



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพาราในภาคใต้ของประเทศไทย
Potassium Release in Rubber Growing Soils of Southern Thailand

นักวิจัย

ดร. ขวัญตา ขาวมี

โครงการวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนจากเงินรายได้มหาวิทยาลัย ประภทพุนดรณาจารย์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2557 รหัสโครงการ NAT57038S

ชื่อโครงการวิจัย :

การปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพาราในภาคใต้ของประเทศไทย
Potassium release in rubber growing soils of southern Thailand

ชื่อนักวิจัย :

ดร. ขวัญตา ขาวมี

หน่วยงานต้นสังกัด

ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ. สงขลา 90112

โทรศัพท์ 074 286179

E-mail : khwunta.k@psu.ac.th

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
บทคัดย่อ	(6)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	2
2. วิธีการศึกษา	4
3. ผลการทดลอง	7
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง	69
5. สรุปผลการทดลอง	76
6. เอกสารอ้างอิง	77

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ร้อยละอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว และเนื้อดิน	7
3.2 ปริมาณแร่เชิงกึ่งคุณภาพ (semi-quantitative) ในอนุภาคขนาดดินเหนียวในดินปลูกยางพารา	11
3.3 สมบัติทางเคมีของดินปลูกยางพารา	14
3.4 โพลีเอสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินปลูกยางพารา	15
3.5 ร้อยละโพลีเอสเซียมส่วนต่าง ๆ ในดินปลูกยางพารา	16
3.6 ตัวแปรจากสมการการปลดปล่อยโพลีเอสเซียม ใช้อธิบายกลไกการปลดปล่อยโพลีเอสเซียม ของดินปลูกยางพารา โดยใช้ 0.3 M NaTPB	22
3.7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยโพลีเอสเซียม โพลีเอสเซียมรูปต่าง ๆ และสมบัติบางประการของดิน	24
3.8 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังปลูกยางพารา	27
3.9 โพลีเอสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินก่อนและหลังปลูกยางพารา	28
3.10 ร้อยละโพลีเอสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินก่อนและหลังปลูกยางพารา	29
3.11 ตัวแปรจากสมการการปลดปล่อยโพลีเอสเซียม ใช้อธิบายกลไกการปลดปล่อยโพลีเอสเซียม ของดินหลังปลูกยางพารา โดยใช้ 0.3 M NaTPB	35
3.12 ผลของการใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราอายุ 8 เดือน ที่ปลูกในดิน KLM 27	44
3.13 ผลของการใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราอายุ 8 เดือน ที่ปลูกในดิน KLM 24	45
3.14 ผลของการใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราอายุ 8 เดือน ที่ปลูกในดิน RLI 6	46
3.15 ผลของการใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราอายุ 16 เดือน ที่ปลูกในดิน KLM 27	49
3.16 ผลของการใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราอายุ 16 เดือน ที่ปลูกในดิน KLM 24	50
3.17 ผลของการใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช ในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราอายุ 16 เดือน ที่ปลูกในดิน RLI 6	51
3.18 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยโพลีเอสเซียม โพลีเอสเซียมรูปต่าง ๆ ของดิน ปลูกยางพารา การเจริญเติบโต และการดูดใช้โพลีเอสเซียมของยางพารา	54
3.19 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังปลูกข้าวโพดหวาน	56
3.20 โพลีเอสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินก่อนและหลังปลูกข้าวโพดหวาน	57
3.21 ร้อยละโพลีเอสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินก่อนและหลังปลูกข้าวโพดหวาน	57
3.22 ตัวแปรจากสมการการปลดปล่อยโพลีเอสเซียม ใช้อธิบายกลไกการปลดปล่อยโพลีเอสเซียม ของดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน โดยใช้ 0.3 M NaTPB	59

- 3.23 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมและธาตุอาหารพืชอื่น ๆ ในราก ลำต้น และฝัก
ของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน KLM 27 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) 64
- 3.24 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมและธาตุอาหารพืชอื่น ๆ ในราก ลำต้น และฝัก
ของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน KLM 24 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) 65
- 3.25 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมและธาตุอาหารพืชอื่น ๆ ในราก ลำต้น และฝัก
ของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน RLI 6 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) 65
- 3.26 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม (b) ของดินปลูกข้าวโพดหวาน
กับการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวาน 68

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 แบบรูปการแผ่กระจายเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาคขนาดดินเหนียวของดิน	8
3.2 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง	17
3.3 การใช้สมการ First order อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง	18
3.4 การใช้สมการ Parabolic diffusion อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง	19
3.5 การใช้สมการ Power function อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง	20
3.6 การใช้สมการ Elovic อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง	21
3.7 เปรียบเทียบแบบรูปการแผ่กระจายเบนรังสีเอกซ์ ของอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินหลังปลูกยางพารา โดยวิเคราะห์ตัวอย่างที่อิมด้วยแมกนีเซียม	26
3.8 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง	30
3.9 การใช้สมการ First order อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง	31
3.10 การใช้สมการ Parabolic diffusion อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง	32
3.11 การใช้สมการ Power function อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง	33
3.12 การใช้สมการ Evolic อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง	34
3.13 การเจริญเติบโตของยางพารา อายุ 8 เดือน ที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27, KLM 24 และ RLI 6 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)	38
3.14 การเจริญเติบโตของยางพารา อายุ 16 เดือน ที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27, KLM 24 และ RLI 6 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)	38
3.15 การเจริญเติบโตทางด้านความสูงลำต้น (a) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (b) จำนวนใบ (c) จำนวนก้านใบ (d) และพื้นที่ใบ (e) ของยางพาราที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)	39
3.16 การเจริญเติบโตทางด้านความสูงลำต้น (a) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (b) จำนวนใบ (c) จำนวนก้านใบ (d) และพื้นที่ใบ (e) ของยางพาราที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 24 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)	40

- 3.17 การเจริญเติบโตทางด้านความสูงลำต้น (a) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (b) จำนวนใบ (c) จำนวนก้านใบ (d) และพื้นที่ใบ (e) ของยางพาราที่ปลูกในตัวอย่างดิน RLI 6 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) 41
- 3.18 น้ำหนักแห้งใบ ก้าน ลำต้น รากแก้ว รากแขนง และน้ำหนักแห้งรวมของยางพาราอายุ 8 เดือน ที่ปลูกในดินที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) 42
- 3.19 น้ำหนักแห้งใบ ก้าน ลำต้น รากแก้ว รากแขนง และน้ำหนักแห้งรวมของยางพาราอายุ 16 เดือน ที่ปลูกในดินที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) 42
- 3.20 การดูดใช้ธาตุอาหารพืชในกล้ายางพาราอายุ 8 เดือน ที่ปลูกในดิน KLM 27, KLM 24 และ RLI 6 47
- 3.21 การดูดใช้ธาตุอาหารพืชในกล้ายางพาราอายุ 16 เดือน ที่ปลูกในดิน KLM 27, KLM 24 และ RLI 6 52
- 3.22 การใช้สมการ Parabolic diffusion, Power function, Elovich function และ First order อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกข้าวโพดหวาน โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง 58
- 3.23 การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในตัวอย่างดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (KLM 27-K, RLI-K และ KLM 24-K) (a) และที่ใส่ปุ๋ยโพแทช (KLM+K, RLI+K, KLM 24+K) (b) 61
- 3.24 การเจริญเติบโตทางด้านความสูงลำต้น (a, c, e) และเส้นรอบวงลำต้น (b, d, f) ของข้าวโพดหวานที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27, KLM 24 และ RLI 6 ตามลำดับ ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) 62
- 3.25 น้ำหนักแห้งราก ลำต้น ฝัก และน้ำหนักแห้งรวมของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน KLM 27, KLM 24 และ RLI 6 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) 63
- 3.26 การดูดใช้โพแทสเซียม และธาตุอาหารพืชอื่น ๆ ของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน KLM 27, KLM 24 และ RLI 6 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) 66

บทคัดย่อ

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในภาคใต้ของประเทศไทย ดินที่ปลูกยางพาราในภาคใต้ส่วนใหญ่เป็นดินที่มีพัฒนาการสูงและในอนุภาคขนาดดินเหนียวพบแร่เคโอลิไนต์เป็นแร่เด่น อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยก่อนหน้านี้รายงานว่า ดินปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลาบางพื้นที่มีศักยภาพที่จะเป็นแหล่งสำรองโพแทสเซียมในแก่พืชได้ ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากดินปลูกยางในจังหวัดสงขลา รวมทั้งศึกษาการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี แร่วิทยา และอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินบนที่ใช้ปลูกยางพารา 20 ตัวอย่าง และศึกษาการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของยางพารา (ขนาด 1 ฉัตร) พันธุ์ RRIM 600 และข้าวโพดหวาน ในดินบนของดินปลูกยางพารา 3 ตัวอย่างดิน ที่มีปริมาณโพแทสเซียมที่ถูกตรึงแตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า ดินปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลาส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มดินร่วนและในอนุภาคขนาดดินเหนียวพบแร่เคโอลิไนต์เป็นแร่เด่นรวมทั้งพบแร่อื่น ๆ เช่น ควอตซ์ อิลไลต์ และพบแร่สเมกไทต์และแร่สอดชั้นด้วยไฮดรอกซีอะลูมิเนียมเพียงเล็กน้อย ดินเหล่านี้มีปฏิกิริยาเป็นกรดและมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดังนั้นอิทธิพลของสมบัติดินดังกล่าวมานี้ย่อมมีผลทำให้รูปของโพแทสเซียมและอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินแต่ละดินแตกต่างกัน โดยพบว่าดินปลูกยางพารามีปริมาณโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ทันทีและรูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้า ๆ น้อยแต่มีโพแทสเซียมในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์สูง และพบว่า ปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียมด้วยวิธีสกัดด้วย NaTPB สูงกว่าที่สกัดด้วยกรดไนตริก สมการ Elovich สามารถใช้เป็นสมการคาดคะเนการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีที่สุด และพบว่า อัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม (ค่าคงที่ความชันจากสมการ Elovich ; b) มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณอนุภาคขนาดทราย แป้งและดินเหนียว

เมื่อประเมินการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของยางพาราและข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินที่มีแหล่งสำรองโพแทสเซียมแตกต่างกันที่มีการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทชไม่เพิ่มการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของยางพารา และพบว่า การเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของยางพารามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดิน (ค่าคงที่ความชันจากสมการ Elovich ; b) ส่วนในข้าวโพดหวานการใส่ปุ๋ยโพแทชทำให้การเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้น และพบความสัมพันธ์เชิงบวกสูงระหว่างปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวานกับโพแทสเซียมรูปที่สกัดด้วยกรดไนตริกซึ่งเป็นโพแทสเซียมส่วนที่เป็นประโยชน์ทันทีและโพแทสเซียมที่สามารถปลดปล่อยออกมาให้แก่พืชได้ การศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า การประเมินอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินน่าจะเหมาะสมสำหรับกับพืชยืนต้นมากกว่าพืชฤดูเดียว

Abstract

Rubber (*Hevea brasiliensis*) is an important economic crop in the South of Thailand. Rubber growing soils of southern Thailand are commonly highly weathered, having a clay fraction that is dominated by kaolinite. However, previous researches found that some rubber growing soils in Songkhla province have the potential as the potassium supply for plants. Therefore, the objective of this study was to determine potassium release rate from rubber growing soils in Songkhla province and to estimate plant growth and potassium uptake. The physicochemical, and mineralogical properties and potassium release rate of 20 surface soil samples were studied. Plant growth and potassium uptake by rubber planting material (1 whorl) clone RRIM 600 and sweet corn were studied of 3 surface soil samples which were different amounts of fixed potassium. The result showed that loamy soils were dominant in the rubber growing soils of Songkhla province and the clay fraction was dominated by kaolinite with various amounts of accessory minerals such as quartz, illite and very small amounts of smectite and hydroxy aluminum interlayered minerals. These soils were acidic and infertile. Therefore, Potassium forms and potassium release rates differed from soil to soil as a function of these properties. Rubber growing soils were small amounts of readily and slowly available forms but were large amounts of relative unavailable forms. The amounts of released potassium with NaTPB extraction were higher than with nitric acid extraction. The Elovich equation described that potassium release kinetics the best among the four equations studied. The slope constants (potassium release rate ; b) of this equation were strongly positive related to amounts of silt and clay particles.

Plant growth and potassium uptake by rubber and corn were studied in soils which were different amounts of fixed potassium. Application of potassium did not increase the plant growth and potassium uptake of rubber. Both of plant growth and potassium uptake of rubber were positively correlated with soil potassium release rates (Elovich slope constant ; b). On the other hand, the application of potassium increased the plant growth and potassium uptake of corn and they were strongly positive correlated with $\text{HNO}_3\text{-K}$, readily and slowly available forms. This study suggests that determination of soil potassium release rate for perennial plant may be more suitable than annual plant.

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2556) พบว่า ในปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกยางพาราทั้งสิ้น 19,272,941 ไร่ ปลูกมากที่สุดในพื้นที่ภาคใต้ซึ่งมีเนื้อที่ปลูกยางพาราทั้งสิ้น 12,199,174 ไร่ ลักษณะของดินส่วนใหญ่ที่ใช้ปลูกยางพาราเป็นดินที่ดอนซึ่งมีหน้าดินลึกเป็นพื้นที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา มีการศึกษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ใช้ปลูกยางพาราในภาคใต้ ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร พบว่า ดินส่วนใหญ่เป็นดินกรด pH อยู่ในช่วง 5.1-5.5 อินทรีย์วัตถุ 15 - 35 กรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่สกัดได้ 60-90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (นวลศรี และคณะ, 2543) สอดคล้องกับการศึกษาสมบัติทางเคมีของดินบน (0-30 cm) ของดินปลูกยางพาราในภาคใต้ พบว่า pH อยู่ในช่วง 4.3 - 5.0 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 4 - 23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่สกัดได้ 0.50 - 0.87 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.06 - 2.08 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.03 - 0.44 เซนติโมลประจูดต่อกิโลกรัม (นุชนารถ และคณะ, 2522) จากข้อมูลเห็นได้ว่าดินในภาคใต้มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ อย่างไรก็ตามจากศึกษารูปของโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลาพบว่า ดินปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลาบางพื้นที่มีศักยภาพที่จะเป็นแหล่งสำรองโพแทสเซียมในดินในระยะยาวได้ (จักรกฤษณ์ และคณะ, 2556) โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของยางพารา เป็นธาตุที่ช่วยในการเคลื่อนย้ายซูโครส ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสร้างน้ำยางพาราเข้าสู่ท่ออาหาร หน้าที่ควบคุมการเปิดปิดของปากใบ ควบคุมสมดุลน้ำ (Joseph *et al.*, 1998) การขาดโพแทสเซียมในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของยางพาราจะจำกัดกิจกรรมการสังเคราะห์แสงของใบยางพารา เป็นผลให้เส้นรอบวงลำต้นเจริญช้าทำให้การเปิดกรีดช้า (von Uexkull and Cohen, 1980) โพแทสเซียมในดินแบ่งออกเป็น 4 รูป ได้แก่ โพแทสเซียมในสารละลายดิน (soil solution K) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) โพแทสเซียมที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (non-exchangeable K) และโพแทสเซียมในโครงสร้างของแร่ในดิน (K in soil minerals) โดยทั่วไปการวิเคราะห์โพแทสเซียมในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะวิเคราะห์จากส่วนโพแทสเซียมในสารละลายดินและที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งเรียกว่า เป็นส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทันที อย่างไรก็ตามจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของพืชกับโพแทสเซียมในรูปนี้พบว่า มีความสัมพันธ์กันน้อย (Cox *et al.*, 1999) คือพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี แต่ผลการวิเคราะห์โพแทสเซียมรูปนี้ในดินต่ำ นอกจากนั้นจากการศึกษาของจำป็นและคณะ (2556) พบว่าดินเนื้อละเอียดที่ใช้ในการปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลามีโพแทสเซียมในรูปที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้สูง และพบว่าโพแทสเซียมรูปนี้สัมพันธ์กับโพแทสเซียมในใบยางพารา ทั้งนี้อาจเนื่องจากโพแทสเซียมในรูปที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาให้แก่พืช ดังนั้น จึงมีความสนใจศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลา ที่มีศักยภาพที่จะเป็นแหล่งสำรองโพแทสเซียมในดินได้ เพื่อทำให้ทราบว่าโพแทสเซียมจากแหล่งสำรองเหล่านี้ มีความสามารถในการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาให้กับยางพาราได้มากน้อยเพียงใด และนำไปสู่การจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมที่ถูกต้องต่อไป

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อประเมินอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากดินที่ใช้ปลูกยางพาราในภาคใต้
- 2.2 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและดูใช้โพแทสเซียมของพืช

3. การตรวจเอกสาร

3.1 ความสำคัญของโพแทสเซียมต่อยางพารา โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของยางพารา เป็นธาตุที่ช่วยในการเคลื่อนย้ายซูโครส ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสร้างน้ำยางพาราเข้าสู่ท่ออาหาร ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดปิดของปากใบ ควบคุมสมดุลน้ำ (Joseph *et al.*, 1998) รวมทั้งเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ไฟรูเวตคิเนสที่ใช้ในการสร้างน้ำยางพารา (Jacob *et al.*, 1989) การขาดโพแทสเซียมในช่วงแรกของการเจริญเติบโตของยางพาราจะจำกัดกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงของใบยางพารา เป็นผลให้เส้นรอบวงลำต้นเจริญช้าและทำให้การเปิดกรีดช้า (von Uexkull and Cohen, 1980) นอกจากนั้นพบว่า เมื่อยางพาราได้รับโพแทสเซียมอย่างเพียงพอมีผลทำให้ความหนาของเปลือก ความหนาของท่ออาหาร ขนาดเซลล์ ขนาดท่อน้ำยางพารา และจำนวนท่อน้ำยางเพิ่มขึ้น (Pushparajah *et al.*, 1974; Sanisidar *et al.*, 1975 อ้างโดย von Uexkull and Cohen, 1980) นอกจากนี้ ในยางพาราอ่อนที่ได้รับโพแทสเซียมอัตรา 66 กรัมต่อต้นต่อปี พบว่า ยางพาราอ่อนมีความสูง เส้นรอบวงลำต้น จำนวนใบ ความยาวราก และน้ำหนักแห้ง สูงกว่ายางพาราอ่อนที่ได้รับโพแทสเซียมอัตรา 33 กรัมต่อต้นต่อปี (อัตราแนะนำ) และไม่ได้รับปุ๋ย (Samarappuli *et al.*, 1993) ตามลำดับ เมื่อยางพาราได้รับโพแทสเซียมสูงขึ้นส่งผลให้โพแทสเซียมในใบ (สิทธิชัยและคณะ, 2556ก) และโพแทสเซียมในเข้มน้ำยางพารา (สิทธิชัยและคณะ, 2556ข) สูงขึ้นด้วย ยางพาราจะตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมได้อย่างชัดเจนเมื่อดินมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (นุชนารถ, 2550) และดินปลูกยางพาราก่อนเปิดกรีดหากมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จัดว่าดินมีโพแทสเซียมในระดับต่ำ (สายใจ, 2554)

3.2 รูปของโพแทสเซียมในดิน โพแทสเซียมในดินแบ่งออกได้เป็น 4 รูป ได้แก่ โพแทสเซียมในสารละลายดิน (soil solution K) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) โพแทสเซียมที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (non-exchangeable K) และโพแทสเซียมในโครงสร้างของแร่ในดิน (K in soil minerals) แต่ละรูปมีความสามารถในการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกัน ดังนี้

ส่วนที่เป็นประโยชน์ทันที (readily available) โพแทสเซียมในส่วนนี้ประกอบด้วยโพแทสเซียมในสารละลายดินและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ซึ่งทั้ง 2 รูปนี้มีอยู่ในดินประมาณร้อยละ 0.1-2.0 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน (Havlin *et al.*, 2005) เป็นส่วนที่อยู่ในสารละลายดินและที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์และอินทรีย์วัตถุ พร้อมทั้งจะแลกเปลี่ยนกับแคตไอออนอื่น ๆ ที่อยู่ในสารละลายดินหรือที่ถูกดูดซับอยู่ที่คอลลอยด์

ส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างช้าๆ (slowly available) โพแทสเซียมในส่วนนี้ประกอบด้วยโพแทสเซียมที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ มีอยู่ในดินประมาณร้อยละ 1-10 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน (Havlin *et al.*, 2005) เป็นส่วนที่ถูกตรึงไว้ในหลัประหวางชั้นของแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 โดยสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาได้เมื่อปัจจัยต่าง ๆ เหมาะสม

ส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไม่ได้ทันที (relative unavailable) โพแทสเซียมรูปนี้พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีโพแทสเซียมส่วนนี้มีถึงร้อยละ 90-98 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน หรือประมาณ 5,000-25,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Havlin *et al.*, 2005) โพแทสเซียมส่วนนี้อยู่ในรูปองค์ประกอบของแร่ พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ต้องเกิดการผุพังของแร่และจะปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาในรูปต่าง ๆ ได้ ซึ่งกระบวนการนี้ต้องใช้เวลานาน ขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมและชนิดของแร่ในดิน

โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินดังกล่าวข้างต้นมักจะมีความสัมพันธ์กัน โดยมีรายงานความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่สกัดได้กับโพแทสเซียมในละลายดินและโพแทสเซียมที่สกัดได้กับโพแทสเซียมที่ถูกตรึงในดิน (Darunsontaya *et al.*, 2012) และจากการศึกษารูปของโพแทสเซียมในดินที่ดอนและที่ลุ่มที่ใช้ปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลา พบความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมในสารละลายดิน โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และโพแทสเซียมที่สกัดได้ทั้งดินในที่ดอนและที่ลุ่ม (จักรกฤษณ์ และคณะ, 2556) นอกจากนี้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ กับการเจริญเติบโตของพืช พบความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่สกัดได้ด้วยกรดไนตริกและโพแทสเซียมที่พืชดูดใช้สูงกว่าโพแทสเซียมที่สกัดได้ด้วยแอมโมเนียมอะซิเตตกับโพแทสเซียมที่พืชดูดใช้ (Jalali, 2006) และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และน้ำหนักแห้งของพืช พบว่า มีความสัมพันธ์กับรูปของโพแทสเซียมที่สกัดได้ด้วยแอมโมเนียมอะซิเตตเฉพาะในดินที่มีโพแทสเซียมที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ต่ำ (Cox *et al.*, 1999) จากข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเหล่านี้จึงทำให้มีความสนใจที่จะศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากส่วนโพแทสเซียมที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้

