได้ คุณสมบัติทางด้านกายภาพเบื้องต้นของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรุงเขมา พบว่าปริมาณเถ้า $2.14 \pm 0.02\%$ ความชื้น $4.47 \pm 0.13\%$ พงของเพคตินจะมีสีน้ำตาลอ่อน และไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาฉลาม มีปริมาณเถ้า $45.68 \pm 0.25\%$ ความชื้น $4.91 \pm 0.02\%$ ลักษณะเป็นผงสีขาว โดยมีการศึกษาปริมาณธาตุในผลึกของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบพีชกรุงเขมา พบธาตุแคลเซียมมากถึง $13.80 \text{ Weight}\%$ ส่วนไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาฉลามพบธาตุแคลเซียมมากที่สุด $28.56 \text{ Weight}\%$

5.1.2 ผลของการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินสกัดจากใบกรุงเขมาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)

การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินสกัดจากใบกรุงเขมาพบว่าลักษณะพื้นผิวของเพคติน มีลักษณะผลึกผลานค่อนข้างเป็นแผ่นเรียบเป็นแผ่นใหญ่ ๆ ทับซ้อน

หลายชั้น หลายขนาด บางส่วนมีบางบริเวณหรือบางจุดมีการทับซ้อนเป็นชั้นสูง จึงเกิดความต่างของระดับความสูงของพื้นผิว ทำให้ผิวไม่มีความเรียบเสมอกันทั้งแผ่นผลึกมากขึ้น

5.1.3 ผลของการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)

ผลจากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา มีผลึกหลากหลายขนาดและหลากหลายรูปทรง เช่น มีลักษณะผลึกยาวทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทรงกลม ทรงรี หลากหลายขนาดมาเรียงซ้อนทับกันอย่างไม่เป็นระเบียบหรือไม่เรียงอยู่ในระนาบเดียวกัน และเกิดลำดับความหนาที่ต่างกันตามจำนวนผลึกที่ทับซ้อนกันอยู่ เมื่อมีการเพิ่มกำลังขยายจะสังเกตเห็นว่าขนาดของผลึกเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมาจะมีผลึกที่มีความเรียบ แต่ยังมีการเรียงตัวมีการทับซ้อนกันของผลึกที่ไม่เป็นระเบียบ และไม่เรียงตัวไปทิศทางเดียวกัน ในเบื้องต้นทำการวัดขนาดของขนาดอนุภาคพบว่ามีความเท่ากับ 701.5 นาโนเมตร 658.4 นาโนเมตร 603.3 นาโนเมตร และขนาดเล็กถึง 317.3 นาโนเมตร ตามลำดับ

5.1.4 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลาและขนาดอนุภาคของไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)

จากผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลา และขนาดอนุภาคของไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลา พบว่าอนุภาคของผลึกมีรูปทรงที่ไม่สมมาตร แต่มีรูปทรงคล้ายทรงกลมรี ผสานเกาะรวมกลุ่มกัน ทำการวัดขนาดเบื้องต้นของผลึกที่โดดเดี่ยว พบว่ามีขนาดอนุภาคขนาดเล็กถึงในระดับนาโนเมตร ซึ่งมีผลึกโดดเดี่ยวขนาด 897.7 นาโนเมตร 674.5 นาโนเมตร 485.6 นาโนเมตร และ 341.3 นาโนเมตร ตามลำดับ

5.1.5 ผลของการวัดอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลี

จากผลการวัดอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลี โดยมีการบันทึกวันที่งอกของเมล็ด และนับจำนวนเมล็ด พบว่าอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกปลูกในเพคตินนาโนสเฟียร์ (Pectin nanosphere) มีอัตราการงอกสูงที่สุดในทุกกลุ่มแต่ คือมีอัตราการงอก 100 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกใน Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และที่มีอัตราการงอกน้อยที่สุด คือ เมล็ดที่ถูกปลูกใน Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p \leq 0.05$

5.1.6 ผลการศึกษาการเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลี ที่อายุ 7 วัน

จากผลการวิเคราะห์น้ำหนักสด (fresh weight) ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกเพาะในสภาวะความเป็นกรด-เบส ต่างกัน และวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน ซึ่งการทดลองทั้ง 4 กลุ่มในครั้งนี้ น้ำหนักสด (fresh weight) ของต้นอ่อนข้าวสาลี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อที่ $p \geq 0.05$

จากผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง (dry weight) ต้นอ่อนข้าวสาลี Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 0.05 ± 0.03 กรัม ส่วนกลุ่มอื่น ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p \leq 0.05$

ผลการวิเคราะห์ความยาวราก (root) ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกเพาะปลูกในสภาวะความเป็นกรด-เบส ต่างกัน และวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน กลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 โดยความยาวรากต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกปลูกใน Pectin nanosphere มีค่าเท่ากับ 124.15 ± 2.91 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าความยาวรากเฉลี่ยยาวสุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $p \leq 0.05$

ผลการวิเคราะห์จำนวนราก (root) ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกเพาะปลูกในสภาวะความเป็นกรด-เบส ต่างกัน พบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีในกลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 จำนวนรากเฉลี่ยดีที่สุดคือ Pectin nanosphere 4.33 ± 0.05 และน้อยสุดคือกลุ่มของสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1–5.5 ค่าเฉลี่ยของจำนวนรากต้นอ่อนที่ถูกปลูกในพบว่า Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.00 ± 0.00

ผลการวิเคราะห์ความสูงของลำต้น (stem) ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกเพาะปลูกในสภาวะความเป็นกรด-เบส ต่างกัน และในวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน พบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีในกลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5-9.0 ความสูงของข้าวสาลีเฉลี่ยดีที่สุดคือ Pectin nanosphere เท่ากับ 42.24 ± 1.73 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น $p \leq 0.05$ กับกลุ่มอื่นได้อย่างชัดเจน

5.1.7 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในต้นอ่อนข้าวสาลี

5.1.7.1 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลี ที่ปลูกในวัสดุปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา และปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมาผสมกับไบโอนาโนแคลเซียมที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร และ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีที่ปลูกในวัสดุปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา และปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมาผสมกับไบโอนาโนแคลเซียม พบว่ามีแคลเซียมปริมาณสูงสุดในผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลี ได้แก่ สภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1-5.5 และปรากฏว่าแคลเซียมในผิวเมล็ดที่ความเข้มข้น Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิตร มีค่าเท่ากับ 16.05 weight%

5.1.7.2 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในลำต้นอ่อนข้าวสาลี ที่ปลูกในวัสดุปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา และปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมาผสมกับไบโอนาโนแคลเซียม โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX) พบว่าแคลเซียมในลำต้น Pectin nanosphere เท่ากับ 7.83 weight% แต่สภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1-5.5 พบว่าสภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1-5.5 ไม่พบแคลเซียมในต้นอ่อนข้าวสาลี

5.1.7.3 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในรากต้นอ่อนข้าวสาลี ที่ปลูกในวัสดุปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา และปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์

สกัดจากใบกรูงเขมาผสมกับไบโอโนนาโนแคลเซียม พบว่าในกลุ่มทดลองที่ปลูกในสภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 พบว่าแคลเซียมในรากต้นอ่อนข้าวสาลี Pectin nanosphere เท่ากับ 4.5 weight% และรองลงมาส่วนในกลุ่มสภาวะที่ปลูกในกรดอ่อน (slightly acid) ที่ 6.1–6.5 พบแคลเซียมในราก ค่อนข้างเยอะโดยพบ Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 4.13 weight%

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 ผลของการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี-ทางกายภาพของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา และไบโอโนนาโนแคลเซียมจากเมล็ดปาลานิล

ผลการศึกษาพบว่าเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณผลผลิต (% yield) มีปริมาณผลผลิตเพคตินจากเชิงพาณิชย์สูงกว่า เพคตินจากใบพืชกรูงเขมา ที่มีปริมาณผลผลิตที่ใกล้เคียงกัน โดยมีปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างกันของปริมาณผลผลิต ซึ่งความแตกต่างของเพคตินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัย เช่น ชนิดของพืชที่ถูกนำมาสกัดเป็นเพคติน และขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ใช้สำหรับการสกัด ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ สุพันธ์ วิทิตลิริ (2014) ที่รายงานการสกัดเพคตินจากชังขนุนแห้งด้วยน้ำร้อนและความดันไอสูง พบว่าเมื่อมีการใช้กระบวนการสกัดด้วยความดันไอสูงจะได้ปริมาณของเพคตินมากกว่า กระบวนการที่สกัดด้วยการใช้ความร้อน การที่สกัดด้วยความดันไอสูงสามารถสกัดได้มากกว่าอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิสูงจะทำให้ประสิทธิภาพการแพร่กระจายของสารสกัดเข้าไปสกัดเพคตินออกมาได้มากขึ้น

ส่วนของปริมาณความชื้นของเพคตินที่สกัดได้จะมีปริมาณความชื้นที่น้อยกว่าความชื้นของเพคตินทางการค้า ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณความชื้นของเพคตินที่สกัดได้จากพืช จะมีค่าประมาณร้อยละ 10 เช่น ในรายงานของ ธานุวัฒน์ ลากตันศุภผล และคณะ (2556) เพคตินจากเปลือกกล้วยมีความชื้นประมาณร้อยละ 12.40 และปริมาณเมทอกซิลของเพคตินที่สกัดจากใบกรูงเขมา เท่ากับ 8.25 ± 0.41 % ซึ่งพบว่ามีปริมาณเมทอกซิลใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.99 ± 0.13 % เป็นปริมาณเมทอกซิลสูงที่กว่าร้อยละ 8.16 ซึ่งจัดเป็นกลุ่มไฮเมทอกซิลเพคติน (high methomyl pectin) โดยการที่ความแตกต่างของชนิดเพคตินจะ

ขึ้นอยู่กับค่าการแบ่งตามระดับของเอสเทอริฟิเคชัน (degree of esterification หรือ ค่า DE) (Nazir, 2017)

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกพบได้ว่าปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกจากเพคตินทางการค้าหรือเชิงพาณิชย์มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 76.96 ± 0.26 % ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างสูงกว่า เพคตินจากใบกรูเมมา 65.66 ± 0.26 % ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพคตินที่สกัดจากใบกรูเมมา มีค่าความบริสุทธิ์ที่น้อยกว่าเพคตินที่ถูกใช้ในเชิงพาณิชย์ จากผลการทดลองปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกที่อยู่ในช่วงร้อยละ 65.32–68.66 ซึ่งจัดอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ตามกำหนดของ The Joint/WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA) โดยที่ระบุไว้ให้เพคตินมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกต่ำที่สุดเป็นร้อยละ 65 (รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย, 2544) โดยการพิจารณาความเหมาะสมจากคุณสมบัติทางเคมีของเพคตินที่สกัดได้ เปรียบเทียบกับเพคตินที่ถูกใช้ในเชิงพาณิชย์ จะสามารถใช้เป็นส่วนหนึ่งของตัวชี้วัดความเหมาะสมของการเลือกแหล่งสกัดของเพคตินที่มีคุณภาพเทียบเท่ากับเพคตินที่ใช้ในเชิงพาณิชย์

คุณสมบัติทางด้านกายภาพเบื้องต้นของ เพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูเมมา พบว่าปริมาณเถ้า 2.14 ± 0.02 % ความชื้น 4.47 ± 0.13 % มีไม่ความสอดคล้องกันกับรายงานของ วัชระ เวียงแก้ว (2549) พบว่าสมบัติของสารเพคตินที่สกัดได้จากวิธีต้มสกัดด้วยอ่างน้ำร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที มีปริมาณเมทอกซี และปริมาณเถ้า เท่ากับ 862.24%, 13.36% และ 1.31 % ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากวิธีการต้มที่แตกต่างกันคือในการวิจัยครั้งนี้มีการสกัดเพคตินในอ่างน้ำร้อนแบบอัลตราโซนิกเคชั่น มีการสั่นสะเทือนตลอดเวลา และใช้เวลาในการสกัดนานกว่าวิธีการต้มในอ่างน้ำร้อนทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณเถ้าในเพคติน และลักษณะของผงของเพคตินจะมีสีน้ำตาลอ่อนกว่าเนื่องจากในวิธีการมีการฟอกสีของเพคตินก่อนที่จะนำไปใช้งานในลำดับถัดไป โดยสอดคล้องกับการรายงานของ ยุทธนา พงษ์พิริยะเดช และคณะ (2557) ที่ได้ทำการทดสอบความเข้มข้นของสารหรือกรดที่นำมาใช้ในการฟอกเพคตินที่สกัดจากผักเหริยง ที่ส่งผลการต่อการจางลงไป และไบโอโนนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลา มีปริมาณเถ้า 45.68 ± 0.25 % ความชื้น 4.91 ± 0.02 % ลักษณะเป็นผงสีขาว โดยมีการศึกษาปริมาณธาตุในผลึกของเพคตินนาโนสกัดจากใบพีชกรูเมมา เนื่องจากกระบวนการผลิตที่ไม่รุนแรงต่าง ๆ คือ กระบวนการชะน้ำที่มีแรงดันสูง ทำการแช่เกล็ดปลาในสารละลายต่างทำละลายเอทานอล และการฟอกสีก่อนบด

ให้เป็นผงไบโอแคลเซียม ทำให้ไบโอแคลเซียมที่ได้ยังคงมีสารอินทรีย์ คอลลาเจน เปปไทด์ ต่าง ๆ ซึ่งผลของไบโอโนแคลเซียม สอดคล้องกับงานวิจัยของ เจนจิรา นิเวศน์ และคณะ (2564) ที่ได้ระบุว่ากระบวนการสกัดมีผลเชิงบวกต่อการดำรงไว้ซึ่งจะทำให้ที่คุณภาพที่ดีขึ้นของไบโอแคลเซียมมีสีขาวบริสุทธิ์ขึ้น ปราศจากกลิ่นคาว และเป็นผงละเอียด เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในอนาคต

5.2.2 ผลของการวิเคราะห์พื้นฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินสกัดจากใบ กรุงเขมาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)

การวิเคราะห์พื้นฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินสกัดจากใบกรุงเขมาพบว่า ลักษณะพื้นผิวของเพคติน มีลักษณะผลึกผลานค่อนข้างเป็นแผ่นเรียบเป็นแผ่นใหญ่ ๆ ทับซ้อนหลายชั้น หลายขนาด บางส่วนมีบางบริเวณหรือบางจุดมีการทับซ้อนเป็นชั้นสูง จึงเกิดความต่างของระดับความหนาของพื้นผิว ทำให้ผิวไม่มีความเรียบเสมอทั้งแผ่นผลึกมากขึ้น ซึ่งลักษณะที่ปรากฏดังที่มานี้มาจากแผ่นผิวของเพคตินที่ยังไม่ผ่านการบด ทำให้จะเห็นผิวค่อนข้างติดกันเป็นแผ่นใหญ่ ผลานติดกันเป็นแผ่นเดียวกันที่ค่อนข้างใหญ่และไม่มีช่องว่างระหว่างผลึก ซึ่งภาพในรายงานของ Zhou et al., (2022) และพื้นผิวเพคตินที่ปรากฏของในรายงานพื้นฐานวิทยาของพื้นผิวของเพคตินถูกสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในสภาพแวดล้อมที่กำลังขยายต่างกัน จะเห็นได้ว่าเพคตินที่สกัดได้จากการศึกษาที่มีความหยาบในระดับหนึ่งโดยไม่มีรอยร้าวติดกันเป็นแผ่นและช่องเปิด ทั้งนี้เพคตินจากใบกรุงเขมา ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมาย เช่น จากงานวิจัยของ Singthong et al., (2004) ได้รายงาน ว่า รุนจากใบกรุงเขมาเป็นสารจำพวกเพคตินที่มีความสามารถก่อเกิดเป็นเจลได้ง่าย อีกทั้งยังพบว่า เพคตินจากใบกรุงเขมามีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายจำนวนมาก เช่น แคลเซียม โซเดียม และเหล็ก และยังจัดเป็น โยอาหาร (dietary fiber) ที่ส่งผลดีต่อระบบย่อยอาหาร ส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดที่ดีในลำไส้ เป็นต้น

ซึ่งในปัจจุบันนี้วิธีการและเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงการศึกษาวิจัยก้าวหน้าขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงมีการสกัดเพื่อหาสารสำคัญออกมาใช้ประโยชน์ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ชุมชนพัฒนาสร้างผลิตภัณฑ์รายได้ ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพ หรือจนในระดับที่นำไปสู่การใช้เป็นส่วนประกอบหลักในผลิตภัณฑ์เวชสำอางในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

5.2.3 ผลของการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)

ผลจากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา มีผลึกหลากหลายขนาดและหลากหลายทรง เช่น มีลักษณะผลึกยาวทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทรงกลม ทรงรี หลากหลายขนาดมาเรียงซ้อนทับกันอย่างไม่เรียงอยู่ในระนาบเดียวกัน โดยมีความคล่องกับงานวิจัยของ Zhou et al., (2022) การสกัดและคุณลักษณะของเพคตินจากเหง้าของอาร์ติโชค และการประยุกต์ใช้ในการเก็บรักษาบลูเบอร์รี่ โดยการศึกษารูปแบบ XRD ของเพคตินแสดงในรูปที่ทำการศึกษา จะเห็นได้ว่าไม่มียอดแหลมอยู่ในสเปกตรัมมีลักษณะของผลึกที่หลากหลายไม่แน่นอน เช่น ทรงแหลม ทรงรี เป็นต้น อย่างไรก็ตามรูปแบบพื้นผิวเพคตินที่หลากหลาย สามารถบ่งชี้ว่าเพคตินที่สกัดจากเหง้าอาร์ติโชคเป็นผลิตภัณฑ์อสังฐานในการศึกษาที่กล่าวถึงนี้ยังนี้มีการวิเคราะห์ถึงเพคตินที่สกัดออกมามีโครงสร้างอสังฐานที่คล้ายคลึงกันมากกับเพคตินเชิงพาณิชย์ที่รายงานโดย Hosseini, Parastouei and Khodaiyan (2020) ผลการวิจัยพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในสถานะผลึกระหว่างเพคตินที่สกัดจากอาร์ติโชค และเชิงพาณิชย์

เมื่อมีการเพิ่มกำลังขยายเพคตินนาโนสเฟียร์ที่สกัดได้จากใบกรูงเขมาจะสังเกตเห็นว่าขนาดของผลึกเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมาจะมีผลึกที่มีความเรียบ แต่ยังมีการเรียงตัวมีการทับซ้อนกันของผลึกที่ไม่เป็นระเบียบและไม่เรียงตัวไปทิศทางเดียวกัน ในเบื้องต้นทำการวัดขนาดของขนาดอนุภาคพบว่ามีความเท่ากับ 701.5 ระหว่างขนาดเล็กถึง 317.3 นาโนเมตร ตามลำดับ เนื่องจากวิธีการในการศึกษาสัณฐานวิทยาพื้นผิวของเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) ไม่มีการบดตัวอย่างอย่างละเอียด ทำให้ไม่สามารถระบุขนาดของอนุภาคที่ถูกลดขนาดลงแล้ว แต่จากการวัดขนาดของขนาดอนุภาคที่เป็นผลึก พบว่ามีขนาดเท่ากับขนาดเล็กถึง 317.3 นาโนเมตร หากมีการบดผลึกอาจพบขนาดที่เล็กกว่านี้ได้ ซึ่งขนาดที่เล็กมาก ในระดับ 10-1 นาโนเมตร และเล็กจนไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยนาโนเทคโนโลยี หมายถึงอนุภาคต่าง ๆ ถูกปรับและเป็นเทคโนโลยีประยุกต์ที่เกี่ยวกับการผลิตหรือสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ในระดับอะตอมโมเลกุล ที่มีขนาดเล็กถึงระดับ 1 ถึง 100 นาโนเมตร ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมีคุณสมบัติที่พิเศษขึ้น ทั้งในด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้สอย และเพิ่มมูลค่า

ทางเศรษฐกิจได้ อัจฉริยา ชมเชย (2561) ได้ทำรายงานวิจัยที่ให้ความสำคัญกับการลดขนาดของอนุภาคเล็กกลง มีการประยุกต์ใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางชีวภาพโดยเชื้อแอคติโนมัยซีท สำหรับควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช พบว่าเมื่อมีการลดอนุภาคขนาดลงในระดับนาโนทำให้มีการดูดซึม และดูดซับผ่านกระบวนการต่าง ๆ ได้ดีมากขึ้น

5.2.4 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล และขนาดอนุภาคของไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM)

จากผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลานิลและขนาดอนุภาคของไบโอนาโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล พบว่าอนุภาคของผลึกมีรูปร่างที่ไม่สมมาตร แต่มีรูปร่างคล้ายทรงกลมรี ผสานเกาะรวมกลุ่มกัน ทำการวัดขนาดเบื้องต้นของผลึกที่โดดเด่น พบว่ามีขนาดอนุภาคขนาดเล็กถึงในระดับนาโนเมตร ซึ่งมีผลึกโดดเด่นขนาด 897.7 นาโนเมตร ระหว่าง 341.3 นาโนเมตร ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่าไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่อยู่ในระดับนาโนจะมีสมบัติในการทำงานที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กมากถึงในระดับนาโนมีส่วนที่จะส่งเสริมให้ มีแนวโน้มของอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงเพิ่มมากขึ้น เนื่องด้วยโครงสร้างที่ละเอียดมากคล้ายกับแร่อะพาไทต์ของกระดูกสิ่งมีชีวิต ส่งผลอย่างมากต่ออันตรกิริยาระหว่างวัสดุฝังเข้าไปยังภายในร่างกายปลูกเข้ากับเซลล์ในร่างกาย นั่นคือความสามารถในการเป็นตัวสื่อชักนำเซลล์ของมวลกระดูก และมีความสามารถในการละลายโดยผลึกที่พบในไบโอนาโนมีความสอดคล้องผ่านการศึกษาสัณฐานวิทยาพื้นผิวไบโอแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล ที่มีความคล้ายคลึงกับโครงสร้างผลึกของไฮดรอกซีอะพาไทต์ ซึ่งด้วยการพัฒนาในปัจจุบัน Ueno (1989) ได้เสนอวิธีการพัฒนากระดูกวัวเพื่อนำมาใช้ทดแทนกระดูกมนุษย์ โดยเริ่มพัฒนาและมีการทดลองใช้ตั้งแต่ปี 1982 จนมีการผลิตออกมาจำหน่าย (บริษัท โคเค็น, ประเทศญี่ปุ่น) ภายใต้ชื่อของ “true bone ceramic” โดยประโยชน์ของการลดขนาดของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ เนื่องจากไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เป็นส่วนประกอบของกระดูกธรรมชาติจะมีรูปร่างเป็นแผ่น หรือนาวแหลมที่มียาวประมาณ 40-60 นาโนเมตร ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญและน่าสนใจมาก เพราะการที่ผลึกของไฮดรอกซีอะพาไทต์ในทางชีวภาพมีขนาดเล็กจึงทำให้ความสามารถในการละลายดีกว่าแร่โมเลกุลของอะพาไทต์โดยทั่วไป

5.2.5 ผลของการวัดอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลี

จากผลการวัดอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลี โดยมีการบันทึกวันที่งอกของเมล็ด และนับจำนวนเมล็ด พบว่าอัตราการงอกของต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกปลูกในในสภาวะต่างกัน จากผลพบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกปลูกใน เพคตินนาโนสเฟียร์ (Pectin nanosphere) มีอัตราการงอกสูงที่สุดในทุกกลุ่มแต่ คือมีอัตราการงอก 100% และมีอัตราการงอกสูงที่สุด ได้แก่ สภาวะความเป็นกรดอ่อน ลำดับต่อมาคือ ในสภาวะเบส ซึ่งสอดคล้องกับบทความกล่าวว่าข้าวสาลีเป็นพืชเมืองหนาวเป็นธัญพืชชนิดหนึ่งที่เจริญเติบโตได้ดีในสภาพอากาศหนาว ไม่ต้องการน้ำมาก และข้าวสาลียังไม่เหมาะที่จะปลูกในสภาพดินที่เป็นกรดจัดหรือดินเหนียวจัด Trueplookpanya (2560) ซึ่งตรงกับผลการวิจัยเนื่องจากมีการทดสอบการปลูกข้าวสาลีในสภาพความเป็นกรดเป็นเบสที่มีค่าต่างกัน ก็พบว่าในสภาวะที่เป็นกรดจัดข้าวสาลีไม่งอกและหยุดการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ในสภาวะที่กรดจัดข้าวสาลีจะไม่สามารถเติบโตได้ดี นอกจากนี้ผลผลิตที่ได้จากการงอกของเมล็ดธัญพืชที่เจริญมาเป็นต้นอ่อน เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ ข้าวไรย์ ข้าวโอต จัดว่าเป็นแหล่งของสารอาหารที่มีคุณค่าที่มีคุณค่าทางอาหารสูงมาก เช่น วิตามิน แร่ธาตุ โยอาหาร สารต้านอนุมูลอิสระ หรือเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase, SOD) ที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน ช่วยลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด และช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ อีกทั้งยังพบสารกาบา ซึ่งนอกจากจะพบมากในเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ ที่ผ่านการงอกมาแล้ว ยังสามารถพบได้ในต้นอ่อนของธัญพืชต่าง ๆ อีกด้วย สารกาบามีสมบัติช่วยป้องกันภาวะความดันโลหิตสูง (antihypertensive) (Donkor et al., 2012)

