

บทที่ 4

ผลการวิจัย

1. การเตรียมปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P K ในรูปแบบอัลจินตเจลปิดและคาราจีแนนเจลปิด

เตรียมปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหาร อาหาร N P K ในรูปแบบอัลจินตเจลปิดและคาราจีแนนเจลปิด โดยวิธี ionotropic gelation โดยใช้โซเดียมอัลจินตและคาราจีแนน ความเข้มข้น 0.5 %, 1 % และ 2 % (w/v) นำมาเคลือบเม็ดปุ๋ย N P K สูตร 15-7-18 ซึ่งเป็นสูตรปุ๋ยที่เหมาะสมกับมันสำปะหลัง เมื่อเคลือบแล้วจะได้ปุ๋ยที่มีลักษณะเม็ดกลม ขนาดประมาณ 5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 4.1 และ 4.2) จากการศึกษาการพองตัวของเจลปิดชนิดอัลจินตและคาราจีแนนในน้ำ ดังตารางที่ 4.1 เมื่อนำเจลปิดทั้ง 2 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2 % มาใส่ลงในภาชนะและเติมน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อลงไป 100 มิลลิลิตร (ความเข้มข้นละ 5 ซ้ำ) วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที 30 นาที 1 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง รวม 6 ช่วงเวลา แล้วศึกษารัศมีการพองตัวของเม็ดปุ๋ยที่เคลือบด้วยเจลปิดทั้ง 2 ชนิด ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งผลการศึกษาพบว่า อัลจินตเจลปิดที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1 % เกิดการแตกออกจากเม็ดเจลที่เวลา 15 นาทีหลังแช่น้ำ ขณะที่อัลจินตเจลปิดที่มีความเข้มข้น 2 % ไม่เกิดการแตกภายหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนคาราจีแนนเจลปิดความเข้มข้น 0.5 และ 2 % เกิดการแตกตัวออกจากเม็ดเจลที่เวลา 15 นาทีและ 24 ชั่วโมงหลังแช่ ตามลำดับ และคาราจีแนนเจลปิดความเข้มข้น 1 % ไม่เกิดการแตก จะเห็นว่าเจลปิดชนิดอัลจินต ที่ความเข้มข้น 2 % และคาราจีแนน 1 % มีความแข็งแรงของเปลือกที่ห่อหุ้มต่อน้ำและความชื้นได้ดีที่สุด โดยมีรัศมีการพองตัวคงที่ และไม่เกิดการแตกภายหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงมีความเหมาะสมในการห่อหุ้มปุ๋ย ดังนั้นจึงนำอัลจินตเจลปิดที่ความเข้มข้น 2 % และคาราจีแนนเจลปิดความเข้มข้น 1 % มาทำการศึกษาต่อในส่วนของการศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P K ของอัลจินตเจลปิดและคาราจีแนนเจลปิดในน้ำต่อไป



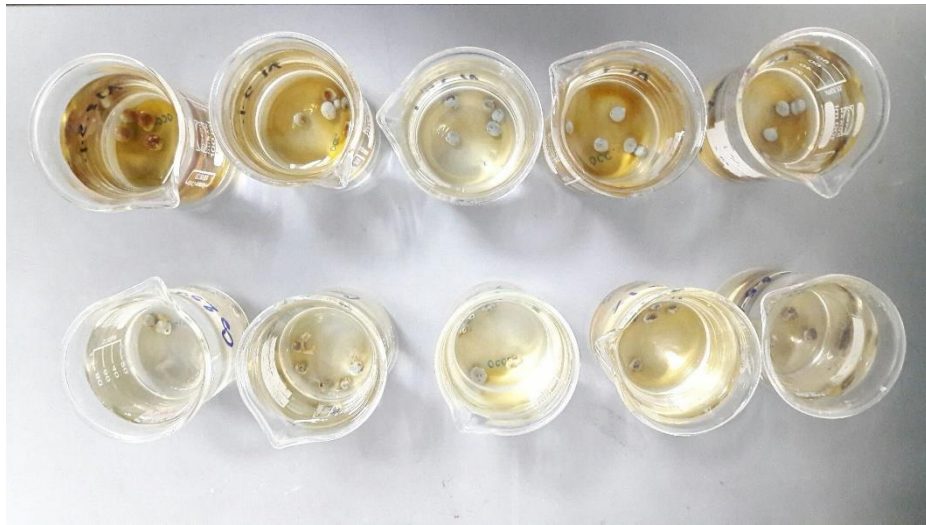
ภาพที่ 4.1 การเตรียมปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P K
ในรูปแบบของอัลจินตเจลปิดและคาราจีแนนเจลปิด



ภาพที่ 4.2 ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P K
ในรูปแบบของอัลจินตเจลปิดและคาราจีแนนเจลปิด

2. การศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P K ของอัลจินตเจลปิดและคาราจีแนนเจลปิดในน้ำ

ศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P K ของอัลจินตเจลปิดและคาราจีแนนเจลปิดในน้ำ โดยนำอัลจินตเจลปิดที่ความเข้มข้น 2 % และคาราจีแนนเจลปิดที่ความเข้มข้น 1 % จำนวนความเข้มข้นละ 5 เม็ด ใส่ในน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 100 มิลลิลิตร วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24, 48 ชั่วโมง และ 14, 28, 35 และ 49 วัน ดังภาพที่ 4.3 แล้วเก็บสารละลายที่เวลาต่างกัน นำมาตรวจสอบปริมาณ N P K ที่ปลดปล่อยออกมาจากเจลปิด ด้วยเทคนิค UV Spectroscopy, AAS และ Kjeldahl method เปรียบเทียบระหว่างอัลจินตเจลปิดและคาราจีแนนเจลปิด ศึกษาสัณฐานวิทยาของเจลปิดหลังการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P K ออกมา โดยใช้ SEM ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณ N P K ที่ปลดปล่อยจากอัลจินต เจลปิดและคาราจีแนนเจลปิดในน้ำ เป็นดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 ซึ่งแสดงปริมาณธาตุอาหาร N P และ K ที่ถูกปลดปล่อยในน้ำจากเจลปิดที่ห่อหุ้มด้วยอัลจินต 2% และคาราจีแนน 1% โดยเมื่อเวลาผ่านไปช่วงระยะหนึ่งมีการปลดปล่อยธาตุ N P และ K ออกมาแตกต่างกัน โดยในส่วนของเจลปิดที่มีการห่อหุ้มด้วยอัลจินต 2% มีการปลดปล่อยธาตุอาหารในน้ำได้นานถึง 49 วัน โดยมีการปลดปล่อยสูงสุดในช่วง 14 วัน หลังอยู่ในน้ำ โดยมีการปลดปล่อยธาตุ N เฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 92.13 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วน P และ K จะปลดปล่อยสูงสุดในช่วง 48 ชั่วโมง เฉลี่ยเท่ากับ 21.23 และ 208.07 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนช่วงที่มีการปลดปล่อยเฉลี่ยต่ำสุดคือช่วงเวลา 49 วัน หลังอยู่ในน้ำมีการปลดปล่อยธาตุ N P K เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 8.71, 1.15 และ 38.99 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนคาราจีแนนเจลปิด 1% มีการปลดปล่อยธาตุอาหารในน้ำได้นานเพียง 28 วัน โดยการปลดปล่อยธาตุ N P และ K เฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 14 วัน โดยมีการปลดปล่อย N P และ K เฉลี่ยเท่ากับ 75.61, 17.53 และ 406.91 มิลลิกรัม/ลิตร และช่วงเวลาที่มีการปลดปล่อยธาตุอาหารเฉลี่ยต่ำสุดคือช่วงเวลา 28 วันหลังอยู่ในน้ำ โดยมีการปลดปล่อยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมเฉลี่ยเท่ากับ 21.97, 5.58, และ 97.65 มิลลิกรัม/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ซึ่งเมื่อนำผลการปลดปล่อยธาตุอาหารจากเจลปิดทั้ง 2 รูปแบบ มาพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปลดปล่อยและระยะเวลาการปลดปล่อยธาตุอาหาร จะพบว่าเจลปิดที่มีการห่อหุ้มด้วย อัลจินต 2% มีการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P และ K ได้ดีกว่าเจลปิดที่ห่อหุ้มด้วยคาราจีแนน 1% โดยพิจารณาในแง่ของระยะเวลาการปลดปล่อยธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิดที่ยาวนาน โดยอัลจินตเจลปิด 2% สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารได้สูงสุดถึง 49 วัน ในขณะที่คาราจีแนนเจลปิด 1% ปลดปล่อยได้สูงสุดเพียง 28 วันเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยธาตุอาหารแต่ละธาตุระหว่างเจลปิดชนิด อัลจินตและคาราจีแนน พบว่า การปลดปล่อย N และ K ของอัลจินตสูงกว่าคาราจีแนนในช่วง 48 ชั่วโมงแรก และระหว่าง 14 วัน (ยกเว้น K) 28 ถึง 49 วัน (ภาพที่ 4.4 และ 4.6) การปลดปล่อย P ของอัลจินตสูงกว่าคาราจีแนน ตั้งแต่เริ่มการทดลองจนถึง 49 วัน (ภาพที่ 4.5)