3.3 การปลดปล่อยโพแทสเซียมจากดิน การวิเคราะห์โพแทสเซียมในรูปที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ มีวิธีการสกัดด้วยกันหลายวิธีการ เช่น การสกัดโพแทสเซียมโดยใช้กรดไนตริก (HNO_3) หรือการสกัดโพแทสเซียมโดยใช้กรดไนตริกผสมเปอร์คลอริก (Jones, 2001) การสกัดโพแทสเซียมโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนบนเรซินกับโพแทสเซียมที่อยู่ในดิน (cation exchange resin) (Rahmatullah and Mengel, 2000) และการสกัดโดยใช้โซเดียมเตตระฟีนิลโบรอน (Sodium tetraphenylboron ; NaTPB) (Schulte and Corey, 1963, 1965 ; Cox *et al.*, 1996 ; Darunsontaya *et al.*, 2010) อย่างไรก็ตามผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมโดยสกัดด้วย NaTPB ซึ่งการใช้สารชนิดนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากรูปที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ โดยวิธีนี้มีกลไกคือ Tetraphenyl boron ซึ่งเป็นแอนไอออนจะไปจับกับโพแทสเซียมไอออนในดิน จากนั้นจะเกิดการตกตะกอนเป็น potassium tetraphenylboron (KTPB) และวัดปริมาณโพแทสเซียมไอออนในสารละลายโดยใช้เทคนิคการวัดการปลดปล่อยแสงของอะตอม (atomic emission spectrophotometry) มีรายงานว่า การใช้ 0.03 โมลาร์ NaTPB ในการสกัดโพแทสเซียมในดินประเทศนิวซีแลนด์ โดยใช้เวลา 16 ชั่วโมงพบว่า โพแทสเซียมที่สกัดได้ด้วย NaTPB มีความสัมพันธ์สูงกับการดูดใช้โพแทสเซียมของหญ้าไรย์ (*Lolium perenne* L.) สอดคล้องกับการศึกษาของ Schulte และ Corey (1965) ซึ่งพบสัมพันธ์สูงระหว่างโพแทสเซียมที่สกัดได้โดย NaTPB กับโพแทสเซียมที่พืชดูดกิน และมีผลการศึกษาที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เช่น Cox และคณะ (1999) พบความสัมพันธ์ระหว่างโพแทสเซียมที่สกัดได้โดย NaTPB กับโพแทสเซียมที่พืชดูดกินและน้ำหนักแห้งของพืช นอกจากนี้ในประเทศไทยได้มีการศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมโดยวิธีนี้ในดินที่มีการผุพังสูง ผลการทดลอง พบว่า การปลดปล่อยโพแทสเซียมจากอนุภาคขนาดดินเหนียวที่มีแร่โอลิโกสโกลีไนต์สูงกว่าอนุภาคขนาดดินเหนียวที่มีแร่เคโอลิไนต์ (Darunsontaya *et al.*, 2010) อย่างไรก็ตามไม่เคยมีการศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากดินที่ใช้ปลูกยางพาราในภาคใต้ของประเทศไทย ดังนั้นการศึกษานี้จะทำให้ทราบว่าโพแทสเซียมจากแหล่งสำรองเหล่านี้ มีความสามารถในการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาให้กับยางพาราได้มากน้อยเพียงใด เพื่อนำไปสู่การจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมในระยะยาว

บทที่ 2

วิธีการศึกษา

1. การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-30 เซนติเมตร ในระยะก่อนใส่ปุ๋ยจากสวนยางพาราในจังหวัดสงขลา 20 แปลง จากอำเภอรัตภูมิ (R) อำเภอลงขัน (K) และอำเภอนาทวี (N) ในแปลงยางพาราก่อนเปิดกรีด (I) และหลังเปิดกรีด (M) ในที่ลุ่ม (L) และที่ดอน (U) โดยเลือกตัวอย่างดินที่มีโพแทสเซียมในรูปที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้สูง เก็บดินแปลงละ 9 จุด โดยสุ่มแบบ X-Shape จากชุดดินวิสัย (Fine-loamy, mixed, semiactive, isohyperthermic Typic Plinthaquults) ได้แก่ ตัวอย่างดิน KLI 17, KLI 18, KLI 22, KLI 25 KLI 29, KLM 24, KLM 26, KLM 27, RLI 6, RLI 9, RLI 10, RLI 15, RUI 17, RLM 4, RLM 7, RLM 8 และ RLM 11 ชุดดินบางนารา (Fine, kaolinitic, isohyperthermic Typic Paleaquults) ได้แก่ ตัวอย่างดิน KLM 20 ชุดดินคองหัง (Coarse-loamy, kaolinitic, isohyperthermic Typic Kandiodults) ได้แก่ ตัวอย่างดิน KUM 11 และชุดดินพะโต๊ะ (Loamy-skeletal, mixed, semiactive, isohyperthermic Typic Hapludults) ได้แก่ ตัวอย่างดิน NUM 11 (กองสำรวจดิน, 2516) นำดินแต่ละจุดคลุกเคล้ากัน แบ่งดินนำมาผึ่งให้แห้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 2 มิลลิเมตร แบ่งดินเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และแร่วิทยาของดิน วิเคราะห์รูปโพแทสเซียมที่สกัดได้โดยวิธีต่าง ๆ (Samadi *et al.*, 2008) และศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากดิน และส่วนที่ 2 คัดเลือกตัวอย่างดินจากตัวอย่างข้างต้น 3 ตัวอย่างดิน เพื่อทดสอบปลูกยางพาราและข้าวโพดหวานในกระถางในเรือนทดลอง

2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ แร่วิทยา และเคมีของดินปลูกยางพารา

สมบัติทางกายภาพที่ศึกษาได้แก่ การวิเคราะห์เนื้อดิน โดยวิเคราะห์ร้อยละอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว โดยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (Gee and Bauder, 1986) และวิเคราะห์แร่วิทยาของดิน โดยเน้นถึงการศึกษาชนิดของแร่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียว โดยวิธีเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction analysis; XRD) (Whittig and Allardice, 1986)

วิเคราะห์สมบัติทางเคมีตามคู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำป๋น และจักรกฤษณ์, 2555) ประกอบด้วย ปฏิกริยาดิน (pH) ในอัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 โดยใช้พีเอชมิเตอร์ สภาพการนำไฟฟ้า (EC) ของดินในอัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 โดยใช้เครื่องวัดการนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ (OM) คำนวณจากการวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์โดยวิธี Walkley and Black ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) โดยการสกัดด้วยสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตต (1 M NH₄OAc pH 7) และแทนที่แอมโมเนียมไอออนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในสภาพเป็นกรด กลั่นหาแอมโมเนียมไอออน ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) โดยวิธี Kjeldahl ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avai. P) โดยวิธีเบรย์ทู (Bray II method) แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่สกัดได้ โดยสกัดด้วย 1 โมลาร์ NH₄OAc pH 7 และวัดปริมาณด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer

ศึกษาโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ได้แก่ โพแทสเซียมในสารละลายดิน (Samadi *et al.*, 2008) โพแทสเซียมที่สกัดได้โดยแอมโมเนียมอะซิเตต (จำป๋น และจักรกฤษณ์, 2555) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Samadi *et al.*, 2008) โพแทสเซียมที่สกัดได้โดยกรดไนตริก (Helmke and Sparks, 1996) โพแทสเซียมที่ถูกตรึง (Samadi *et al.*, 2008) และ โพแทสเซียมทั้งหมดในดิน (Helmke and Sparks, 1996)

ศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมก่อนการปลูกพืช โดยสกัดด้วย 0.3 โมลาร์ Sodium tetraphenyl boron (NaTPB) (Schulte and Corey, 1963, 1965; Darunsontaya *et al.*, 2010) ซึ่งการใช้ NaTPB เป็นวิธีที่นิยมใช้ศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากรูปที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ และวัดปริมาณโพแทสเซียมไอออนในสารละลายโดยใช้เทคนิค Atomic Emission Spectrophotometry นำค่าการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่ได้ลบโพแทสเซียมที่สกัดได้ด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้เข้าสมการการปลดปล่อยโพแทสเซียม ได้แก่

First order; $\ln(k_0 - k_t) = a - bt$

Parabolic diffusion; $k = a + bt^{1/2}$

Power function equation; $k = at^b$ or $\ln(k) = \ln(a) + b\ln(t)$

Elovich equation; $k = a + b\ln(t)$

เมื่อ k คือ โพแทสเซียมที่ปลดปล่อยได้ t คือเวลา a และ b คือ ค่าคงที่ซึ่งในแต่ละสมการจะแตกต่างกัน ในสมการเหล่านี้ ค่าคงที่ a คือ โพแทสเซียมเริ่มต้น ($t = 0$) ที่ปลดปล่อยออกจากดิน ค่าคงที่ b คือ อัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม k_0 คือ โพแทสเซียมที่ปลดปล่อยได้สูงสุด k_t คือ โพแทสเซียมที่ปลดปล่อยได้ที่เวลาต่าง ๆ

3. ศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินและการดูใช้โพแทสเซียมของพืช

พืชที่ใช้ทดสอบคือ กล้ายางพาราพันธุ์ RRIM 600 และข้าวโพดหวาน โดยทำการทดลองในเรือนทดลองคณะทรัพยากรธรรมชาติ คัดเลือกตัวอย่างดินมา 3 ตัวอย่างดิน จากชุดดินวิสัย (Fine-loamy, mixed, semiactive, isohyperthermic Typic Plinthaquults) (กองสำรวจดิน, 2516) ที่มีระดับโพแทสเซียมในรูปที่ถูกตรึง (Fixed-K) ซึ่งเป็นแหล่งสำรองของโพแทสเซียมแตกต่างกัน ได้แก่ ตัวอย่าง KLM 27, RLI 6 และ KLM 24 มี Fixed-K เท่ากับ 234.9, 140.9 และ 41.0 mg kg⁻¹ ตามลำดับ เพื่อใช้ในการศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินและการดูใช้โพแทสเซียมของพืช โดยแบ่งการทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 ใช้กล้ายางพาราพันธุ์ RRIM 600 ระยะ 1 ฉัตร ปลูกลงกระถางขนาด 30 ลิตร ดินจำนวน 28 กิโลกรัม กระถางละ 1 ต้น ประกอบด้วย 2 ทริตเมนต์ 5 ซ้ำ ทริตเมนต์ที่ 1 ใส่ปุ๋ย N P K ให้เพียงพอ กับความต้องการของยางพารา (คำนวณจากปุ๋ยสูตร 20-8-20 อัตรา 5 g/ต้น) อัตรา 36 mg N kg⁻¹ soil, 14 mg P₂O₅ kg⁻¹ soil และ 36 mg K₂O kg⁻¹ soil และทริตเมนต์ที่ 2 ใส่ปุ๋ย N P ให้เพียงพอ กับความต้องการของยางพารา ยกเว้น K แบ่งเป็น 2 ชุดทดลอง ชุดทดลองที่ 1 แต่ละชุดดินทำ 5 ซ้ำ เพื่อใช้สำหรับเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตตั้งแต่เริ่มปลูกจนกระทั่งยางพาราอายุ 8 เดือน และทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต และชุดทดลองที่ 2 แต่ละชุดดินทำ 5 ซ้ำ เหมือนกับชุดทดลองที่ 1 แต่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของยางพาราอายุ 16 เดือน ให้น้ำที่ระดับร้อยละ 70 ของความชื้นสนาม ตลอดการทดลอง 16 เดือน ทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 4 เดือน ประกอบด้วย พื้นที่ใบ โดยใช้วิธีวัดรูปขนาดของใบลงบนกระดาษและนำมาชั่งน้ำหนัก และวัดการเจริญของใบ โดยวัดความกว้างและความยาวของใบจากใบกลาง ของก้านใบที่ 3 จากฉัตรที่ 3 ของต้นยางพารา วัดความสูงและเส้นรอบวงที่ตำแหน่ง 10 เซนติเมตร เหนือกิ่งที่แตกใหม่จากต้นต่อเดิม และเมื่อสิ้นสุดการทดลองของแต่ละชุดการทดลอง ทำการเก็บข้อมูลดินและต้นกล้ายางพารา ในส่วนของดินนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังจากการปลูกพืชตามวิธีข้างต้น ส่วนของต้นกล้ายางพาราทำการแยกส่วน โดยแยกเป็น ส่วนใบ ก้านใบ ลำต้น รากแก้ว และรากแขนง เพื่อศึกษาการดูใช้โพแทสเซียมของพืช และการดูใช้ธาตุอื่น ๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม โดยไนโตรเจน วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ในขณะที่ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ย่อยด้วยกรดผสม

ไนทริกและเพอร์คลอริก แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสด้วยวิธี Vanadomolybdate และวัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer และวิเคราะห์โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (จำเป็็น และจักรกฤษณ์, 2555)

การทดลองที่ 2 ใช้ข้าวโพดหวานเป็นพืชทดสอบ เนื่องจากเป็นพืชที่ต้องการโพแทสเซียมสูงและโตเร็ว ปลูกลงกระถางขนาด 10 ลิตร ใช้ดิน 7 กิโลกรัมต่อกระถาง ประกอบด้วย 2 ทริตเมนต์ 3 ซ้ำ ทริตเมนต์ที่ 1 ใส่ปุ๋ย N P K (อัตรา 200 mg N kg⁻¹ soil, 150 mg P₂O₅ kg⁻¹ soil และ 150 mg K₂O kg⁻¹ soil) และทริตเมนต์ที่ 2 ใส่ปุ๋ย N P ยกเว้น K ทำการปลูกข้าวโพดหวาน 5 เมล็ดต่อกระถาง ที่ระดับความลึก 2-3 เซนติเมตร เมื่อต้นกล้าอายุประมาณ 14 วันถอนต้นกล้าออกให้เหลือเพียงต้นเดียว ให้น้ำตลอดการทดลอง ทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 20, 40 และ 60 วัน ประกอบด้วยความสูง และเส้นรอบวงลำต้น โดยวัดที่ตำแหน่งเหนือดิน 5 เซนติเมตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ทำการเก็บข้อมูลของดินและเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวาน ในส่วนของดินนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ และการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังจากการปลูกพืช ส่วนของข้าวโพดหวานทำการแยกส่วน โดยแยกเป็น ราก ลำต้น และฝัก เพื่อศึกษาการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช และการดูดใช้ธาตุอื่น ๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม ตามวิธีข้างต้น

การวิเคราะห์สถิติ นำข้อมูลการเจริญเติบโต ปริมาณธาตุอาหารในดินและในส่วนต่าง ๆ ของยางพารา และข้าวโพดหวานมาหาค่าเฉลี่ย และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยการทดสอบสมมติฐานของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (independent sample t-test) และหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ การเจริญเติบโต และการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช

บทที่ 3

ผลการทดลอง

1. สมบัติของดินปลูกยาพารา

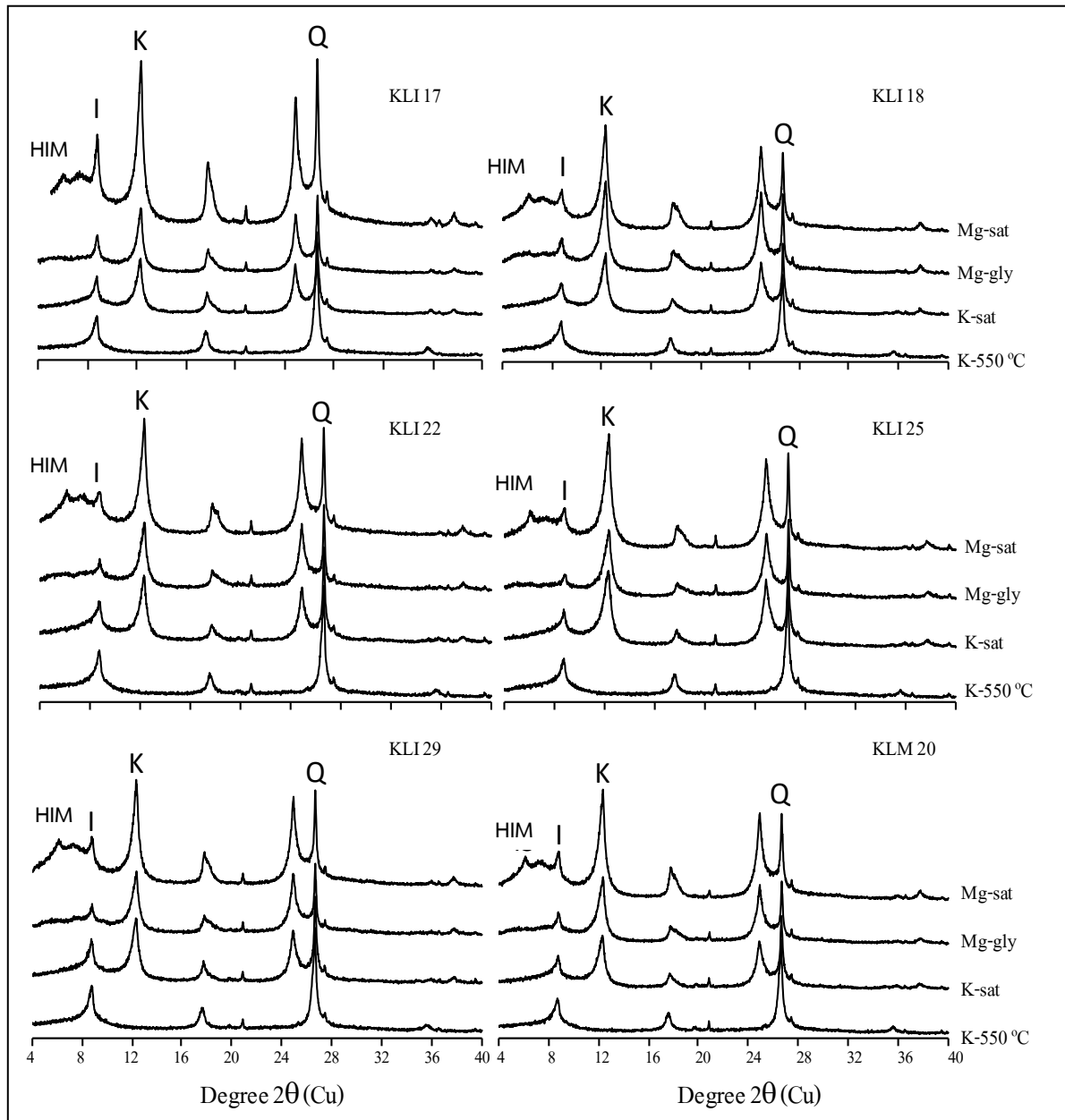
1.1 สมบัติทางกายภาพของดินปลูกยาพารา ดินปลูกยาพาราส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มดินร่วน ประกอบด้วยดินเนื้อค่อนข้างหยาบ ปานกลาง จนถึงดินเนื้อค่อนข้างละเอียด ได้แก่ ดินร่วนปนทราย (KUM 11, RLI 6, RLM 7 และ RLM 11) ดินร่วน (KLM 20, RLI 9, RLI 10, RLM 4, RLM 8 และ RUI 17) ดินร่วนปนทรายแป้ง (KLI 25) ดินร่วนเหนียว (KLI 17, KLI 22, KLI 29, KLM 24, KLM 26, KLM 27 และ NUM 28) ดินร่วนเหนียวปนทราย (RLI 15) และจัดอยู่ในกลุ่มดินเหนียว ได้แก่ ดินเหนียว (KLI 18) (ตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 ร้อยละอนุภาคขนาดทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว และเนื้อดิน