5.1.6 ผลการศึกษาการเติบโตของอ่อนข้าวสาลี ที่อายุ 7 วัน

จากผลการวิเคราะห์น้ำหนักสด (fresh weight) ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกเพาะในสภาวะความเป็นกรด-เบสต่างกัน และวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน ซึ่งการทดลองทั้ง 4 กลุ่มในครั้งนี้น้ำหนักสด (fresh weight) ของต้นอ่อนข้าวสาลี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่ามีความแปรปรวนของ ความสูง จำนวนรากและชนิดพันธุ์ ไม่ได้ส่งผลต่อความน้ำหนักสด (fresh weight) ของต้นอ่อนข้าวสาลี การแปรปรวนที่ส่งผลโดยตรง คือ

ความชื้น ขนาดของเมล็ด ที่จะเป็นตัวแปรผันของน้ำหนักได้ จากผลการวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง (dry weight) ต้นอ่อนข้าวสาลี Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 0.05 ± 0.03 กรัม มากที่สุด ส่วนกลุ่มอื่น ๆ มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งผลการวิเคราะห์จำนวนของการสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดของต้น ใบ และน้ำหนักแห้ง รวมเมล็ด พบว่ามีความแตกต่าง ซึ่งสอดคล้องกับพัฒนาการของส่วนต่างของพืช แต่ยังไม่พบมีความแตกต่างของน้ำหนักแห้งต้น ใบ และน้ำหนักรวม แสดงให้เห็นว่ามีความแปรปรวนเมื่อมีการกำจัดความชื้นออก พบว่าพืชมีการเจริญของส่วนลำต้นใบน้อยมีเมล็ดจะเห็นว่าที่ความเข้มข้น Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเท่ากับมาก 0.05 ± 0.03 กรัม ความสูงและน้ำหนักเมล็ดมากที่สุด ส่งผลให้มีน้ำหนักของส่วนเหนือดินมากขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน ทั้งนี้จะต้องขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเจริญเติบโตของพืชนั้นด้วย นอกจากนี้ปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งของการเจริญเติบโตของพืช คือเกี่ยวข้องกับพันธุกรรมของพืชชนิดนั้น ๆ ด้วย (Yoshida, 1981)

ผลการวิเคราะห์ความยาวราก (root) ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกเพาะปลูกในสภาวะความเป็นกรด-เบส ต่างกัน และวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน กลุ่มที่ปลูกในสภาวะเบส (strongly alkaline) ที่ 8.5–9.0 โดยความยาวรากต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกปลูกใน Pectin nanosphere มีค่าเท่ากับ 124.15 ± 2.91 มิลลิเมตร ซึ่งมีความยาวรากเฉลี่ยยาวสุด และมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และผลการวิเคราะห์จำนวนราก (root) ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกเพาะปลูกในสภาวะความเป็นกรด-เบส ต่างกัน พบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีในกลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 จำนวนรากเฉลี่ยดีที่สุดคือ Pectin nanosphere 4.33 ± 0.05 และน้อยสุด คือกลุ่มของสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1–5.5 ค่าเฉลี่ยของจำนวนรากต้นอ่อนที่ถูกปลูกในพบว่า Pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 0.00 ± 0.00 จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าความเป็นกรด-เบส ของวัสดุปลูกเป็นสำคัญเมื่อสภาวะ pH ต่ำกว่า 5.0 หรือสูงกว่า 8.0 จะมีผลทำให้การเจริญของรากพืชถูกจำกัดได้ นอกจากนี้ในสภาพความเป็นกรดจัดมีผลทำให้เกิดความเป็นพิษของธาตุอาหารบางตัว ได้แก่ ธาตุจำพวก อลูมิเนียม แมงกานีส และเหล็ก เป็นต้น (สยมพอล ณะวงษ์, 2558)

เนื่องจากรากพืชเป็นส่วนสำคัญเป็นส่วนที่ใช้สำหรับดูดซับธาตุอาหารพืช โดยสารอาหารต้องเคลื่อนที่จากบริเวณผิวน้ำเข้าสู่ภายในรากพืช เมื่อสารอาหารถูกดูดซึมเข้าสู่พืช แล้วถูกเลี้ยงไปสร้างเสริมการเจริญเติบโตต่อไป (สมบุญ เศรษฐกิจญานวัฒน์, 2548) โดยรากมี

การเจริญลึกลงไปในชั้นที่มีความชื้น ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของรากในแนวตั้งเพิ่มสูงขึ้น จะเป็นตัวกระตุ้นให้รากมีการหยั่งลึกมากที่สุด ขณะที่ความชื้น 30 เปอร์เซ็นต์จะทำให้รากหยุดการเจริญเติบโตในแนวตั้งและเกิดการแตกแขนงของรากได้ดี (Zeng et al., 2010) ผลการวิเคราะห์ความสูงของลำต้น (stem) ต้นอ่อนข้าวสาลีที่ถูกเพาะปลูกในสภาวะความเป็นกรด-เบสต่างกัน และในวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน พบว่าต้นอ่อนข้าวสาลีในกลุ่มที่ปลูกในสภาวะความเป็นเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 ความสูงของข้าวสาลีเฉลี่ยดีที่สุดคือ Pectin nanosphere เท่ากับ 42.24 ± 1.73 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับกลุ่มอื่นได้อย่างชัดเจน โดยความสัมพันธ์ระหว่างรากและส่วนลำต้น และปลายยอด ยังพบว่าการเจริญเติบโตของรากมีความสัมพันธ์กับการเจริญของส่วนยอด โดยยอดทำหน้าที่สร้างอาหารส่งเสริมให้รากเจริญได้ดี แต่เมื่อมีความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมจะมีผลทำให้เกิดความแปรปรวนในการกระจายน้ำหนักแห้งในส่วน ของรากและต้น ดังนั้นในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตจึงพิจารณาโดยใช้หลักการของ ความสัมพันธ์ระหว่าง source และ sink เมื่อพืชมีการเจริญในส่วนยอด คือมีการเจริญของใบและลำต้นอ่อนของข้าวสาลีที่ทำหน้าที่สังเคราะห์ด้วยแสงได้ดี ซึ่งถือเป็น source ที่ส่งเสริมให้มีการเจริญของราก คือ sink ได้ดีด้วย (สายัณห์ สดุดี, 2554) ลำต้นจะเกิดกระบวนการเคลื่อนย้ายสารที่พืชสังเคราะห์ขึ้นมาแล้วถ่ายเทไปสู่ส่วนเจริญเติบโต ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับระยะการพัฒนากการเจริญเติบโตซึ่งช่วงแรกมีการสะสมที่ใบและราก ต่อมาเปลี่ยนไปยังลำต้น ราก และเมล็ดตามลำดับ (Rawson and Hofstra, 1969)

5.1.7 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในต้นอ่อนข้าวสาลี

5.1.7.1 ผลของการศึกษาเพิ่มแร่ธาตุทางสารอาหารในผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลี ที่ปลูกในวัสดุปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมา และปลูกบนเพคตินนาโนสเฟียร์สกัดจากใบกรูงเขมาผสมกับไบโอโนแคลเซียม มีปริมาณสูงสุด พบว่าแคลเซียมในผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีสูงที่สุด ได้แก่ สภาวะกลุ่มที่ปลูกในสภาวะกรดจัด (strongly acid) ที่ 5.1–5.5 ปรากฏว่าแคลเซียมในผิวเมล็ด ที่ความเข้มข้น Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 16.05 weight% ลำต้นอ่อนข้าวสาลี พบแคลเซียมในลำต้นมากที่สุดที่ Pectin nanosphere เท่ากับ 7.83 weight% และ พบแคลเซียมในรากต้นอ่อนข้าวสาลีมาก

Pectin nanosphere เท่ากับ 4.5 weight% และรองลงมาส่วนในกลุ่มสภาวะที่ปลูกในกรดอ่อน (slightly acid) ที่ 6.1–6.5 พบแคลเซียมในราก ค่อนข้างเยอะโดยพบ Pectin nanosphere + Ca 10 mg/ml เท่ากับ 4.13 weight% ซึ่งมีความสอดคล้องกับการรายงานของ Rui et al., (2016) และ Tombuloglu et al., (2019) ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการกักเก็บเพคตินนาโนสเฟียร์ สามารถส่งเสริมการดูดซึมธาตุ N, P และ K เข้าสู่ลำต้นของพืชเล็กน้อย และยังคงสอดคล้องกับ (Tombuloglu et al., 2020) การศึกษาที่พืชสามารถดูดซับ Zn, Ni, Cu และ Fe เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนจากไบโอแคลเซียมและเพคตินนาโน โดยคาดว่าเพคตินและไบโอแคลเซียม และที่มีขนาดที่เล็กระดับอนุภาคนาโน นำเข้าสู่พืชได้ง่ายและส่งเสริมการดูดซึมธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของพืช จากผลการศึกษาสามารถยืนยันการอนุมานข้างต้นว่าเพคตินนาโนสเฟียร์และไบโอแคลเซียมสกัดจากเกล็ดปลานั้นถูกดูดซับบนพื้นผิวของเมล็ดข้าวสาลีและดูดซึมไปสู่ส่วนอื่น ๆ ของต้นข้าวสาลีส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชในเชิงบวกได้



บรรณานุกรม

- ชนิษฐา เลิกชัยภูมิ. (2545). **การสกัดเพคตินจากส้มมะงั่วและการใช้ประโยชน์ในระบบอาหาร**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร.
- เรวดี วัฏฏานุรักษ์. (2021). องค์ประกอบทางเคมีของข้าวหมากจากข้าวมีสีพันธุ์พื้นเมืองโดยใช้ลูกแป้งจากแป้งข้าวเจ้าสำเร็จรูป. **วารสารวิจัยและพัฒนายุทธศาสตร์และนวัตกรรมในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**16(2), 1-14.
- ญาธิปวีร์ ปักแก้ว. (2559). หมาน้อยเพคตินจากธรรมชาติ ประโยชน์เลอค่า พี่ชุปาสมุนไพรรักษา. **อาหาร**, 46(1), 15-19.
- พัชรินทร์ ใจซ้อ. **วิทย์แพทย์ลงพื้นที่สำรวจอาหารพื้นบ้านไทลื้อศึกษาวิถีชีวิตที่เชื่อมโยงระหว่างความเชื่อกับสุขภาพ**. School of medical sciences. สืบค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2565, จาก <http://www.medsci.up.ac.th/v2/index.php/layout/center-innerright-right/86-2015-04-23-07-04-57/259>
- เจนจิรา นิเวศน์, เกียรติศักดิ์ เม่งอำพัน, วิจิตรา แดงปรก, กิตติมา ลีละพงศ์วัฒนา, สุชาลินีญาณภักดี และธีระพล เสน่ห์พันธุ์. (2564). การพัฒนากระบวนการผลิตไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลาลูกผสมบิกสยาม: Development of Biocalcium Production Process from Hybrid Catfish (Pangasianodon gigas x Pangasianodon hypophthalmus) Bone. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, 26(3), 1532-1544.
- ช่อลัดดา เทียงพุก. (2563). แคลเซียม...แหล่งที่มา และความสำคัญ Calcium...source and its important. **อาหาร**, 50(2).
- ชนกนันท์ ทะนานแก้ว, อนิรุทธ์ รักสุจริต และกวี กิตติวรเชษฐ. (2555). **สมบัติเชิงกลและการหาลักษณะเฉพาะของไฮดรอกซีอะพาไทต์นาโนคอมโพสิตแบบเนื้อแน่น**. สำนักหอสมุด.
- ธานูวัฒน์ ลาภตันศุภผล, ปฎิมา ทองขวัญ และศิริลักษณ์ สรวงพรหมทิพย์. (2556). การสกัดเพคตินจากเปลือกผักและผลไม้. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, 44(2), 433-436
- นทีทิพย์ กฤษณามระ. (2553). การวิจัยสหสาขาเพื่อพัฒนาศักยภาพการวิจัยด้านแคลเซียมและกระดูก.

- ประเสริฐ สายสิทธิ์. 2524. **ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ**. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิเชษฐ เทบ่ารุ่ง. (2546). **การสกัดเพคตินจากใบกรูงเขมา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- เพ็ญพรรณ ศรีสกุลเดี่ยว สุภัทรา อุไรวรรณ และอาภรณ์ โพธิ์พงศ์วิวัฒน์. (2551). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การรวบรวมความรู้และประสบการณ์ระบบตลาดข้อตกลง (Contract Framing) ในประเทศไทย: กรณีศึกษาปาลันล.
- พวงทอง ใจสันต์, จิตรา กลิ่นหอม และอัจฉรา เทียมภักดี. (2541). **การทดสอบการใช้เพคตินที่สกัดได้จากเปลือกเสาวรสในการผลิตแยม**. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ยุทธนา พงษ์พิริยะเดชะ, จีราภรณ์ สังข์ฟูต, พัชรินทร์ นวลศรีทอง. (2557). **การสกัดเพคตินจากผักเหียงเพื่อการใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์**. Retrieved from มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
- รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย. (2544). **การสกัดเพคตินจากส้มมะงั่วและแนวทางการใช้ประโยชน์ในระบบอาหารเชิงพาณิชย์**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีอาหารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ราตรีพรรณกร กรรณิการ์สมบุญ สักัญญา สายธิกันธิมา เพ็ญเจริญ และ ภาณุชา พงศ์นราทร. (2560). **เครื่องมือหั่น "กรูงเขมา" มหัศจรรย์พีชปา**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร.
- วิมล เหมะจันทร์. (2540). **ชีววิทยาปลา** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วลีพรรณ รกิติกุล. (2020). การสังเคราะห์ไฮโดรเจลของเพคตินจากผลข้าวปั้นพระฤๅษีสำหรับการปลดปล่อยปุ๋ยไนโตรเจน. **วารสารวิจัยรามคำแหง ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 23(1), 39-46.
- วัชระ เวียงแก้ว. (2549). **การสกัดเพคตินด้วยไอน้ำจากเปลือกส้มโอ** (พิมพ์ครั้งที่ 1). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ: นครนายก.
- วัชระ เวียงแก้ว. (2550). **Pectin extraction from lime peel using steam treatment** รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง กรรมวิธีการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวโดยการอบความร้อนสูงด้วยไอน้ำ (พิมพ์ครั้งที่ 1). นครนายก : ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒองค์กรักษ์.

สฤมพล ณะวงษ์. (2558). การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญ และการเปลี่ยนแปลงของราก
 ยางพาราในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้งด้วยเทคนิคมิไรโซทรอน. มหาวิทยาลัยสงขล
 นครินทร์.

สุนันท์ วิทิตสิริ. (2014). การเปรียบเทียบปริมาณเพกทินจากชงขนุนหนึ่งจำปากรอบ โดยการสกัด
 ด้วยน้ำร้อนและความดันไอสุง. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา, 9(2), 95–112.

สายัณห์ สดุดี. (2554). ความสำคัญของรากพืช (พิมพ์ครั้งที่1). สงขลา: เอกสารประกอบการ
 สอน คณะทรัพยากรธรรมชาติ.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. สรีรวิทยาของพืช.จามจุรีโปรดักท์, กรุงเทพมหานคร. 252
 หน้า.

อัจฉริยา ชมเชย. (2561). โครงการวิจัยการประยุกต์ใช้อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ ด้วยวิธี
 ทางชีวภาพโดยเชื้อแอคติโนมัยซีท สำหรับควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืช. Retrieved from
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่: <http://cmuir.cmru.ac.th/handle/123456789/1414>

อุบล โรจนวัน, วาริช สกุลพงศ์, ณัฐธิดา ศรีสุรักษ์ และเสาวลักษณ์ ยืนยง. (2560),
 23กันยายน2565). เครือหมาน้อย.

Adhikari, R., Agostini, M., Ky, N. A., Araki, T., Archidiacono, M., Bahr, M., and Zuber, K.
 (2017). A white paper on keV sterile neutrino dark matter. **Journal of cosmology
 and astroparticle physics**, 2017(01), 025.

Ahmed, H. B., Zahran, M. K., and Emam, H. E. (2016). Heatless synthesis of well dispersible
 Au nanoparticles using pectin biopolymer. **International journal of biological
 macromolecules**, 91, 208–219.

Al-Asmar, A., Giosafatto, C. V. L., Sabbah, M., Sanchez, A., Villalonga Santana, R. and
 Mariniello, L. J. N. (2019). Effect of mesoporous silica nanoparticles on the
 physicochemical properties of pectin packaging material for strawberry wrapping.
Nanomaterials, 10(1), 52.

Ashrafi, B. Rashidipour, M. Marzban, A. Soroush, S. Azadpour, M. Delfani, S., et al. (2019).
 Mentha piperita essential oils loaded in a chitosan nanogel with inhibitory effect on
 biofilm formation against *S. mutans* on the dental surface. 212, 142–149.

Bettani, S. R. de Oliveira Ragazzo, G. Santos, N. L. Kieckbusch, T. G. Bastos, R. G. Soares,

- M. R., et al. (2019). Sugarcane vinasse and microalgal biomass in the production of pectin particles as an alternative soil fertilizer. **Carbohydrate polymers**, 203, 322–330.
- Bostanudin, M. F., Arafat, M., Sarfraz, M., Górecki, D. C. and Barbu, E. J. P. (2019). Butylglyceryl pectin nanoparticles: Synthesis, **formulation and characterization**, 11(5), 789.
- Burkholder, P. R., and McVeigh, I. (1942). The increase of B vitamins in germinating seeds. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 28(10), 440–446.
- Chavan, J. K., Kadam, S. S., and Beuchat, L. R. (1989). Nutritional improvement of cereals by sprouting. **Critical reviews in food science and nutrition**, 28(5), 401–437.
- Cheng, H., Hsieh, K., Chen, W., Hsu, Y., Hsu, J. and Uang, R. (2008). Mechanical Process Simulation of a Novel Metal–Nanowire–Film–based Flip Chip Technology. In **2008 3rd International Microsystems, Packaging, Assembly & Circuits Technology Conference** (283–286).
- Devendiran, R. M. kumar Chinnaiyan, S. Yadav, N. K. Moorthy, G. K. Ramanathan, G. Singaravelu, S., et al. (2016). Green synthesis of folic acid–conjugated gold nanoparticles with pectin as reducing/stabilizing agent for cancer theranostics. **RSC advances**, 6(35), 29757–29768.
- Donkor, O., Stojanovska, L., Ginn, P., Ashton, J. and Vasiljevic, T. (2012). Germinated grains–Sources of bioactive compounds. **Food chemistry**, 135(3), 950–959.
- Einhorn–Stoll, U. J. F. h. (2018). Pectin–water interactions in foods–From powder to gel. **Food hydrocolloids**, 78, 109–119. .
- Endress, H. U., and Christensen, S. H. (2009). Pectins. In **Handbook of hydrocolloids** (pp. 274–297). Woodhead Publishing.
- Fahmi, A., Morimura, S., Guo, H.–C., Shigematsu, T., Kida, K. and Uemura, Y. (2004). Production of angiotensin I converting enzyme inhibitory peptides from sea bream scales. **Process Biochemistry**, 39(10), 1195–1200.
- Gruskiene, R., Krivorotova, T., and Sereikaite, J. (2017). Nisin–loaded pectin and nisin–loaded pectin–inulin particles: Comparison of their proteolytic stability with free nisin..

LWT–Food Science and Technology, 82, 283–286.

- Günter, E. A., Markov, P. A., Melekhin, A. K., Belozerov, V. S., Martinson, E. A., Litvinets, S. G., and Popov, S. V. (2018). Preparation and release characteristics of mesalazine loaded calcium pectin–silica gel beads based on callus cultures pectins for colon–targeted drug delivery. **International journal of biological macromolecules**, 120, 2225–2233.
- Hosseini, S., Parastouei, K. and Khodaiyan, F. (2020). Simultaneous extraction optimization and characterization of pectin and phenolics from sour cherry pomace. **International journal of biological macromolecules**, 158, 911–921.
- Ikoma, T., Kobayashi, H., Tanaka, J., Walsh, D., and Mann, S. (2003) .Physical properties of type I collagen extracted from fish scales of *Pagrus major* and *Oreochromis niloticas*. **International journal of biological macromolecules**, 32(3–5), 199–204..
- Jang, H. L., Lee, K., Kang, C. S., Lee, H. K., Ahn, H. Y., Jeong, H. Y., and Nam, K. T. (2015). Biofunctionalized ceramic with self–assembled networks of nanochannels. **ACS nano**, 9(4), 4447–4457.
- Jiang, J., He, X., Li, L., Li, J., Shao, H., Xu, Q., and Dong, Y. (2014). Effect of cold plasma treatment on seed germination and growth of wheat. **Plasma Science and Technology**, 16(1), 54.
- Johns, S. R., Lamberton, J. A., and Sioumis, A. A. (1967). 1–Benzyl–1, 2, 3, 4–tetrahydroisoquinoline alkaloids from *Alseodaphne archboldiana* (Allen) Kostermans (family Lauraceae). **Australian Journal of Chemistry**, 20(8), 1729–1735.
- Kaya, M., Kaya, G., Kaya, M. D., Atak, M., Saglam, S., Khawar, K. M., and Ciftci, C. Y. (2008). Interaction between seed size and NaCl on germination and early seedling growth of some Turkish cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Journal of Zhejiang University Science B**, 9, 371–377.
- Kayahara, H., Tsukahara, K. and Tatai, T. (2001). Flavor, health and nutritional quality of pre–germinated brown rice. In **Food flavors and chemistry: advances of the new millennium. Proceedings of the 10th International Flavor Conference**,

Paros, Greece, 4–7 July 2000 (pp 546–551).

- Li, R., Li, M., He, J., Xie, H., Wang, W., Zhang, M., and Yin, H. (2021). Preparation of Pectin Nanospheres and Its Effect on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed Germination and Growth. **Journal of Plant Growth Regulation**, 1–11.
- Lineth J. Vega–Rojas, M. C.–P., Natalia Rincon–Londoño, Alicia del Real López, Rosa M. Lima–Garcia, Natalia Palacios–Rojas, Mario E. Rodriguez–Garcia. (2016). The Effect of Maize Grain Size on the Physicochemical Properties of Isolated Starch, Crude Maize Flour and Nixtamalized Maize Flours. **Agricultural Sciences**, 7(2). doi:10.4236/as.2016.72011
- Mishra, S. P., Manent, A. S., Chabot, B., and Daneault, C. (2012). Production of nanocellulose from native cellulose–various options utilizing ultrasound. **BioResources**, 7(1).
- Mohnen, D. (2008). Pectin structure and biosynthesis. **Current opinion in plant biology**, 11(3), 266–277.
- Nagai, T., Yamada, S., Tominaga, T., Ichikawa, M. and Miyawaki, A. (2004). Expanded dynamic range of fluorescent indicators for Ca²⁺ by circularly permuted yellow fluorescent proteins. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 101(29), 10554–10559.
- Nazir, A., Asghar, A. and Maan, A. A. (2017). **Food gels: Gelling process and new applications**: Elsevier.
- Nazir, M. A. (2017). Prevalence of periodontal disease, its association with systemic diseases and prevention. **International journal of health sciences**, 11(2), 72.
- Palard, M., Champion, E. and Foucaud, S. (2008). Synthesis of silicated hydroxyapatite Ca₁₀(PO₄)_{6–x}(SiO₄)_x(OH)_{2–x}. **Journal of Solid State Chemistry**, 181(8), 1950–1960.
- Pilbeam, D., Kirby, E. J. P., Cell and Environment. (1984). Calcium as a plant nutrient. **Open Journal of Soil Science**, 7, 397–405.
- Rashidipour, M., Maleki, A., Kordi, S., Birjandi, M., Pajouhi, N., Mohammadi, E., Heydari, R., Rezaee, R., Rasoulian, B. and Davari, B., (2019). Pectin/chitosan/tripolyphosphate nanoparticles: efficient carriers for reducing

- soil sorption, cytotoxicity, and mutagenicity of paraquat and enhancing its herbicide activity. **Journal of agricultural and food chemistry**, 67(20), 5736–5745.
- Rawson, H. M. and Hofstra, G. (1969). Translocation and remobilization of ¹⁴C assimilated at different stages by each leaf of the wheat plant. **Australian Journal of Biological Sciences**, 22(2), 321–332.
- Rimsten, L. (2003). *Extractable cell-wall polysaccharides in cereals, with emphasis on β -glucan in steeped and germinated barley (Vol. 401, No. 401)*.
- Rui, M. Ma, C. Hao, Y. Guo, J. Rui, Y. Tang, X., et al. (2016). Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*). **Frontiers in Plant Science**, 7, 815.
- Sakai, T., Sakamoto, T., Hallaert, J., and Vandamme, E. J. (1993). Pectin, Pectinase, and Protopectinase: Production, **Properties, and Applications**. 39, 213–294.
- Savary, B. J., & Nuñez, A. (2003). Gas chromatography–mass spectrometry method for determining the methanol and acetic acid contents of pectin using headspace solid–phase microextraction and stable isotope dilution. **Journal of Chromatography A**, 1017(1–2), 151–159.
- Singthong, J., Cui, S. W., Ningsanond, S. and Goff, H. D. (2004). Structural characterization, degree of esterification and some gelling properties of Krueo Ma Noy (*Cissampelos pareira*) pectin. **Carbohydrate polymers**, 58(4), 391–400.
- Siregar, I. M., & Miladiyah, I. (2011). Protective effects of *Cyclea barbata* Miers leaves against aspirin–induced gastric ulcer in mice. **Universa Medicina**, 30(2), 88–94.
- Suksaeree, J. Karnsopa, P. Wannaphruek, N. Prasomkij, J. Panrat, K. Monton, C., et al. (2018). Use of isolated pectin from a *cissampelos pareira*–based polymer blend matrix for the transdermal delivery of nicotine. **Journal of Polymers and the Environment**, 26, 3531–3539.
- Thian, E., Huang, J., Best, S., Barber, Z. and Bonfield, W. (2007). Silicon–substituted hydroxyapatite: The next generation of bioactive coatings. **Materials Science Engineering: C**, 27(2), 251–256.