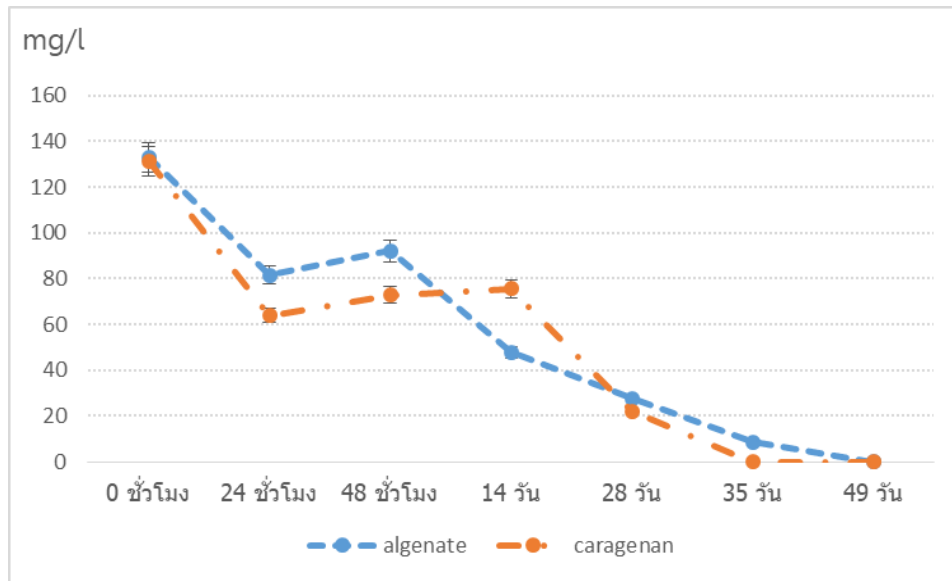
ภาพที่ 4.3 การปลดปล่อยธาตุอาหาร N P K ของอัลจินตเจลปิดและคาราจีแนนเจลปิดในน้ำ

ตารางที่ 4.2 ปริมาณ N P K ที่ปลดปล่อยจากอัลจินเตเจลปิดในน้ำ

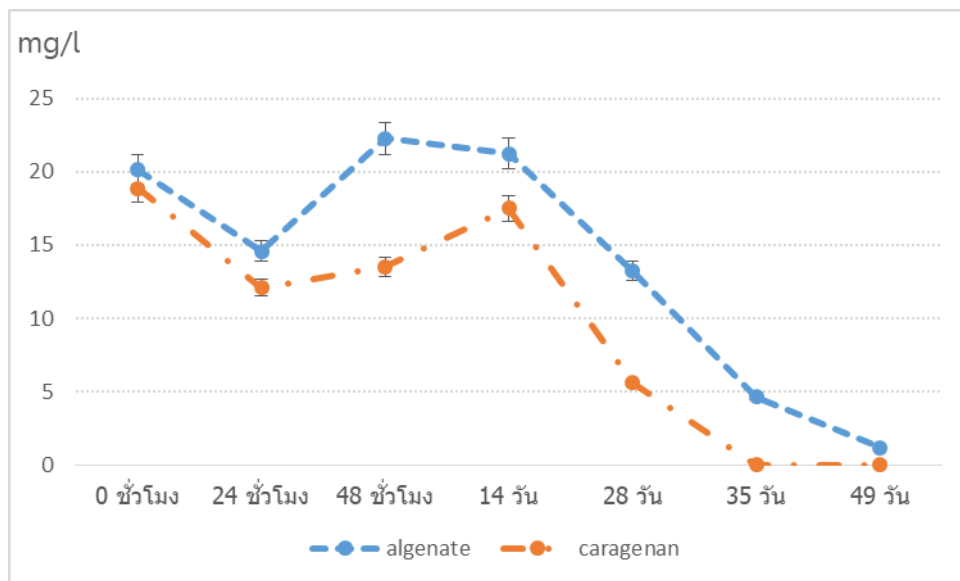
	ปริมาณธาตุ N P K (mg/l)		
	N	P	K
Alginate 2%	131.60	20.45	113.70
	135.11	19.87	110.56
	132.29	20.10	112.20
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	133.00	20.14	112.15
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	1.86	0.29	1.57
Alginate 2%	81.20	13.80	187.00
(24 hrs)	82.11	15.73	175.89
	81.35	14.23	186.05
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	81.55	14.59	182.98
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.49	1.01	6.16
Alginate 2%	81.20	23.40	291.75
(48 hrs)	82.34	21.14	287.95
	81.27	22.35	287.77
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	81.60	22.29	289.16
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.64	1.13	2.25
Alginate 2%	92.40	22.70	210.75
(14 days)	91.67	20.66	207.82
	92.33	20.34	205.65
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	92.13	21.23	208.07
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.40	1.28	2.56
Alginate 2%	47.60	13.00	187.56
(28 days)	48.52	13.69	189.17
	47.13	12.98	185.63
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	47.75	13.22	187.45
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.71	0.40	1.77
Alginate 2%	28.88	4.94	85.27
(35 days)	26.07	4.66	86.02
	28.30	4.26	85.73
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	27.75	4.62	85.67
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	1.48	0.34	0.37
Alginate 2%	9.79	1.15	40.41
(49 days)	7.53	1.03	37.63
	8.81	1.28	38.92
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	8.71	1.15	38.99
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	1.13	0.12	1.39

ตารางที่ 4.3 ปริมาณ N P K ที่ปลดปล่อยจากคาราจีแนนเจลดปิดในน้ำ

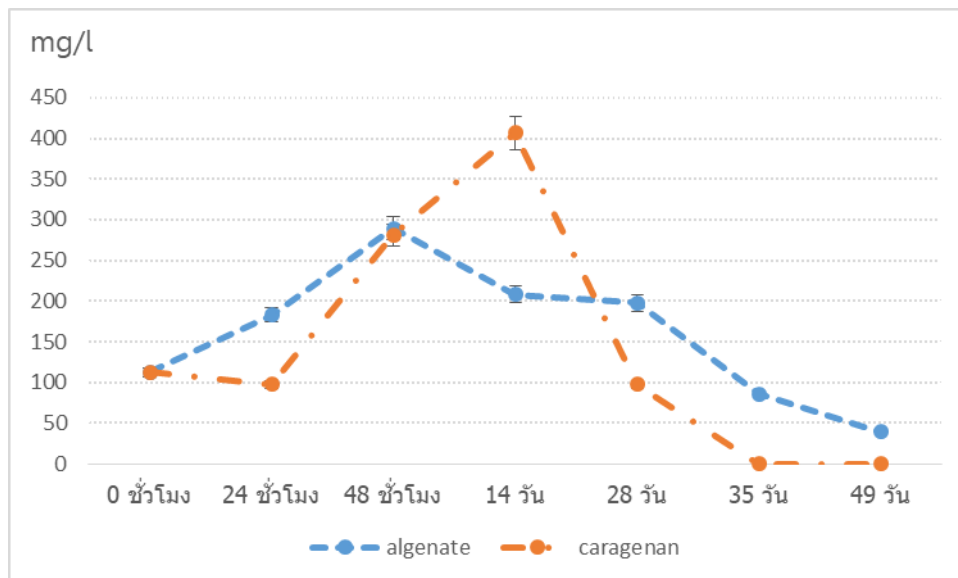
	ปริมาณธาตุ N P K (mg/l)		
	N	P	K
Carrageenan 1 %	129.63	18.51	114.50
	133.74	18.63	112.60
	130.54	19.54	110.14
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	131.30	18.89	112.42
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	2.16	0.56	2.19
Carrageenan 1 % (24 hrs)	64.40	12.80	97.15
	64.18	11.09	98.62
	63.09	12.40	97.19
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	63.89	12.10	97.65
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.70	0.89	0.84
Carrageenan 1 % (48 hrs)	72.80	13.50	281.55
	72.79	13.90	279.73
	72.81	13.16	281.68
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	72.80	13.52	280.99
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.01	0.37	1.09
Carrageenan 1 % (14 days)	75.60	17.40	410.30
	75.81	17.32	408.83
	75.42	17.88	401.61
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	75.61	17.53	406.91
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.20	0.30	4.65
Carrageenan 1 % (28 days)	21.38	5.42	97.45
	22.41	5.83	98.42
	22.12	5.50	97.08
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	21.97	5.58	97.65
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.53	0.22	0.69