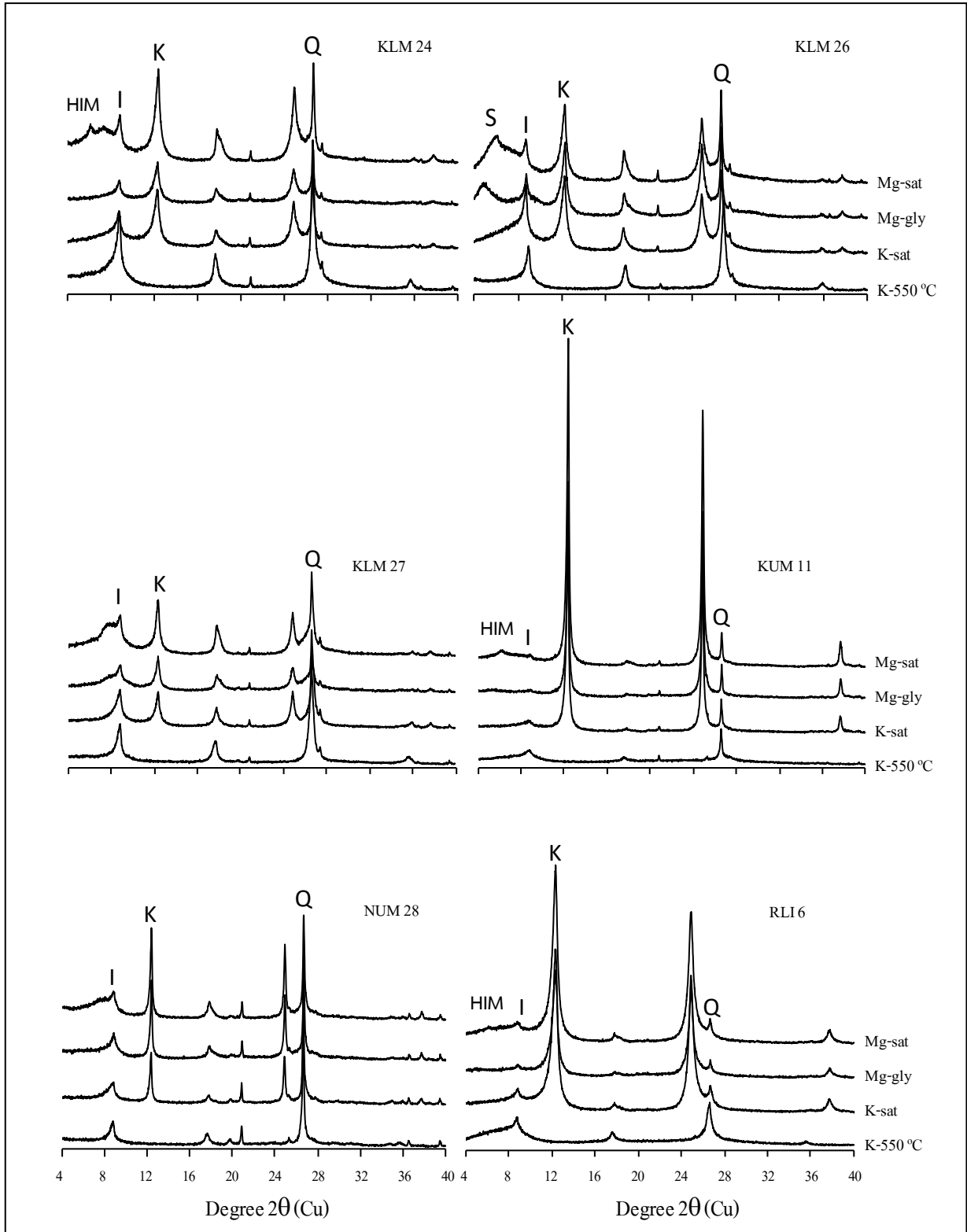
Sample	Sand	Silt	Clay	Soil texture
KLI 17	24.30	37.62	38.08	Clay loam
KLI 18	34.64	21.45	43.91	Clay
KLI 22	34.46	28.87	36.67	Clay loam
KLI 25	11.42	62.05	26.53	Silt loam
KLI 29	32.12	34.59	33.29	Clay loam
KLM 20	48.69	36.52	14.79	Loam
KLM 24	29.93	31.94	38.13	Clay loam
KLM 26	30.71	37.24	32.05	Clay loam
KLM 27	27.49	44.89	27.62	Clay loam
KUM 11	70.10	20.41	9.49	Sandy loam
NUM 28	34.47	31.84	33.69	Clay loam
RLI 6	53.73	37.13	9.14	Sandy loam
RLI 9	33.04	42.31	24.65	Loam
RLI 10	42.03	35.03	22.94	Loam
RLI 15	52.36	24.09	23.55	Sandy clay loam
RLM 4	47.19	29.54	23.27	Loam
RLM 7	57.56	24.99	17.45	Sandy loam
RLM 8	29.78	48.13	22.09	Loam
RLM 11	65.20	16.79	18.01	Sandy loam
RUI 17	44.82	28.83	26.35	Loam
Mean ±SD	40.21±14.61	33.71±10.55	26.08±9.56	

1.2 สมบัติทางแร่วิทยาของดินปลูกยาพารา เมื่อนำดินปลูกยาพาราแยกอนุภาคและศึกษาแร่วิทยาของอนุภาคขนาดดินเหนียว โดยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ โดยวิเคราะห์ 4 แบบ คือ ตัวอย่างอิมตัวด้วย

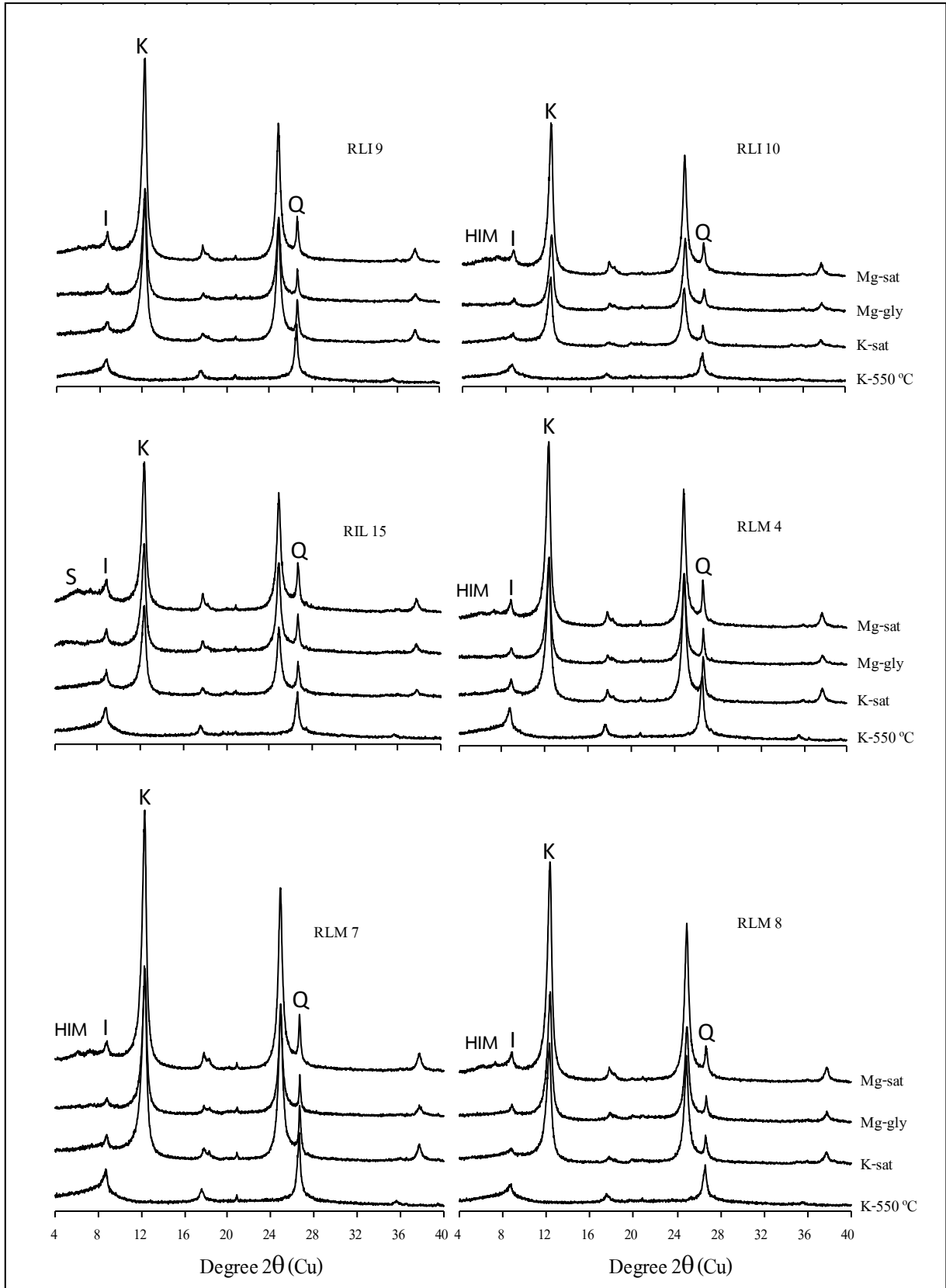
แมกนีเซียม (Mg-sat) ตัวอย่างอิมิตัวด้วยแมกนีเซียมต่อด้วยทำให้อิมิตัวด้วยกลีเซอรอล (Mg-gly) เพื่อแยกชนิดแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 ตัวอย่างอิมิตัวด้วยโพแทสเซียม (K-sat) และตัวอย่างอิมิตัวด้วยโพแทสเซียมและเผาที่ 550 องศาเซลเซียส (K-550 °C) เพื่อใช้ในการยืนยันแร่เคโอลิไนต์ เพราะเมื่อเผาที่ 550 °C พบว่า พีคของแร่เคโอลิไนต์จะหายไป พบว่า ทุกตัวอย่างดินที่นำมาศึกษาในอนุภาคขนาดดินเหนียวพบแร่เคโอลิไนต์ อิลไลต์ และแร่ควอตซ์ นอกจากนี้ยังพบแร่อื่น ๆ เช่น แร่สเมกไทต์ และแร่สอดชั้นด้วยไฮดรอกซีอะลูมิเนียม (ภาพที่ 3.1) มีเพียง 2 ตัวอย่างดินที่ไม่พบสเมกไทต์ และแร่สอดชั้นด้วยไฮดรอกซีอะลูมิเนียม คือ ตัวอย่าง KLM 27 และ NUM 28



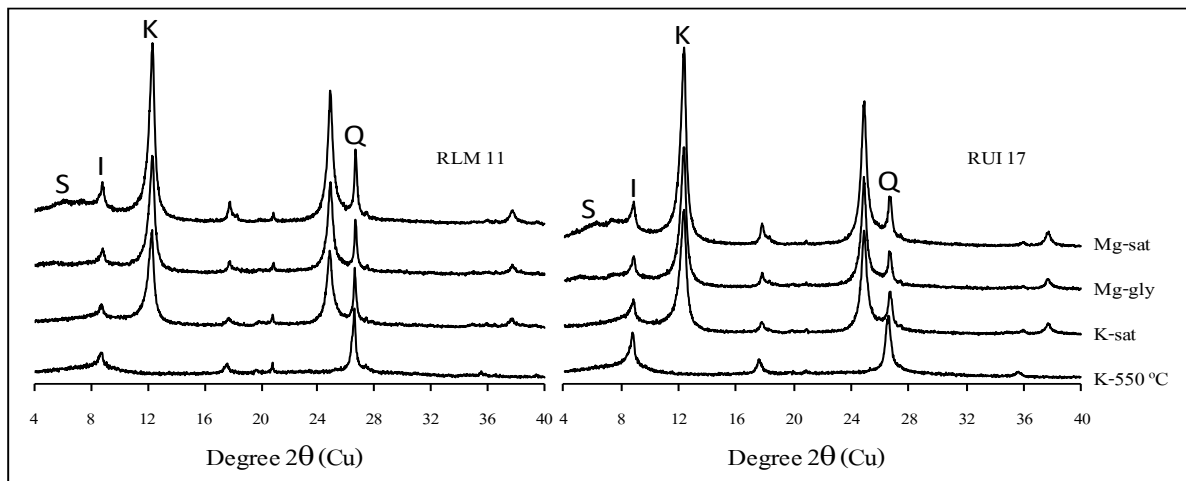
ภาพที่ 3.1 แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ของอนุภาคขนาดดินเหนียวของดิน โดยวิเคราะห์ 4 แบบ คือ (1) ตัวอย่างอิมิตัวด้วยแมกนีเซียม (Mg-sat) (2) ตัวอย่างอิมิตัวด้วยแมกนีเซียมต่อด้วยทำให้อิมิตัวด้วยกลีเซอรอล (Mg-gly) (3) ตัวอย่างอิมิตัวด้วยโพแทสเซียม (K-sat) และ (4) ตัวอย่างอิมิตัวด้วยโพแทสเซียมและเผาที่ 550 องศาเซลเซียส (K-550 °C) (HIM = hydroxyl aluminum interlayered mineral, S = smectite, I = illite, K = kaolinite and Q = quartz)



ภาพที่ 3.1 (ต่อ)



ภาพที่ 3.1 (ต่อ)



ภาพที่ 3.1 (ต่อ)

เมื่อศึกษาปริมาณแร่ต่าง ๆ โดยวิธีการวิเคราะห์เชิงกึ่งคุณภาพ (semi-quantitative analysis) พบว่า ดินส่วนใหญ่มีแร่เคลโอไลน์เป็นแร่หลัก และมีแร่อิลไลต์ และแร่ควอตซ์เป็นแร่รอง และมีแร่สเมกไทต์ และแร่สอดชั้นด้วยไฮดรอกซีอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบเพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2 ปริมาณแร่เชิงกึ่งคุณภาพ (semi-quantitative) ในอนุภาคขนาดดินเหนียวในดินปลูกยางพารา

Samples	Kaolinite	Illite	Smectite	HIM	Quartz
KLI 17	xxx	x	-	tr	xx
KLI 18	xxxx	x	-	tr	xx
KLI 22	xxx	xx	-	tr	xx
KLI 25	xxxx	x	-	tr	xx
KLI 29	xxx	xx	-	tr	xx
KLM 20	xxx	xx	-	tr	xx
KLM 24	xxx	xx	-	tr	xx
KLM 26	xxx	xx	x	-	x
KLM 27	xx	xx	-	-	xx
KUM 11	xxxx	tr	-	tr	x
NUM 28	xx	xx	-	-	xxx
RLI 6	xxxx	tr	-	tr	tr
RLI 9	xxxx	tr	-	-	x
RLI 10	xxxx	x	-	tr	x
RLI 15	xxxx	x	tr	-	x
RLM 4	xxxx	x	-	tr	x
RLM 7	xxxx	tr	-	tr	x
RLM 8	xxxx	tr	-	tr	x
RLM 11	xxxx	x	tr	-	x
RUI 17	xxxx	x	tr	-	x

หมายเหตุ : xxxx = > 60 %, xxx = 40-60 %, xx = 20-40 %, x = 5-20 %, tr = < 5 %

1.3 สมบัติทางเคมีของดินปลูกยางพารา ดินปลูกยางพารามีปฏิกิริยาดิน (1:5 H₂O) ตั้งแต่ระดับกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง ค่า pH อยู่ในช่วง 4.56-5.90 ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำ ตั้งแต่ 0.020-0.232 dS m⁻¹ อินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำจนถึงระดับปานกลาง ค่าอยู่ในช่วง 6.14-24.18 g kg⁻¹ และ 0.52-1.07 g kg⁻¹ ตามลำดับ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วงต่ำมากถึงสูงมาก ค่าอยู่ในช่วง 1.77-63.31 mg kg⁻¹ ในขณะที่โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ อยู่ในระดับต่ำ อยู่ในช่วง 0.03-0.23, 0.17-2.76, 0.02-0.77 และ 0.02-0.26 cmol_c kg⁻¹ ตามลำดับ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับต่ำ อยู่ในช่วง 0.95-5.55 cmol_c kg⁻¹ (ตารางที่ 3.3)

1.4 รูปของโพแทสเซียมของดินปลูกยางพารา จากการศึกษ พบว่า ดินปลูกยางพารามี NH₄OAc-K อยู่ในช่วง 9.9-87.5 mg kg⁻¹ และมี Water-K และ Exch-K อยู่ในช่วง 4.0-36.9 mg kg⁻¹ และ 5.2-70.8 mg kg⁻¹ ตามลำดับ ซึ่งความเข้มข้นของโพแทสเซียมในรูปเหล่านี้้น้อยมากเมื่อเทียบกับ Total-K, HNO₃-K และ Fixed-K พบว่า Total-K, HNO₃-K และ Fixed-K อยู่ในช่วง 879-19,410.3, 56.4-277.7 และ 39.6-234.9 mg kg⁻¹ ตามลำดับ ตัวอย่างดินที่เป็นแหล่งสำรองโพแทสเซียมในดิน (Fixed-K) สูงที่สุดคือ ตัวอย่าง KLM 27 (234.9 mg kg⁻¹) จึงเลือกใช้ในการทดลองปลูกยางพารา และคัดเลือกตัวอย่างอีก 2 ตัวอย่างที่มี Fixed-K ในระดับปานกลาง และต่ำ ได้แก่ ตัวอย่าง RLI 6 (140.9 mg kg⁻¹) และ ตัวอย่าง KLM 24 (41.0 mg kg⁻¹) ตามลำดับ (ตารางที่ 3.4) เมื่อนำรูปต่าง ๆ ของโพแทสเซียมในดินคิดเป็นร้อยละของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน พบว่า โพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ทันที (NH₄OAc-K) มีอยู่ในดินน้อยที่สุด อยู่ในช่วงร้อยละ 0.08-6.34 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน (เฉลี่ย 0.88 %) รองลงมาคือรูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้า ๆ (Fixed-K) อยู่ในช่วงร้อยละ 0.22-6.47 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน (เฉลี่ย 1.29 %) และอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ (ผลต่างของ Total-K และ HNO₃-K) มากที่สุด อยู่ในช่วงร้อยละ 87.19-99.53 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน (เฉลี่ย 97.83 %) (ตารางที่ 3.5)

1.5 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา การปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2, 4, 16, 72 และ 168 ชั่วโมง ผลการทดลอง พบว่า ในช่วงแรกการปลดปล่อยโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาในการสกัดดินเพิ่มขึ้น จนถึงระยะเวลา 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นการปลดปล่อยโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ พบว่า ที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง การปลดปล่อยโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 108-2,066 mg kg⁻¹ และที่ระยะเวลา 168 ชั่วโมง การปลดปล่อยโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 400-4,424 mg kg⁻¹ ตัวอย่างดิน KLI 25 มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมมากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างดิน KLM 27 และตัวอย่างดิน KLM 11 ปลดปล่อยโพแทสเซียมได้น้อยที่สุด (ภาพที่ 3.2) เมื่อนำค่าการปลดปล่อยโพแทสเซียม ที่สกัดได้ที่ 168 ชั่วโมง มาเปรียบเทียบกับโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน พบว่า โพแทสเซียมที่ปลดปล่อยออกมา โดยวิธีสกัดด้วย 0.3 M NaTPB มีปริมาณถึงร้อยละ 7-68 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน และปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่สกัดด้วยวิธีนี้สูงกว่าที่สกัดด้วยกรดไททริกมาก (ตารางที่ 3.4 ภาพที่ 3.2)

นำค่าการปลดปล่อยโพแทสเซียมมาสร้างสมการการปลดปล่อย โดยใช้สมการดังนี้ สมการ First order สมการ parabolic diffusion สมการ power function และ สมการ Elovich ซึ่งสมการเหล่านี้เป็นสมการพื้นฐานที่ใช้อธิบายกลไกการปลดปล่อยโพแทสเซียม (Sparks *et al.*, 1980; Jardine and Sparks, 1984; Havlin and Westfall, 1985) เมื่อนำค่าลือกผลต่างโพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยได้มากที่สุดกับโพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยออกมาที่เวลาต่าง ๆ ฐานอี $[\ln(k_0 - k_t)]$ และเวลาหาความสัมพันธ์ และสร้างเป็นสมการเส้นตรง สมการที่ได้คือ สมการ First order ผลการทดลองพบว่า สามารถนำค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) มาอธิบายความถูกต้องของกลไกการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีมาก ($R^2 = 0.914-0.999$; ค่าเฉลี่ย =

0.988±0.019) แต่มีค่า Root Mean Square Error (RMSE) สูงมาก (1,786±869) จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสมการคาดคะเนการปลดปล่อยโพแทสเซียม เมื่อพิจารณาค่าคงที่ a พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 5.67-8.10 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.37±0.59 และพบว่ามีค่าคงที่ b อยู่ในช่วง -0.070 ถึง -0.019 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.036±0.017 (ภาพที่ 3.3 ตารางที่ 3.6)

เมื่อนำความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยและรากที่สองของเวลา ($\text{time}^{0.5}$) หาความสัมพันธ์ และสร้างเป็นสมการเส้นตรง สมการที่ได้คือ สมการ parabolic diffusion ผลการทดลองพบว่าสามารถนำค่า R^2 อธิบายความถูกต้องของกลไกการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีปานกลาง ($R^2 = 0.765-0.977$; ค่าเฉลี่ย = 0.900±0.073) ค่า RMSE ไม่สูงมาก (212±127) สามารถนำมาใช้เป็นสมการคาดคะเนการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีปานกลาง เมื่อพิจารณาค่าคงที่ คือ โพแทสเซียมเริ่มต้น ($t = 0$) ที่ปลดปล่อยออกจากดิน พบว่า ค่าคงที่ a มีค่าอยู่ในช่วง 84.74-2220.1 mg kg^{-1} ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 752.5±562.6 mg kg^{-1} และพบว่ามีค่าคงที่อัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม (b) อยู่ในช่วง 21.93-272.4 $\text{mg h}^{-0.5}$ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 154.1±66.38 mg h^{-1} (ภาพที่ 3.4 ตารางที่ 3.6)

เมื่อนำค่าล็อกความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยฐานอี ($\log_e(K \text{ release})$) หรือ $\log(K \text{ release})/\log_e$ หรือ $\ln K \text{ release}$) และค่าล็อกเวลาฐานอี ($\ln \text{ time}$) หาความสัมพันธ์ และสร้างสมการเส้นตรง สมการที่ได้คือ สมการ power function ผลการทดลองพบว่า สามารถนำค่า R^2 อธิบายความถูกต้องของกลไกการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดี ($R^2 = 0.873-0.997$; ค่าเฉลี่ย = 0.960±0.029) แต่ค่า RMSE สูงมากเช่นกัน (1,777±871) จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสมการคาดคะเนการปลดปล่อยโพแทสเซียม เมื่อพิจารณาค่าคงที่ a พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 4.55-7.60 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.26±0.79 และพบว่ามีค่าคงที่ b อยู่ในช่วง 0.12-0.44 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30±0.07 (ภาพที่ 3.5 ตารางที่ 3.6)

เมื่อนำความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่ถูกปลดปล่อยและค่าล็อกเวลาฐานอี ($\ln \text{ time}$) หาความสัมพันธ์ และสร้างเป็นสมการเส้นตรง สมการที่ได้คือ สมการ elovich ผลการทดลองพบว่า สามารถนำค่า R^2 อธิบายความถูกต้องของกลไกการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีมาก ($R^2 = 0.933-0.997$ ค่าเฉลี่ย = 0.975±0.018) และมีค่า RMSE ต่ำที่สุด (99±52) จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสมการคาดคะเนการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีที่สุด เมื่อพิจารณาค่าคงที่ a พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 21.5-1929.2 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 448.7±477.7 และพบว่ามีค่าคงที่ b อยู่ในช่วง 63.22-754.9 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 419.6±181.9 (ภาพที่ 3.6 ตารางที่ 3.6)

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม (b) ที่ได้จากสมการ elovich กับสมบัติของดินและโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ พบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมกับปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งและปริมาณดินเหนียว ($p \leq 0.001$ และ 0.05 ตามลำดับ) แต่ไม่สัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียมที่ถูกตรึง (ตารางที่ 3.7)