- Tombuloglu, H. Slimani, Y. AlShammari, T. M. Bargouti, M. Ozdemir, M. Tombuloglu, G., et al. (2020). Uptake, translocation, and physiological effects of hematite (α -Fe₂O₃) nanoparticles in barley (*Hordeum vulgare* L.). **Environmental pollution**, 266, 115391.
- Tombuloglu, H. Slimani, Y. Tombuloglu, G. Almessiere, M. Baykal, A. Ercan, I., et al. (2019). Tracking of NiFe₂O₄ nanoparticles in barley (*Hordeum vulgare* L.) and their impact on plant growth, biomass, pigmentation, catalase activity, and mineral uptake. **Environmental nanotechnology, monitoring management**, 11, 100223.
- Trueplookpanya. (2560). การเตรียมพื้นที่และการปลูก. 60(1).
- Ueno, Y. (1989). Sintered bone: a new type of bone graft. In **Bone transplantation** (pp 316–317).
- Urist, M. (1989). Introduction to update on osteochondral allograft surgery. In **Bone transplantation** (pp 1–6).
- Van Ginkel, M., and Villareal, R. L. (1996). *Triticum* L. **Plant resource of South–East Asia (PROSEA)**, (10), 137–143.
- Verma, S., and Dubey, R. S. (2003). Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. **Plant Science**, 164(4), 645–655.
- Yoshida, S. (1981). **Fundamentals of rice crop science**: Int. Rice Res. Inst.
- Zeng, J. Wang, Q. Lin, J. Deng, K. Zhao, X. Tang, D., et al. (2010). Arabidopsis cryptochrome–1 restrains lateral roots growth by inhibiting auxin transport. **Journal of plant physiology**, 167(8), 670–673.
- Zhang, S., Hu, J., Zhang, Y., Xie, X. J., and Knapp, A. (2007). Seed priming with brassinolide improves lucerne (*Medicago sativa* L.) seed germination and seedling growth in relation to physiological changes under salinity stress. **Australian Journal of Agricultural Research**, 58(8), 811–815..
- Zhou, X., Liu, L., Li, J., Wang, L. and Song, X. (2022). Extraction and Characterization of Pectin from Jerusalem ArtiChoke Residue and Its Application in Blueberry Preservation. **Coatings**, 12(3), 385.

Zou, S., Huang, J., Best, S. and Bonfield, W. (2005). Crystal imperfection studies of pure and silicon substituted hydroxyapatite using Raman and XRD. **Journal of materials science: materials in medicine**, 16, 1143–1148.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการเตรียมการสกัดเพคติน และขั้นตอนการฟอกสีใบกรุงเขมา

มหาวิทยาลัยพะเยา
UNIVERSITY OF PHAYAO

การเตรียมการสกัดเพคตินจากใบกรูงเขมา



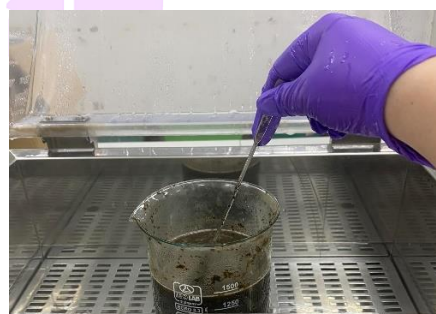
นำใบกรูงเขมาสด
ไปอบแห้ง



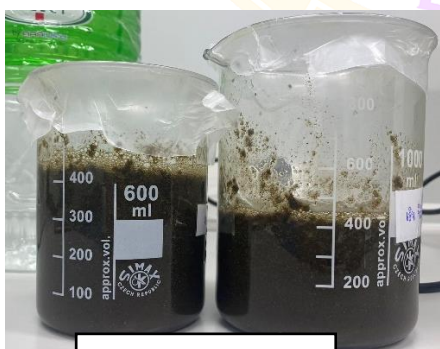
ชั่งผงกรูงเขมาแห้ง



เติมเอทานอล 95% เพื่อ
ตกตะกอน



สกัดในอ่างควบคุม อุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง



ตกตะกอน



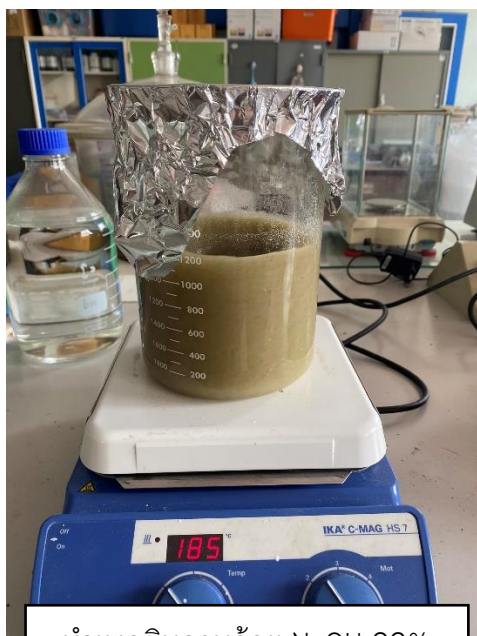
กรองแยก เอาตะกอนเพคตินผ้า
ขาวบาง 2 ชั้น





ภาพ 24 ขั้นตอนการเตรียมการสกัดเพคตินจากใบกรุงเขมา

ขั้นตอนการฟอกสีเพคตินจากใบกรูงเขมา



นำเพคตินกวนด้วย NaOH 99%
เป็นระยะเวลา 60 นาที



นำเพคตินกวนด้วย H₂O₂ 12%
เป็นระยะเวลา 60 นาที



Pectin nanospheres

ภาพ 25 ขั้นตอนการฟอกสีเพคตินจากใบกรูงเขมา



ภาคผนวก ข

การสังเคราะห์ไบโอนาโนแคลเซียมจากเกลือปาลานิล

มหาวิทยาลัยพะเยา
UNIVERSITY OF PHAYAO

การสังเคราะห์ไบโอไนโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล



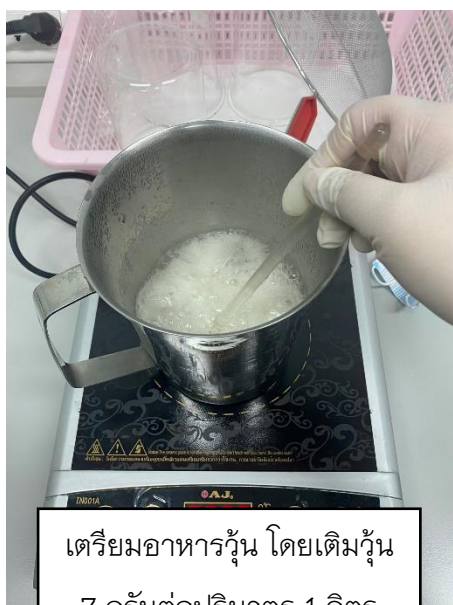
ภาพ 26 การสังเคราะห์ไบโอไนโนแคลเซียมจากเกล็ดปลานิล



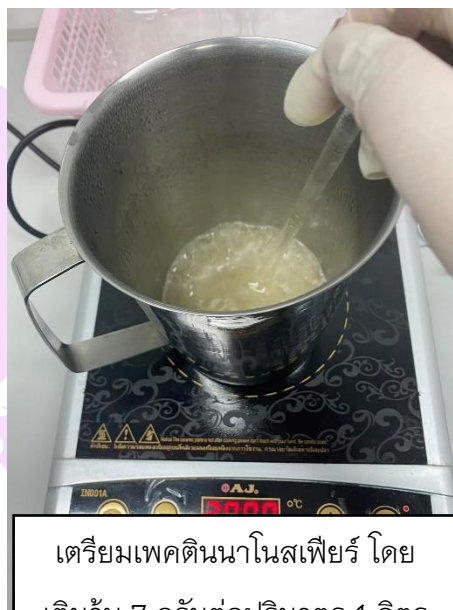
ภาคผนวก ค

เตรียมวัสดุปลูก และทดสอบการปลูกต้นอ่อนข้าวสาลี

เตรียมวัสดุปลูก ต้นอ่อนข้าวสาลี



เตรียมอาหารวุ้น โดยเติมวุ้น
7 กรัมต่อปริมาตร 1 ลิตร



เตรียมเพคตินนาโนสเฟียร์ โดย
เติมวุ้น 7 กรัมต่อปริมาตร 1 ลิตร



นำเข้าเครื่องหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ



ผสมไบโอนานโนแคลเซียม และ
ปรับ pH ที่ต้องการ

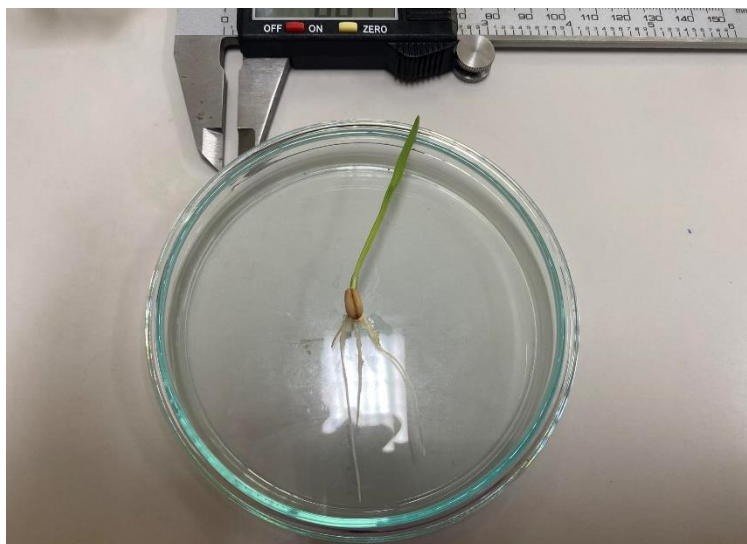
ภาพ 27 เตรียมวัสดุปลูก ต้นอ่อนข้าวสาลี

ทดสอบการปลูกต้นอ่อนข้าวสาลี

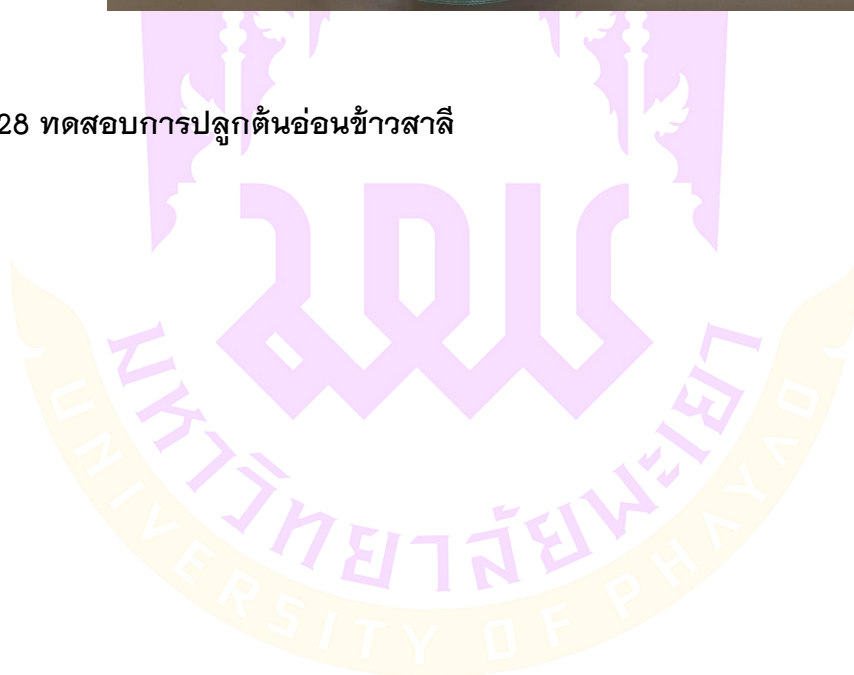


ทดสอบการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวสาลี ระยะเวลา 7 วัน โดยวัดความยาวราก, จำนวนราก, ความสูงลำต้น และอัตราการงอก





ภาพ 28 ทดสอบการปลูกต้นอ่อนข้าวสาลี





ภาคผนวก ง

วิเคราะห์ลักษณะของเพคตินนาโนสเฟียร์ และไบโอนาโนแคลเซียม กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
แบบส่องกราด



วิเคราะห์ลักษณะของเพคตินนาโนสเฟียร์ และไบโอนานोकัลเซียม กล้องจุลทรรศน์
อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



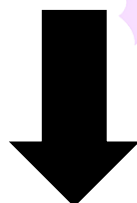
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



นำตัวอย่างวางแท่นบนเครื่องเคลือบทอง



เคลือบทองตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้า



วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา

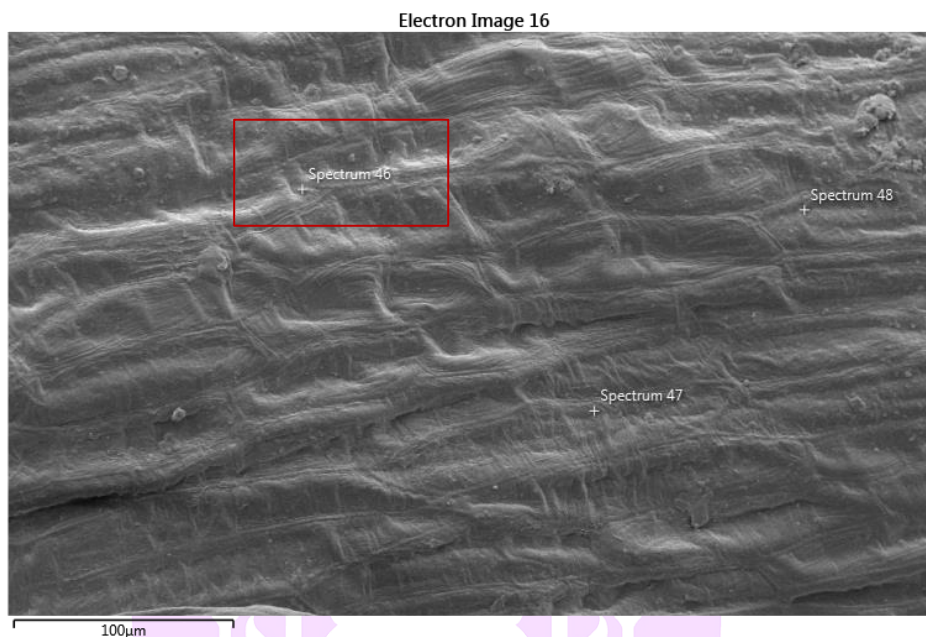
ภาพ 29 วิเคราะห์ลักษณะของเพคตินนาโนสเฟียร์ และไบโอนาโนแคลเซียม กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



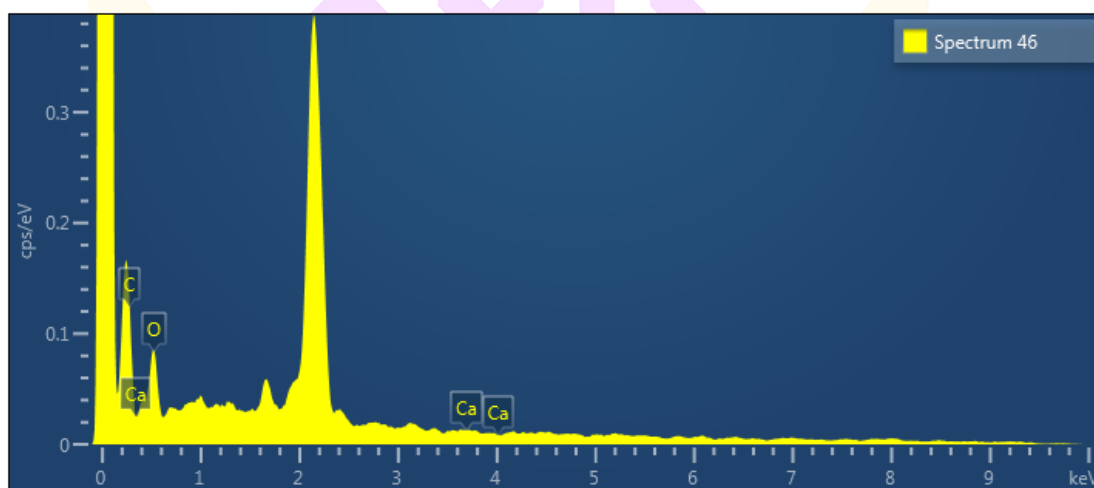
ภาคผนวก จ

ผลปริมาณแคลเซียมบนผิวเมล็ดต้นอ่อนข้าวสาลี

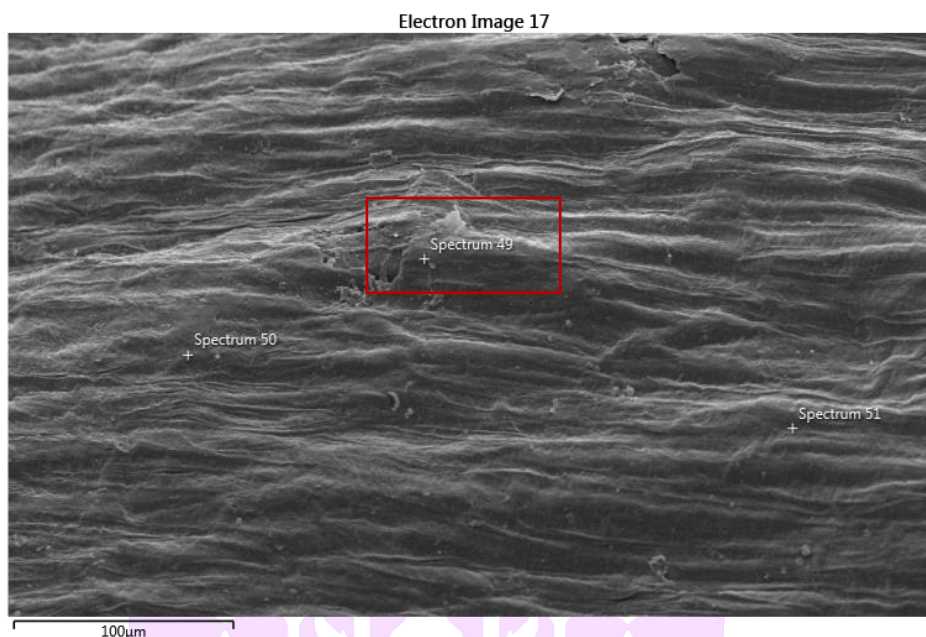
ผลปริมาณแคลเซียมบนผิวเมล็ดต้นอ่อนข้าวสาลี



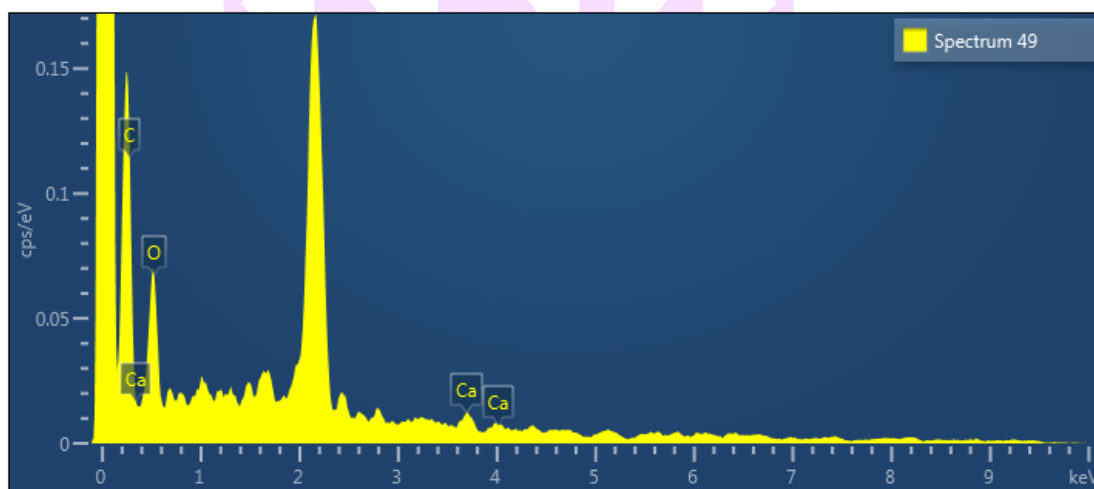
ภาพ 30 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 46 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



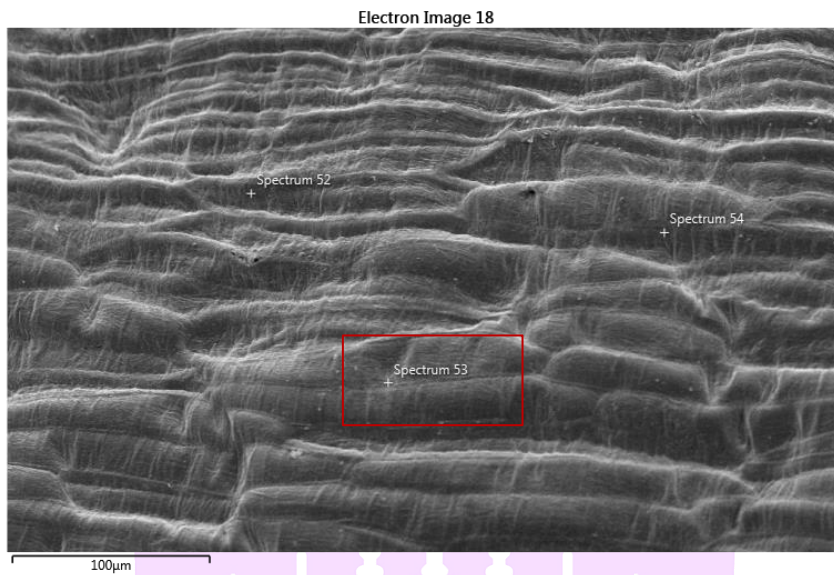
ภาพ 31 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 46 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



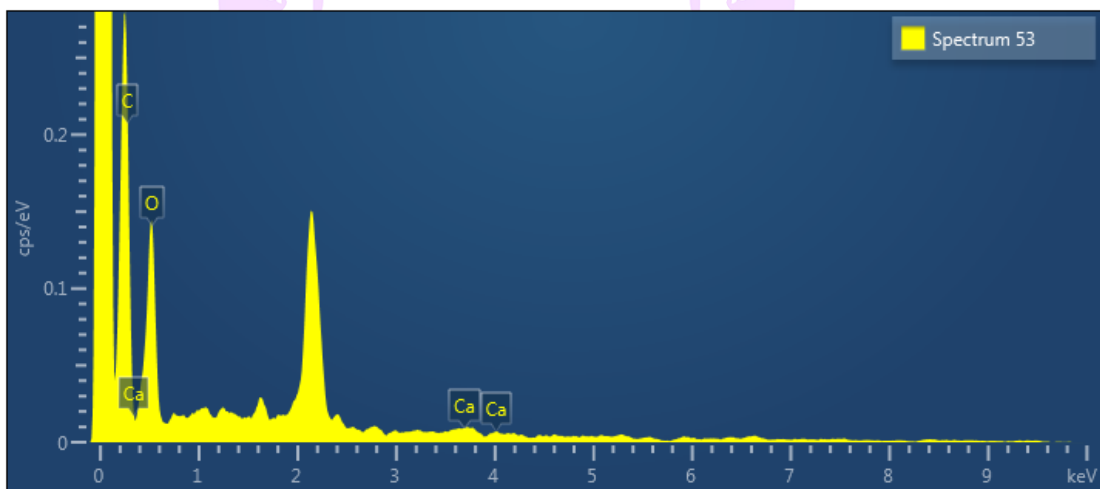
ภาพ 32 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 49 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



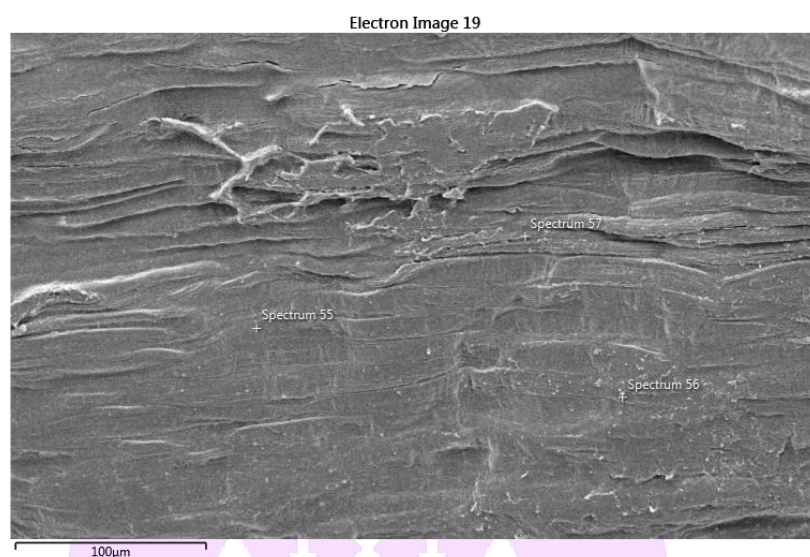
ภาพ 33 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 49 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