ภาพที่ 4.4 ผลการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนของเจลปิดชนิดอัลจิเนตและคาราจีแนนในน้ำ



ภาพที่ 4.5 ผลการปลดปล่อยธาตุฟอสฟอรัสของเจลปิดชนิดอัลจิเนตและคาราจีแนนในน้ำ



ภาพที่ 4.6 ผลการปลดปล่อยธาตุโพแทสเซียมของเจลปิดชนิดอัลจิเนตและคาราจีแนนในน้ำ

3. การศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P K ของอัลจิเนตเจลปิดและคาราจีแนนเจลปิดในดิน

จากการศึกษาการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P K ของอัลจิเนตเจลปิดและคาราจีแนนเจลปิดในดิน โดยนำดินจากแปลงปลูกมันสำปะหลังมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม บด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร นำไปนึ่งฆ่าเชื้อ ปรับความชื้นของดินเป็นร้อยละ 60 โดยใช้ น้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อ นำเจลปิดความเข้มข้น 0.05 กรัม ใส่ลงในดิน โดยใส่ลึกจากผิวดิน 5 เซนติเมตร บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6, 12 ชั่วโมง และ 1, 2, 4, 7, 14, 28 และ 45 วัน เก็บตัวอย่างดินที่เวลาต่างกัน ปริมาณ 1 กรัม นำมาตรวจสอบปริมาณ N P K ที่ปลดปล่อยออกมาจากเจลปิด 2 ชนิด ด้วยเทคนิค UV Spectroscopy, AAS และ Kjeldahl method ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5 พบว่า อัลจิเนตเจลปิด 2% มีค่าเฉลี่ยของการปลดปล่อยธาตุ N P และ K ต่ำกว่าคาราจีแนนเจลปิด 1% เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาปลดปล่อยที่เท่ากัน ขณะที่เมื่อพิจารณาธาตุอาหาร N P และ K ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากเจลปิดในปริมาณที่มากที่สุดของอัลจิเนตเจลปิด พบว่าในช่วงเวลา 2 วันหลังกลบในดิน จะมีการปลดปล่อยธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด ออกมามากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยการปลดปล่อย N P และ K เท่ากับ 101.98, 35.87 และ 265.45 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนการปลดปล่อยธาตุอาหารปริมาณน้อยที่สุด จะอยู่ในช่วง 49 วัน หลังจากกลบดิน โดยมีค่าเฉลี่ยของการปลดปล่อย N P และ K เท่ากับ 0.02, 0.00 และ 0.06 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยธาตุอาหารแต่ละธาตุระหว่างเจลปิดชนิดอัลจิเนตและคาราจีแนน พบว่า การปลดปล่อย N P และ K ของอัลจิเนตสูงกว่าคาราจีแนนเจลปิดตั้งแต่เริ่มการทดลองถึง 35 วัน ยกเว้นผลการปลดปล่อยธาตุ K ของคาราจีแนนที่สูงกว่าอัลจิเนตเล็กน้อย แสดงในภาพที่ 4.7 ถึง 4.9 ตามลำดับ

เมื่อทำการศึกษาภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคจาก SEM ของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดอัลจินตเจลปิดและคาราจีแนนเจลปิดก่อนการฝังดินพบว่า ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยทั้ง 2 ชนิด มีลักษณะพื้นผิวขรุขระจากธาตุอาหาร N P และ K ดังภาพที่ 4.10 จากการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยทั้ง 2 ชนิด โดยใช้เทคนิค EDX พบว่าพื้นผิวของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดอัลจินตเจลปิดประกอบด้วยปริมาณของธาตุ N P และ K ร้อยละ 0, 1.36 และ 2.73 โดยน้ำหนัก สเปกตรัมของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดอัลจินตเจลปิดก่อนการฝังดิน แสดงในภาพที่ 4.11 และพื้นผิวของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดคาราจีแนนเจลปิด ประกอบด้วยปริมาณของธาตุ N P และ K ร้อยละ 0, 0.62 และ 0.85 โดยน้ำหนัก สเปกตรัมของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดคาราจีแนนเจลปิดก่อนการฝังดิน แสดงในภาพที่ 4.12 นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่า ภายหลังจากฝังดินเป็นเวลา 48 ชั่วโมง พื้นผิวของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยทั้ง 2 ชนิด ยังไม่มีรอยแตกเกิดขึ้น ดังภาพที่ 4.13

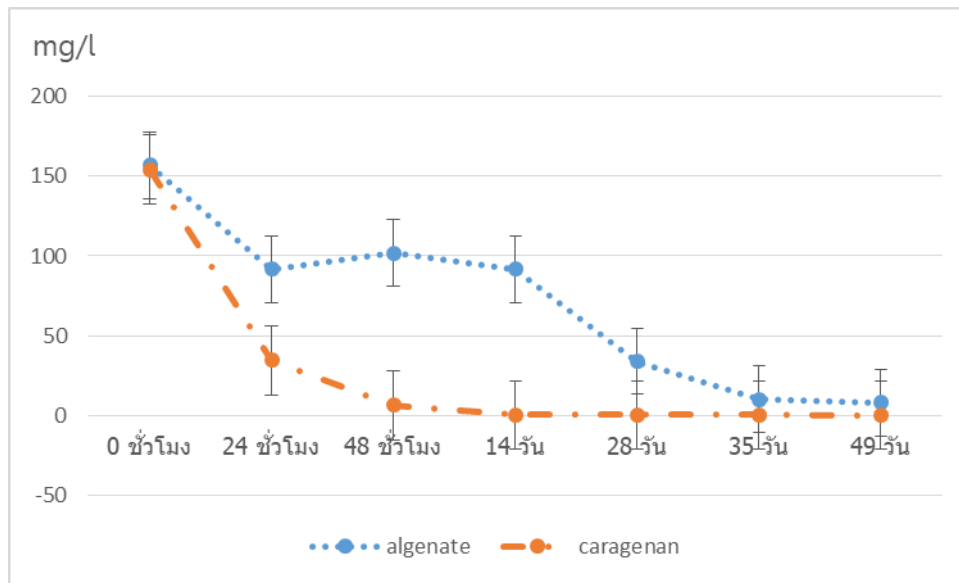
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยทั้ง 2 ชนิด ภายหลังจากฝังดินเป็นเวลา 14 วัน ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดคาราจีแนนเจลปิดมีรอยแตกที่พื้นผิวมากกว่าอัลจินตเจลปิด ดังภาพที่ 4.14 จากการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยทั้ง 2 ชนิดภายหลังจากฝังดินเป็นเวลา 14 วัน โดยใช้เทคนิค EDX พบว่า พื้นผิวของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดอัลจินตเจลปิดประกอบด้วยปริมาณของธาตุ N P และ K ร้อยละ 17.83, 1.14 และ 5.9 โดยน้ำหนัก สเปกตรัมของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดอัลจินตเจลปิดภายหลังจากฝังดินเป็นเวลา 14 วัน แสดงในภาพที่ 4.15 และพื้นผิวของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดคาราจีแนนเจลปิด ภายหลังจากฝังดินเป็นเวลา 14 วันประกอบด้วยปริมาณของธาตุ N P และ K ร้อยละ 19.46, 0.82 และ 3.45 โดยน้ำหนัก สเปกตรัมของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดคาราจีแนนเจลปิดภายหลังจากฝังดินเป็นเวลา 14 วัน ภาพที่ 4.16 นอกจากนี้ ผลการศึกษาภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคจาก SEM ของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยทั้ง 2 ชนิด ภายหลังจากฝังดินเป็นเวลา 35 วัน พบว่า ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดคาราจีแนนเจลปิดมีรอยแตกที่พื้นผิวมากกว่าปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดอัลจินตเจลปิด ดังภาพที่ 4.17