ตารางที่ 3.3 สมบัติทางเคมีของดินปลูกยางพารา

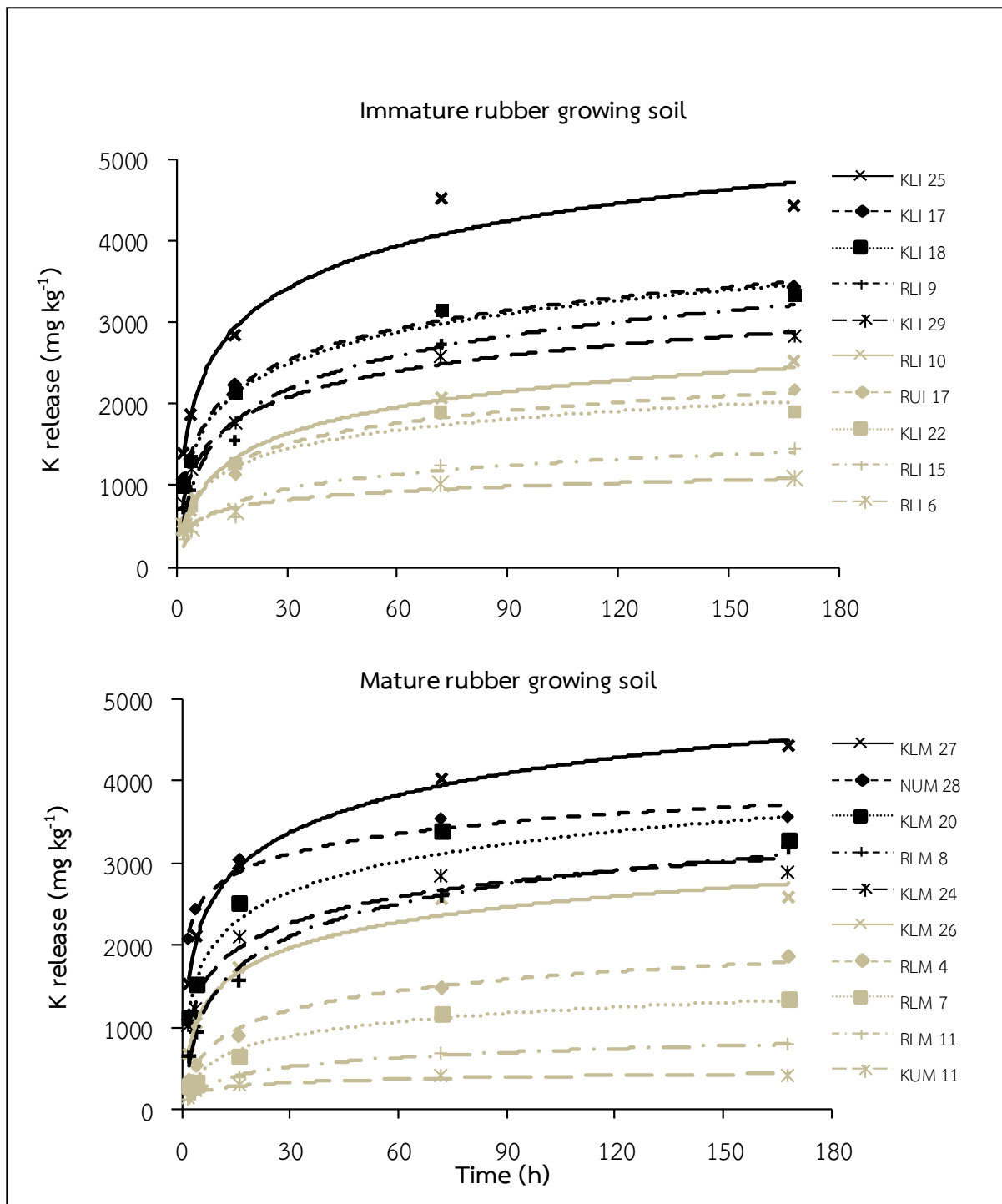
Sample	pH (1:5 H ₂ O)	EC (1:5) (dS m ⁻¹)	OM	Total N (g kg ⁻¹)	Avai. P (mg kg ⁻¹)	Exch. K	Exch.Ca	Exch. Mg (cmol _c kg ⁻¹)	Exch. Na	CEC
KLI 17	4.60	0.117	13.31	0.85	45.65	0.10	0.97	0.70	0.12	2.42
KLI 18	5.02	0.058	7.98	0.59	3.70	0.03	0.23	0.49	0.14	1.90
KLI 22	4.88	0.068	24.18	1.07	12.44	0.23	0.64	0.06	0.07	3.03
KLI 25	4.80	0.063	8.40	0.62	2.19	0.13	0.39	0.45	0.14	5.55
KLI 29	5.29	0.024	10.77	0.81	1.77	0.10	0.47	0.46	0.26	4.77
KLM 20	4.70	0.062	8.08	0.53	12.09	0.03	0.17	0.29	0.04	1.41
KLM 24	5.50	0.095	12.79	1.03	5.92	0.13	1.03	0.28	0.07	3.64
KLM 26	5.16	0.065	12.92	0.74	20.45	0.10	0.31	0.18	0.23	5.00
KLM 27	4.70	0.232	11.63	0.75	53.95	0.14	0.40	0.67	0.06	4.51
KUM 11	4.56	0.150	11.75	0.56	25.69	0.23	0.22	0.03	0.08	1.92
NUM 28	5.10	0.203	15.13	0.79	51.35	0.15	0.17	0.03	0.05	4.34
RLI 6	5.05	0.144	6.14	0.57	63.31	0.20	2.76	0.14	0.07	4.03
RLI 9	5.51	0.031	12.44	0.9	8.39	0.06	1.41	0.33	0.11	2.90
RLI 10	5.62	0.096	12.79	0.95	40.72	0.13	0.30	0.27	0.15	2.78
RLI 15	5.85	0.060	9.42	0.73	22.11	0.12	0.32	0.68	0.06	1.58
RLM 4	5.74	0.020	7.39	0.63	9.24	0.03	0.25	0.22	0.09	2.09
RLM 7	5.72	0.024	7.32	0.52	27.16	0.06	0.28	0.09	0.07	1.36
RLM 8	5.20	0.052	10.66	0.76	30.92	0.08	0.33	0.23	0.10	1.55
RLM 11	5.90	0.022	7.39	0.58	6.77	0.03	0.23	0.06	0.03	0.95
RUI 17	5.80	0.026	12.79	0.84	12.87	0.13	0.18	0.02	0.02	2.43
Min-Max	4.56-5.90	0.020-0.232	6.14-24.18	0.52-1.07	1.77-63.31	0.03-0.23	0.17-2.76	0.02-0.77	0.02-0.26	0.95-5.55
Mean ± SD	5.24±0.45	0.081±0.061	11.16±3.99	0.74±0.17	22.83±19.00	0.11±0.06	0.55±0.62	0.28±0.22	0.10±0.06	2.91±1.39

ตารางที่ 3.4 โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินปลูกยางพารา

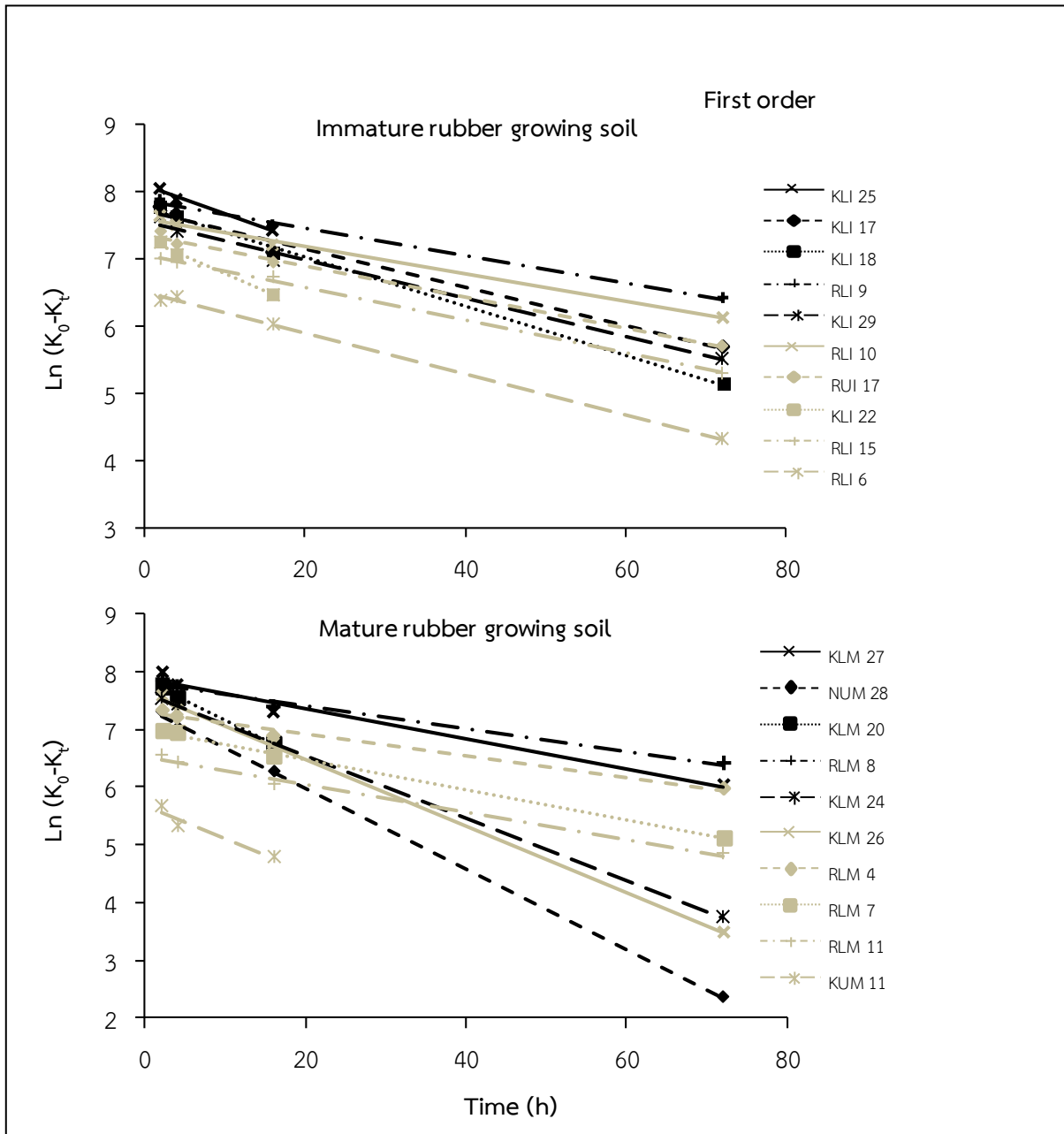
Samples	Water-K	Exch-K	NH ₄ OAc-K	Fixed-K	HNO ₃ -K	Total-K
	mg kg ⁻¹					
KLI 17	12.4	30.2	42.6	42.3	84.9	6221.0
KLI 18	4.0	5.9	9.9	47.8	57.7	5262.7
KLI 22	16.7	70.8	87.5	64.7	152.2	4019.5
KLI 25	11.9	39.7	51.6	45.8	97.4	6496.0
KLI 29	13.8	24.7	38.5	39.6	78.1	6531.3
KLM 20	7.0	14.7	21.7	40.0	61.6	8578.5
KLM 24	18.6	30.4	49.0	41.0	90.0	4958.0
KLM 26	9.6	28.7	38.3	58.0	96.3	5337.7
KLM 27	16.4	26.4	42.8	234.9	277.7	7154.2
KUM 11	14.9	40.9	55.8	56.9	112.7	879.6
NUM 28	36.9	20.6	57.5	211.5	269.1	6444.5
RLI 6	23.2	54.9	78.1	140.9	218.9	5645.9
RLI 9	7.5	16.8	24.3	69.0	93.4	14371.3
RLI 10	13.6	37.8	51.3	71.0	122.3	14643.9
RLI 15	11.0	35.6	46.6	62.7	109.3	13742.2
RLM 4	7.2	12.3	19.5	40.1	59.6	12101.1
RLM 7	8.5	15.6	24.1	40.2	64.3	7585.1
RLM 8	8.4	22.4	30.8	51.9	82.7	10606.0
RLM 11	5.0	5.2	10.2	46.2	56.4	12092.4
RUI 17	14.8	34.7	49.5	43.5	92.9	19410.3
Min-Max	4.0-36.9	5.2-70.8	9.9-87.5	39.6-234.9	56.4-277.7	879-19410.3
Mean ± SD	13.1±7.4	28.4±16.0	41.5±20.3	72.4±56.4	113.9±66.2	8604.1±4519.6

ตารางที่ 3.5 ร้อยละโพแทสเซียมส่วนต่าง ๆ ในดินปลูกยางพารา

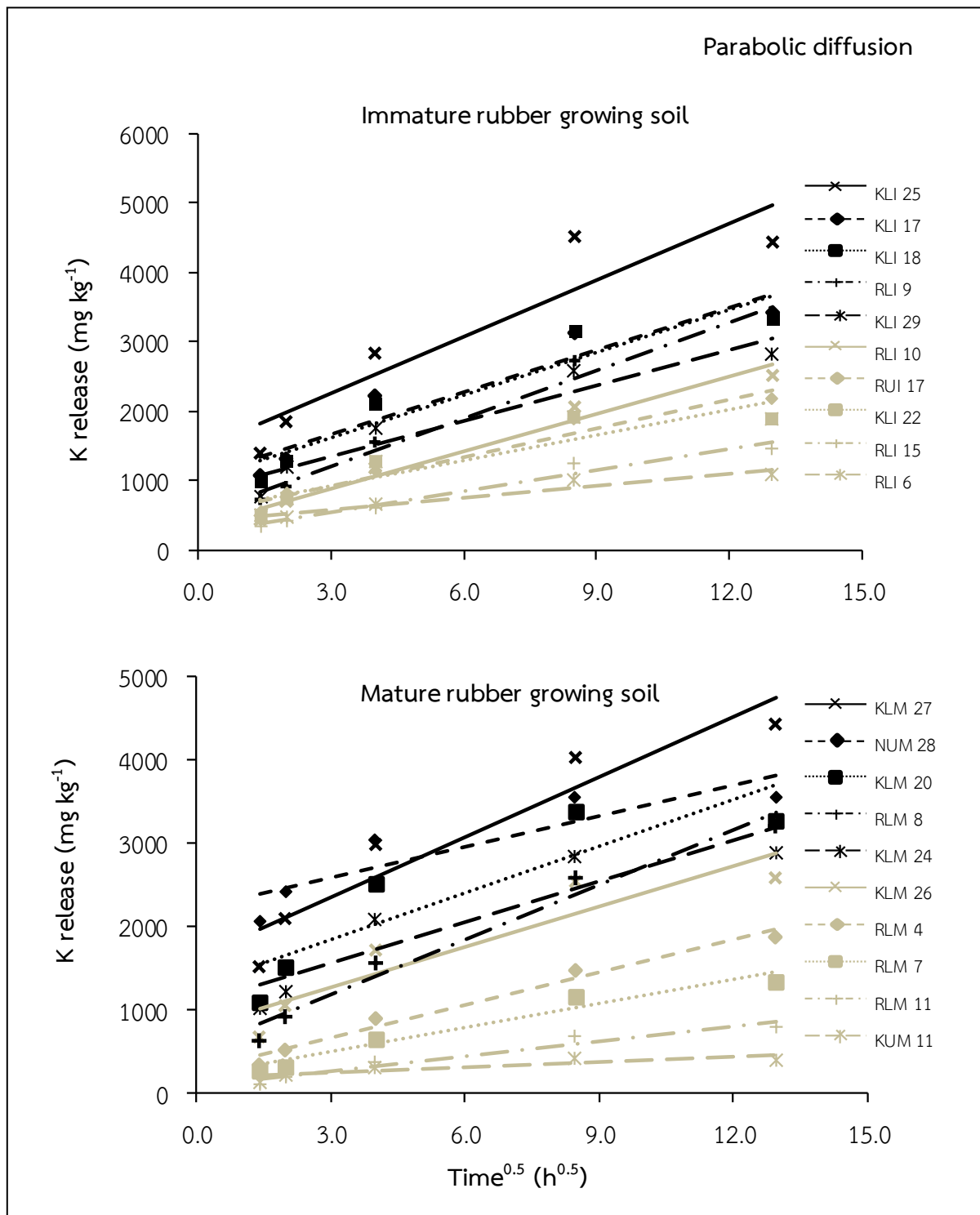
Samples	Readily available	Slowly available	Relative unavailable	
			% of Total-K	
KLI 17	0.68	0.68	98.64	
KLI 18	0.19	0.91	98.90	
KLI 22	2.18	1.61	96.21	
KLI 25	0.79	0.71	98.50	
KLI 29	0.59	0.61	98.80	
KLM 20	0.25	0.47	99.28	
KLM 24	0.99	0.83	98.18	
KLM 26	0.71	1.09	98.20	
KLM 27	0.60	3.28	96.12	
KUM 11	6.34	6.47	87.19	
NUM 28	0.89	3.28	95.83	
RLI 6	1.38	2.50	96.12	
RLI 9	0.17	0.48	99.35	
RLI 10	0.35	0.48	99.17	
RLI 15	0.34	0.46	99.20	
RLM 4	0.16	0.33	99.51	
RLM 7	0.32	0.53	99.15	
RLM 8	0.29	0.49	99.22	
RLM 11	0.08	0.38	99.54	
RUI 17	0.26	0.22	99.52	
Min-Max	0.08-6.34	0.22-6.47	87.19-99.53	
Mean \pm SD	0.88 \pm 1.38	1.29 \pm 1.53	97.83 \pm 2.81	



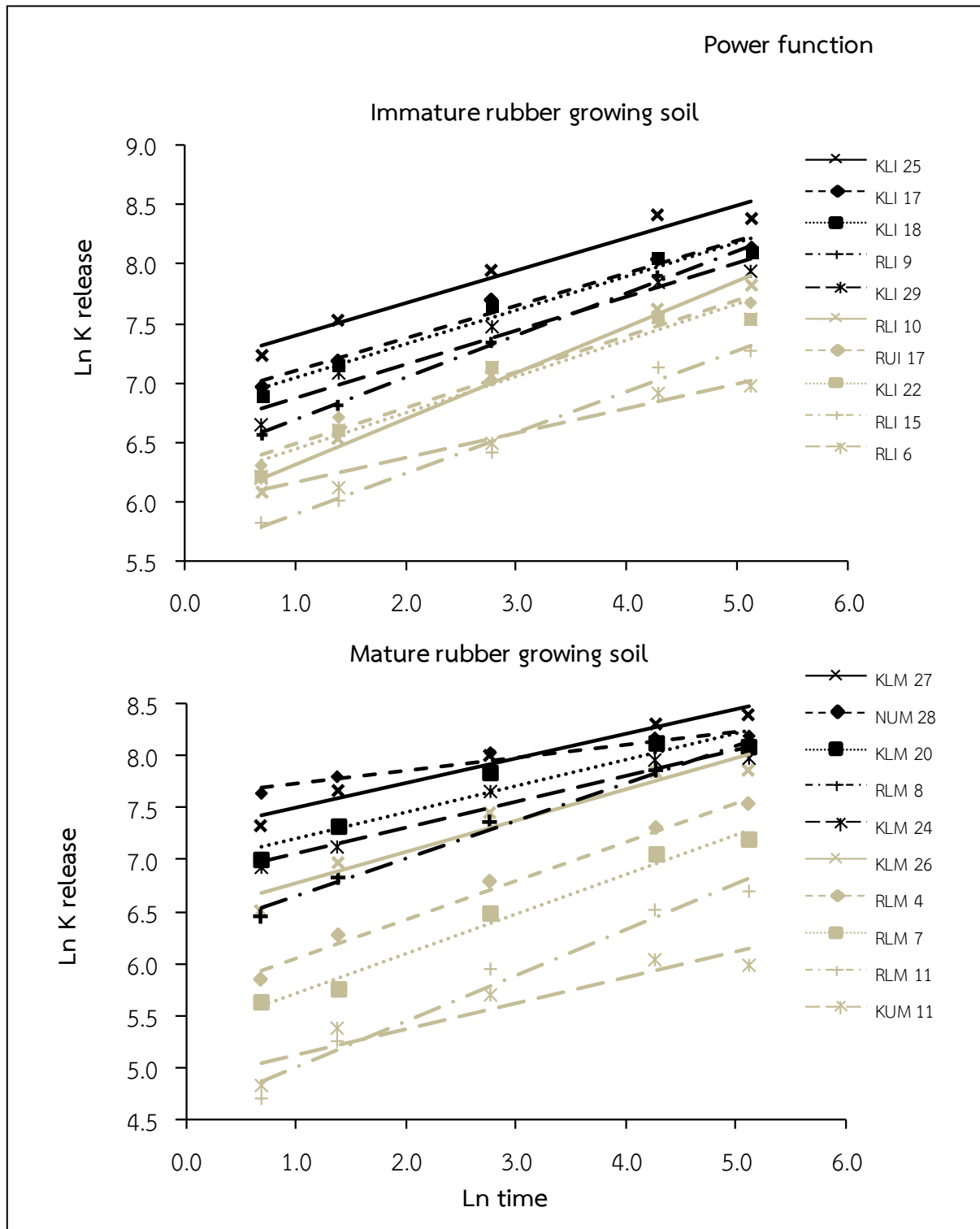
ภาพที่ 3.2 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง