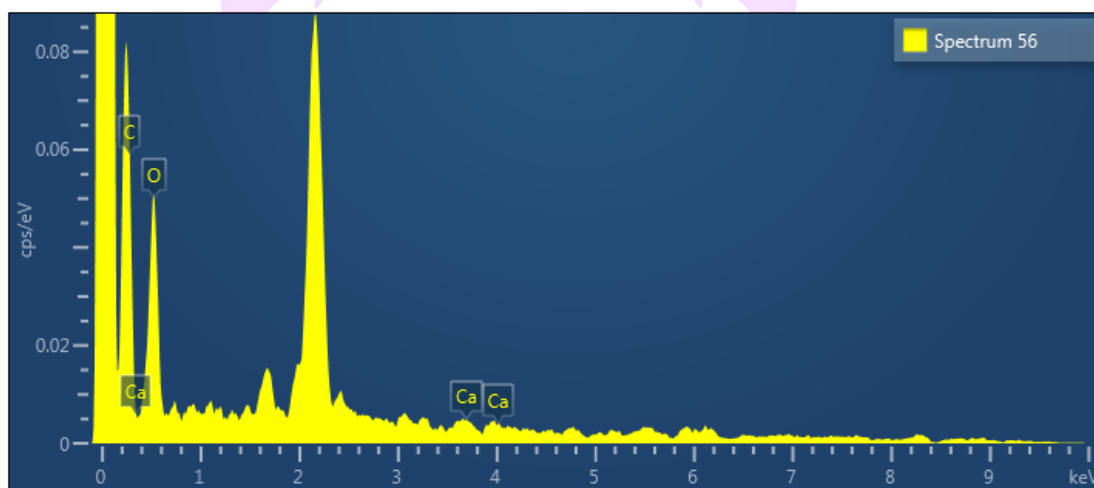
ภาพ 34 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 53 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



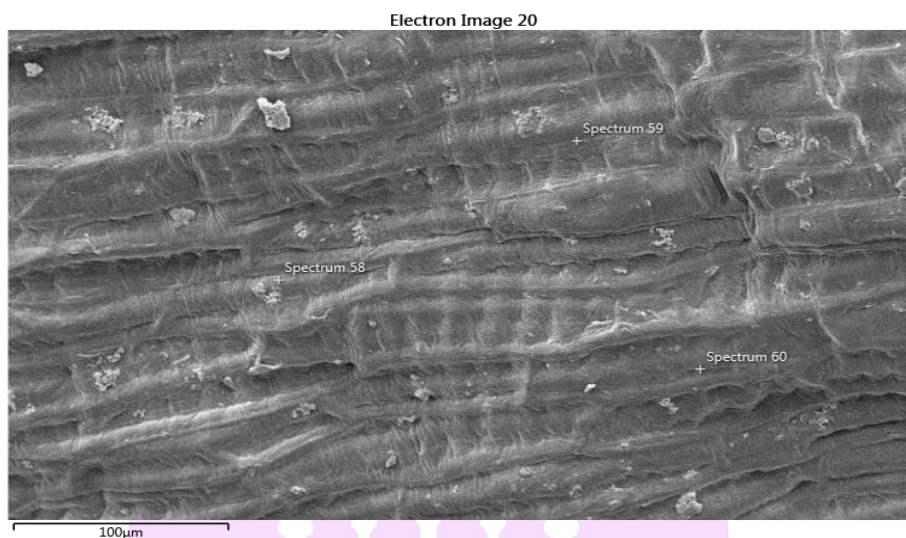
ภาพ 35 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 53 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



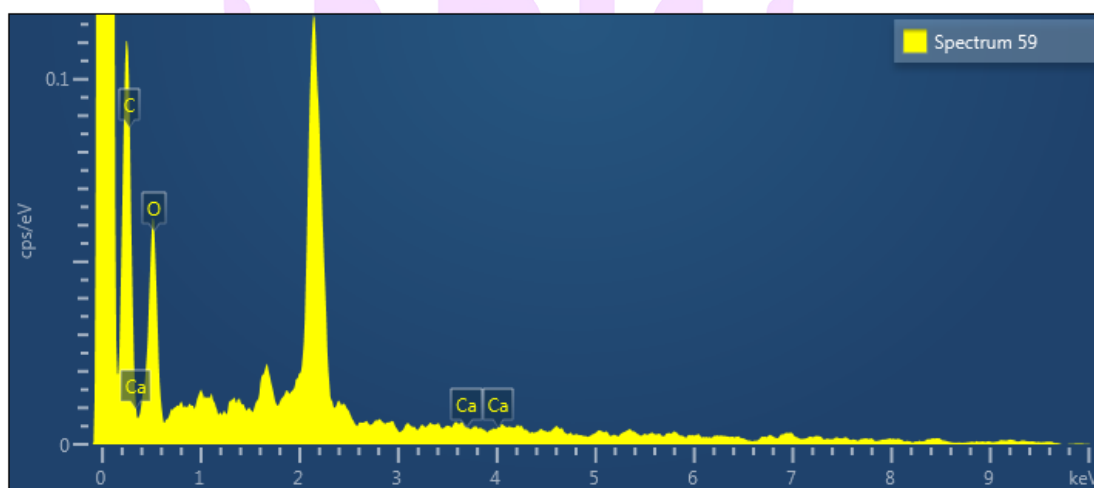
ภาพ 36 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะต่างจัด (strongly alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 56 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



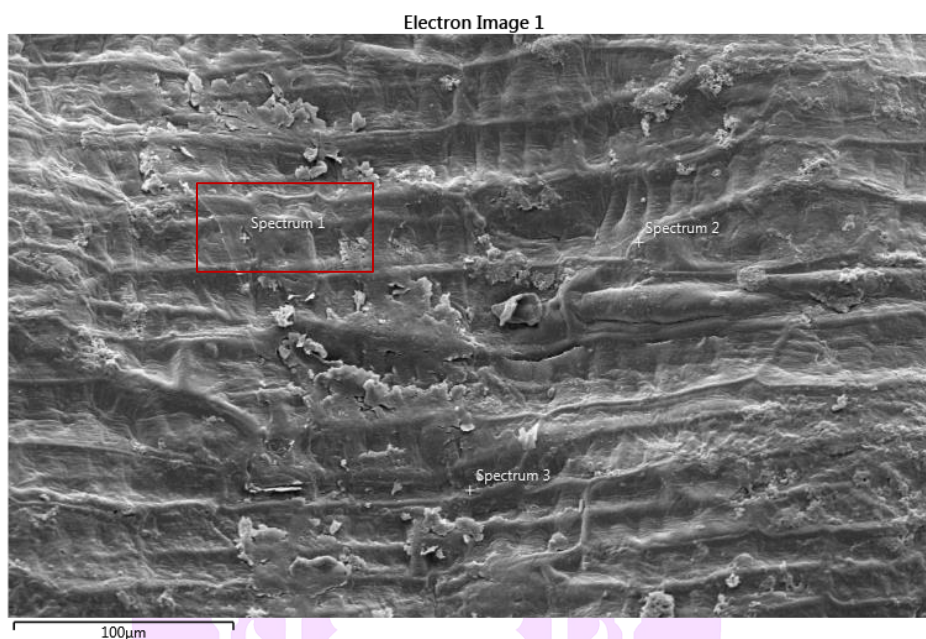
ภาพ 37 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะต่างจัด (strongly alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere + Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 56 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



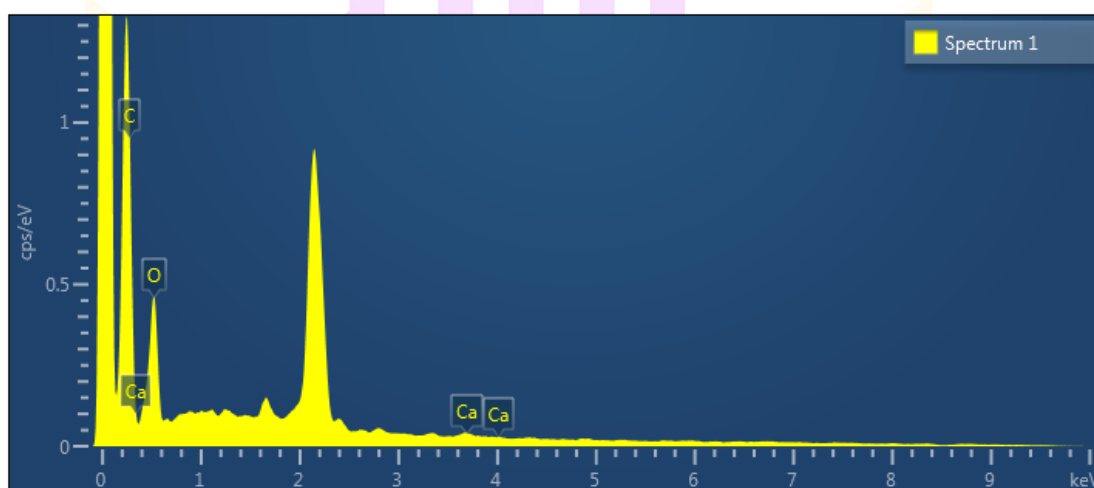
ภาพ 38 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 59 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



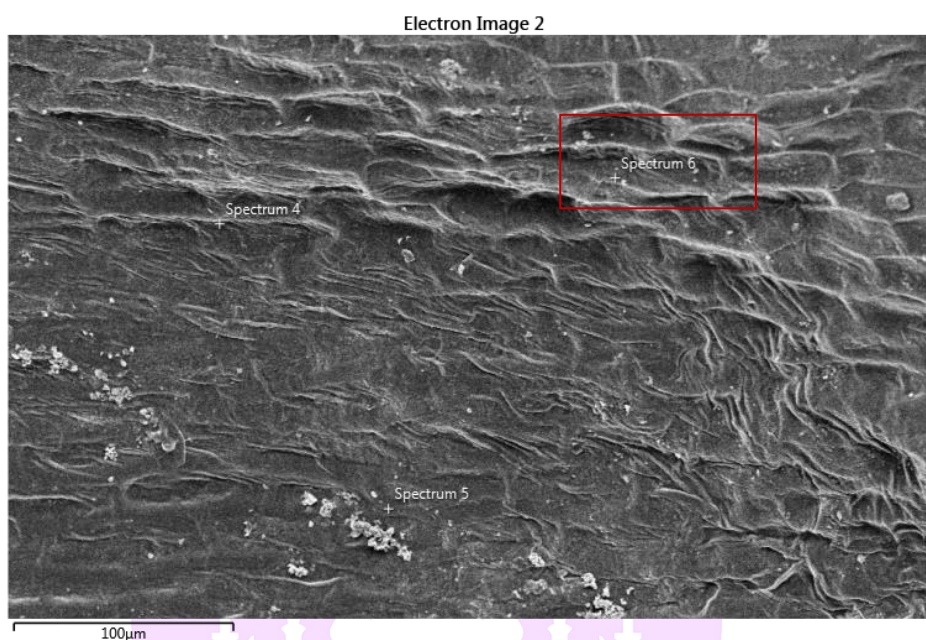
ภาพ 39 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 pectin nanosphere + Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 59 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



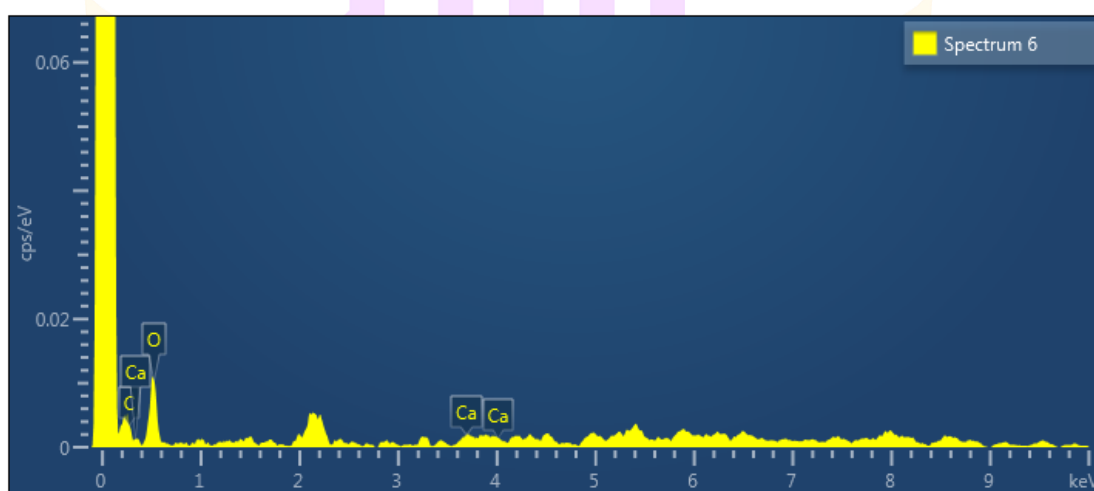
ภาพ 40 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6-7.3 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 1 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



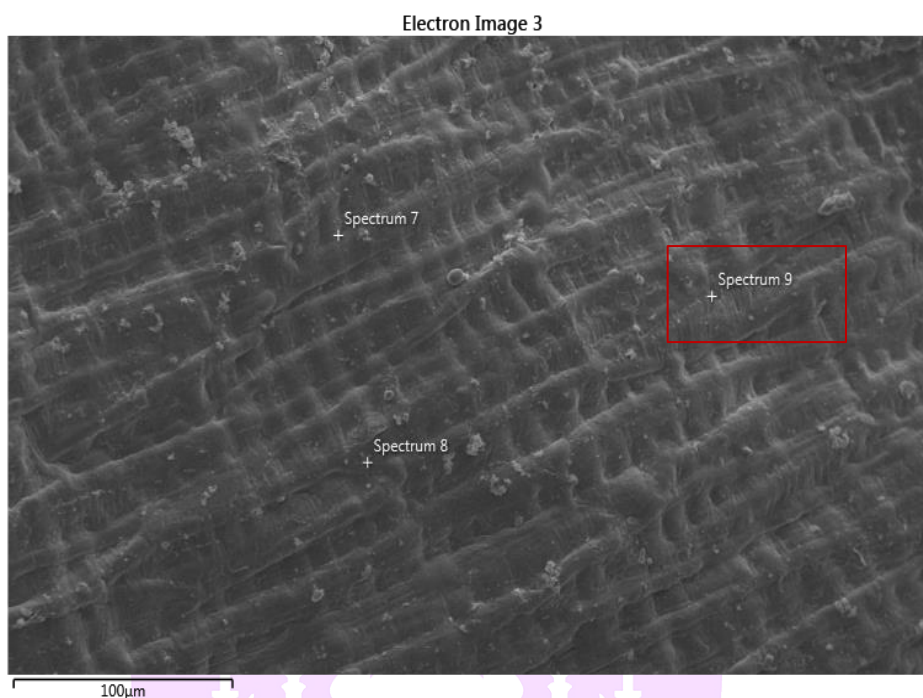
ภาพ 41 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6-7.3 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 1 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



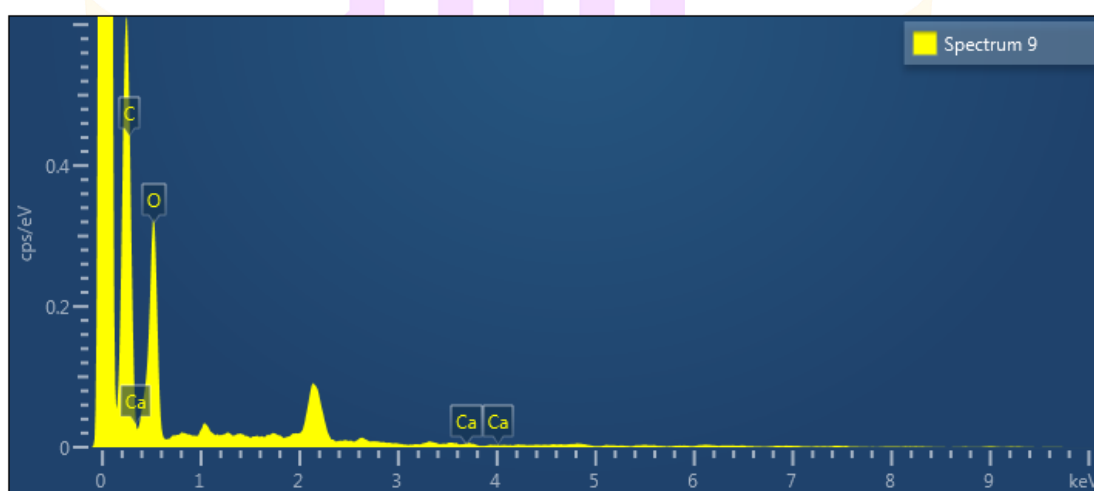
ภาพ 42 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6-7.3 pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 6 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



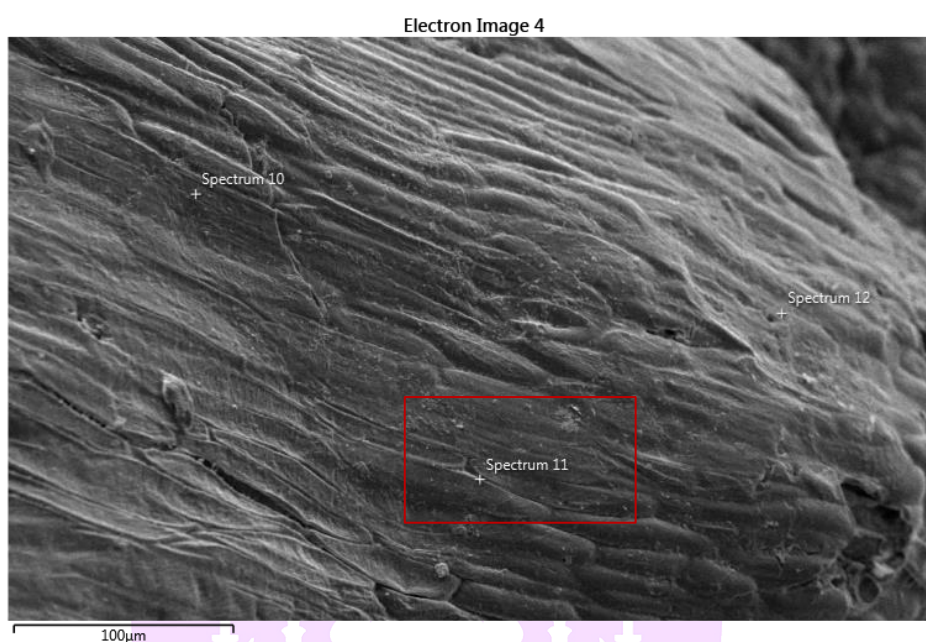
ภาพ 43 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6-7.3 pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 6 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



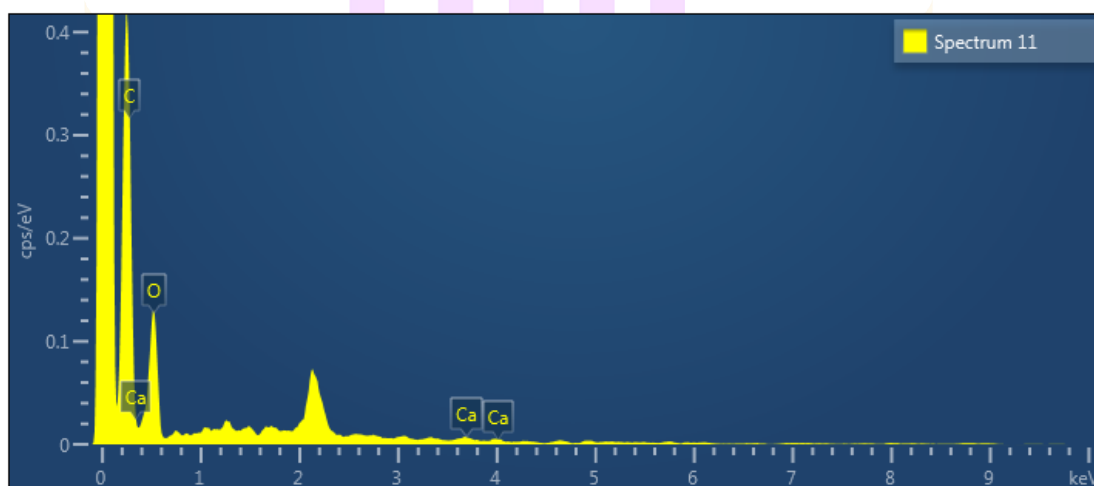
ภาพ 44 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 9 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



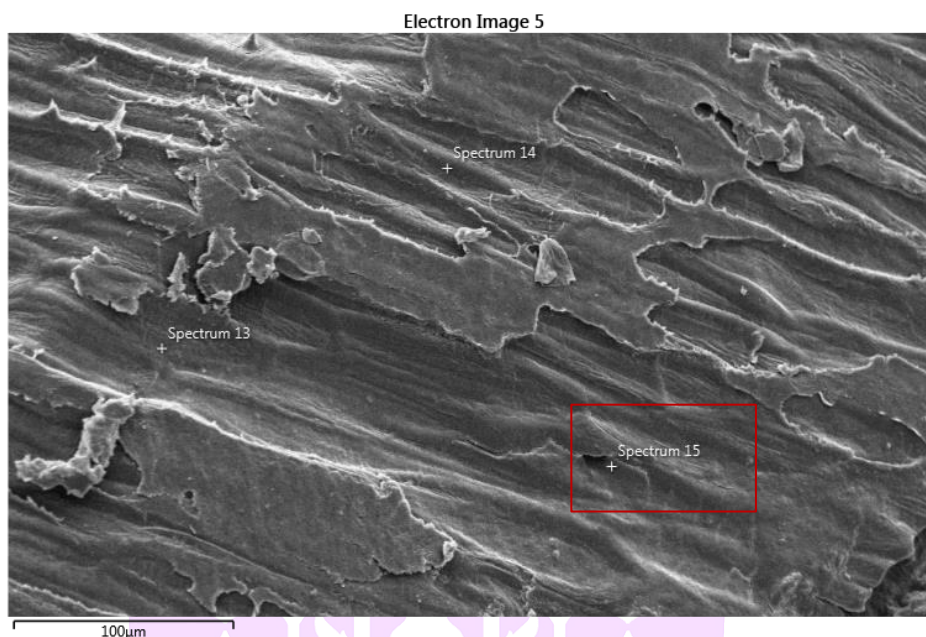
ภาพ 45 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 9 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



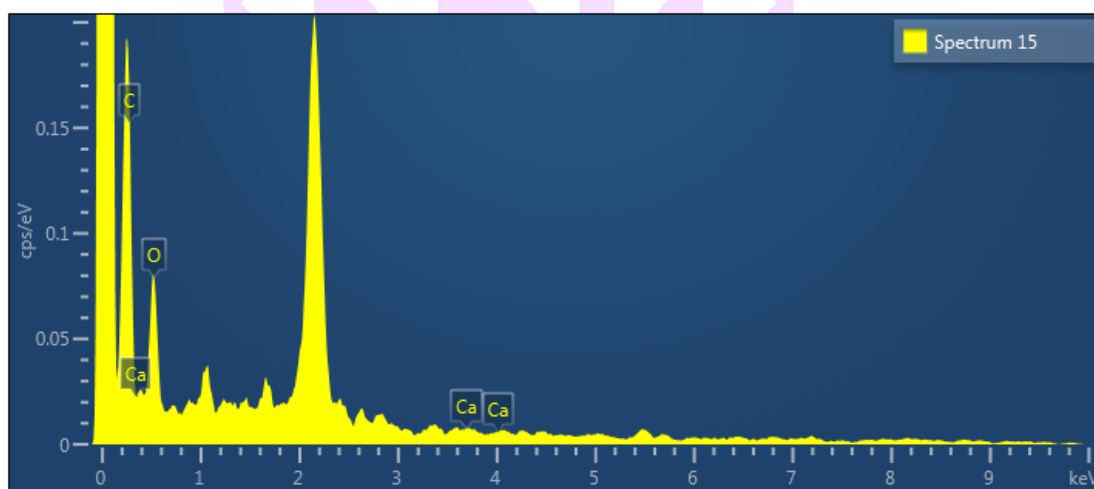
ภาพ 46 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 pectin nanosphere+Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 11 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



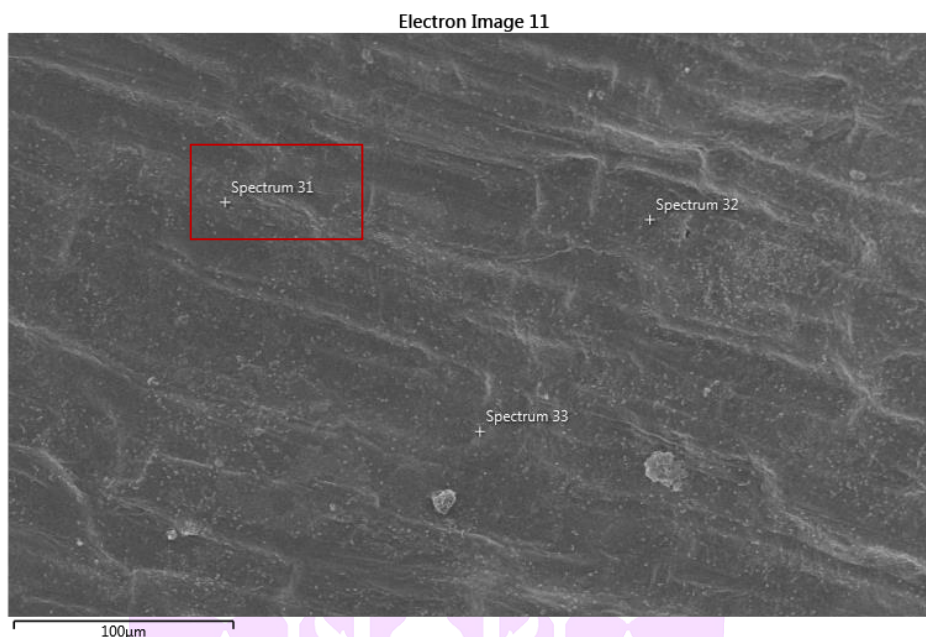
ภาพ 47 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 pectin nanosphere +Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 11 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