ตารางที่ 4.4 ปริมาณ N P K ที่ปลดปล่อยจากอัลจินตเจลปิดในดิน

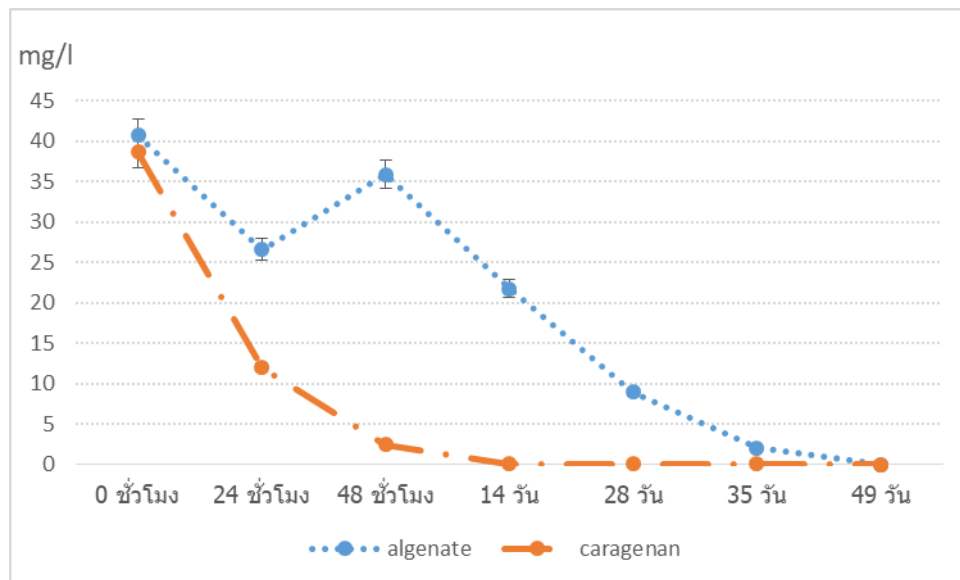
	ปริมาณธาตุ N P K (mg/l)		
	N	P	K
Alginate 2%	154.34	40.89	139.96
	157.98	33.22	141.32
	158.25	47.95	138.11
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	156.86	40.69	139.80
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	2.18	7.37	1.61
Alginate 2%	91.00	25.33	195.16
(24 hrs)	92.65	27.77	189.49
	91.44	26.56	192.23
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	91.70	26.55	192.29
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.85	1.22	2.84
Alginate 2%	101.77	36.98	261.39
(48 hrs)	102.84	34.33	267.44
	101.32	36.31	267.53
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	101.98	35.87	265.45
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.78	1.38	3.52
Alginate 2%	91.57	22.50	190.88
(14 days)	91.92	21.89	192.98
	91.76	20.74	190.71
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	91.75	21.71	191.52
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.18	0.89	1.26
Alginate 2%	34.11	8.09	110.43
(28 days)	34.00	8.37	112.68
	33.56	10.25	112.91
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	33.89	8.90	112.01
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.29	1.17	1.37
Alginate 2%	0.09	0.02	0.17
(35 days)	0.10	0.02	0.17
	0.08	0.02	0.21
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	0.09	0.02	0.18
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.01	0.00	0.02
Alginate 2%	0.01	0.00	0.05
(49 days)	0.03	0.00	0.06
	0.02	0.00	0.06
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	0.02	0.00	0.06
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.01	0.00	0.01

ตารางที่ 4.5 ปริมาณ N P K ที่ปลดปล่อยจากคาราจีแนนเจลปิดในดิน

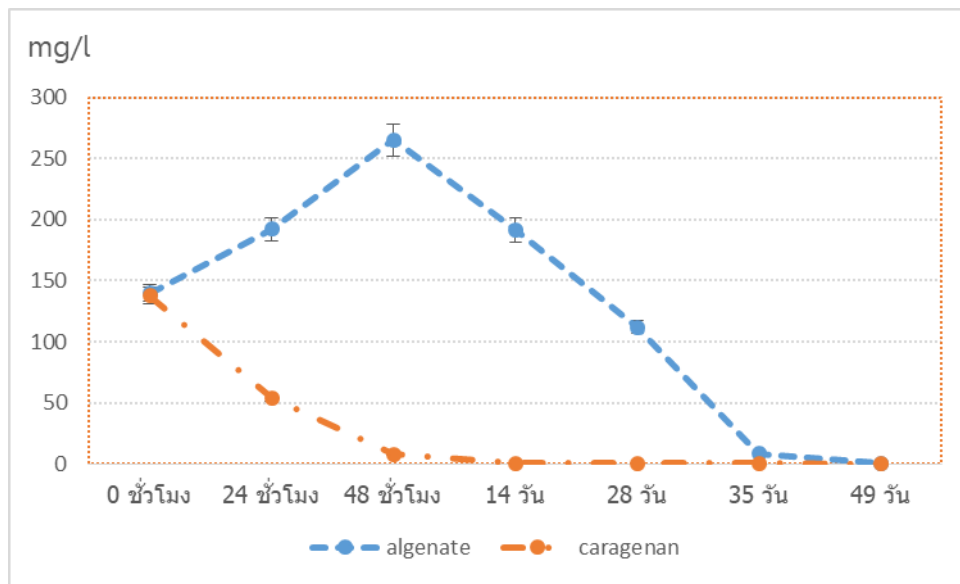
	ปริมาณธาตุ N P K (mg/l)		
	N	P	K
Carrageenan 2%	152.04	39.41	136.89
	155.43	30.03	139.23
	155.32	46.40	136.34
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	154.26	38.61	137.49
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	1.93	8.21	1.53
Carrageenan 2%	33.22	11.67	54.88
(24 hrs)	35.19	11.88	53.22
	35.19	12.33	53.48
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	34.53	11.96	53.86
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	1.14	0.34	0.89
Carrageenan 2%	6.54	1.99	7.11
(48 hrs)	6.33	2.47	7.00
	5.97	2.76	8.56
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	6.28	2.41	7.56
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.29	0.39	0.87
Carrageenan 2%	0.11	0.05	0.14
(14 days)	0.13	0.06	0.15
	0.12	0.05	0.14
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	0.12	0.05	0.14
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.01	0.01	0.01
Carrageenan 2%	0.13	0.07	0.17
(28 days)	0.14	0.06	0.18
	0.13	0.06	0.15
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	0.13	0.06	0.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.01	0.01	0.01
Carrageenan 2%	0.11	0.05	0.14
(35 days)	0.13	0.06	0.15
	0.12	0.05	0.14
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	0.12	0.05	0.14
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.01	0.01	0.01



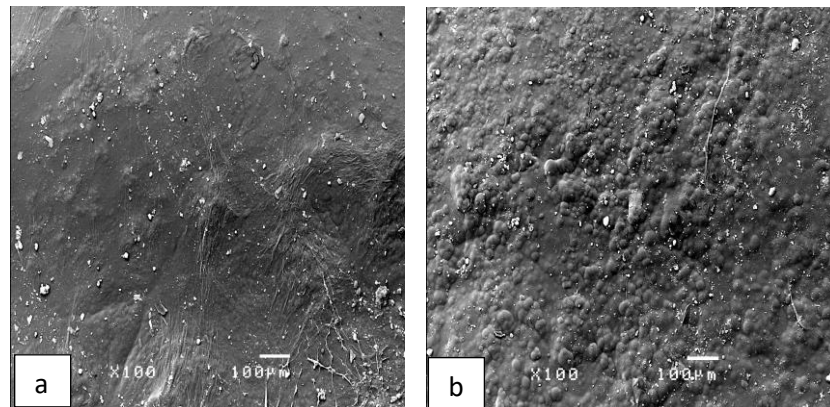
ภาพที่ 4.7 ผลการปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนของเจลปิดชนิดอัลจิเนตและคาราจีแนนในดิน