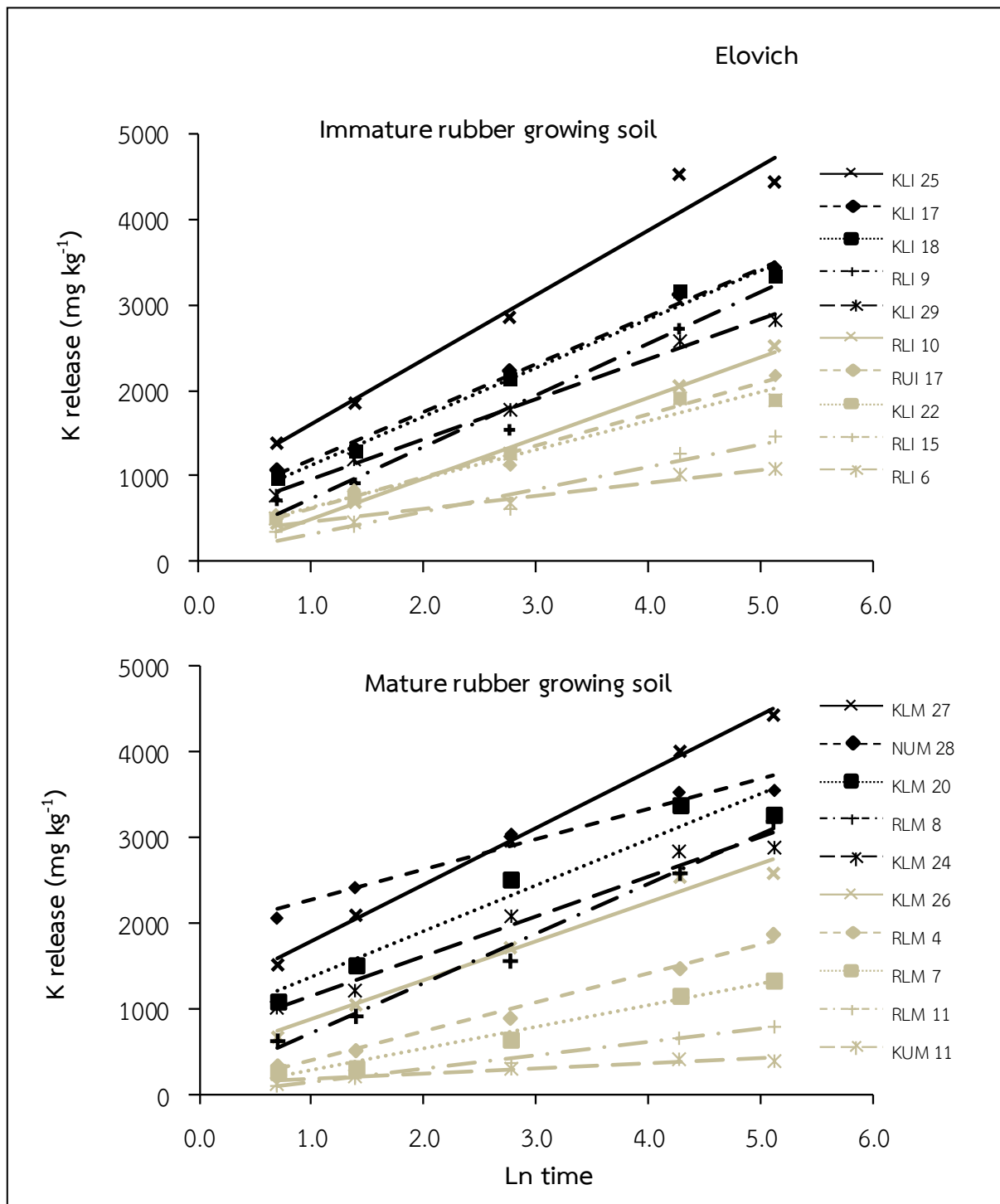
ภาพที่ 3.3 การใช้สมการ First order อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.4 การใช้สมการ Parabolic diffusion อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.5 การใช้สมการ Power function อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.6 การใช้สมการ Elovich อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรจากสมการการปลดปล่อยโพแทสเซียม ใช้อธิบายกลไกการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินปลูกยางพารา โดยใช้ 0.3 M NaTPB

Samples	First order				Parabolic diffusion			
	Slope (b)	Intercept (a)	R ²	RMSE	Slope (b)	Intercept (a)	R ²	RMSE
KLI 17	-0.029	7.72	0.985	2408.6	204.5	1048.3	0.908	284.5
KLI 18	-0.037	7.77	0.997	2366.4	205.9	988.9	0.893	311.8
KLI 22	-0.053	7.32	0.990	1373.3	121.0	559.8	0.842	229.1
KLI 25	-0.043	8.10	0.986	3255.5	272.4	1429.7	0.857	486.8
KLI 29	-0.029	7.55	0.986	1974.9	170.7	837.2	0.906	240.5
KLM 20	-0.068	7.84	0.996	2515.1	185.5	1284.9	0.784	425.5
KLM 24	-0.054	7.61	0.999	2146.1	164.9	1057.2	0.841	313.3
KLM 26	-0.058	7.64	0.999	1867.0	162.6	774.5	0.850	298.3
KLM 27	-0.026	7.87	0.976	3195.0	239.9	1624.7	0.906	337.6
KUM 11	-0.057	5.67	0.914	300.4	21.9	162.8	0.765	53.1
NUM 28	-0.070	7.37	0.999	2972.1	121.8	2220.1	0.797	268.3
RLI 6	-0.030	6.50	0.998	776.2	56.9	412.5	0.932	67.0
RLI 9	-0.020	7.87	0.997	2098.7	230.5	513.7	0.977	156.3
RLI 10	-0.021	7.61	0.992	1579.1	179.0	340.9	0.969	138.9
RLI 15	-0.025	7.07	0.998	919.7	101.5	224.8	0.964	85.2
RLM 4	-0.019	7.28	0.985	1161.7	129.6	271.0	0.975	90.3
RLM 7	-0.026	7.00	0.998	855.8	96.1	193.5	0.948	98.0
RLM 8	-0.020	7.81	0.987	2023.5	219.8	513.6	0.970	168.6
RLM 11	-0.024	6.51	0.992	498.5	59.7	84.7	0.952	58.4
RUI17	-0.023	7.36	0.994	1439.2	138.7	508.0	0.957	128.0
Min-Max	-0.070 – -0.019	5.67-8.10	0.914-0.999	300-3255	21.9-272.4	84.7-2220	0.765-0.977	53-487
Mean	-0.036±0.017	7.37±0.59	0.988±0.02	1786±869	154.1±66.4	752.5±562.6	0.900±0.068	212±12

หมายเหตุ : RMSE = Root Mean Square Error

ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

Samples	Power function				Elovich			
	Slope (b)	Intercept (a)	R ²	RMSE	Slope (b)	Intercept (a)	R ²	RMSE
KLI 17	0.272	6.83	0.975	2399.9	558.3	637.1	0.994	74.3
KLI 18	0.285	6.76	0.970	2357.5	565.4	565.6	0.988	102.7
KLI 22	0.306	6.14	0.942	1365.2	339.0	291.7	0.971	98.5
KLI 25	0.275	7.12	0.960	3247.1	754.9	850.4	0.966	238.2
KLI 29	0.284	6.59	0.956	1965.7	466.9	491.6	0.995	56.8
KLM 20	0.253	6.95	0.919	2510.2	532.6	837.3	0.949	207.0
KLM 24	0.252	6.80	0.949	2140.5	462.6	690.3	0.972	131.8
KLM 26	0.302	6.46	0.936	1858.8	454.9	416.2	0.977	116.7
KLM 27	0.235	7.27	0.967	3187.7	656.6	1137.4	0.997	62.2
KUM 11	0.249	4.87	0.873	297.9	63.2	109.2	0.933	28.4
NUM 28	0.124	7.60	0.939	2972.3	348.8	1929.2	0.959	120.1
RLI 6	0.206	5.96	0.950	772.4	150.0	313.5	0.950	57.3
RLI 9	0.355	6.34	0.997	2083.3	602.4	127.2	0.979	147.9
RLI 10	0.388	5.92	0.986	1561.7	471.6	30.1	0.987	89.2
RLI 15	0.345	5.55	0.986	907.9	263.3	59.9	0.953	97.7
RLM 4	0.374	5.68	0.988	1146.4	340.5	48.6	0.988	63.6
RLM 7	0.381	5.34	0.982	841.4	255.0	21.5	0.980	61.3
RLM 8	0.362	6.28	0.983	2007.5	579.6	130.4	0.990	97.8
RLM 11	0.444	4.55	0.970	480.6	159.2	24.3	0.993	53.4
RUI17	0.302	6.19	0.981	1429.0	367.0	262.4	0.984	77.7
Min-Max	0.124-0.444	4.55-7.60	0.873-0.997	298-3247	63.2-754.9	21.5-1929.2	0.933-0.997	28-238
Mean	0.300±0.073	6.26±0.79	0.960±0.03	1777±871	419.6±181.9	448.7±477.7	0.975±0.02	99±52

หมายเหตุ : RMSE = Root Mean Square Error

ตารางที่ 3.7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ และสมบัติบางประการของดิน

Parameter	K lease rate (b)	Water-K	Exch-K	NH ₄ OAc-K	Fixed-K	HNO ₃ -K	Total-K	pH	EC	OM	Total N	CEC	Sand	Silt
K lease rate (b)	1.000													
Water-K	-0.199	1.000												
Exch-K	-0.188	0.429	1.000											
NH ₄ OAc-K	-0.221	0.702**	0.944**	1.000										
Fixed-K	0.032	0.686**	0.118	0.343	1.000									
HNO ₃ -K	-0.040	0.801**	0.390	0.599**	0.958**	1.000								
Total-K	0.072	-0.263	-0.250	-0.293	-0.154	-0.221	1.000							
pH	-0.303	-0.215	-0.302	-0.317	-0.279	-0.335	0.718**	1.000						
EC	0.001	0.701**	0.274	0.472*	0.844**	0.864**	-0.443	-0.578**	1.000					
OM	0.068	0.389	0.564**	0.586**	0.144	0.303	-0.163	-0.233	0.213	1.000				
Total N	0.268	0.300	0.419	0.439	0.039	0.168	0.147	0.098	0.062	0.794**	1.000			
CEC	0.386	0.508*	0.352	0.462*	0.429	0.508*	-0.333	-0.330	0.387	0.227	0.277	1.000		
Sand	-0.876**	-0.119	-0.093	-0.117	-0.127	-0.144	0.114	0.335	-0.116	-0.313	-0.478*	-0.6643**	1.000	
Silt	0.756**	0.081	0.177	0.169	0.187	0.211	-0.014	-0.380	0.001	0.001	0.141	0.597**	-0.757**	1.000
Clay	0.506*	0.092	-0.053	-0.008	-0.013	-0.013	-0.159	-0.094	0.002	0.480*	0.575**	0.324	-0.693**	0.053

หมายเหตุ : *, ** = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ 99 ตามลำดับ

2. การปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินปลูกยางพาราและการดูใช้โพแทสเซียมในพืช

พืชที่ใช้ทดสอบคือ กล้ายางพารา และข้าวโพดหวาน คัดเลือกตัวอย่างดินมา 3 ตัวอย่างดิน จากชุดดินวิสัย (Fine-loamy, mixed, semiactive, isohyperthermic Typic Plinthaquults) (กองสำรวจดิน, 2516) ที่มีระดับโพแทสเซียมในรูปที่ถูกตรึง (Fixed-K) ซึ่งเป็นแหล่งสำรองของโพแทสเซียมแตกต่างกัน ได้แก่ ตัวอย่าง KLM 27, RLI 6 และ KLM 24 มี Fixed-K เท่ากับ 234.9, 140.9 และ 41.0 mg kg⁻¹ ตามลำดับ ทำการทดลอง 2 ทรีตเมนต์ คือ 1) ใส่ปุ๋ย N P K ให้เพียงพอับความต้องการของยางพารา และ 2) ใส่ปุ๋ย N P ให้เพียงพอับความต้องการของยางพารา ยกเว้น K

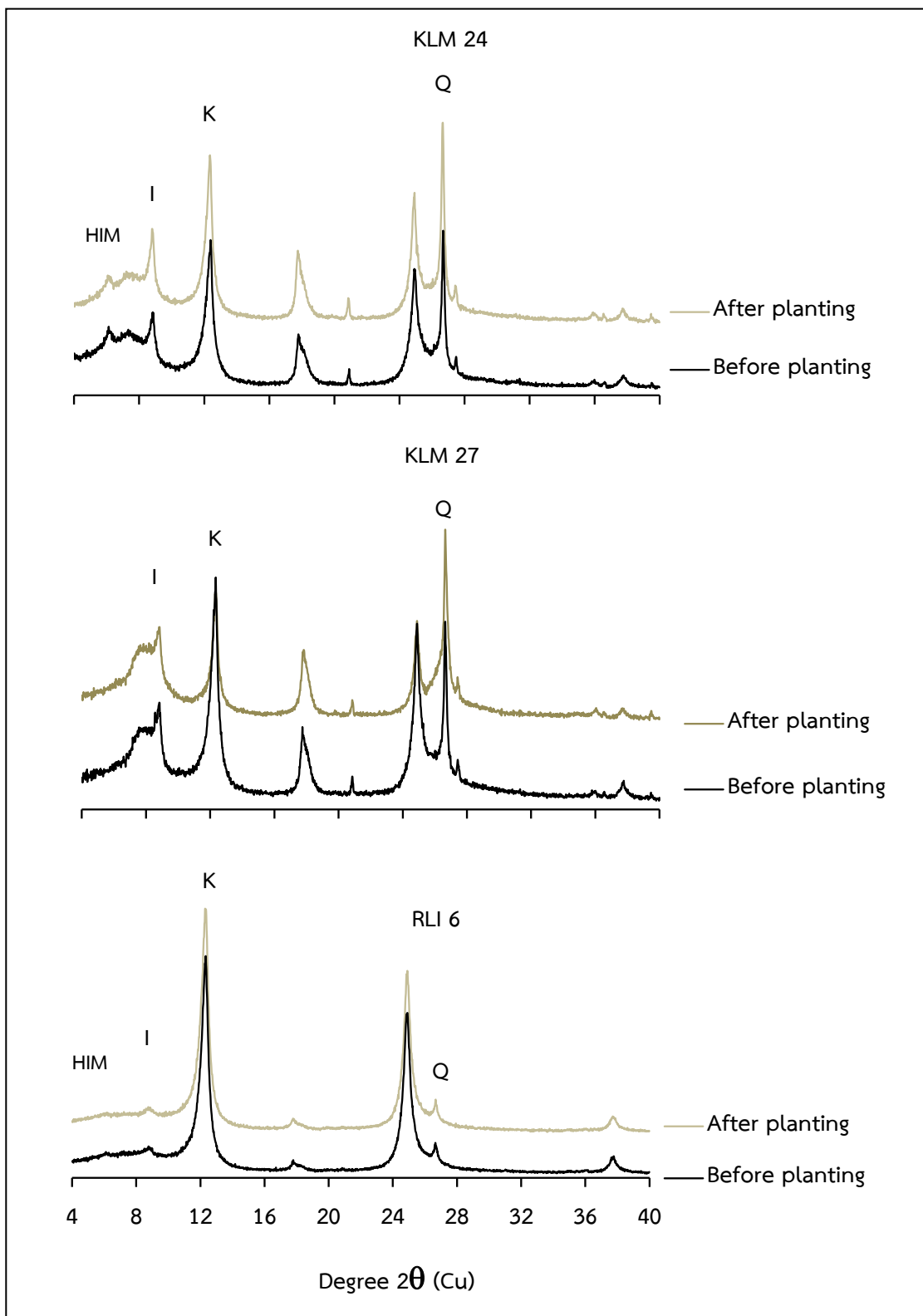
2.1 การปลดปล่อยโพแทสเซียมของดิน การเจริญเติบโต และการดูใช้โพแทสเซียมของยางพารา

2.1.1 สมบัติของดินและการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังปลูกยางพารา

สมบัติทางแร่วิทยาของดินปลูกยางพารา ตัวอย่างดินที่คัดเลือกมาปลูกยางพารามีปริมาณแร่เชิงกึ่งคุณภาพในอนุภาคขนาดดินเหนียวใกล้เคียงกัน พบว่า ตัวอย่าง KLM 24 มีแร่เคลอิไนต์เป็นองค์ประกอบมากที่สุดประมาณร้อยละ 40-60 รองลงมา คือ อิลไลต์ และควอตซ์ แร่ละประมาณร้อยละ 20-40 และมีแร่สอดชั้นด้วยไฮดรอกซีอะลูมินัม (hydroxyl aluminum interlayered mineral : HIM) น้อยกว่าร้อยละ 5 ตัวอย่าง KLM 27 มีแร่เคลอิไนต์ แร่อิลไลต์ และแร่ควอตซ์ในปริมาณใกล้เคียงกัน คือประมาณร้อยละ 20-40 และตัวอย่าง RLI 6 มีแร่เคลอิไนต์เป็นองค์ประกอบมากที่สุด ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 60 และพบแร่อิลไลต์ แร่สอดชั้นด้วยไฮดรอกซีอะลูมินัม และแร่ควอตซ์ น้อยกว่าร้อยละ 5 (ตารางที่ 3.2)

เมื่อเปรียบเทียบแบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินก่อนปลูกและหลังปลูกยางพารา โดยวิเคราะห์ตัวอย่างที่อิมมัวด้วยแมกนีเซียม ผลการทดลองพบว่า แบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินก่อนปลูกและหลังปลูกยางพาราไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3.7)

สมบัติทางเคมีของดิน ตารางที่ 3.8 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกและหลังปลูกยางพารา ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูก ดินหลังปลูกยาง 8 เดือน และดินหลังปลูกยาง 16 เดือน ผลการทดลองพบว่า ดินก่อนปลูกยางพารามีค่า pH เฉลี่ย 5.08 เมื่อปลูกยางเป็นเวลา 8 และ 16 เดือน พบว่า pH ของดินมีแนวโน้มลดลง เฉลี่ย 4.10 ลดลงประมาณ 1 หน่วย pH ในขณะที่สมบัติทางเคมีอื่น ๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ยกเว้น ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ดินก่อนปลูกยางพารามีค่าเฉลี่ย 41.06 เมื่อปลูกยางพาราเป็นเวลา 8 และ 16 เดือน พบว่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินลดลง เฉลี่ย 6.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



ภาพที่ 3.7 เปรียบเทียบแบบรูปการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ของอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินโดยวิเคราะห์ ตัวอย่างที่อิมด้วยแมกนีเซียม

หมายเหตุ : HIM = hydroxyl aluminum interlayered mineral, I = illite, K = kaolinite และ Q = quartz

ตารางที่ 3.8 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังปลูกยางพารา

Samples	Age (month)	pH (1:5 H ₂ O)	EC (1:5) (dS m ⁻¹)	OM	Total N	Avai. P (mg kg ⁻¹)	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg	CEC
				(g kg ⁻¹)						
Before planting										
KLM 24	0	5.50	0.095	12.79	1.03	5.92	0.13	1.03	0.28	3.64
KLM 27	0	4.70	0.232	11.63	0.75	53.95	0.14	0.40	0.67	4.51
RLI 6	0	5.05	0.144	6.14	0.57	63.31	0.20	2.76	0.14	4.03
Mean		5.08±0.40	0.157±0.07	10.19±3.19	0.78±0.23	41.06±30.79	0.16±0.04	1.40±1.22	0.36±0.27	4.06±0.44
After planting										
KLM 24-K	8	4.24	0.199	11.15	0.82	3.87	0.06	0.38	0.19	6.34
KLM 24+K	8	4.24	0.209	12.36	0.82	7.70	0.12	0.34	0.17	5.86
KLM 27-K	8	4.00	0.192	10.43	0.78	4.30	0.12	1.19	0.44	6.95
KLM 27+K	8	3.82	0.335	10.86	0.88	5.42	0.20	1.45	0.57	7.20
RLI 6-K	8	4.25	0.176	8.60	0.53	7.56	0.04	0.71	0.92	6.31
RLI 6+K	8	4.47	0.086	8.80	0.50	7.95	0.07	0.77	0.91	7.12
KLM 24-K	16	4.07	0.383	12.47	0.83	5.16	0.07	0.52	0.23	4.94
KLM 24+K	16	4.17	0.318	12.31	0.88	5.17	0.19	0.61	0.29	4.95
KLM 27-K	16	4.07	0.259	10.97	0.84	6.07	0.08	1.38	0.48	7.77
KLM 27+K	16	3.97	0.313	11.06	0.82	6.15	0.13	1.48	0.58	7.71
RLI 6-K	16	3.98	0.322	9.12	0.67	9.95	0.08	0.94	1.11	5.87
RLI 6+K	16	3.96	0.298	9.89	0.70	8.85	0.18	1.01	1.17	5.98
Mean		4.10±0.18	0.258±0.09	10.67±1.35	0.76±0.13	6.51±1.88	0.11±0.05	0.90±0.41	0.59±0.36	6.42±0.96

รูปของโพแทสเซียมของดินปลูกยางพารา โพแทสเซียมในรูปที่เป็นแหล่งสำรองให้กับพืช คือ Fixed-K ทั้งก่อนและหลังปลูกยางพารา พบว่า ตัวอย่าง KLM 27 มี Fixed-K สูงที่สุด รองลงมาคือ RLI 6 และ KLM 24 ตามลำดับ เมื่อปลูกยางพาราเป็นเวลา 8 และ 16 เดือน พบว่า ทั้งทรีตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช Fixed-K มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกยางพารา เมื่อพิจารณาโพแทสเซียมรูปอื่น ๆ พบว่า ทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทชมีความเข้มข้นโพแทสเซียมลดลงแต่ทรีตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยโพแทชความเข้มข้นโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกยางพารา แต่รูปโพแทสเซียมทั้งหมดในดินมีแนวโน้มลดลงทั้งในทรีตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (ตารางที่ 3.9) เมื่อคิดเป็นร้อยละของโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ พบว่า โพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ทันทีมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างก่อนปลูกยางพาราและหลังปลูกยางพารา แต่พบว่า ทรีตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยโพแทชมีแนวโน้มโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ทันทีสูงกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช และโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้า ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่โพแทสเซียมในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 3.10)

ตารางที่ 3.9 โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินก่อนและหลังปลูกยางพารา

Samples	Age (month)	Water-K	Exch-K	NH ₄ OAc-K	Fixed-K	HNO ₃ -K	Total-K
		-----mg kg ⁻¹ -----					
Before planting							
KLM 24	0	18.6	30.4	49.0	41.0	90.0	4958.0
KLM 27	0	16.4	26.4	42.8	234.9	277.7	7154.2
RLI 6	0	23.2	54.9	78.1	140.9	218.9	5645.9
Mean ± SD		19.4±3.5	37.2±15.4	56.6±18.8	138.9±97.0	195.5±96.0	5919.4±1123.3
After planting							
KLM 24-K	8	17.7	19.7	37.3	46.8	84.1	4515.9
KLM 24+K	8	33.5	31.3	64.9	73.6	138.5	4920.2
KLM 27-K	8	12.5	27.0	39.6	207.8	247.4	6569.9
KLM 27+K	8	25.8	39.3	65.2	249.1	314.3	5938.3
RLI 6-K	8	17.9	12.7	30.6	168.4	199.0	3831.0
RLI 6+K	8	17.3	26.9	44.2	139.0	183.2	3504.6
KLM 24-K	16	32.8	23.4	56.1	51.3	107.4	4729.3
KLM 24+K	16	47.1	56.8	103.9	54.4	158.3	4592.1
KLM 27-K	16	12.9	26.8	39.7	258.1	297.8	5910.0
KLM 27+K	16	29.7	47.3	77.0	254.5	331.5	5407.5
RLI 6-K	16	23.6	21.7	45.3	187.0	232.3	3519.6
RLI 6+K	16	30.6	67.8	98.5	240.8	339.3	3775.8
Mean (-K) ± SD		19.6±7.6	21.9±5.3	41.4±8.6	153.2±86.1	194.7±83.3	4846±1185
Mean (+K) ± SD		30.7±9.8	44.9±15.6	75.6±22.5	168.6±91.7	244.2±93.6	4690±936