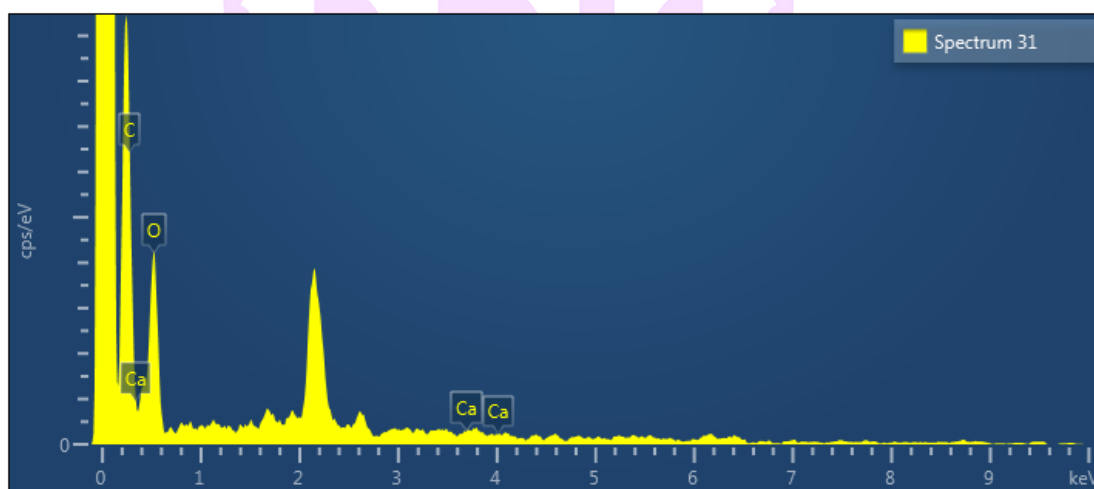
ภาพ 48 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 pectin nanosphere+Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 15 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



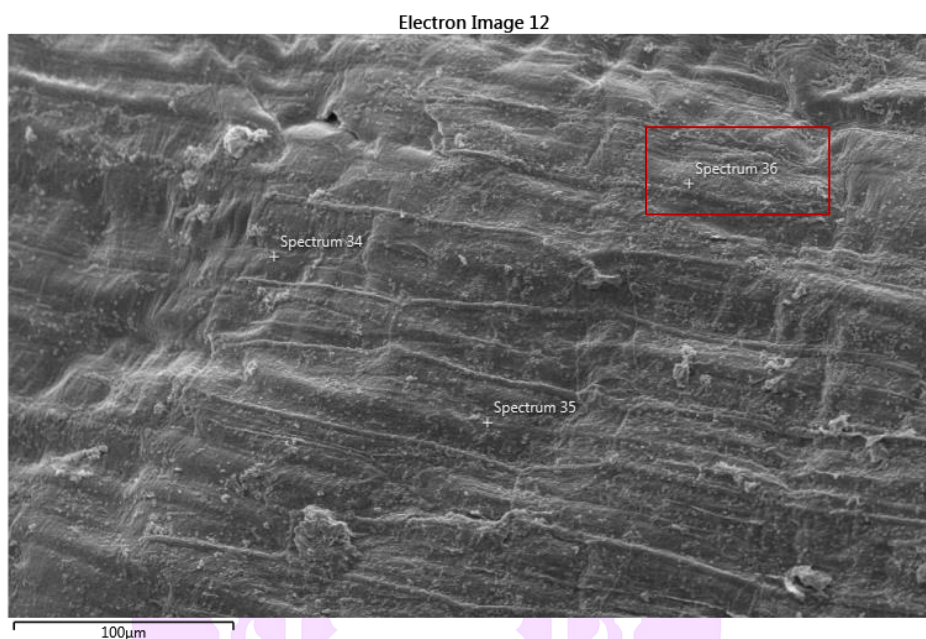
ภาพ 49 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 pectin nanosphere+Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 15 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



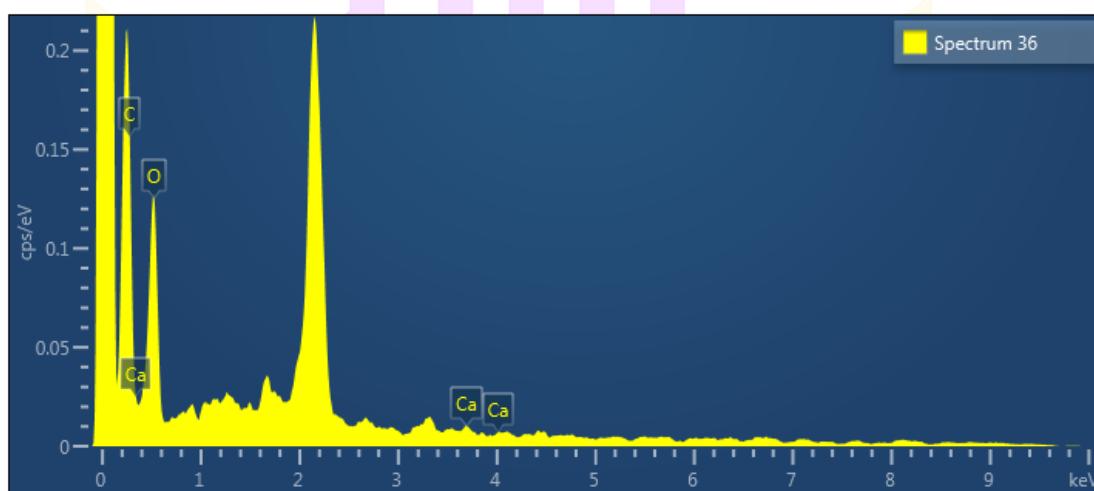
ภาพ 50 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1–6.5 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 31 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



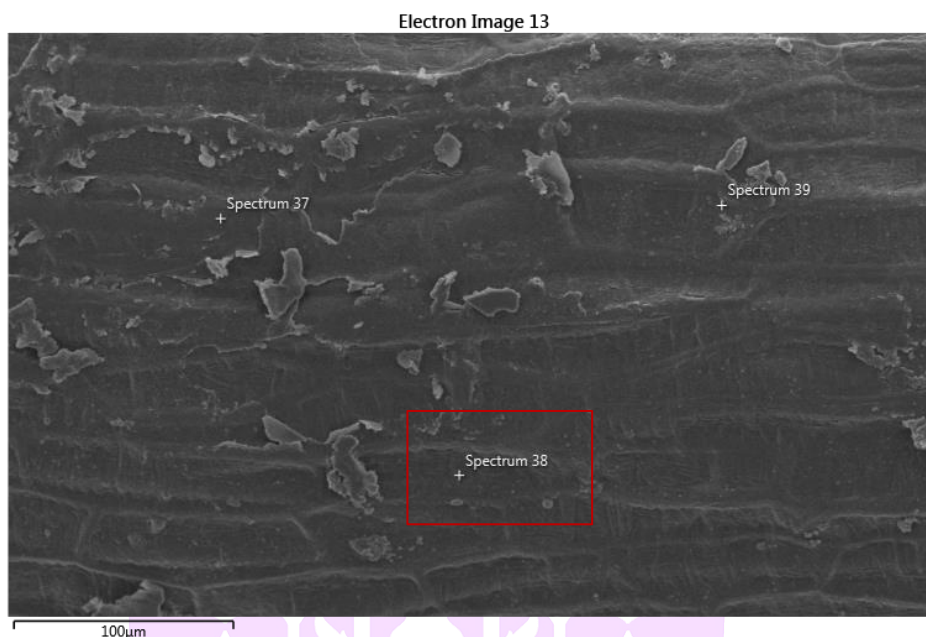
ภาพ 51 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1–6.5 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 31 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



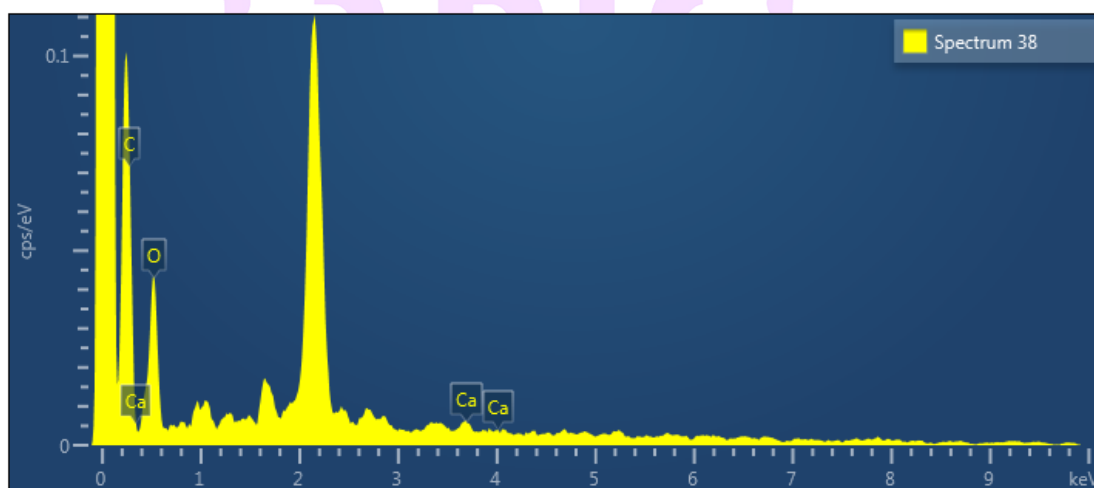
ภาพ 52 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1-6.5 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 36 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



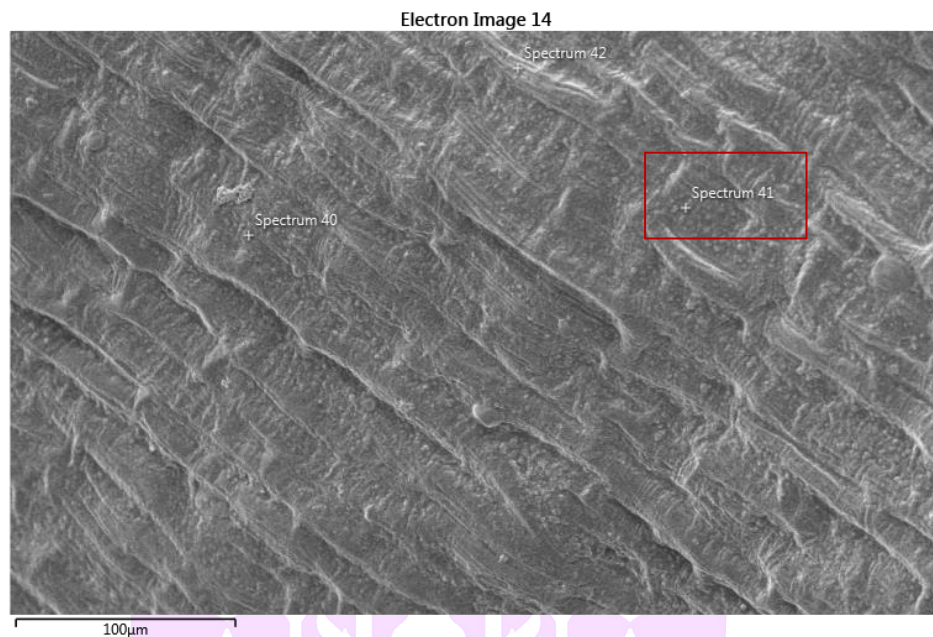
ภาพ 53 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1-6.5 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 36 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



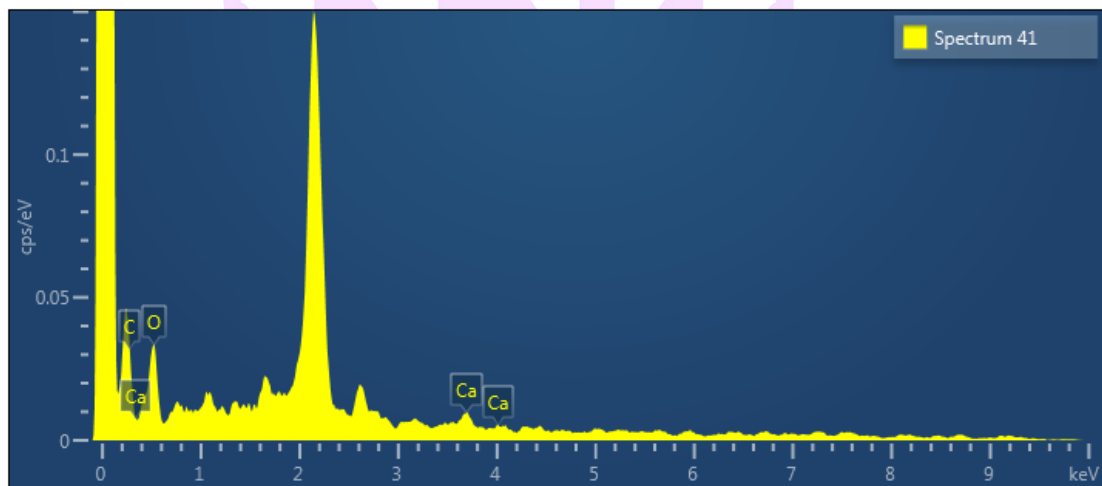
ภาพ 54 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1-6.5 pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 38 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



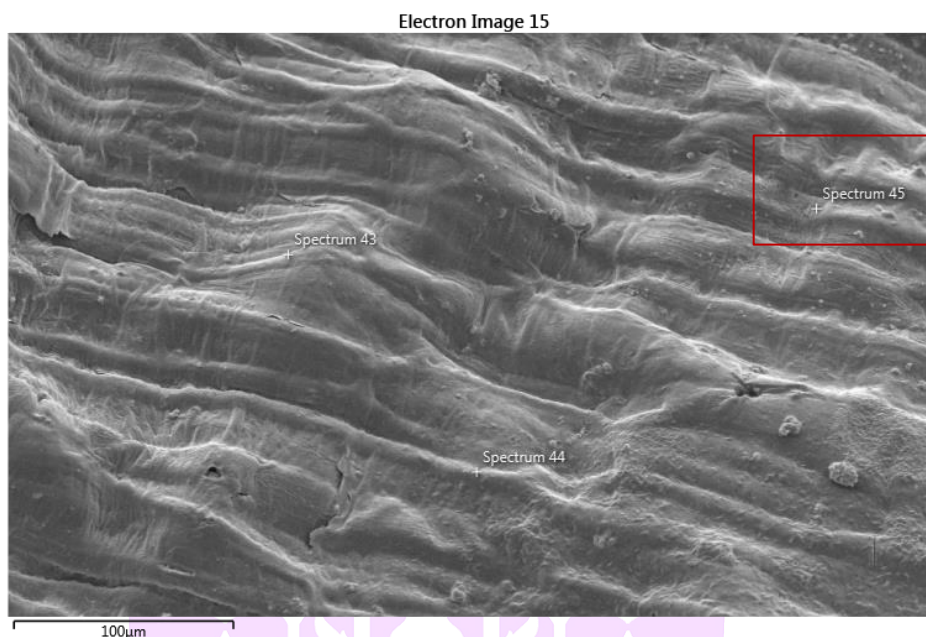
ภาพ 55 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1-6.5 pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 38 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



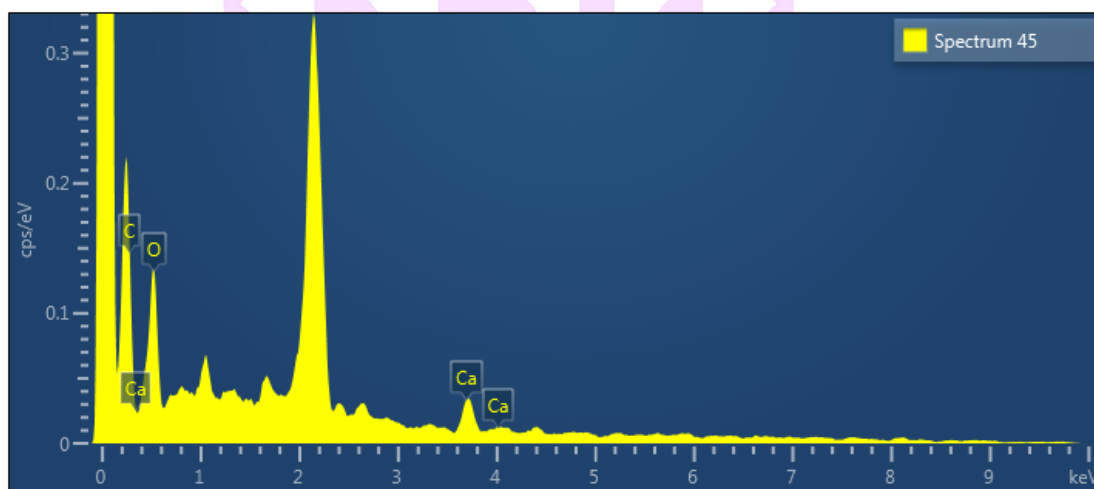
ภาพ 56 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1-6.5 pectin nanosphere+Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 41 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



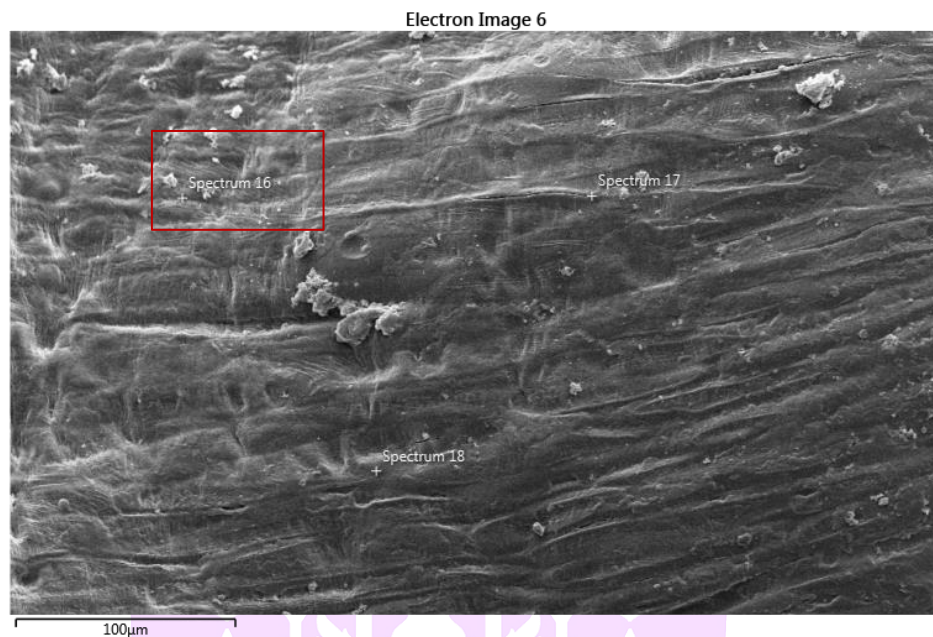
ภาพ 57 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1-6.5 pectin nanosphere+Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 41 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



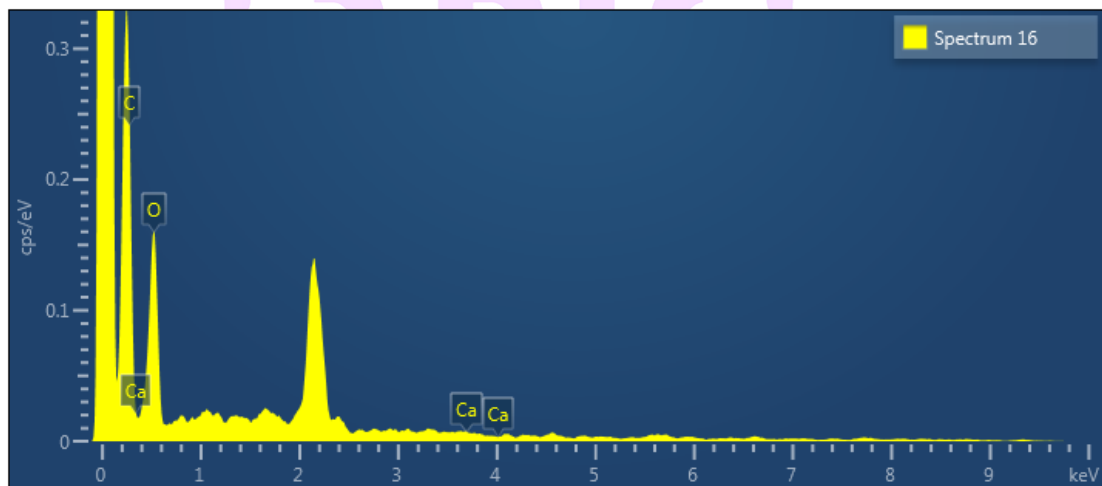
ภาพ 58 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1-6.5 pectin nanosphere+Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 45 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



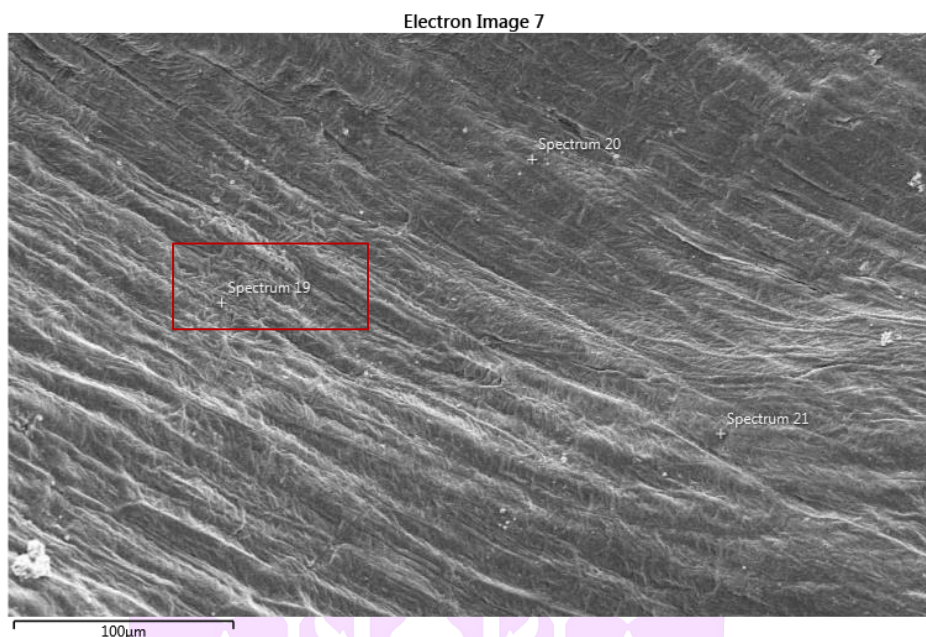
ภาพ 59 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1-6.5 pectin nanosphere+Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 45 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



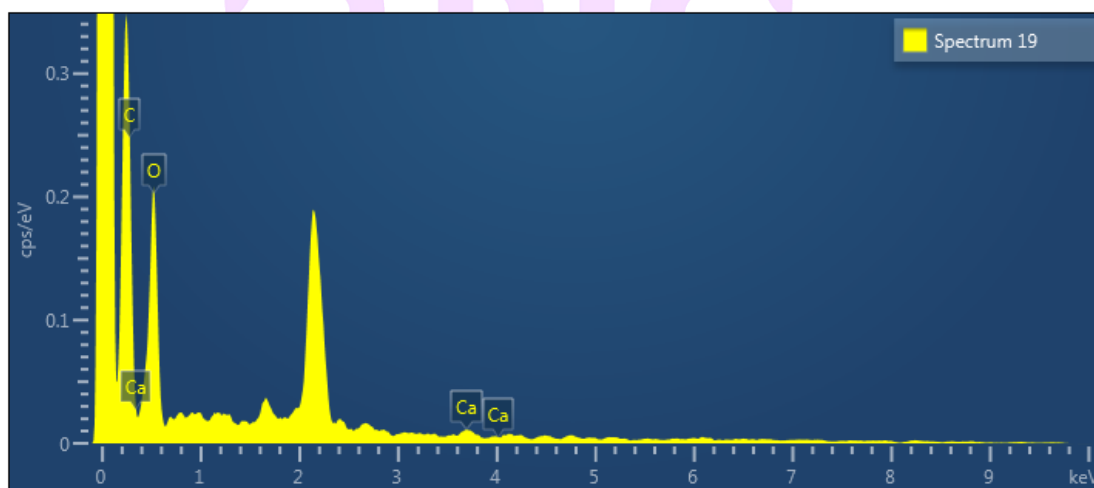
ภาพ 60 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดจัด ที่ 5.1-5.5 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 16 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



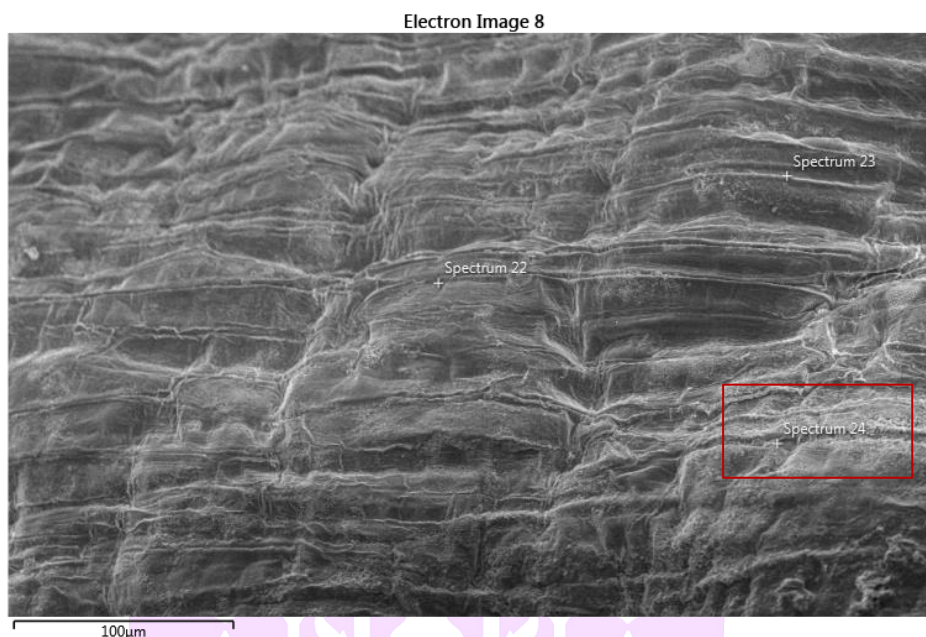
ภาพ 61 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดจัด ที่ 5.1-5.5 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 16 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