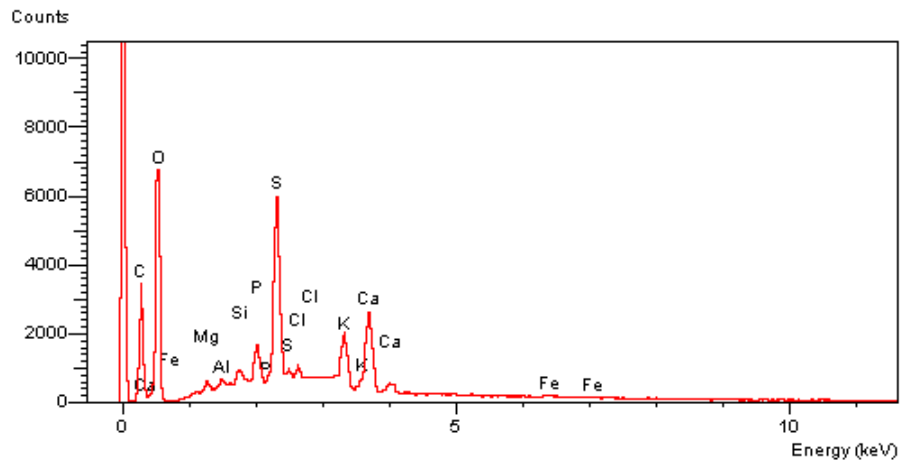
ภาพที่ 4.8 ผลการปลดปล่อยธาตุฟอสฟอรัสของเจลปิดชนิดอัลจิเนตและคาราจีแนนในดิน



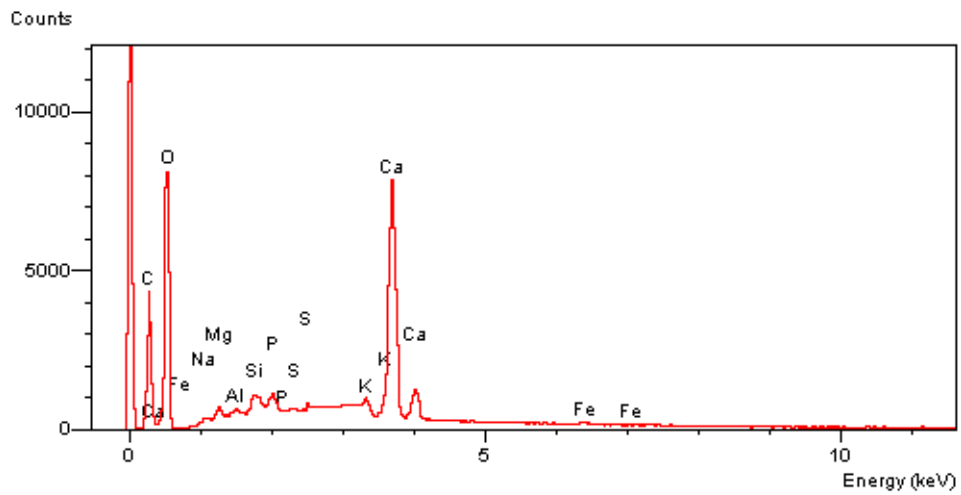
ภาพที่ 4.9 ผลการปลดปล่อยธาตุโพแทสเซียมของเจลปิดชนิดอัลจินตและคาราจีแนนในดิน



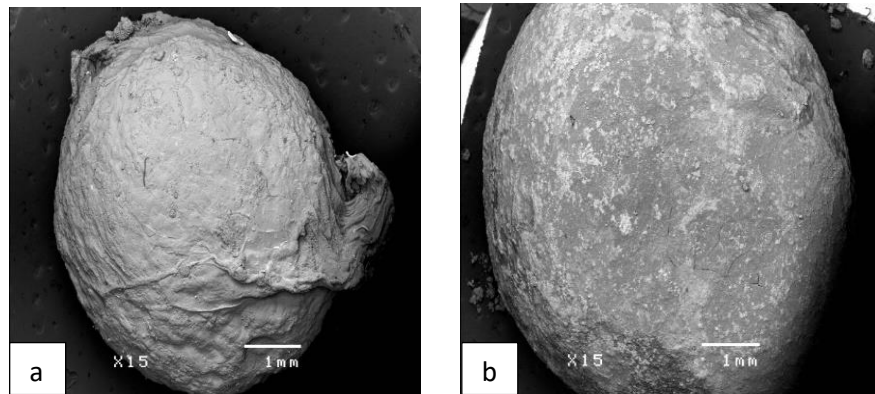
ภาพที่ 4.10 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคจาก SEM ของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยก่อนการฝังดิน
กำลังขยาย 100X (a) ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดโซเดียมอัลจินตเจลปิด
(b) ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดคาราจีแนนเจลปิด



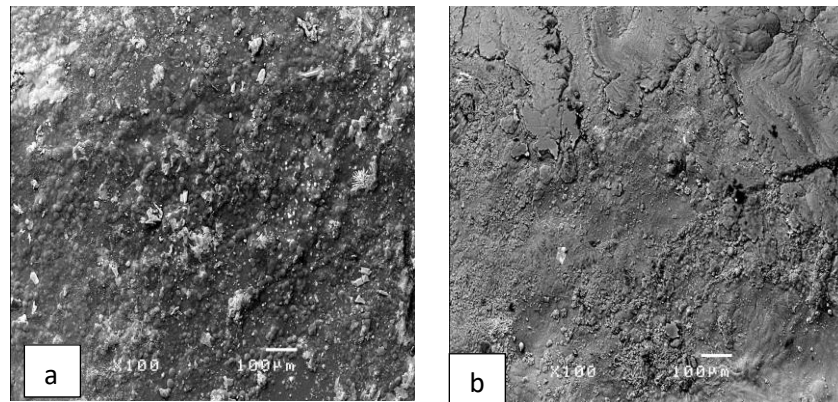
ภาพที่ 4.11 สเปกตรัมของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดอัลจินเตเจลปิดก่อนการฝังดิน



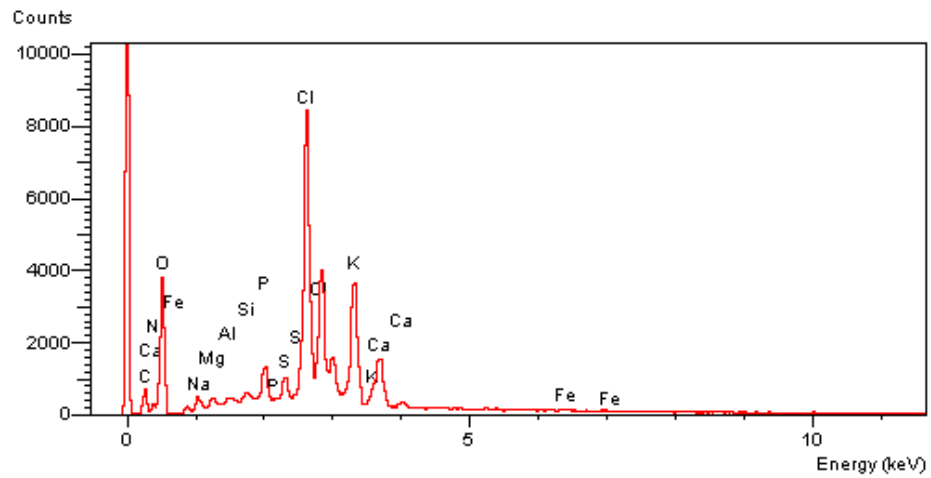
ภาพที่ 4.12 สเปกตรัมของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดคาราจีแนนเจลปิดก่อนการฝังดิน