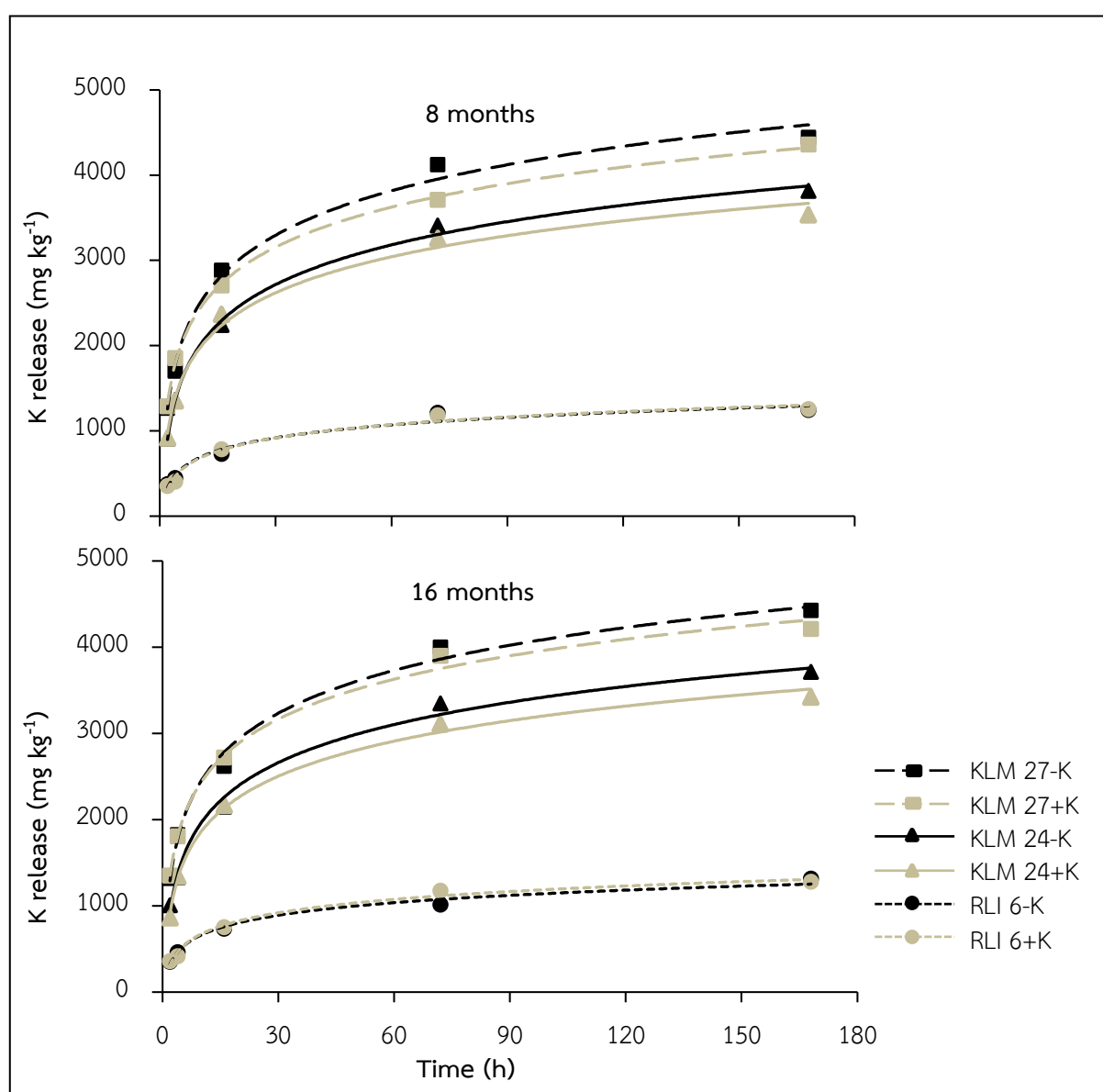
ตารางที่ 3.10 ร้อยละโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินก่อนและหลังปลูกยางพารา

Samples	Age (month)	Readily available	Slowly available	Relative unavailable
		% of Total-K		
KLM 24	0	0.99	0.83	98.18
KLM 27	0	0.60	3.28	96.12
RLI 6	0	1.38	2.50	96.12
Mean ± SD		0.99±0.39	2.20±1.25	96.81±1.19
KLM 24-K	8	0.83	1.04	98.14
KLM 24+K	8	1.32	1.50	97.19
KLM 27-K	8	0.60	3.16	96.23
KLM 27+K	8	1.10	4.19	94.71
RLI 6-K	8	0.80	4.40	94.81
RLI 6+K	8	1.26	3.97	94.77
KLM 24-K	16	1.19	1.08	97.73
KLM 24+K	16	2.26	1.18	96.55
KLM 27-K	16	0.67	4.37	94.96
KLM 27+K	16	1.42	4.71	93.87
RLI 6-K	16	1.29	5.31	93.40
RLI 6+K	16	2.61	6.38	91.01
Mean (-K) ± SD		0.90±0.28	3.23±1.81	95.88±1.83
Mean (+K) ± SD		1.66±0.62	3.65±1.98	94.68±2.19

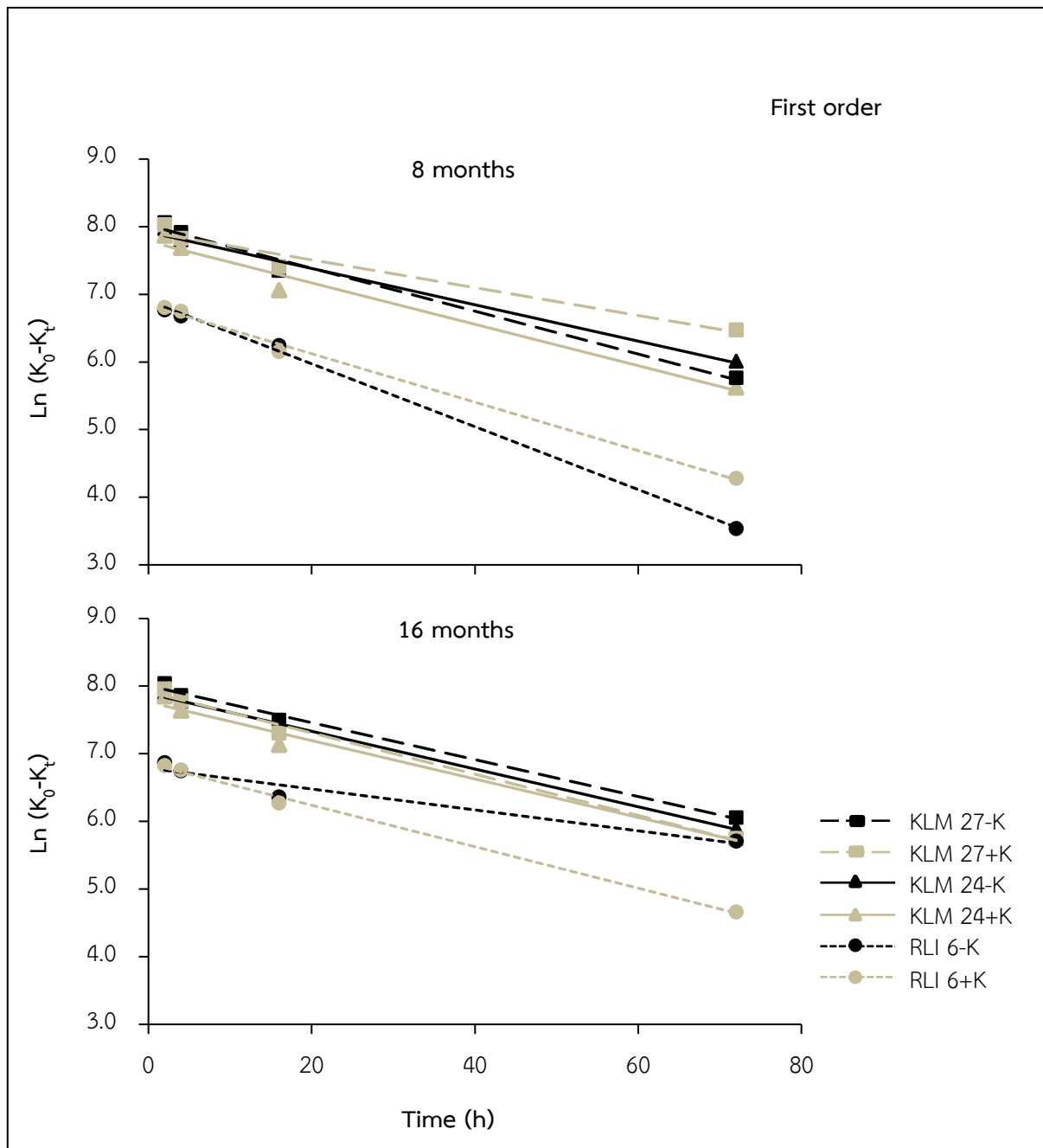
การปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังปลูกยางพารา หลังจากทำการปลูกยางพารา 8 และ 16 เดือน ทำการเก็บตัวอย่างดินทั้ง 2 ทริตเมนต์เพื่อวิเคราะห์การปลดปล่อยโพแทสเซียม ผลการทดลอง พบว่า รูปแบบการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังปลูกยางพาราเหมือนกับดินก่อนปลูกยางพารา คือ การปลดปล่อยโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาในการสกัดดินเพิ่มขึ้นในช่วงแรก จนถึงระยะเวลา 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นการปลดปล่อยโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ พบว่า ตัวอย่างดิน KLM 27 มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมมากที่สุด อยู่ในช่วง 1,263-4,440 mg kg⁻¹ (เวลา 2-168 ชั่วโมง) รองลงมาคือตัวอย่างดิน KLM 24 อยู่ในช่วง 862-3,422 mg kg⁻¹ (เวลา 2-168 ชั่วโมง) สูงกว่าตัวอย่างดิน RLI 6 ปลดปล่อยโพแทสเซียมได้น้อยที่สุด อยู่ในช่วง 351-1,243 mg kg⁻¹ (เวลา 2-168 ชั่วโมง) ทั้งที่ตัวอย่างดิน KLM 24 มีปริมาณ Fixed-K ต่ำกว่าตัวอย่างดิน RLI 6 และพบว่า การปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทชมีค่าใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 3.8) เมื่อนำค่าการปลดปล่อยโพแทสเซียม ที่สกัดได้ที่ 168 ชั่วโมง มาเปรียบเทียบกับโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน พบว่า โพแทสเซียมที่ปลดปล่อยออกมาโดยวิธีสกัดด้วย 0.3 M NaTPB มีปริมาณถึงร้อยละ 32-84 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน

เมื่อนำค่าการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังการปลูกยางพารามาสร้างสมการการปลดปล่อย ได้สมการต่าง ๆ (ภาพที่ 3.9 3.10 3.11 และ 3.12) พบว่า สมการ Elovich สามารถนำมาใช้ในการทำนายค่าการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังปลูกยางพาราทั้งทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทชได้ดี

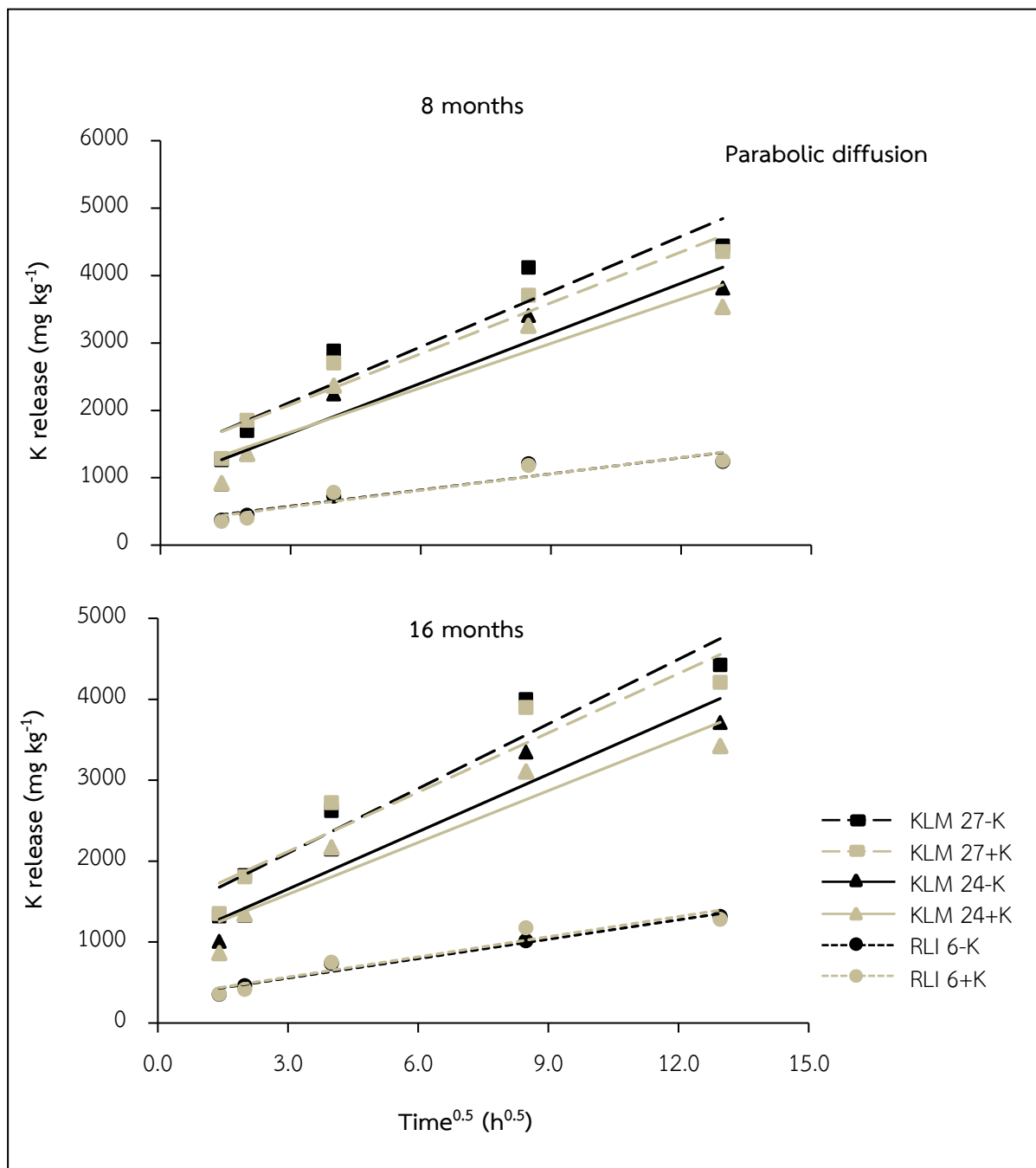
ที่สุด ซึ่งพิจารณาได้จากค่า R^2 ที่สูงที่สุดทั้งในทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (0.989 และ 0.991 ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับสมการ Frist order สมการ Parabolic diffusion และสมการ Power function ทั้งในทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (0.985 และ 0.983, 0.925 และ 0.905, 0.978 และ 0.965 ตามลำดับ) และพิจารณาจากค่า RMSE ซึ่งมีค่าต่ำสุดทั้งในทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (76.4 และ 63.8 ตามลำดับ) และเมื่อพิจารณาค่าอัตราการปลดปล่อย (b) จากสมการ Elovich พบว่า ตัวอย่าง KLM 27 ปลดปล่อยโพแทสเซียมได้มากที่สุด รองลงมาคือ KLM 24 และ RLI 6 ตามลำดับ และพบว่าอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมใกล้เคียงกันทั้งดินที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (ตารางที่ 3.11) แต่เมื่อพิจารณาอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินก่อนและหลังปลูกยางพารา พบว่า ดินหลังปลูกยางพาราทั้งในทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (498.4 และ 534.2 $\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ ตามลำดับ) มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้สูงกว่าดินก่อนปลูกยางพารา (ค่าเฉลี่ย 422.8 $\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)



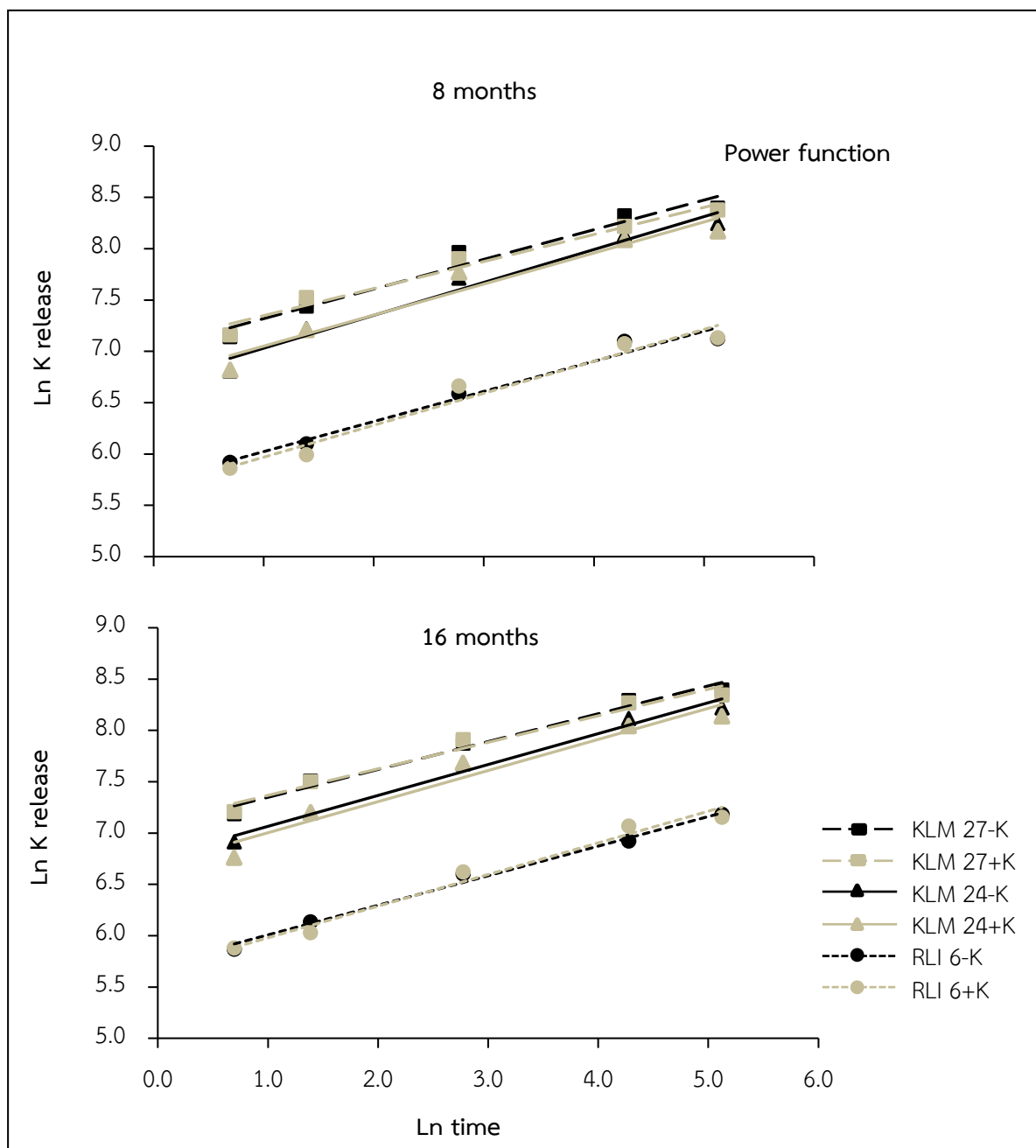
ภาพที่ 3.8 การปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง