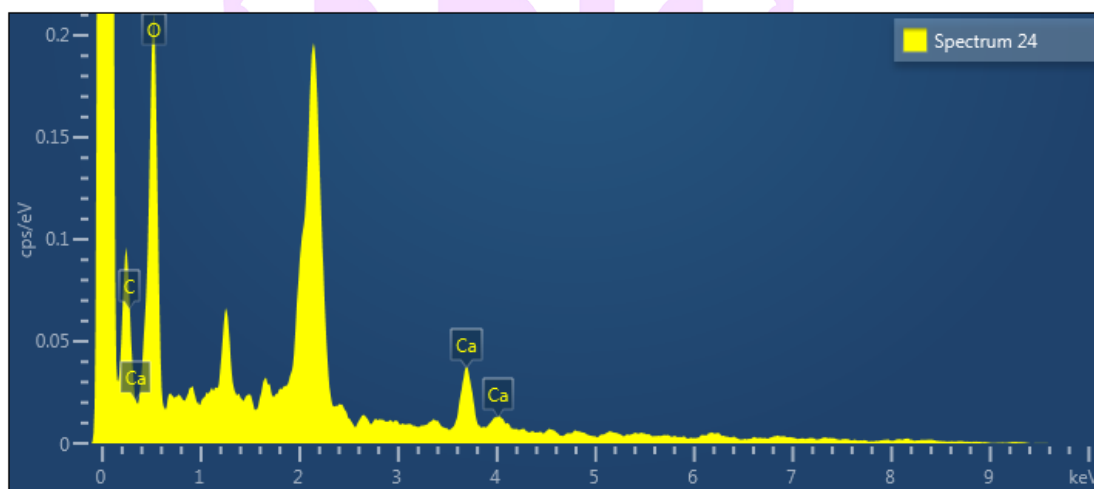
ภาพ 62 พื้นผิวของผิวเม็ล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดจัด ที่ 5.1-5.5 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 19 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



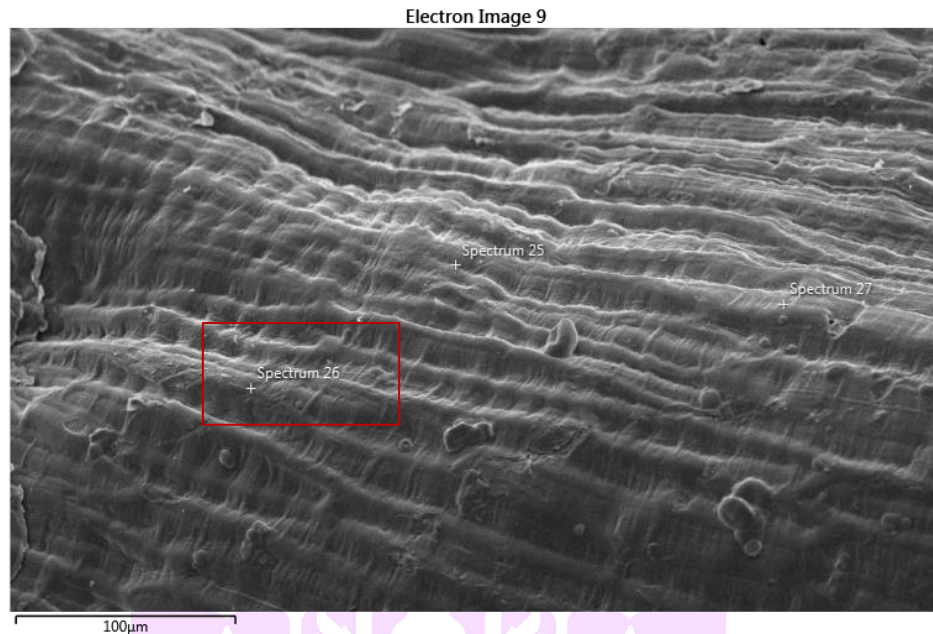
ภาพ 63 กราฟพื้นผิวของผิวเม็ล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดจัด ที่ 5.1-5.5 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 19 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



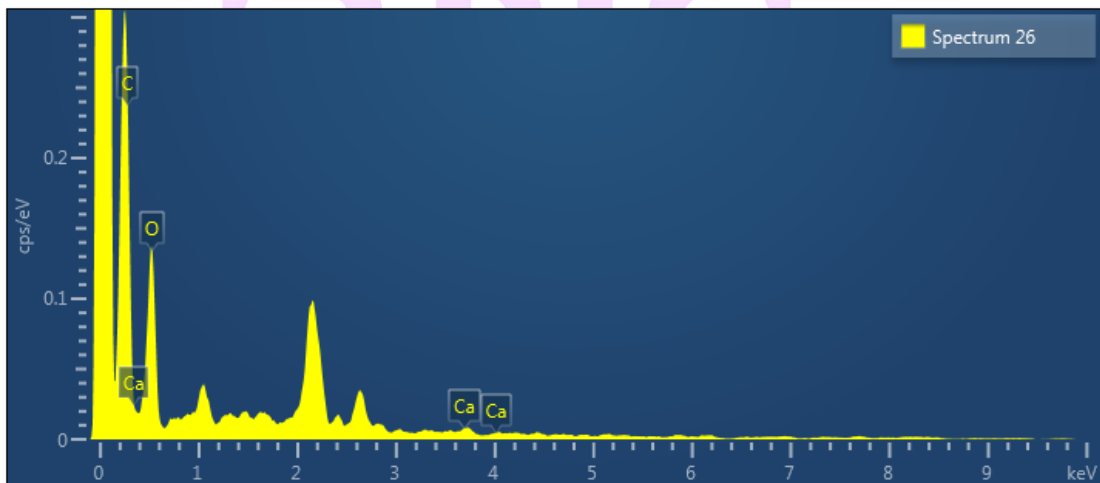
ภาพ 64 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 5.1-5.5 pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 24 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



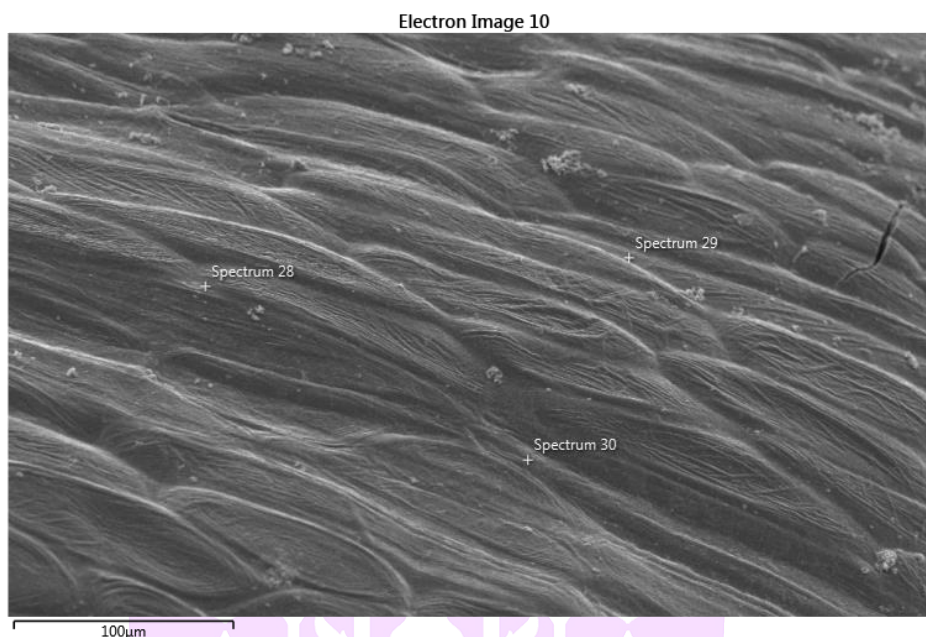
ภาพ 65 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 5.1-5.5 pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 24 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



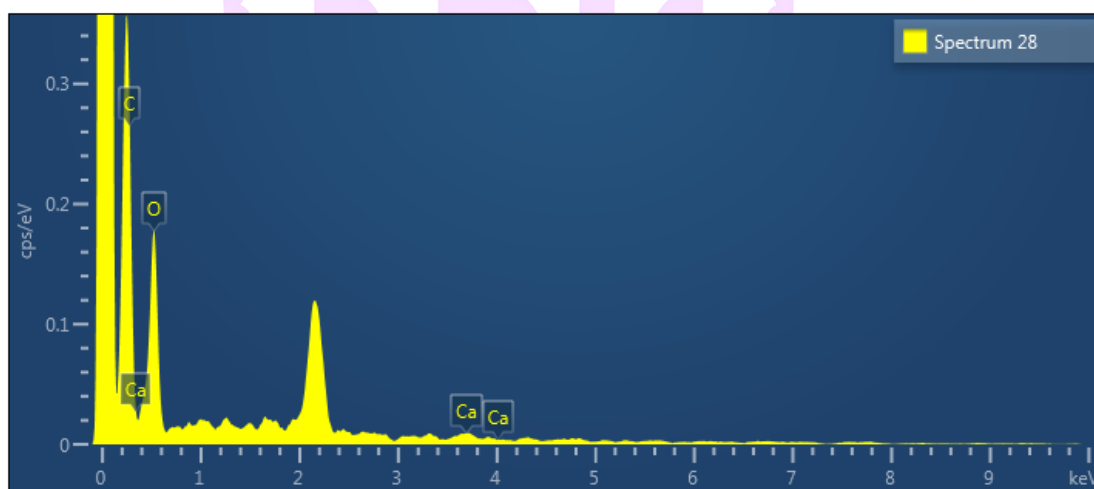
ภาพ 66 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 5.1-5.5 pectin nanosphere+Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 26 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



ภาพ 67 กราฟพื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 5.1-5.5 pectin nanosphere+Ca 50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 26 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



ภาพ 68 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 5.1-5.5 pectin nanosphere+Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 28 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



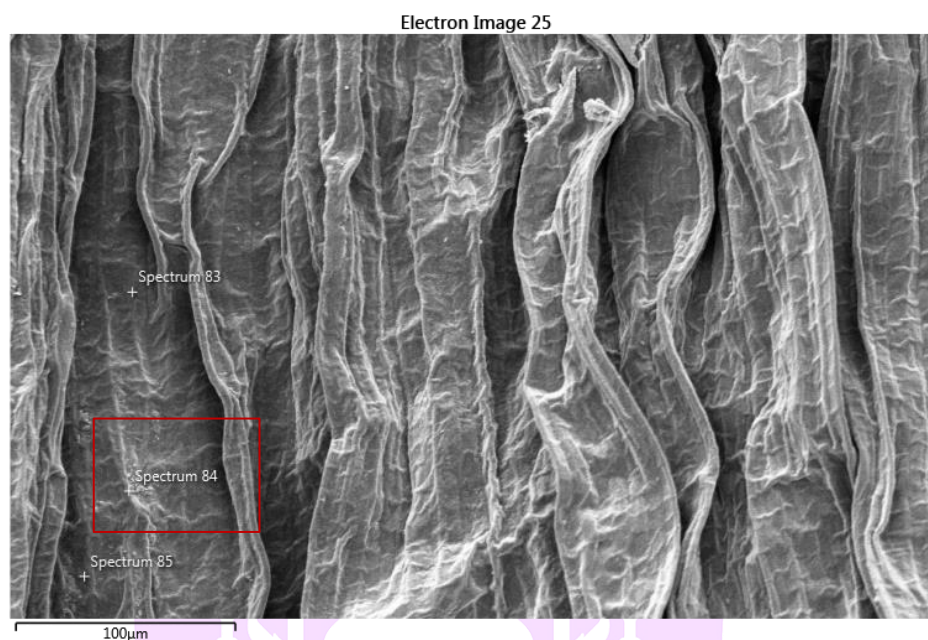
ภาพ 69 พื้นผิวของผิวเมล็ดงอกต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 5.1.1-5.5 pectin nanosphere+Ca 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 28 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



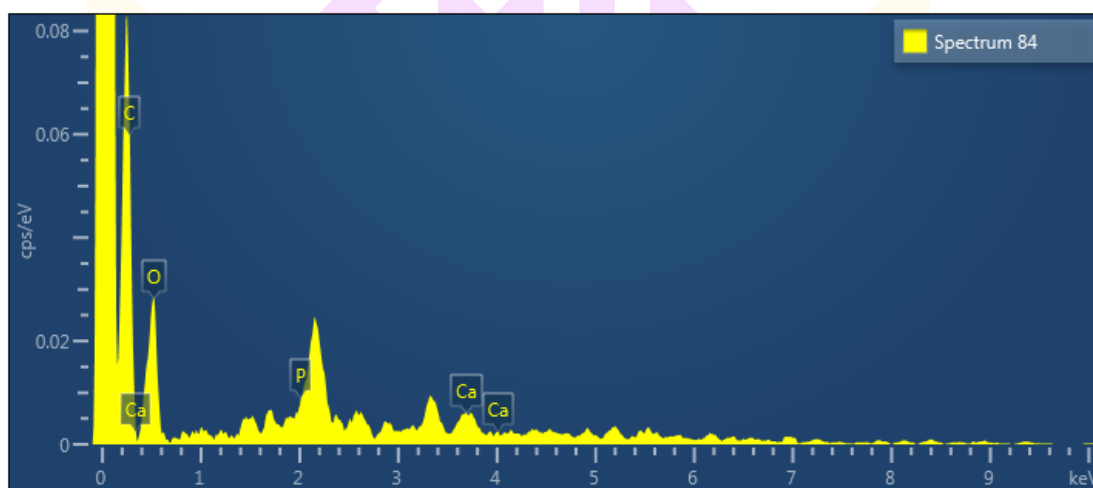
ภาคผนวก จ

ผลปริมาณแคลเซียมบนลำต้นอ่อนข้าวสาลี

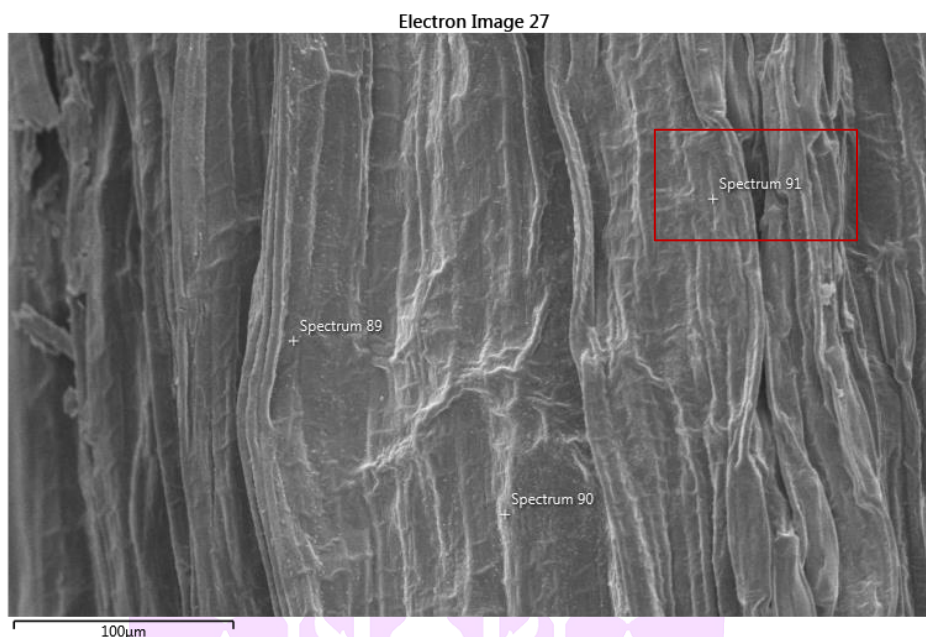
ผลปริมาณแคลเซียมบนลำต้นอ่อนข้าวสาลี



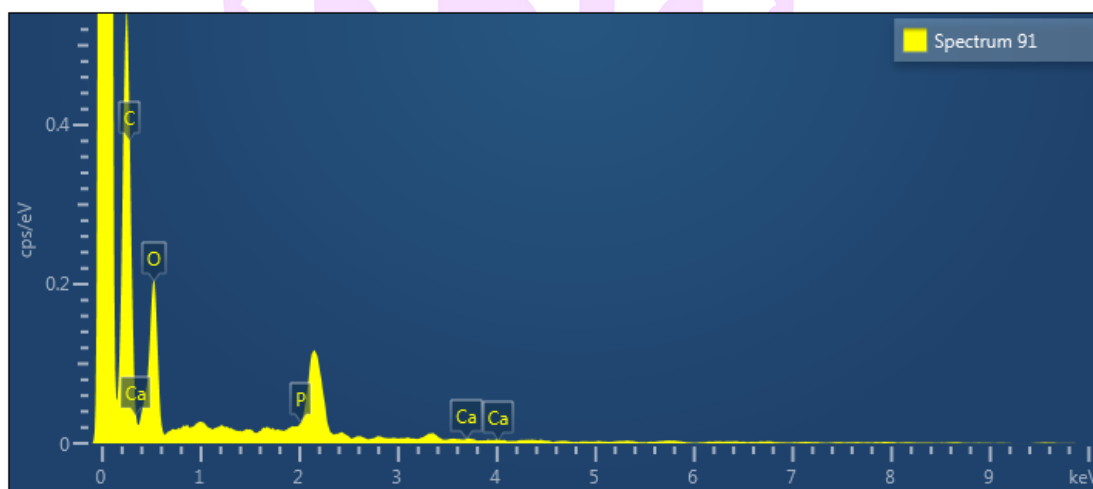
ภาพ 70 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 84 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX)



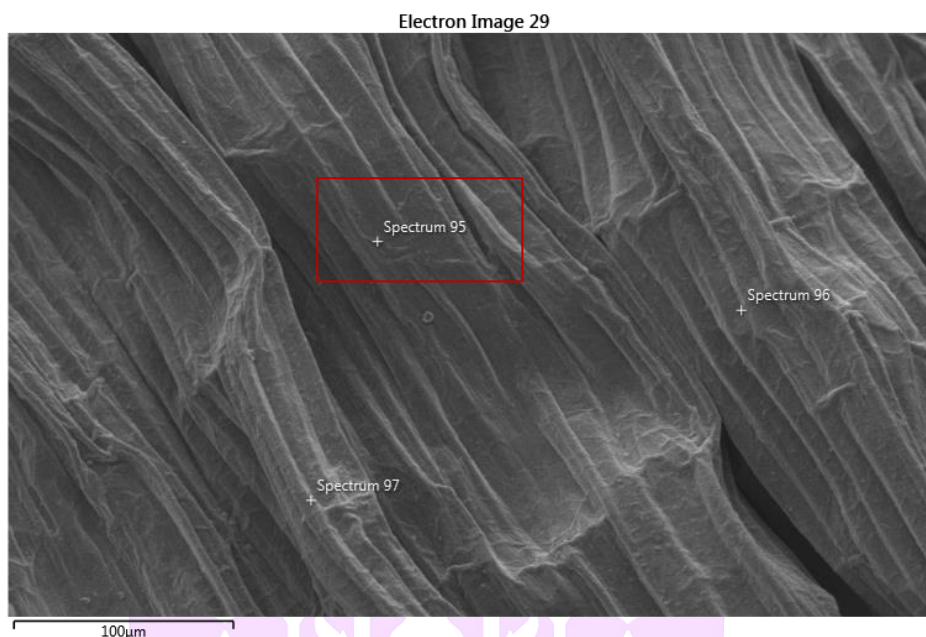
ภาพ 71 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 84 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM–EDX)



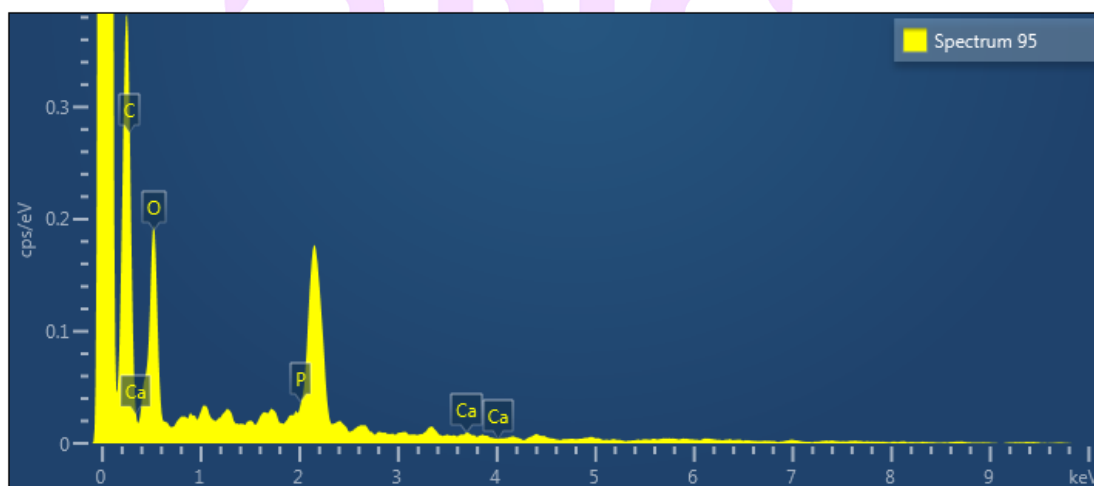
ภาพ 72 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 91 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



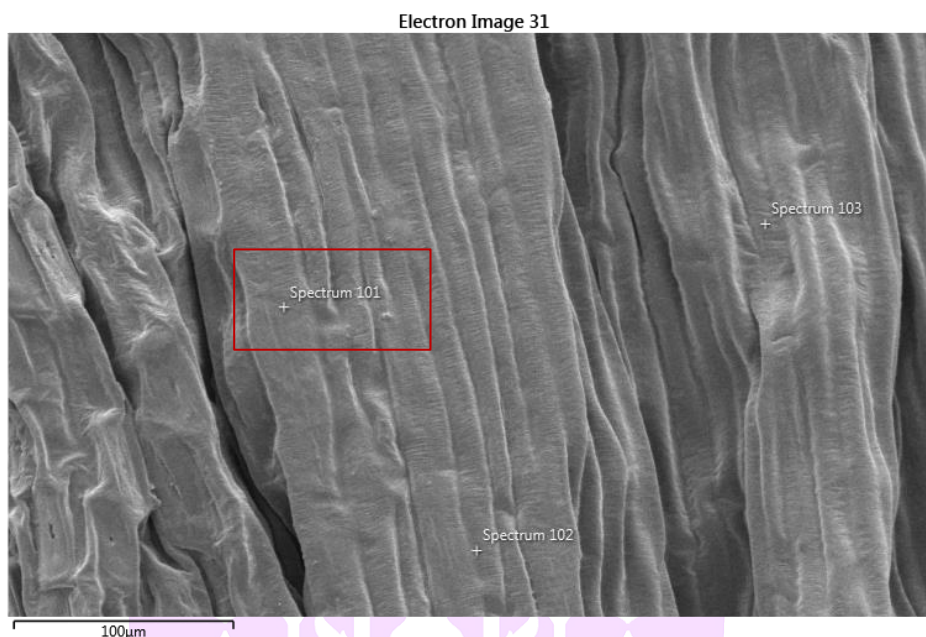
ภาพ 73 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 91 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



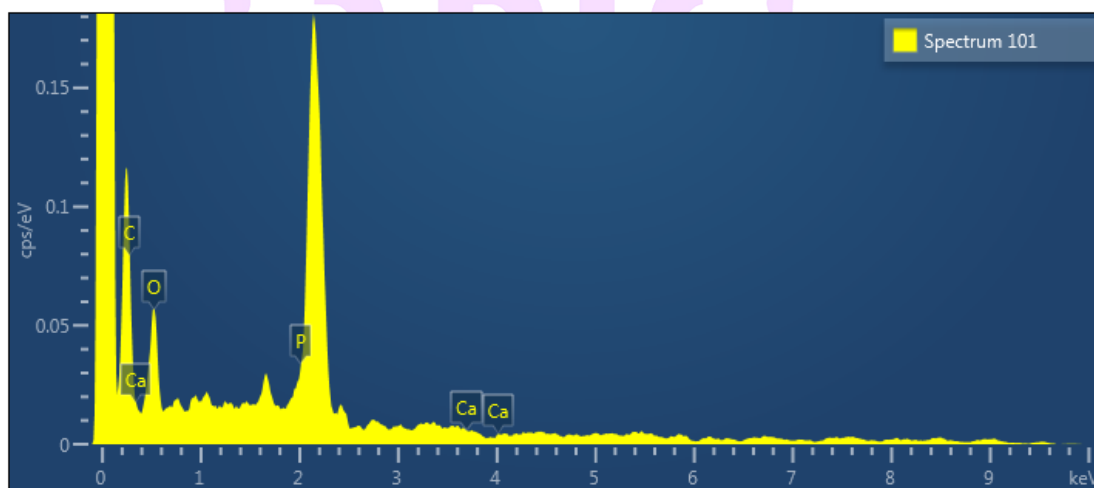
ภาพ 74 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 95 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