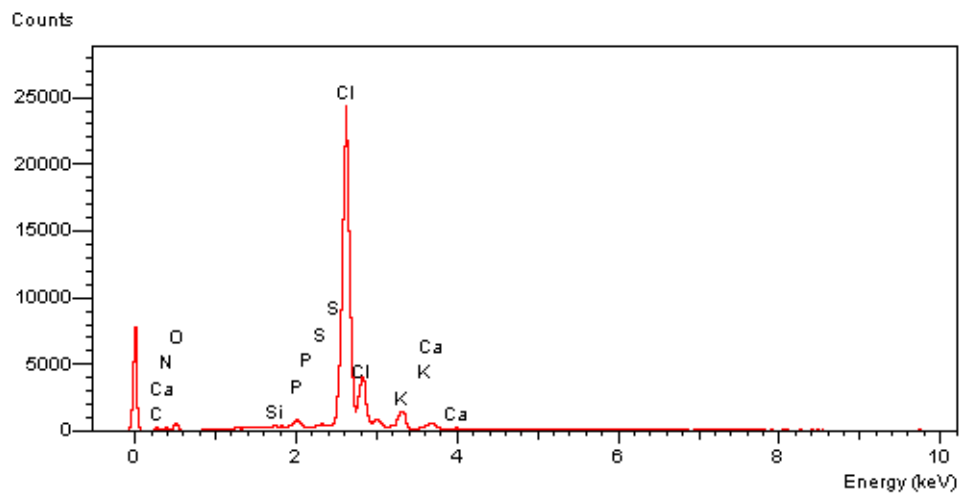
ภาพที่ 4.13 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคจาก SEM ของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย ภายหลังการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P K ในดิน กำลังขยาย 15X (a) ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดโซเดียมอัลจินเตเจลปิด ภายหลังการฝังดินเป็นเวลา 2 วัน (b) ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดคาราจีแนนเจลปิด ภายหลังการฝังดินเป็นเวลา 2 วัน



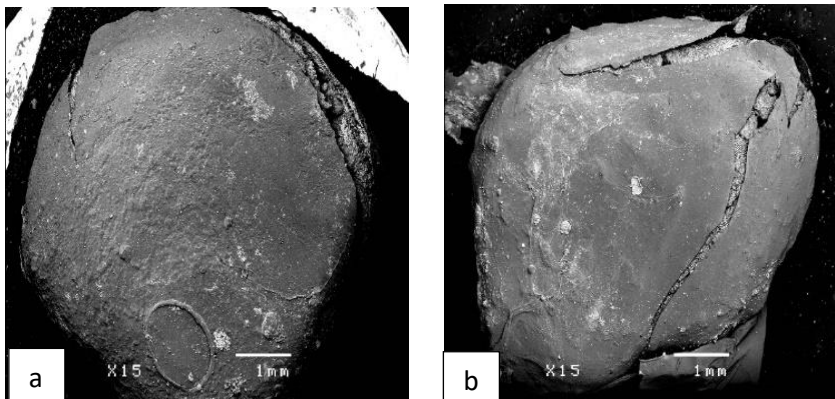
ภาพที่ 4.14 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคจาก SEM ของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย ภายหลังการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P K ในดิน กำลังขยาย 100X (a) ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดโซเดียมอัลจินเตเจลปิด ภายหลังการปลดปล่อยธาตุอาหารเป็นเวลา 14 วัน (b) ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดคาราจีแนนเจลปิด ภายหลังการปลดปล่อยธาตุอาหารเป็นเวลา 14 วัน



ภาพที่ 4.15 สเปกตรัมของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดโซเดียมอัลจิเนตเจลปิด
 ภายหลังการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P และ K เป็นเวลา 14 วัน



ภาพที่ 4.16 สเปกตรัมของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดโซเดียมอัลจิเนตเจลปิด
 ภายหลังการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P และ K เป็นเวลา 14 วัน



ภาพที่ 4.17 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคจาก SEM ของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อย ภายหลังจากการปลดปล่อยธาตุอาหาร N P K ในดิน กำลังขยาย 15X (a) ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดโซเดียมอัลจินเตเจลปิด ภายหลังจากการปลดปล่อยธาตุอาหารเป็นเวลา 35 วัน (b) ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดคาราจีแนนเจลปิด ภายหลังจากการปลดปล่อยธาตุอาหารเป็นเวลา 35 วัน

4. ผลของการดูดใช้ธาตุอาหาร N P และ K จากเม็ดปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารชนิดอัลจินเตเจลปิดในมันสำปะหลังช่วงอายุต่าง ๆ

จากการตรวจวัดความชื้นประจุภาคสนามในดิน โดยใช้เครื่องเทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer) พบว่า ความชื้นประจุภาคสนามในดินที่เหมาะสมกับการปลดปล่อยธาตุอาหารอยู่ระหว่าง 0 – 15 บาร์ และการวัด pH ในดินโดยใช้เครื่องวัด pH ในดิน พบว่า pH ในดินที่เหมาะสม อยู่ระหว่าง 5.5-8.0 ตารางที่ 4.6 แสดงผลการดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารชนิดอัลจินเตเจลปิดในใบมันสำปะหลังช่วงอายุ 3 เดือน เปรียบเทียบกับปุ๋ยละลายช้าที่มีอยู่ในท้องตลาดและปุ๋ยเคมี จำนวน 3 ซ้ำ พบว่า มันสำปะหลังมีการตอบสนองต่อการดูดใช้ในตำรับการทดลองจากปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารชนิดอัลจินเตเจลปิด ในใบมันสำปะหลัง ให้ค่าเฉลี่ยในการดูดใช้ธาตุ N P และ K สูงสุดคือ ร้อยละ 1.25, 0.18 และ 1.10 ตามลำดับ ส่วนปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยในท้องตลาด มีค่าเฉลี่ยรองลงมา ได้แก่ N P และ K ร้อยละ 0.79, 0.08 และ 0.81 ตามลำดับ และตำรับการทดลองปุ๋ยเคมี มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ N P และ K ร้อยละ 0.68, 0.056 และ 0.62 ตามลำดับ

ส่วนผลการดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ย 3 ตำรับ คือปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารชนิดอัลจินเตเจลปิด ปุ๋ยละลายช้าที่มีอยู่ในท้องตลาดและปุ๋ยเคมีในใบมันสำปะหลังในช่วงอายุ 6 เดือน (ตารางที่ 4.7) ซึ่งผลปรากฏว่า ผลการศึกษามีทิศทางสอดคล้องกับผลการดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ย 3 ตำรับในช่วงอายุ 3 เดือน คือ ตำรับการทดลองจากปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารชนิดอัลจินเตเจลปิดมีค่าเฉลี่ยสูงสุดใน

การตอบสนองการดูดใช้ธาตุอาหารของมันสำปะหลังอายุ 6 เดือน ร้อยละของ N P และ K ได้แก่ ร้อยละ 1.34, 0.31 และ 1.46 ตามลำดับ รองลงมาคือ ตำรับการทดลองของปุ๋ยละลายช้าที่มีอยู่ในท้องตลาด ให้ค่าเฉลี่ยในการดูดใช้ N P และ K ร้อยละ 0.79, 0.07 และ 0.79 ตามลำดับ และสุดท้ายคือ ตำรับการทดลองปุ๋ยเคมี ให้ค่าเฉลี่ยการดูดใช้ธาตุอาหารต่ำสุด คือ ร้อยละของ N P และ K เท่ากับ 0.62, 0.06 และ 0.69 ตามลำดับ

เช่นเดียวกันกับผลการศึกษที่ผ่านมา ผลการดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยในใบมันสำปะหลังในช่วงอายุ 9 เดือน (ตารางที่ 4.8) มีผลการศึกษาสอดคล้องกับผลการดูดใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยในใบมันสำปะหลังในช่วงอายุ 3 เดือนและ 6 เดือน คือใบมันสำปะหลังมีการตอบสนองต่อการดูดใช้ธาตุอาหารจากตำรับการทดลองของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารชนิดอัลจินเตเจลปิด ค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ร้อยละของ N P และ K เท่ากับ 1.22, 0.26 และ 1.26 ตามลำดับ รองลงมาคือ ตำรับการทดลองของปุ๋ยละลายช้าที่มีอยู่ในท้องตลาด ให้ค่าเฉลี่ยในการดูดใช้ N P และ K ร้อยละ 0.96, 0.08 และ 0.90 ตามลำดับ และสุดท้ายคือ ตำรับการทดลองปุ๋ยเคมี ให้ค่าเฉลี่ยการดูดใช้ธาตุอาหารต่ำสุด คือ ร้อยละของ N P และ K เท่ากับ 0.84, 0.08 และ 0.85 ตามลำดับ ภาพที่ 4.18, 4.19 และ 4.20 แสดงผลการดูดใช้ธาตุ N P และ K จากปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารในใบมันสำปะหลัง แต่ละช่วงอายุหลังปลูก ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบระหว่างอัลจินเตเจลปิด ปุ๋ยละลายช้าในท้องตลาด และปุ๋ยเคมีทั่วไป

ตารางที่ 4.6 ผลของการดูดีใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารชนิดอัลจินเตเจลปิด
ในใบมันสำปะหลังอายุ 3 เดือน