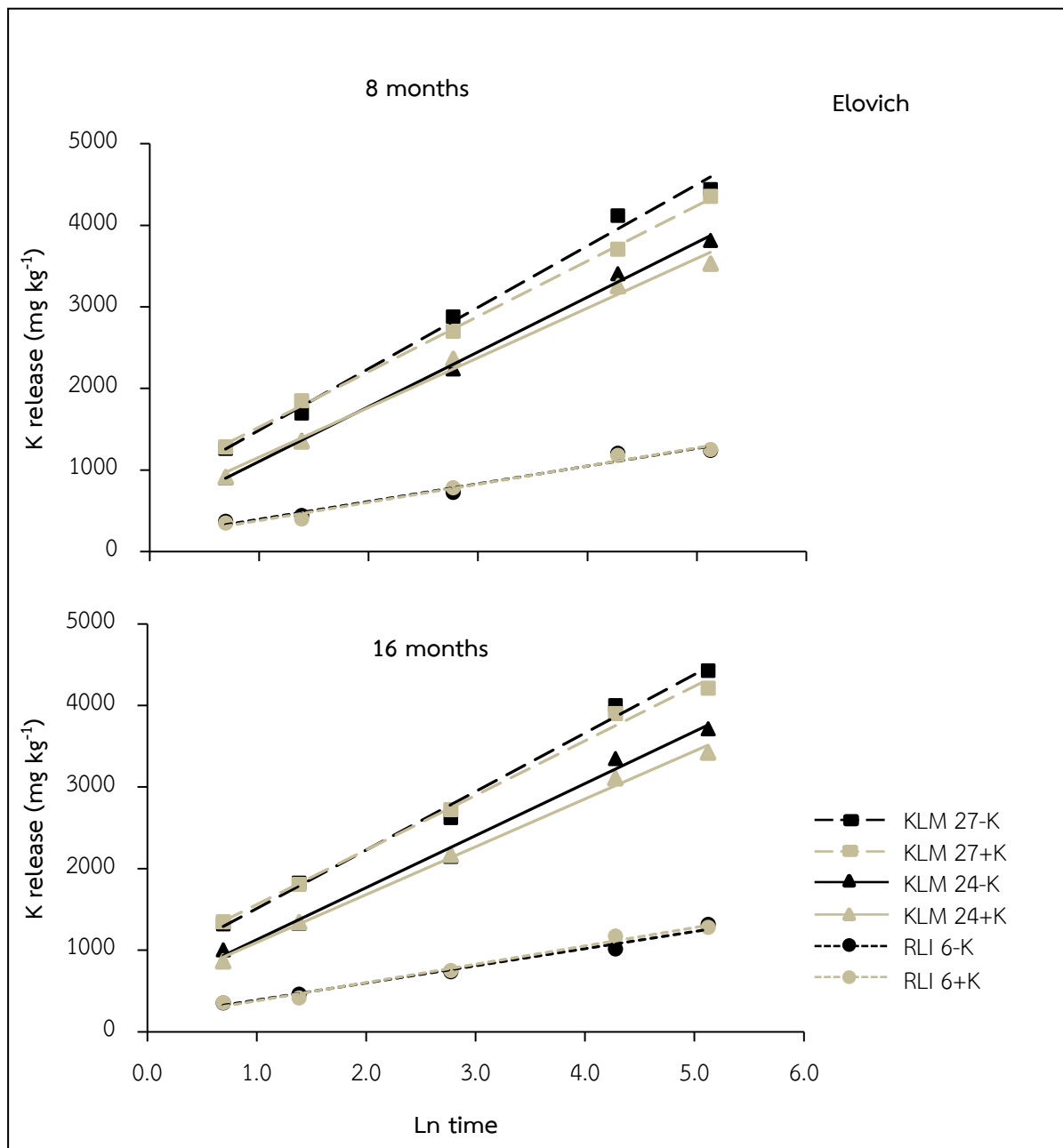
ภาพที่ 3.9 การใช้สมการ First order อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.10 การใช้สมการ Parabolic diffusion อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปุ๋ยทางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.11 การใช้สมการ Power function อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกล้วยพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.12 การใช้สมการ Elovich อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพารา โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.11 ตัวแปรจากสมการการปลดปล่อยโพแทสเซียม ใช้อธิบายกลไกการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังปลูกยางพารา โดยใช้ 0.3 M NaTPB

Samples	First order				Parabolic diffusion			
	Slope (b)	Intercept (a)	R ²	RMSE	Slope (b)	Intercept (a)	R ²	RMSE
<u>8 months</u>								
KLM 27-K	-0.032	8.02	0.988	3136.2	273.4	1302.6	0.893	412.9
KLM 27+K	-0.021	7.92	0.960	2995.6	251.5	1330.0	0.937	285.9
KLM 24-K	-0.027	7.92	0.988	2593.2	247.4	918.5	0.922	313.8
KLM 24+K	-0.031	7.78	0.975	2494.0	219.6	1016.4	0.876	360.8
RLI 6-K	-0.047	6.90	0.999	870.5	79.9	338.2	0.899	116.7
RLI 6+K	-0.036	6.84	0.996	870.4	81.6	323.2	0.892	123.8
<u>16 months</u>								
KLM 27-K	-0.027	8.01	0.994	3074.4	266.3	1301.7	0.932	314.0
KLM 27+K	-0.031	7.92	0.991	3004.5	244.5	1386.1	0.907	342.9
KLM 24-K	-0.028	7.89	0.995	2536.8	236.5	944.9	0.931	281.3
KLM 24+K	-0.028	7.76	0.981	2383.2	213.5	948.0	0.898	313.9
RLI 6-K	-0.015	6.79	0.944	845.8	79.9	314.9	0.972	59.4
RLI 6+K	-0.031	6.85	0.996	872.9	83.1	316.0	0.920	106.9
Mean (-K) ± SD	-0.029±0.010	7.59±0.58	0.985±0.02	2167±1050	197.2±91.8	853.4±440.6	0.925±0.03	249.7±134.0
Mean (+K) ± SD	-0.029±0.005	7.51±0.52	0.983±0.01	2103±987	182.3±78.7	886.6±471.1	0.905±0.02	255.7±111.8

ตารางที่ 3.11 (ต่อ)

Samples	Power function				Elovich			
	Slope (b)	Intercept (a)	R ²	RMSE	Slope (b)	Intercept (a)	R ²	RMSE
<u>8 months</u>								
KLM 27-K	0.289	7.03	0.965	3126.0	752.2	736.8	0.992	110.1
KLM 27+K	0.264	7.09	0.972	2986.4	677.8	849.5	0.999	40.9
KLM 24-K	0.320	6.71	0.969	2580.7	671.4	432.5	0.997	58.1
KLM 24+K	0.302	6.75	0.947	2483.3	609.4	546.8	0.990	100.3
RLI 6-K	0.293	5.73	0.977	863.7	217.0	181.2	0.973	60.7
RLI 6+K	0.312	5.66	0.964	861.6	223.3	157.5	0.982	50.9
<u>16 months</u>								
KLM 27-K	0.272	7.08	0.981	3065.1	717.4	793.7	0.993	99.0
KLM 27+K	0.258	7.11	0.974	2996.4	668.4	892.1	0.995	82.2
KLM 24-K	0.301	6.77	0.984	2525.9	637.5	492.6	0.993	87.7
KLM 24+K	0.303	6.70	0.952	2372.3	586.7	508.1	0.996	64.8
RLI 6-K	0.289	5.72	0.991	836.9	209.9	177.6	0.985	43.0
RLI 6+K	0.308	5.67	0.978	864.0	224.7	155.5	0.987	43.8
Mean (-K) ± SD	0.294±0.016	6.51±0.62	0.978±0.010	2166±1048	534.2±251.5	461.9±263.4	0.989±0.01	76.4±26.4
Mean (+K) ± SD	0.291±0.024	6.50±0.67	0.965±0.013	2094±987	498.4±215.3	518.2±320.0	0.991±0.01	63.8±23.5

หมายเหตุ : RMSE = Root Mean Square Error

2.1.2 การเจริญเติบโตของยางพารา

ประเมินการเจริญเติบโตของยางพาราที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27 ตัวอย่างดิน KLM 24 และตัวอย่างดิน RLI 6 ที่มีการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช โดยทำการวัดการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูง เส้นรอบวงลำต้น จำนวนใบ จำนวนก้านใบ และพื้นที่ใบ พบว่า ก่อนเริ่มการทดลองมีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน ยกเว้น จำนวนใบ และจำนวนก้านใบของยางพาราที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 24 และพบว่าเมื่อยางพาราอายุ 4, 8, 12 และ 16 เดือน ทรีตเมนต์ที่มีการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช การเจริญเติบโตของการพาราไม่ว่าจะเป็น ความสูง เส้นรอบวงลำต้น จำนวนใบ จำนวนก้านใบ และพื้นที่ใบไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3.13 และ 3.14) พบว่า ความสูงของยางพาราอายุ 0, 4, 8, 12 และ 16 เดือน อยู่ในช่วง 20.2-23.7, 53.8-85.6, 69.0-102.5, 73.6-115.6 และ 80.2-159.8 เซนติเมตร ตามลำดับ เส้นรอบวงลำต้นอยู่ในช่วง 3.67-4.44, 6.25-10.22, 8.24-11.31, 8.94-11.92 และ 9.41-13.54 มิลลิเมตร ตามลำดับ จำนวนใบอยู่ในช่วง 16.8-22.6, 51.4-79.6, 69.2-92.2, 44.0-85.4 และ 47.0-92.0 ใบ ตามลำดับ จำนวนก้านใบอยู่ในช่วง 5.6-7.6, 18.2-27.0, 24.4-31.8, 15.6-29.8 และ 16.6-32.2 ก้าน ตามลำดับ และพื้นที่ใบอยู่ในช่วง 0, 30.13-51.94, 38.39-66.75, 40.12-67.48 และ 0 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบเจริญเติบโตของยางพาราที่ปลูกในตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่าความสูง เส้นรอบวงลำต้น จำนวนใบ จำนวนก้านใบ รวมทั้งพื้นที่ใบของยางพาราที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27 เจริญเติบโตดีที่สุด รองลงมาคือ KLM 24 และ RLI 6 ตามลำดับ (ภาพที่ 3.15 3.16 และ 3.17)

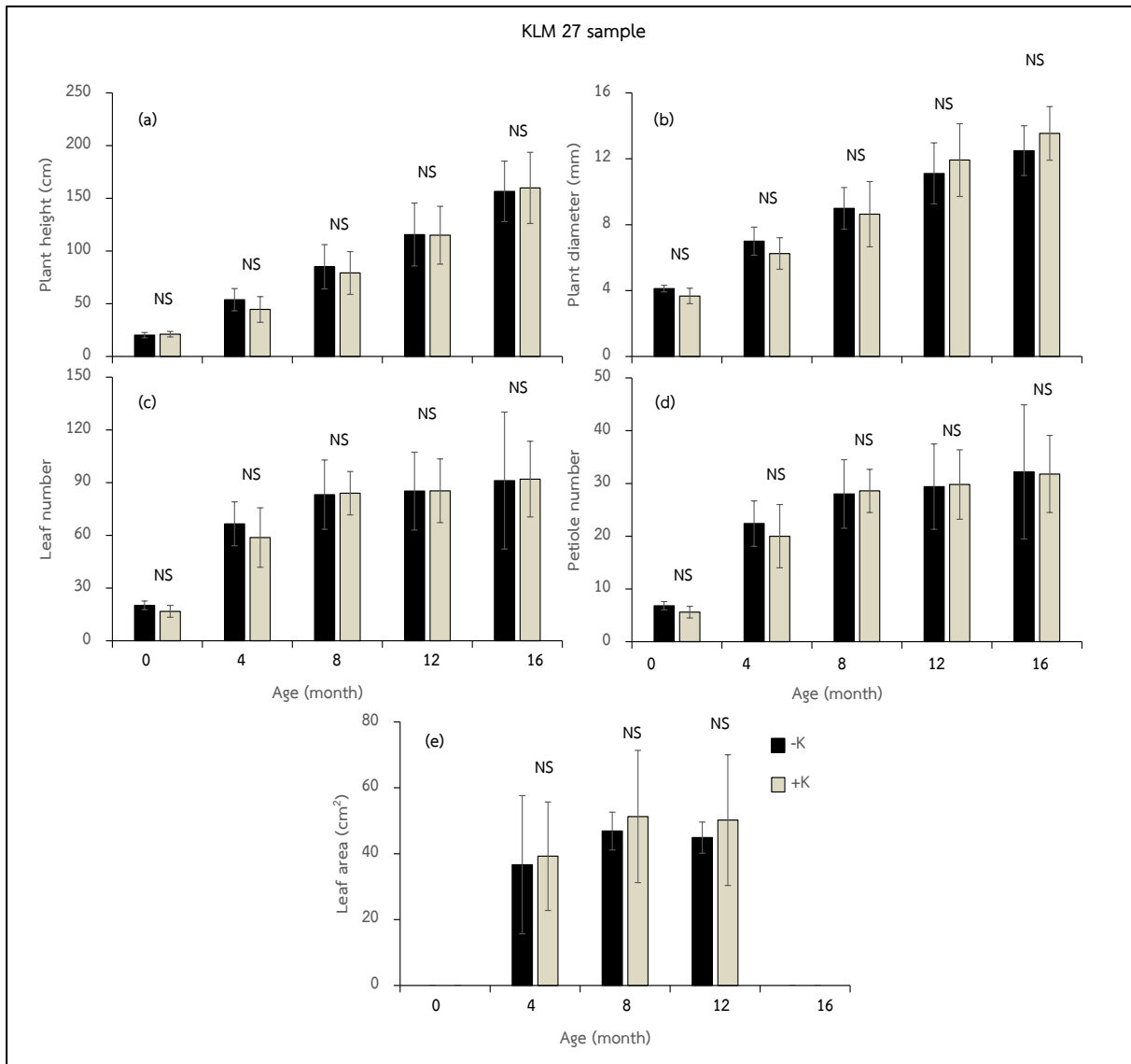
น้ำหนักแห้งของยางพาราอายุ 8 และ 16 เดือนที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่างดิน พบว่า ทรีตเมนต์ที่มีการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช น้ำหนักแห้งใบ ก้านใบ ลำต้น รากแก้ว และรากแขนงของยางพาราไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3.18 และ 3.19) เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของยางพาราที่ปลูกในตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่า น้ำหนักแห้งรวมของยางพาราที่ปลูกในดิน KLM 27 และ KLM 24 ใกล้เคียงกัน และยางพาราที่ปลูกในดิน RLI 6 มีน้ำหนักแห้งรวมต่ำที่สุด (ภาพที่ 3.18 และ 3.19)



ภาพที่ 3.13 การเจริญเติบโตของยางพารา อายุ 8 เดือน ที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27, KLM 24 และ RLI 6 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)

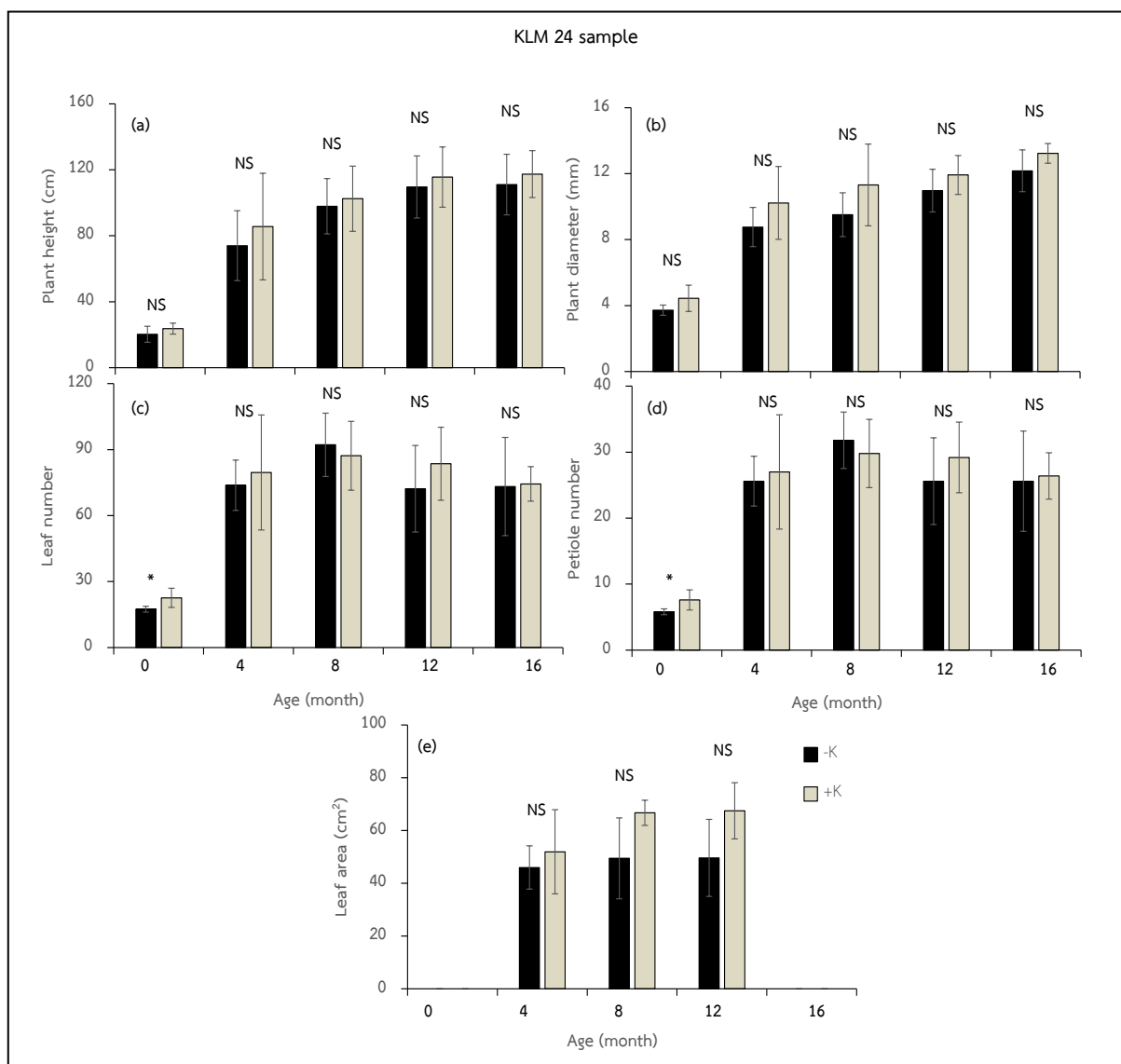


ภาพที่ 3.14 การเจริญเติบโตของยางพารา อายุ 16 เดือน ที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27, KLM 24 และ RLI 6 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)



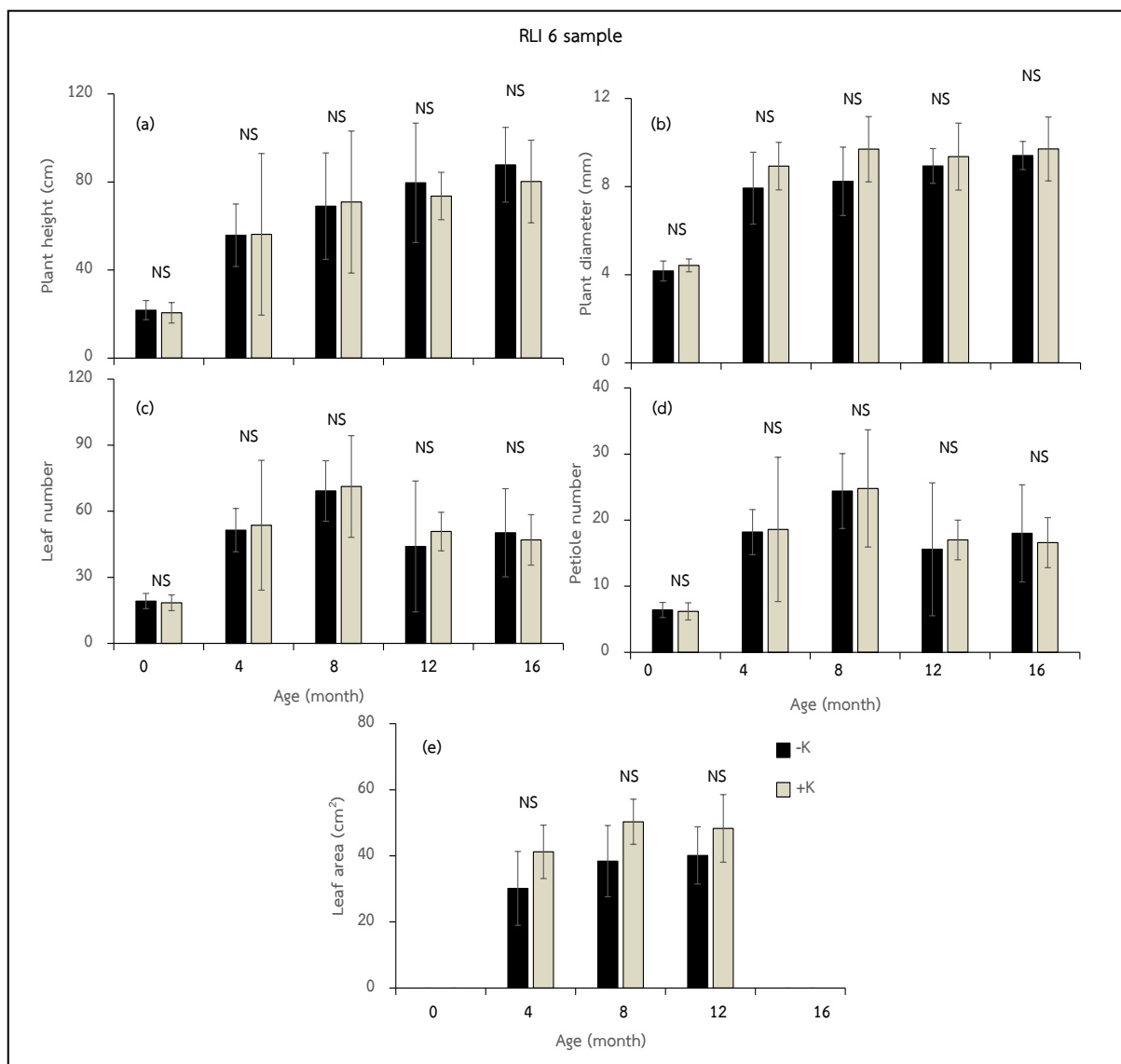
ภาพที่ 3.15 การเจริญเติบโตทางด้านความสูงลำต้น (a) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (b) จำนวนใบ (c) จำนวนก้านใบ (d) และพื้นที่ใบ (e) ของยางพาราที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ



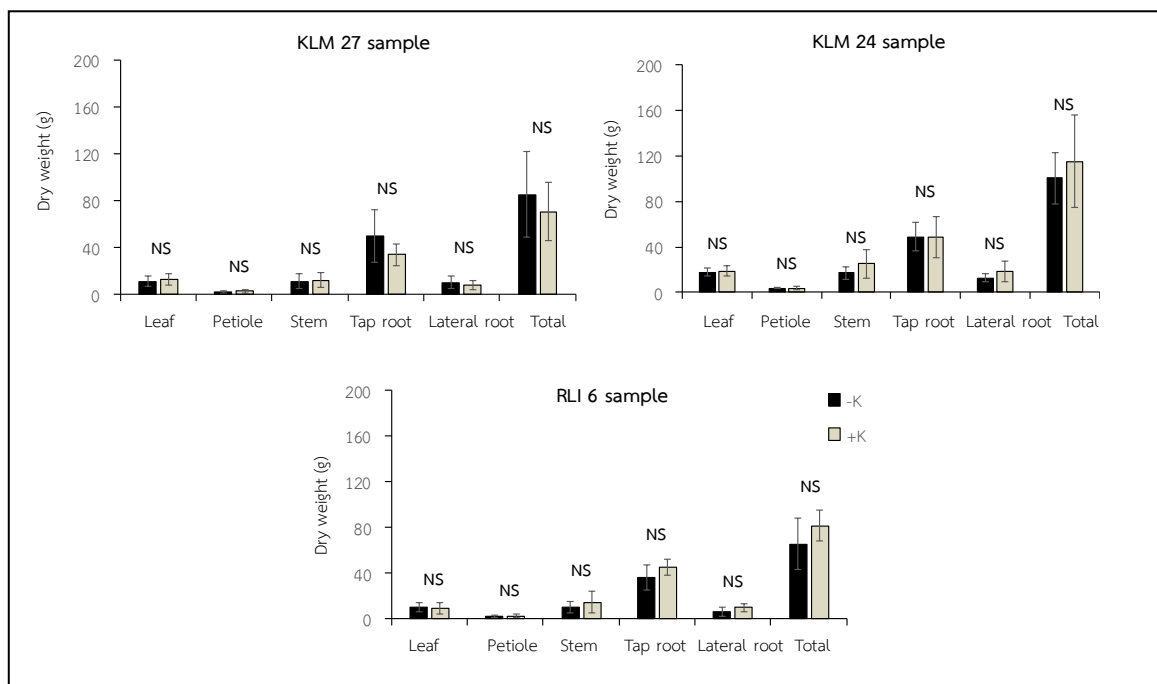
ภาพที่ 3.16 การเจริญเติบโตทางด้านความสูงลำต้น (a) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (b) จำนวนใบ (c) จำนวนก้านใบ (d) และพื้นที่ใบ (e) ของยางพาราที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 24 ที่ใส่ (+K) และ ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (-K)