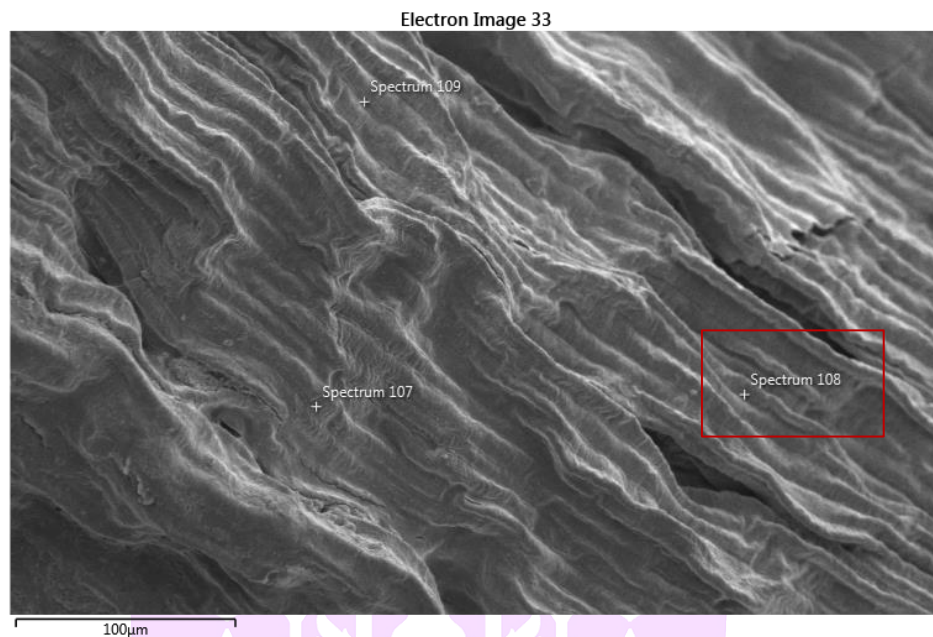
ภาพ 75 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 95 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



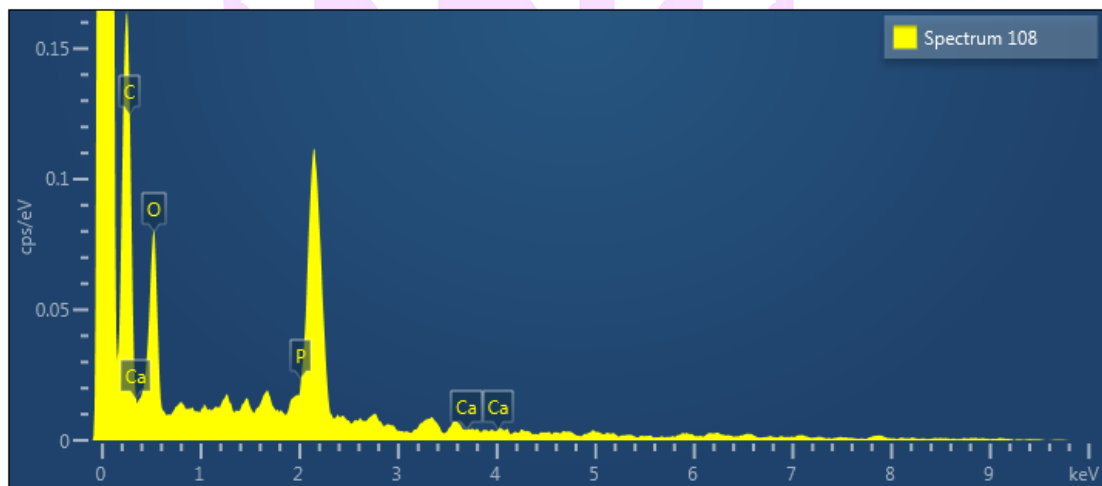
ภาพ 76 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 101 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



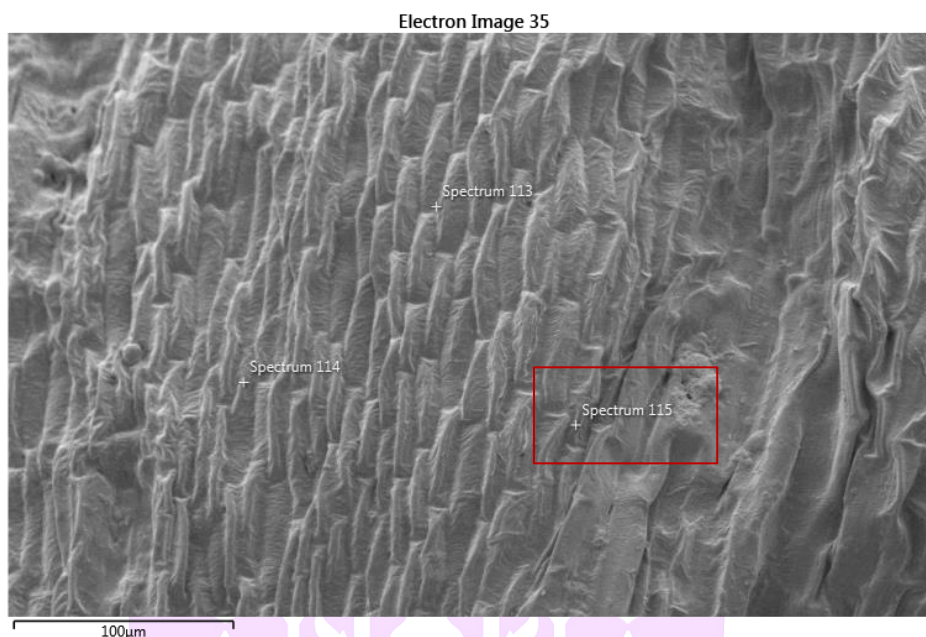
ภาพ 77 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 101 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



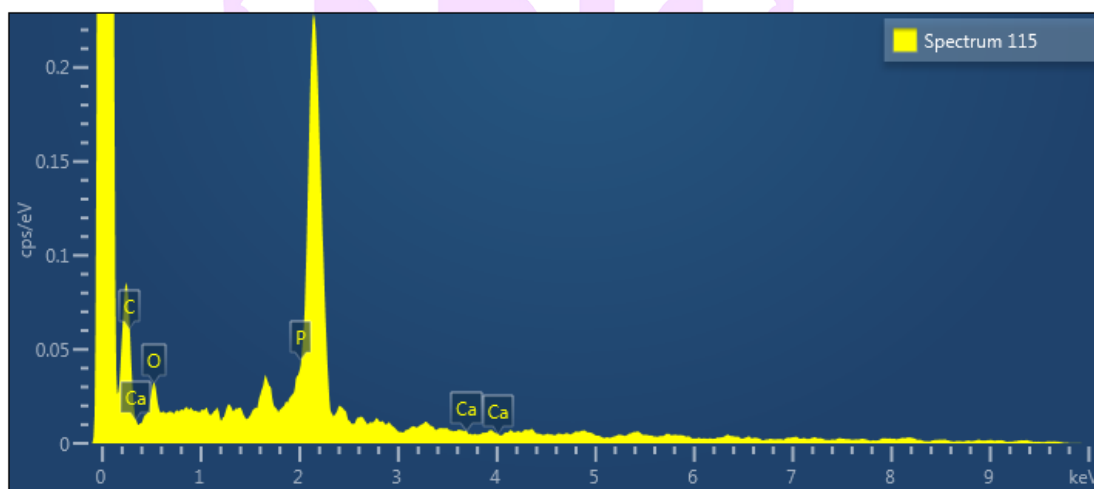
ภาพ 78 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 108 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



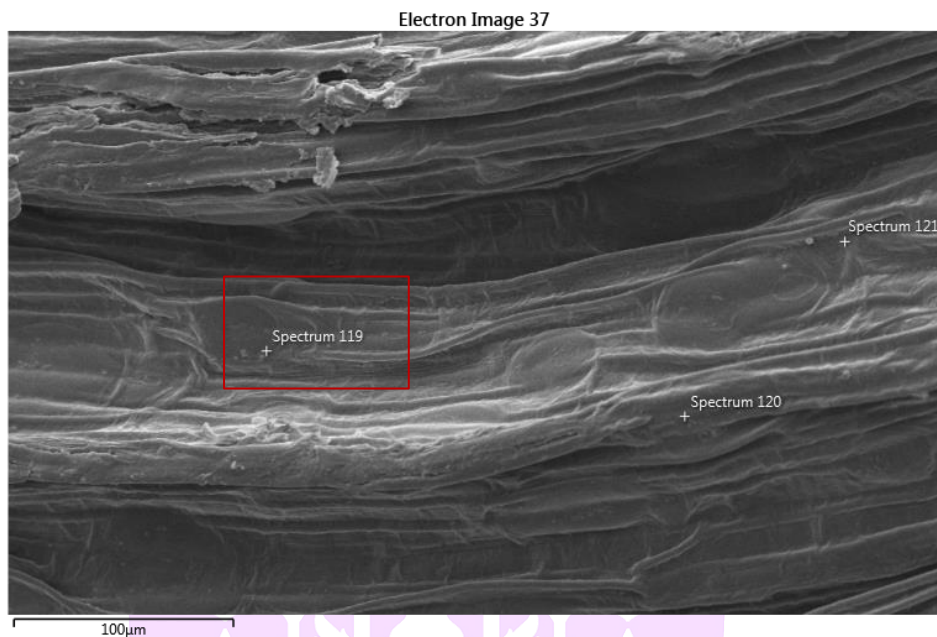
ภาพ 79 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 108 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



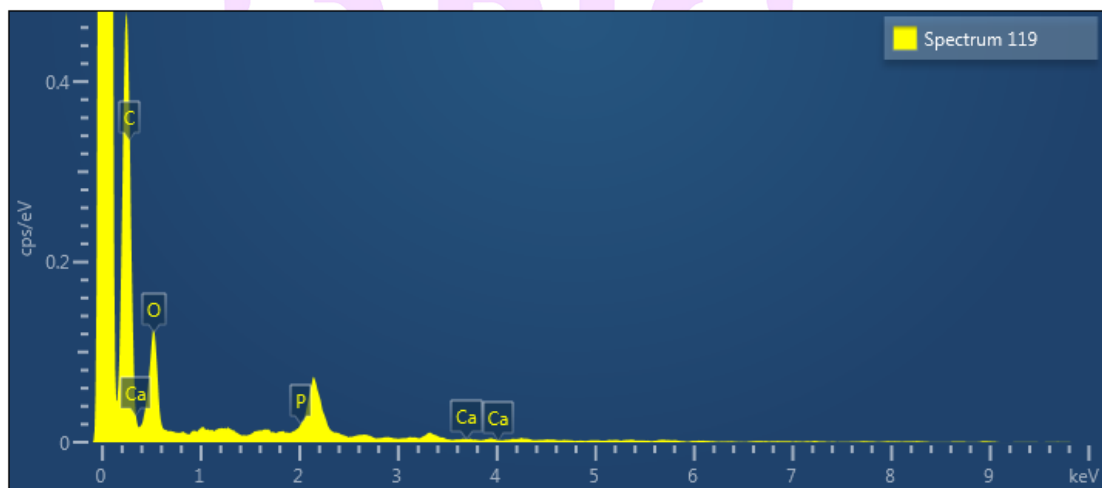
ภาพ 80 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6-7.3 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 115 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



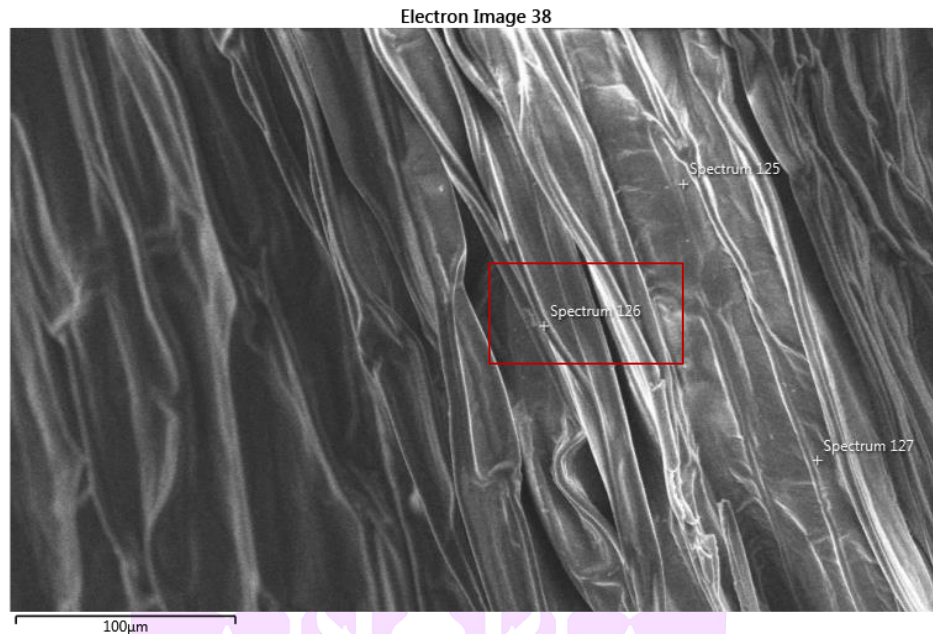
ภาพ 81 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6-7.3 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 115 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



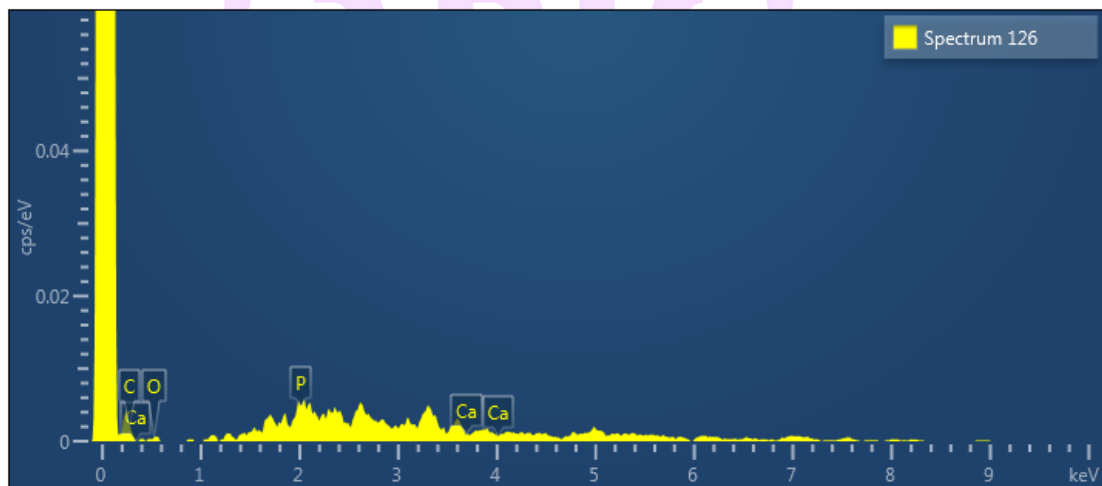
ภาพ 82 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.1–6.5 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 119 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



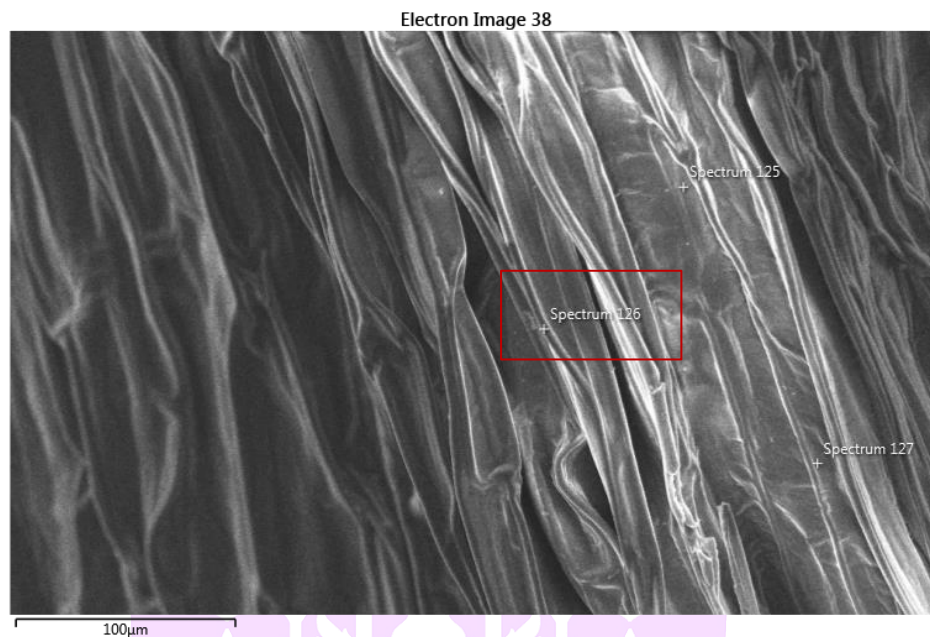
ภาพ 83 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.1–6.5 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 119 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



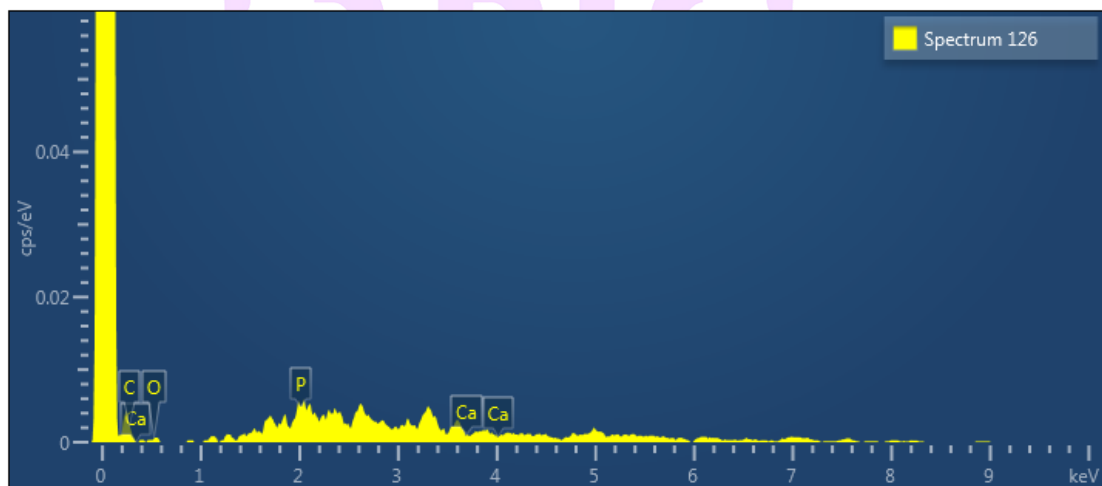
ภาพ 84 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.1-6.5 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 126 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



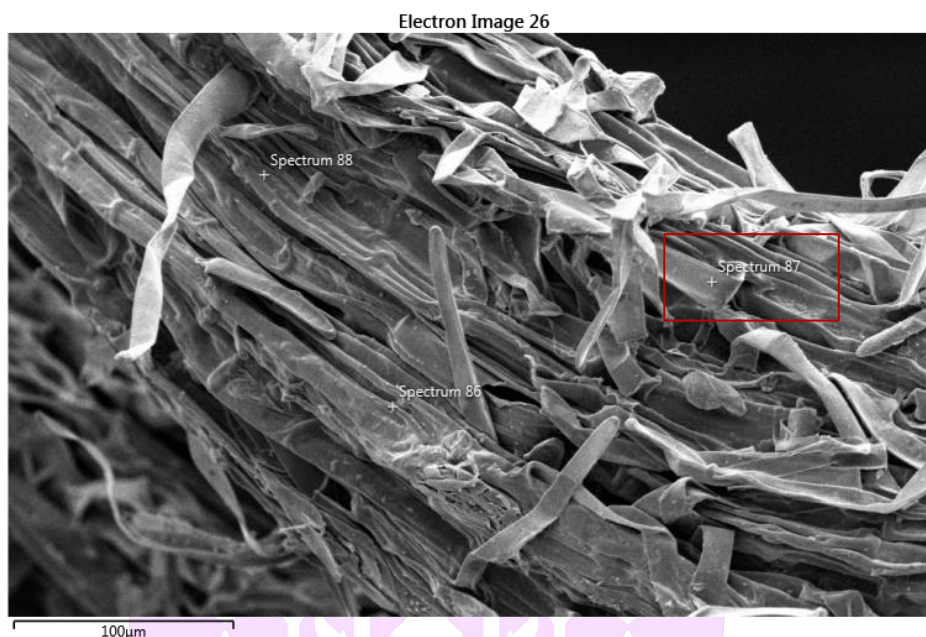
ภาพ 85 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.1-6.5 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 126 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



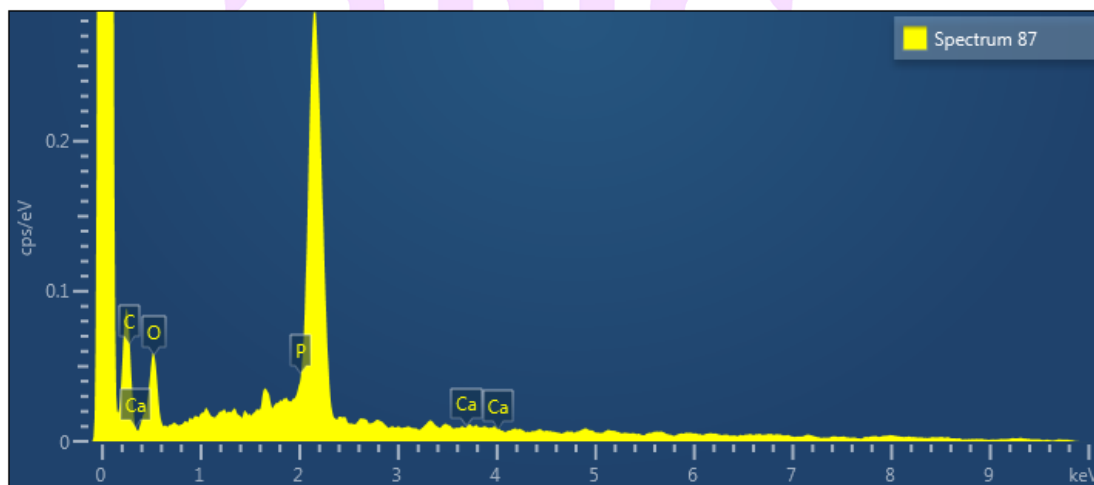
ภาพ 86 พื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.1-6.5 Pectin nanosphere +Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 126 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



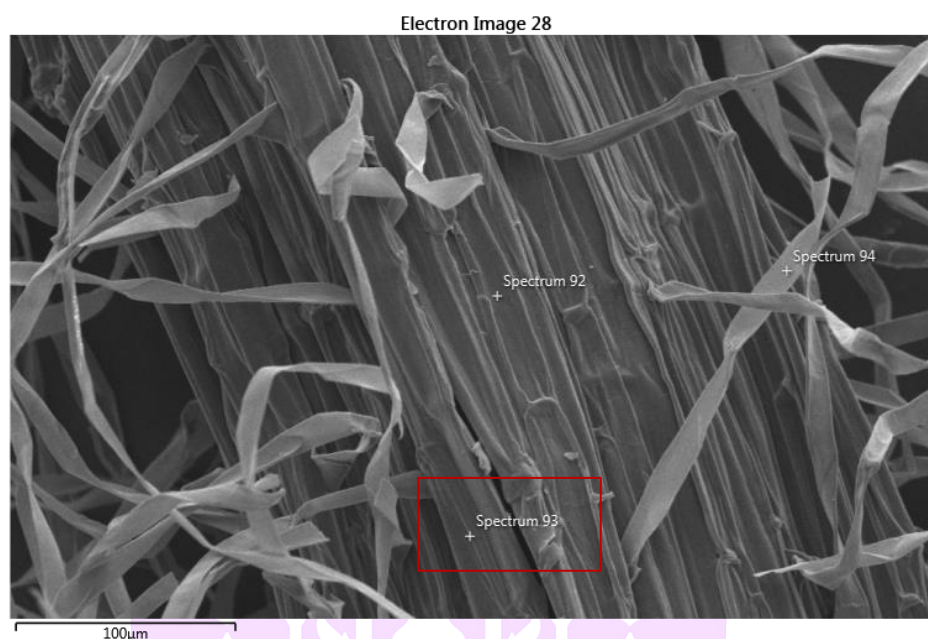
ภาพ 87 กราฟพื้นผิวของลำต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.1-6.5 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 126 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



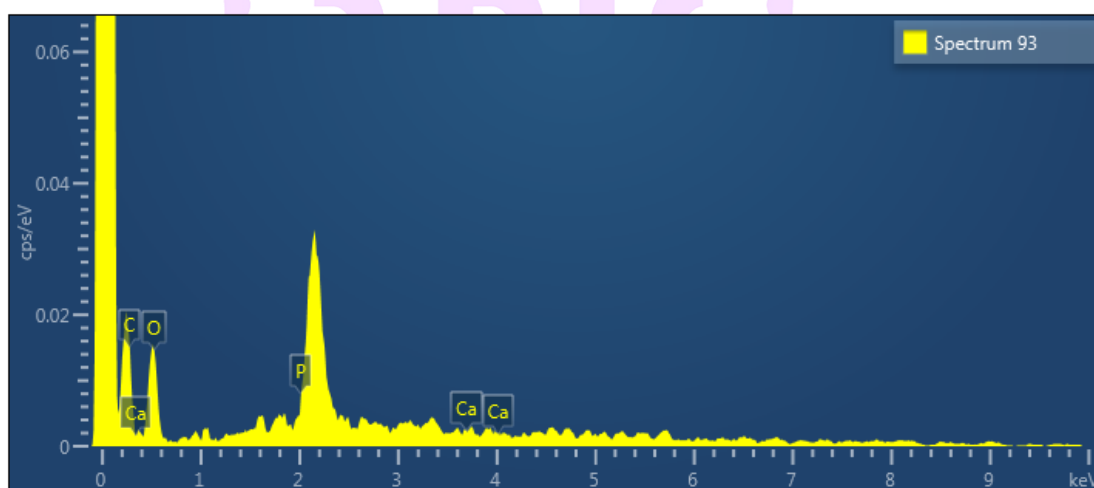
ภาพ 88 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 87 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