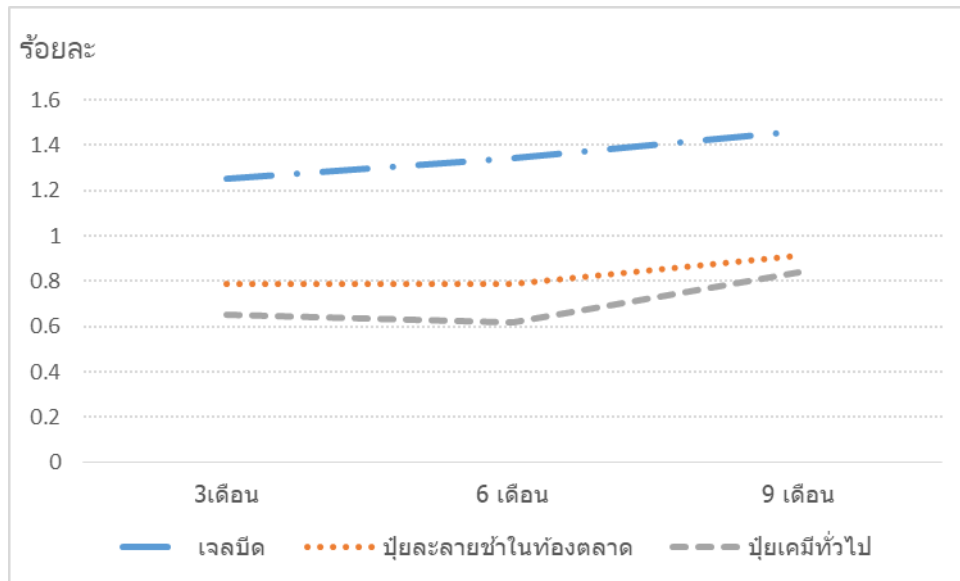
ตัวรับการทดลอง	ธาตุไนโตรเจน (ร้อยละ)	ธาตุฟอสฟอรัส (ร้อยละ)	ธาตุโพแทสเซียม (ร้อยละ)
ปุ๋ยเจลปิด (ซ้ำที่)			
1	1.23	0.18	1.08
2	1.29	0.17	1.12
3	1.24	0.19	1.10
ค่าเฉลี่ย	1.25	0.18	1.10
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.32	0.01	0.02
P<0.05	*	*	*
ปุ๋ยละลายช้าในท้องตลาด (ซ้ำที่)			
1	0.76	0.064	0.81
2	0.81	0.038	0.84
3	0.79	0.061	0.79
ค่าเฉลี่ย	0.79	0.050	0.81
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.025	0.01	0.02
P<0.05	n.s	n.s	n.s
ปุ๋ยเคมี (ซ้ำที่)			
1	0.63	0.054	0.61
2	0.64	0.061	0.61
3	0.68	0.054	0.63
ค่าเฉลี่ย	0.65	0.056	0.62
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.03	0.004	0.01
P<0.05	n.s	n.s	n.s

ตารางที่ 4.7 ผลของการดูใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารชนิดอัลจินเตเจลปิด
ในใบมันสำปะหลังอายุ 6 เดือน

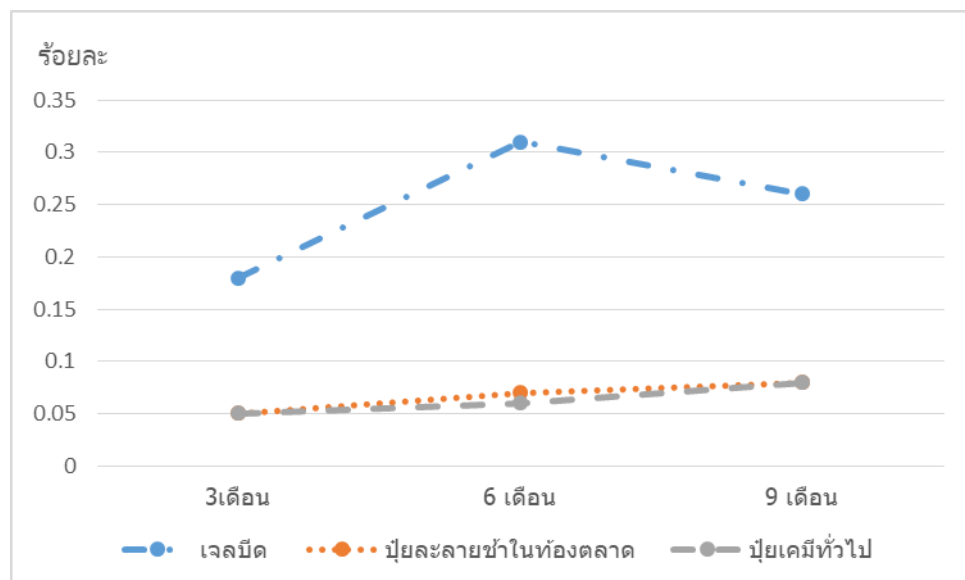
ตัวรับการทดลอง	ธาตุไนโตรเจน (ร้อยละ)	ธาตุฟอสฟอรัส (ร้อยละ)	ธาตุโพแทสเซียม (ร้อยละ)
ปุ๋ยเจลปิด (ซ้ำที่)			
1	1.30	0.31	1.43
2	1.34	0.29	1.47
3	1.37	0.32	1.49
ค่าเฉลี่ย	1.34	0.31	1.46
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.04	0.02	0.03
P<0.05	*	*	*
ปุ๋ยละลายช้าในท้องตลาด (ซ้ำที่)			
1	0.79	0.08	0.73
2	0.81	0.07	0.81
3	0.78	0.07	0.83
ค่าเฉลี่ย	0.79	0.07	0.79
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.01	0.005	0.05
P<0.05	n.s.	n.s.	n.s.
ปุ๋ยเคมี (ซ้ำที่)			
1	0.61	0.07	0.64
2	0.61	0.06	0.71
3	0.63	0.06	0.74
ค่าเฉลี่ย	0.62	0.06	0.69
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.01	0.01	0.05
P<0.05	n.s.	n.s.	n.s.

ตารางที่ 4.8 ผลของการดูใช้ธาตุอาหารจากปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารชนิดอัลจินเตเจลปิด
ในไขมันสำปะหลังอายุ 9 เดือน

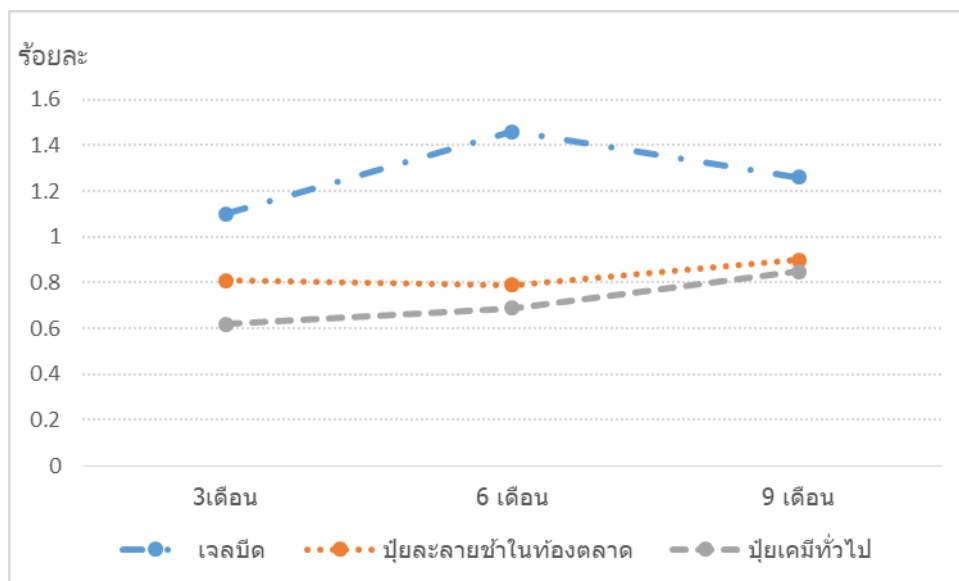
ตัวรับการทดลอง	ธาตุไนโตรเจน (ร้อยละ)	ธาตุฟอสฟอรัส (ร้อยละ)	ธาตุโพแทสเซียม (ร้อยละ)
ปุ๋ยเจลปิด (ข้า้ที่)			
1	1.21	0.26	1.23
2	1.22	0.28	1.28
3	1.22	0.24	1.28
ค่าเฉลี่ย	1.22	0.26	1.26
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.06	0.02	0.03
P<0.05	*	*	*
ปุ๋ยละลายช้าในท้องตลาด (ข้า้ที่)			
1	0.91	0.09	0.91
2	0.98	0.08	0.91
3	0.99	0.08	0.89
ค่าเฉลี่ย	0.96	0.08	0.90
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.04	0.01	0.01
P<0.05	n.s.	n.s.	n.s.
ปุ๋ยเคมี (ข้า้ที่)			
1	0.84	0.07	0.84
2	0.86	0.08	0.86
3	0.84	0.08	0.85
ค่าเฉลี่ย	0.84	0.08	0.85
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.01	0.01	0.01
P<0.05	n.s.	n.s.	n.s.



ภาพที่ 4.18 ผลการดูใช้ธาตุไนโตรเจนจากปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหาร ชนิดอัลจินเตเจลปิด ในใบมันสำปะหลังอายุ 3,6 และ 9 เดือนหลังปลูก



ภาพที่ 4.19 ผลการดูใช้ธาตุฟอสฟอรัสจากปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหาร ชนิดอัลจินเตเจลปิด ในใบมันสำปะหลังอายุ 3,6 และ 9 เดือนหลังปลูก



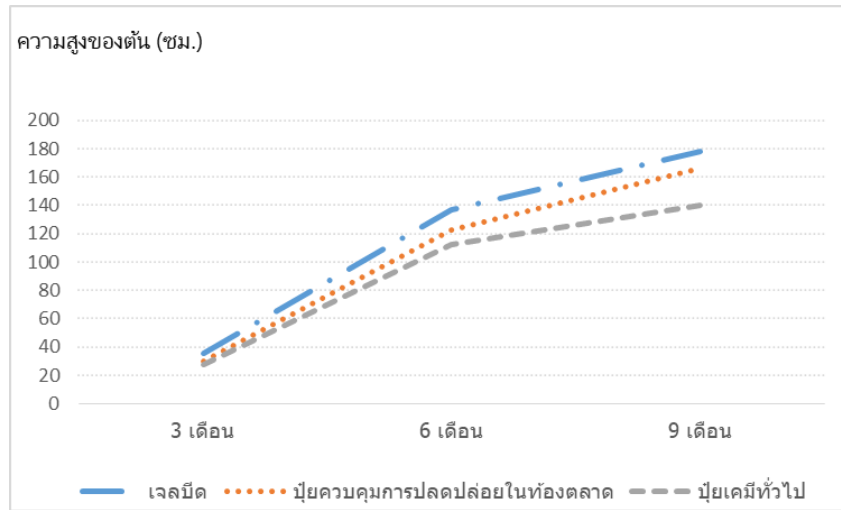
ภาพที่ 4.20 ผลการดูใช้ธาตุโพแทสเซียมจากปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารชนิดอัลจินเตเจลปิด ในใบมันสำปะหลังอายุ 3, 6 และ 9 เดือนหลังปลูก

5. การศึกษาการเติบโตของมันสำปะหลังจากการดูใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดอัลจินเตเจลปิดของมันสำปะหลัง โดยทดสอบในแปลงทดลองในโรงเรือน

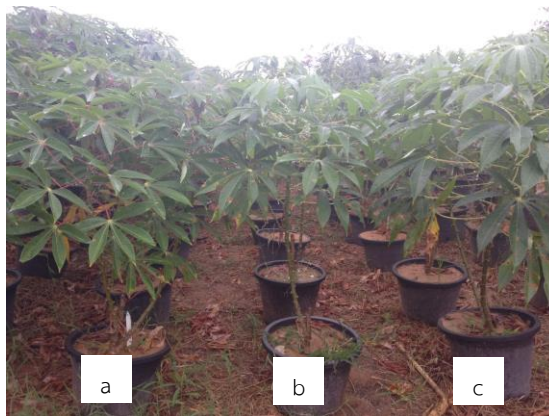
ผลการศึกษาการเติบโตของมันสำปะหลังจากการดูใช้ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดอัลจินเตเจลปิดของมันสำปะหลัง แสดงในตารางที่ 4.9 โดยทดสอบในแปลงทดลองในโรงเรือน พบว่า ทุกตำรับการทดลองของปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารชนิดอัลจินเตเจลปิด มีผลทำให้ความสูงเฉลี่ยของต้นมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นมากกว่าตำรับการทดลองที่ใส่ปุ๋ยละลายช้าที่มีอยู่ในท้องตลาดและปุ๋ยเคมี ในทุกช่วงอายุมันสำปะหลัง โดยในช่วงอายุ 3 เดือน ตำรับการทดลองที่ได้รับปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารชนิดอัลจินเตเจลปิด ต้นมันสำปะหลังมีความสูงเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ $35.2 (\pm 0.15)$ เซนติเมตร, $137.0 (\pm 1.51)$ เซนติเมตร และ $178.0 (\pm 0.36)$ เซนติเมตร ตามลำดับ ตำรับการทดลองที่ได้รับปุ๋ยละลายช้าที่มีอยู่ในท้องตลาด มีความสูงเฉลี่ยรองลงมา โดยมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ $29.5 (\pm 0.75)$ เซนติเมตร, $121.7 (\pm 1.00)$ เซนติเมตร และ $147.5 (\pm 9.54)$ เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนตำรับการทดลองที่ได้รับปุ๋ยเคมี มีความสูงเฉลี่ยต่ำสุด โดยมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ $27.7 (\pm 0.44)$ เซนติเมตร, $112.6 (\pm 1.01)$ เซนติเมตร และ $140.3 (\pm 1.90)$ เซนติเมตร ตามลำดับ ความสูงของต้นมันสำปะหลังในช่วงอายุ 3, 6 และ 9 เดือนจากการใช้ปุ๋ยประเภทต่าง ๆ เปรียบเทียบระหว่างอัลจินเตเจลปิด ปุ๋ยละลายช้าในท้องตลาด และปุ๋ยเคมีทั่วไป แสดงในภาพที่ 4.21 - 4.24 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ความสูงของต้นมันสำปะหลังอายุ 3, 6 และ 9 เดือน จากการใช้ปุ๋ยประเภทต่าง ๆ

ประเภทของปุ๋ย	ความสูงของต้นมันสำปะหลัง (เซนติเมตร)														
	3 เดือน					6 เดือน					9 เดือน				
	1	2	3	\bar{X}	S.D.	1	2	3	\bar{X}	S.D.	1	2	3	\bar{X}	S.D.
อัลจินตเจลบีด	35.2	35.1	35.4	35.2	0.15	135.4	137.4	138.4	137.0	1.51	178.3	177.6	178.1	178.0	0.36
ปุ๋ยละลายช้าในท้องตลาด	30.2	29.6	28.7	29.5	0.75	122.5	120.6	122.1	121.7	1.00	158.3	143.8	140.3	147.5	9.54
ปุ๋ยเคมี	27.6	27.3	28.1	27.7	0.44	114.7	112.7	113.4	112.6	1.01	142.3	140.2	138.4	140.3	1.90



ภาพที่ 4.21 ความสูงของต้นมันสำปะหลังอายุ 3, 6 และ 9 เดือนจากการใช้ปุ๋ยประเภทต่าง ๆ



ภาพที่ 4.22 ความสูงของต้นมันสำปะหลังที่ระยะ 3 เดือน (a) ใส่ปุ๋ยละลายช้าที่ขายในท้องตลาด (b) ใส่ปุ๋ยเคมี (c) ใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดอัลจินเตเจลบีด



ภาพที่ 4.23 ความสูงของต้นมันสำปะหลังที่ระยะ 6 เดือน (a) ใส่ปุ๋ยละลายช้าที่ขายในท้องตลาด (b) ใส่ปุ๋ยเคมี (c) ใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดอัลจินเตเจลปิด



ภาพที่ 4.24 ความสูงของต้นมันสำปะหลังที่ระยะ 9 เดือน (a) ใส่ปุ๋ยเคมี (b) ใส่ปุ๋ยละลายช้าที่ขายในท้องตลาด (c) ใส่ปุ๋ยควบคุมการปลดปล่อยชนิดอัลจินเตเจลปิด