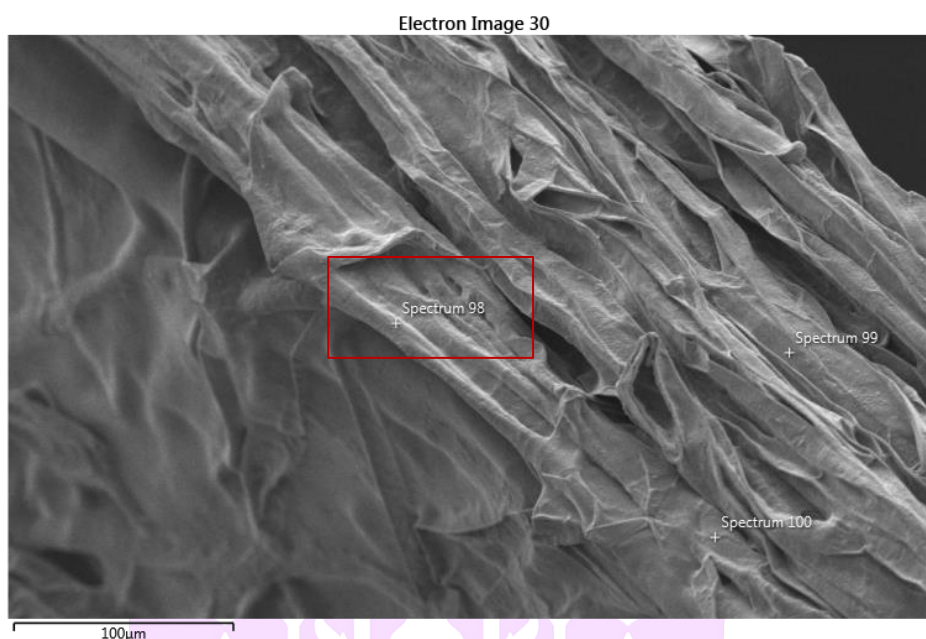
ภาพ 89 กราฟพื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 87 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



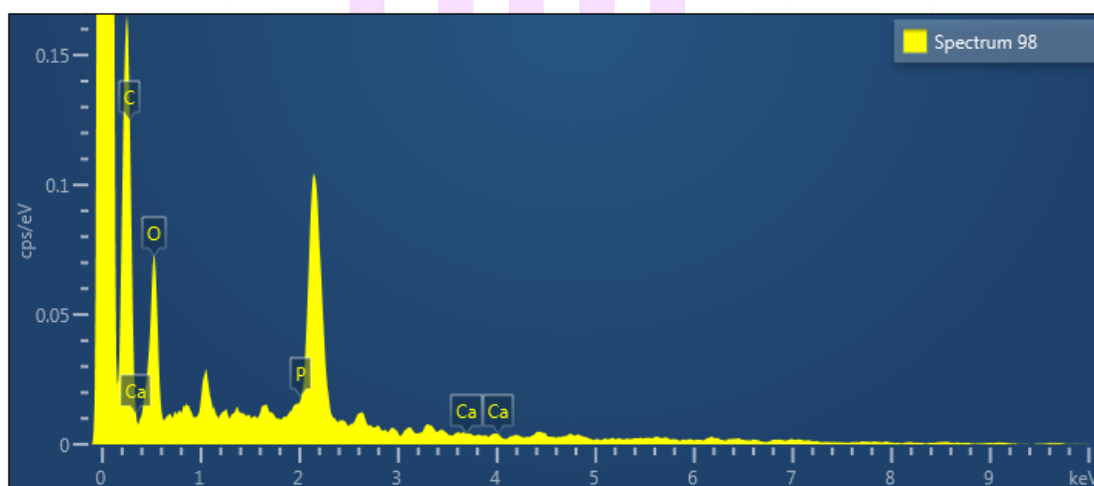
ภาพ 90 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 93 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



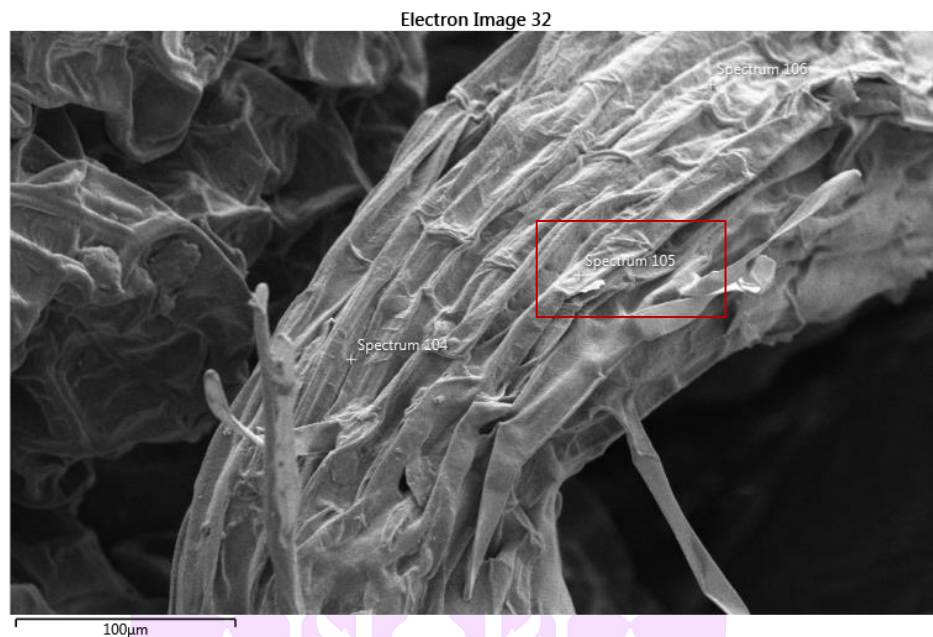
ภาพ 91 กราฟพื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 93 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



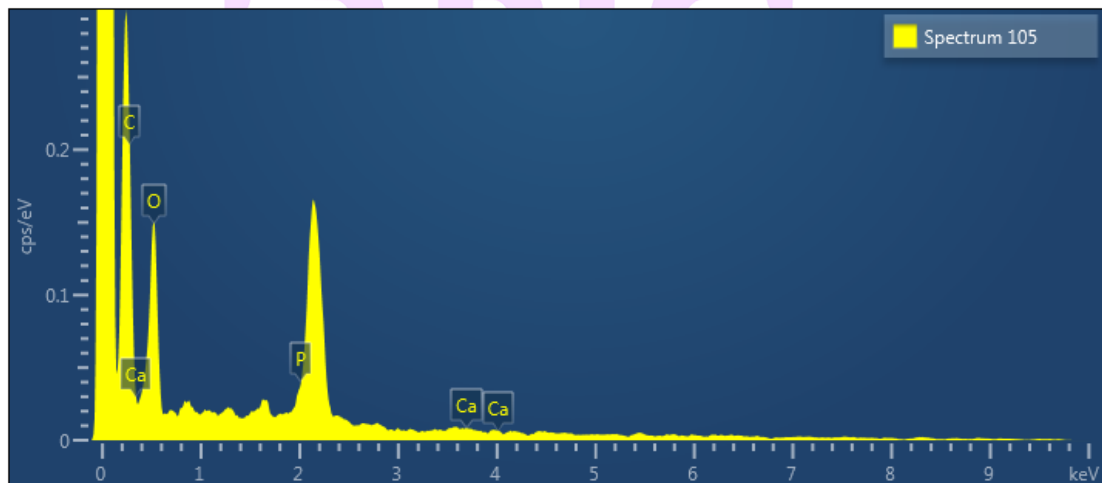
ภาพ 92 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 98 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



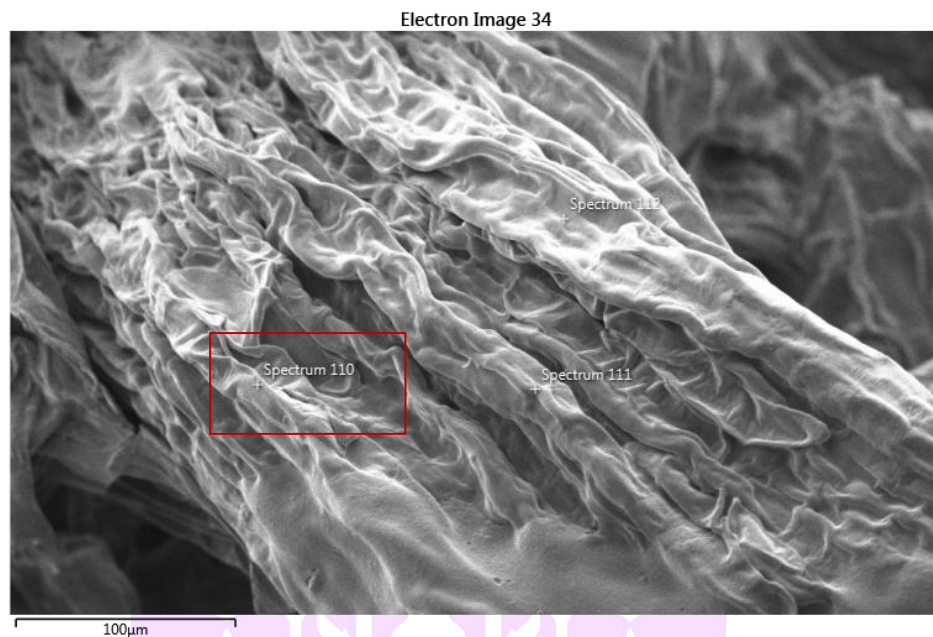
ภาพ 93 กราฟพื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะเบส (alkaline) ที่ 8.5–9.0 Pectin nanosphere + Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 98 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



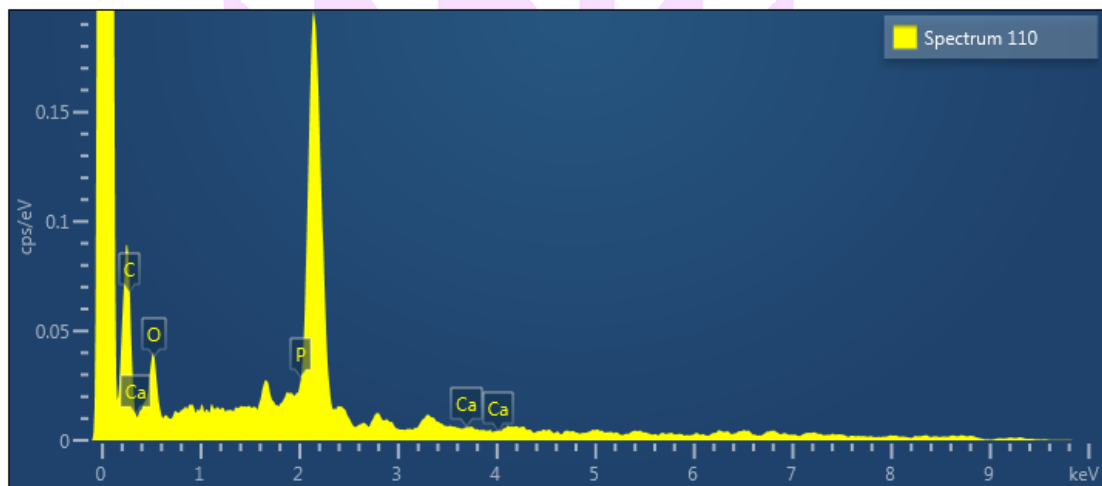
ภาพ 94 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6-7.3 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 105 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



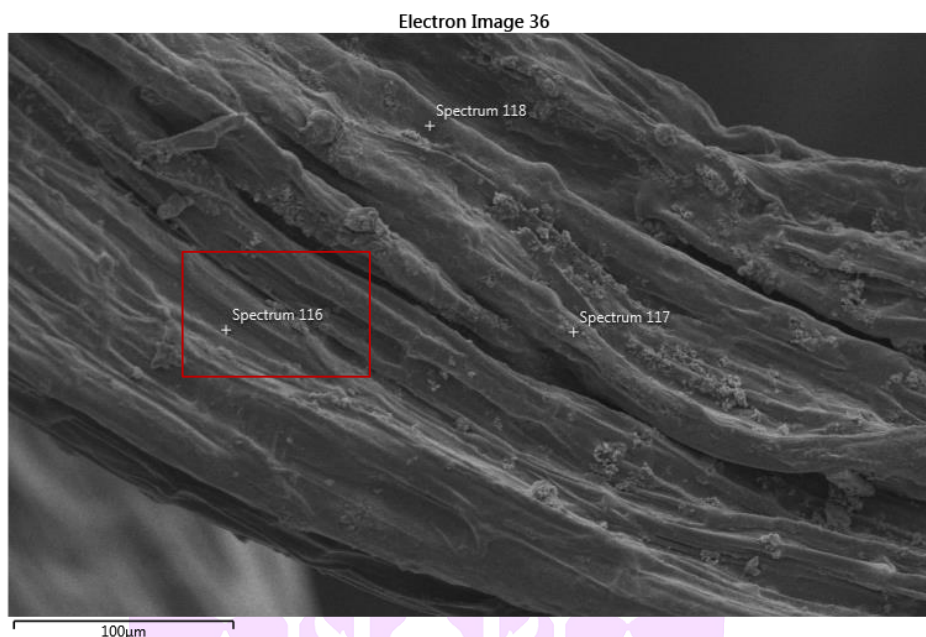
ภาพ 95 กราฟพื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6-7.3 Agar ที่ตำแหน่ง Spectrum 105 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



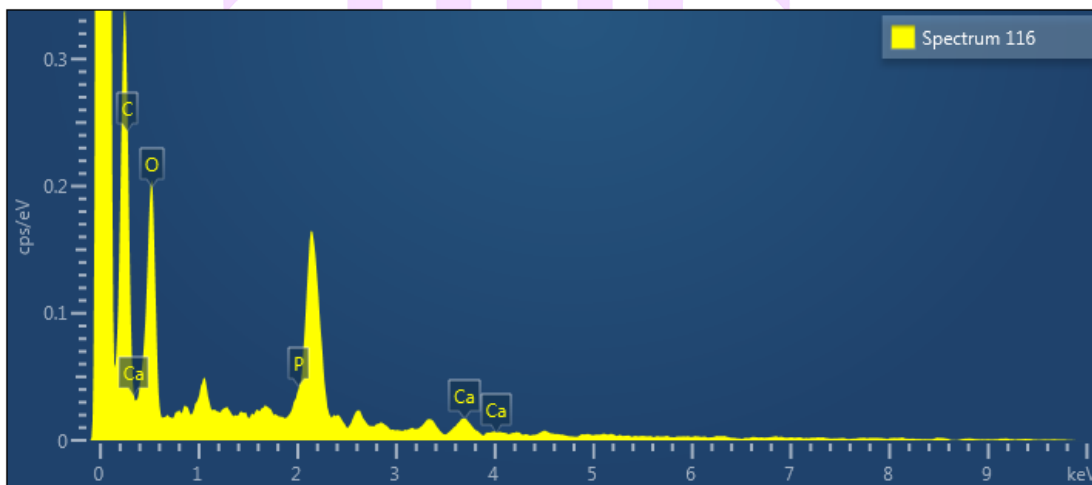
ภาพ 96 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 110 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



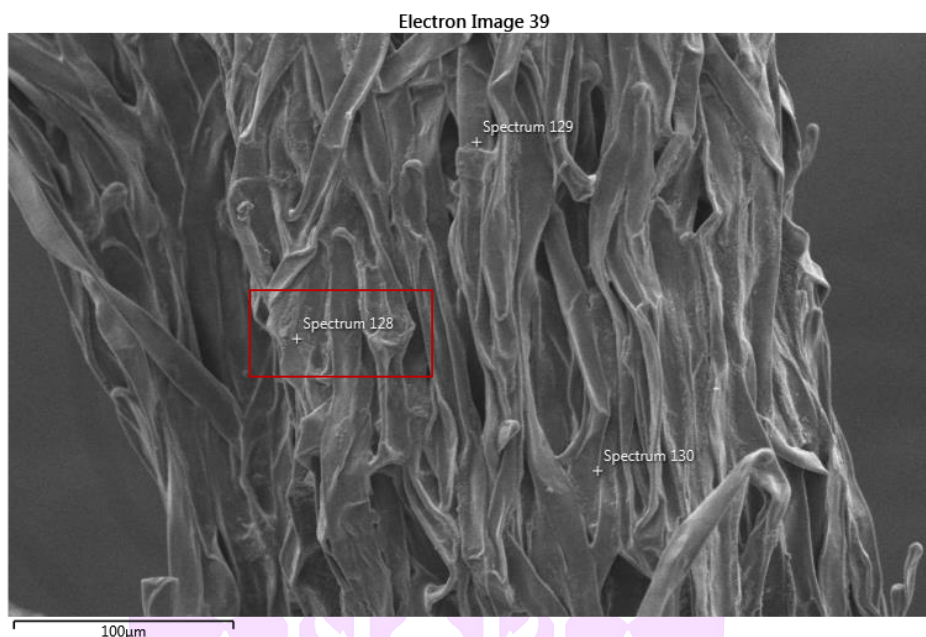
ภาพ 97 กราฟพื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 110 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



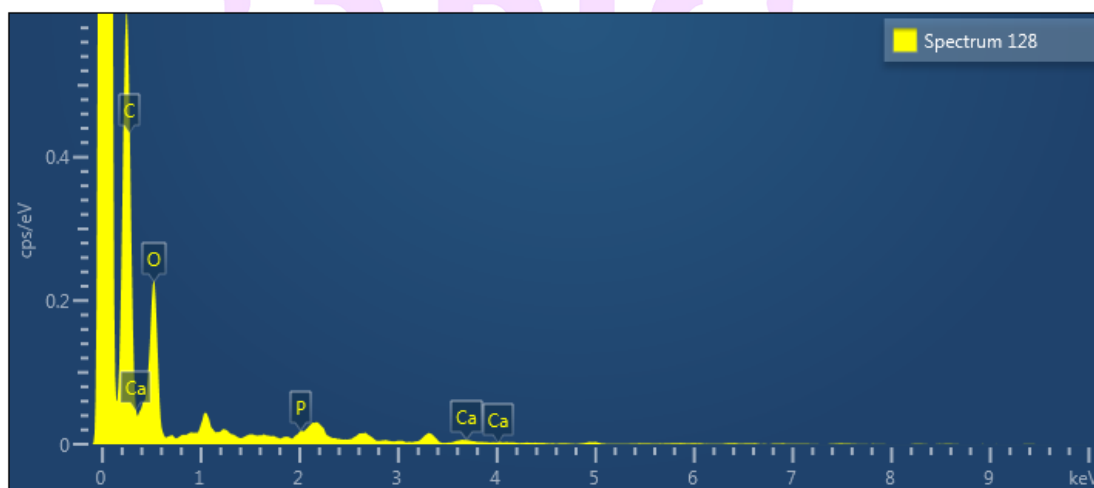
ภาพ 98 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 116 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



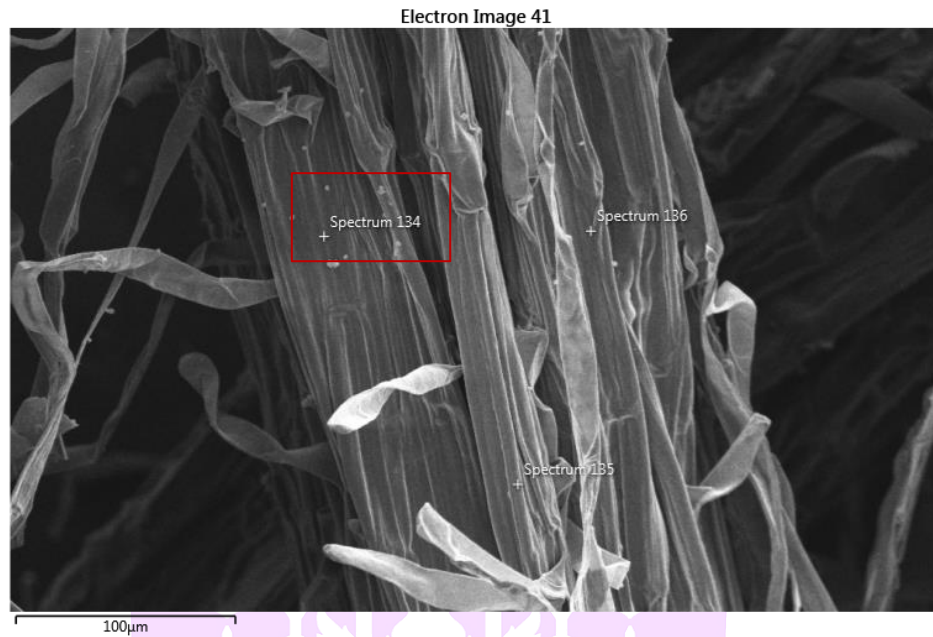
ภาพ 99 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกลาง ที่ 6.6–7.3 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 116 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



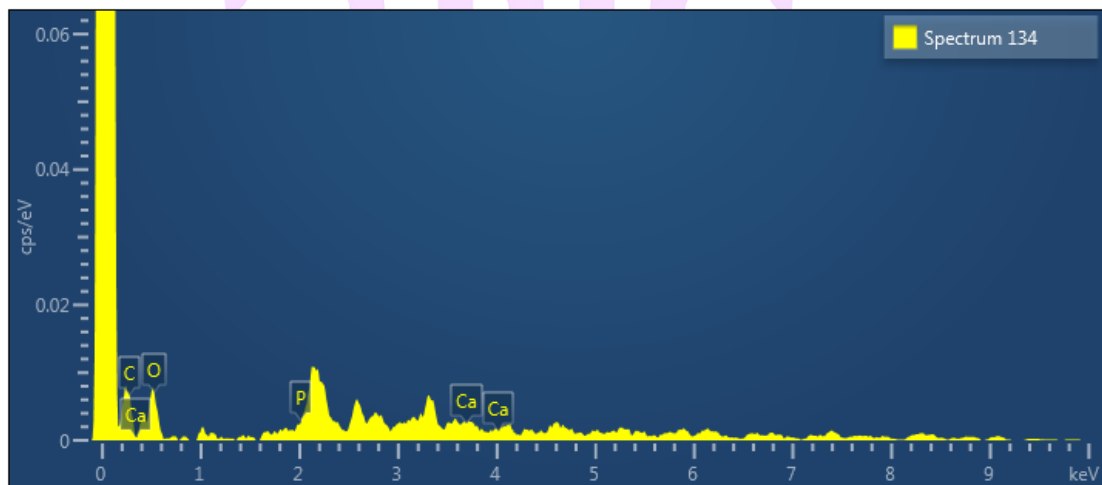
ภาพ 100 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1–6.5 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 128 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



ภาพ 101 กราฟพื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1–6.5 Pectin nanosphere ที่ตำแหน่ง Spectrum 128 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



ภาพ 102 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1–6.5 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 134 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



ภาพ 103 พื้นผิวของรากต้นอ่อนข้าวสาลีในสภาวะกรดอ่อน ที่ 6.1–6.5 Pectin nanosphere+Ca 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ตำแหน่ง Spectrum 134 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM-EDX)



ภาคผนวก ช

วัสดุ และอุปกรณ์

วัสดุ และอุปกรณ์

อุปกรณ์

1. Beaker 1000 ml
2. Beaker 500 ml.
3. Beaker 100 ml.
4. Beaker 50 ml.
5. Beaker stainless 1000 ml.
6. Aluminium shallow tray
7. Forceps
8. Spatula No.3
9. Parafilm
10. Pipette 10 ml.
11. Cylinder 500 ml.
12. Vernier Calipers
13. Petri dish
14. Laboratory Bottle 500 ml.
15. Laboratory Bottle 1000 ml.
16. Laboratory Bottle amber 500 ml.

17. Laboratory Bottle amber 1000 ml.

18. Stirring rod

19. Aluminium foil

20. Hot Air Oven

21. Shaker

22. Scanning Electron Microscope

23. Lyophilization (Freeze-drying)

24. Planetary Ball Milling

25. Ultrasonication

26. Spectrophotometry

27. DLS Nano ZS90 Malvern Instruments

28. AutoClave

29. Hotplate Stirrer

30. Riddle 30 mash

31. Riddle 60 mash

32. Magnetic stirrer

33. Graduated pipette

34. Pipettes Bulb

35. Autopipettes

วัสดุ

1. ผงใบ *Cissampelos pareira* L. จากพื้นที่อำเภอเชียงคำ และอำเภอภูซาง
จังหวัดพะเยา

2. เกล็ดปลาไนล จากพื้นที่อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา

3. Agar powder

สารเคมี

1. Ethanol 95%

2. Acetone 50%

3. Sodium hydroxide

4. Sulphuric acid

5. Carbazole

6. Phenolphthalein

7. Hydrochloric acid

8. Galacturonic acid

9. distilled water

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	กัณฐิกา เบญจวรรณ
วัน เดือน ปี เกิด	02 เมษายน พ.ศ.2542
สถานที่เกิด	เชียงใหม่
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	61 หมู่2 ต.แม่ป๋าง อ.พร้าว จ.เชียงใหม่ 50190