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P < 0.05$



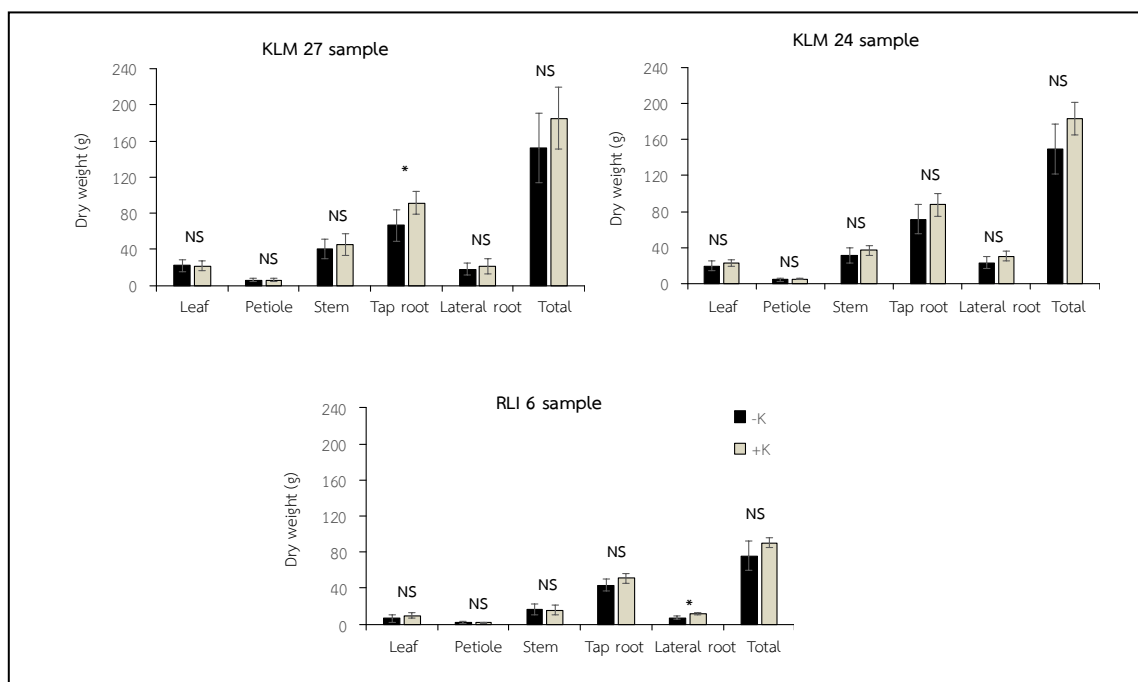
ภาพที่ 3.17 การเจริญเติบโตทางด้านความสูงลำต้น (a) เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (b) จำนวนใบ (c) จำนวนก้านใบ (d) และพื้นที่ใบ (e) ของยางพาราที่ปลูกในตัวอย่างดิน RLI 6 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ



ภาพที่ 3.18 น้ำหนักแห้งใบ ก้าน ลำต้น รากแก้ว รากแขนง และน้ำหนักแห้งรวมของยางพาราอายุ 8 เดือน ที่ปลูกในดินที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ



ภาพที่ 3.19 น้ำหนักแห้งใบ ก้าน ลำต้น รากแก้ว รากแขนง และน้ำหนักแห้งรวมของยางพาราอายุ 16 เดือน ที่ปลูกในดินที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P < 0.05$

2.1.3 ความเข้มข้นและการดูดใช้โพแทสเซียมและธาตุอาหารพืชในส่วนต่าง ๆ ของกล้า

ยางพารา

วิเคราะห์ความเข้มข้นและการดูดใช้โพแทสเซียม และธาตุอาหารพืชอื่น ๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม ในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราอายุ 8 และ 16 เดือน ได้แก่ ใบ ก้านใบ ลำต้น รากแก้ว และรากแขนง ที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27 ตัวอย่างดิน KLM 24 และตัวอย่างดิน RLI 6 ที่มีการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช

ในกล้ายางพาราอายุ 8 เดือน พบว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของกล้ายางพาราที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่าง ส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันระหว่างทรีตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช ยกเว้น ในรากแขนงของกล้ายางพาราที่ปลูกในดิน KLM 27 และในดิน KLM 24 และพบว่า ในก้านใบมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมมากที่สุด รองลงมา คือ ใบ ลำต้น และรากแขนงมีความเข้มข้นใกล้เคียงกัน และในรากแก้วน้อยที่สุด (ตารางที่ 3.12 3.13 และ 3.14) และเมื่อพิจารณาการดูดใช้โพแทสเซียมระหว่างทรีตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า การดูดใช้โพแทสเซียมของกล้ายางพาราที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3.20) นอกจากนี้ พบว่า ความเข้มข้นของธาตุอาหารอื่น ๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของกล้ายางพาราที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่าง ส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันระหว่างทรีตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช ยกเว้น ความเข้มข้นของไนโตรเจนและแคลเซียมในลำต้น และฟอสฟอรัสในรากแขนงในกล้ายางพาราที่ปลูกในดิน KLM 27 และความเข้มข้นของแมกนีเซียมในก้านใบของกล้ายางพาราที่ปลูกในดิน KLM 24 และ พบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงที่สุดในใบ รองลงมา คือ รากแขนง ก้านใบ ต้น และรากแก้ว ตามลำดับ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงที่สุดในใบและรากแขนง รองลงมาคือ ในก้านใบและลำต้นใกล้เคียงกัน และในรากแก้วน้อยที่สุด ความเข้มข้นของแคลเซียมสูงที่สุดในลำต้น รองลงมา คือ ใบและก้านใบใกล้เคียงกัน และในรากแขนงและรากแก้วน้อยที่สุดใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3.12 3.13 และ 3.14) และเมื่อพิจารณาการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมระหว่างทรีตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า การดูดใช้ธาตุดังกล่าวข้างต้นของกล้ายางพาราที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3.20)

ตารางที่ 3.12 ผลของการใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราอายุ 8 เดือน ที่ปลูกในดิน KLM 27

Treatment	N	P	K	Ca	Mg
(g kg ⁻¹)					
Leaf nutrients					
-K	30.37±2.46	1.56±0.11	15.92±3.54	6.20±0.80	1.51±0.39
+K	30.31±1.87	1.59±0.14	15.30±1.99	5.45±0.72	1.86±0.29
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Petiole nutrients					
-K	10.86±0.04	1.07±0.26	14.30±3.89	5.39±1.02	1.05±0.39
+K	10.54±0.51	1.15±0.21	16.20±2.88	5.21±1.09	1.07±0.29
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Stem nutrients					
-K	7.42±1.43	1.06±0.19	8.92±1.13	10.43±2.37	1.44±0.42
+K	5.29±0.70	0.93±0.13	9.34±0.90	7.35±0.96	1.08±0.19
T-test	*	NS	NS	*	NS
Tap root nutrients					
-K	7.39±0.89	0.71±0.16	6.28±2.94	3.20±0.83	0.69±0.13
+K	7.25±0.76	0.70±0.26	5.18±1.23	3.03±0.67	0.64±0.16
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Lateral root nutrients					
-K	16.95±2.01	1.42±0.17	11.80±1.98	2.79±0.42	1.21±0.11
+K	18.57±1.14	1.68±0.15	15.59±2.97	2.65±0.31	1.20±0.29
T-test	NS	*	*	NS	NS

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 3.13 ผลของการใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราอายุ 8 เดือน ที่ปลูกในดิน KLM 24

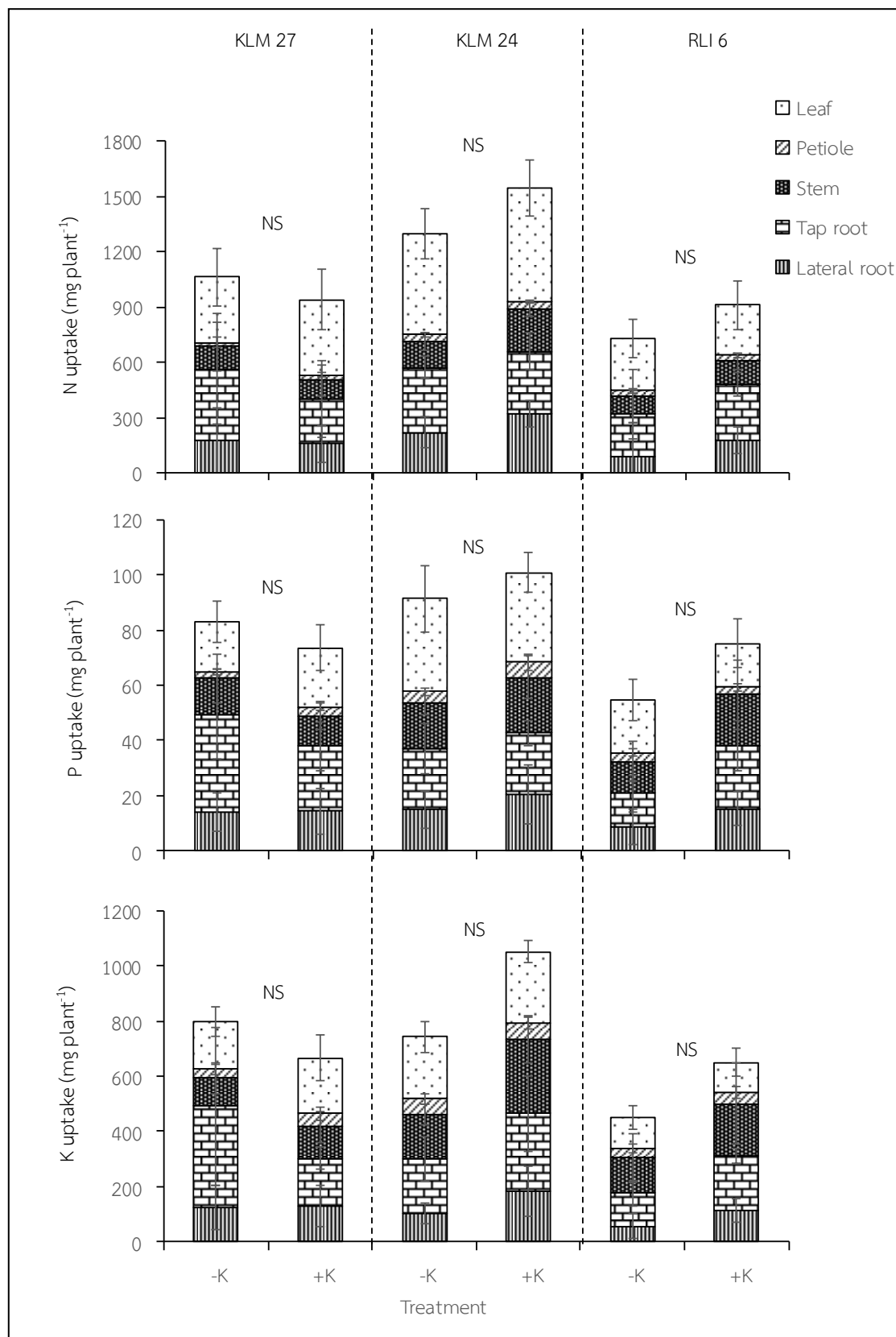
Treatment	N	P	K	Ca	Mg
(g kg ⁻¹)					
Leaf nutrients					
-K	30.25±2.11	1.85±0.34	12.44±0.75	8.87±2.36	2.49±0.47
+K	32.87±8.73	1.72±0.08	13.79±1.54	7.63±0.65	2.40±0.46
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Petiole nutrients					
-K	10.63±0.30	1.10±0.19	14.85±2.97	8.04±2.95	1.32±0.37
+K	10.90±0.73	1.31±0.35	15.56±2.08	7.62±2.64	2.65±0.80
T-test	NS	NS	NS	NS	*
Stem nutrients					
-K	8.04±0.80	0.99±0.23	9.76±2.12	9.33±2.41	1.06±0.23
+K	8.76±1.46	0.85±0.16	11.44±2.73	9.54±1.19	1.44±0.34
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Tap root nutrients					
-K	7.16±0.22	0.44±0.10	3.86±0.69	3.27±0.99	0.74±0.11
+K	7.00±0.79	0.49±0.15	5.77±1.95	4.61±1.64	0.93±0.30
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Lateral root nutrients					
-K	17.20±1.09	1.15±0.23	8.08±1.10	3.69±0.60	1.63±0.30
+K	17.00±1.65	1.14±0.16	10.04±0.35	3.43±0.40	1.55±0.15
T-test	NS	NS	*	NS	NS

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 3.14 ผลของการใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราอายุ 8 เดือน ที่ปลูกในดิน RLI 6

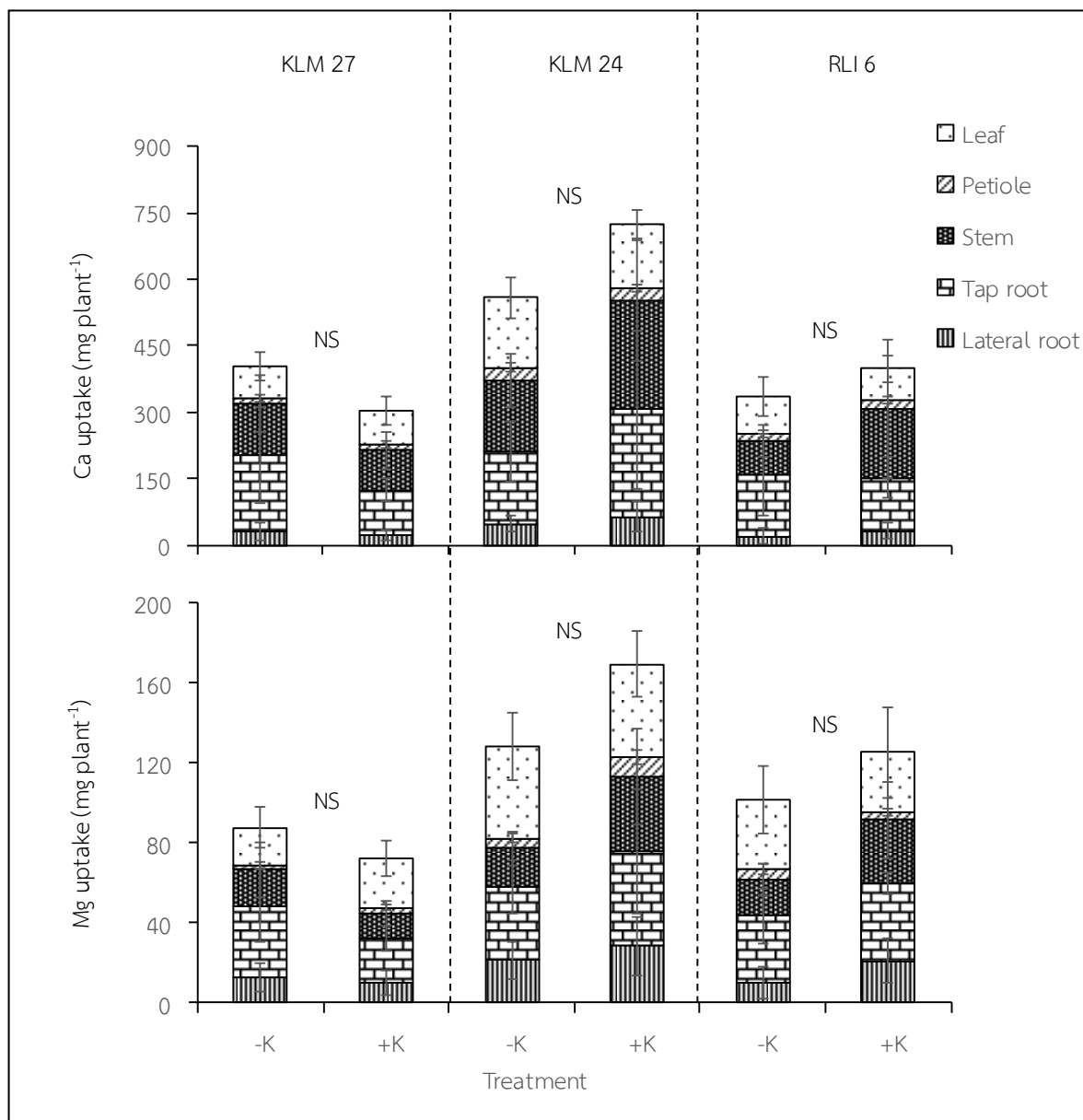
Treatment	N	P	K	Ca	Mg
(g kg ⁻¹)					
Leaf nutrients					
-K	27.28±1.41	1.81±0.17	10.62±1.51	7.09±1.51	3.41±0.34
+K	29.99±3.18	1.69±0.26	12.13±2.16	8.03±1.48	3.35±0.51
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Petiole nutrients					
-K	12.04±0.85	1.27±0.16	14.47±3.06	6.54±1.76	1.93±0.44
+K	11.25±0.24	1.04±0.20	16.69±2.53	7.25±0.71	1.55±0.25
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Stem nutrients					
-K	9.52±1.54	1.07±0.34	11.16±2.93	7.30±0.33	1.82±0.58
+K	9.53±2.47	1.29±0.26	12.27±3.26	9.66±3.37	2.26±0.53
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Tap root nutrients					
-K	6.36±0.73	0.34±0.15	3.40±0.76	3.79±1.58	0.92±0.19
+K	6.73±1.38	0.52±0.25	4.42±1.15	2.85±1.55	0.87±0.12
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Lateral root nutrients					
-K	15.18±2.15	1.47±0.34	9.38±2.30	2.95±0.88	1.72±0.35
+K	17.70±1.93	1.60±0.19	12.06±1.55	3.19±0.76	2.15±0.65
T-test	NS	NS	NS	NS	NS

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ



ภาพที่ 3.20 การดูดใช้ธาตุอาหารพืชในกล้าอายุ 8 เดือน ที่ปลูกในดิน KLM 27, KLM 24 และ RLI 6

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ



ภาพที่ 3.20 (ต่อ)

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

ในกล้วยพาราอายุ 16 เดือน พบว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของกล้วยพาราที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่แตกต่างกันระหว่างทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช ยกเว้น ในก้านใบของกล้วยพาราที่ปลูกในดิน RLI 6 และพบว่า ในก้านใบมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมมากที่สุด รองลงมา คือ ใบ ลำต้น และรากแขนงมีความเข้มข้นใกล้เคียงกัน และในรากแก้วน้อยที่สุด (ตารางที่ 3.15 3.16 และ 3.17) และเมื่อพิจารณาการดูดใช้โพแทสเซียมระหว่างทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า การดูดใช้โพแทสเซียมของกล้วยพาราที่ปลูกในดิน KLM 27 และ RLI 6 ไม่แตกต่างกัน แต่ที่ปลูกในดิน KLM 24 แตกต่างกัน กล่าวคือ ทริตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยโพแทชทำให้การดูดใช้โพแทสเซียมของกล้วยพาราสูงกว่าทริตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (ภาพที่ 3.21) นอกจากนี้ พบว่า ความเข้มข้นของธาตุอาหารอื่น ๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของกล้วยพาราที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่าง ส่วนใหญ่ไม่

แตกต่างกันระหว่างทรีตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช ยกเว้น ความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบ แคลเซียมในลำต้น และแมกนีเซียมในก้านใบของกล้วยพาราที่ปลูกในดิน KLM 27 และพบว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงสุดในใบ รองลงมา คือ รากแขนง ก้านใบ ลำต้น และรากแก้ว ตามลำดับ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงที่สุดใกล้เคียงกันในใบ รองลงมาคือ ในก้านใบ ลำต้น และรากแขนงใกล้เคียงกัน และในรากแก้วน้อยที่สุด ความเข้มข้นของแคลเซียมสูงที่สุดในลำต้น รองลงมาคือ ในใบและก้านใบใกล้เคียงกัน และในรากแขนงและรากแก้วน้อยที่สุดใกล้เคียงกัน และความเข้มข้นของแมกนีเซียมสูงที่สุดในใบ รองลงมาคือ ก้านใบ ลำต้น รากแขนง และรากแก้ว ตามลำดับ (ตารางที่ 3.15 3.16 และ 3.17) และเมื่อพิจารณาการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมระหว่างทรีตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า การดูดใช้ธาตุดังกล่าวข้างต้นของกล้วยพาราที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่าง ไม่แตกต่างกัน ยกเว้นการดูดใช้ฟอสฟอรัสของกล้วยพาราที่ปลูกในดิน KLM 24 ซึ่ง พบว่า ทรีตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยโพแทชทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสของกล้วยพาราสูงกว่าทรีตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (ภาพที่ 3.21)

ตารางที่ 3.15 ผลของการใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราอายุ 16 เดือน ที่ปลูกในดิน KLM 27

Treatment	N	P	K	Ca	Mg
(g kg ⁻¹)					
Leaf nutrients					
-K	32.78±1.82	2.14±0.45	13.50±1.86	8.42±1.53	4.08±0.42
+K	29.81±1.66	1.96±0.29	12.73±0.84	8.86±1.06	3.84±0.76
T-test	*	NS	NS	NS	NS
Petiole nutrients					
-K	12.26±2.15	1.87±0.71	20.37±5.99	6.94±1.74	2.56±0.43
+K	12.63±2.96	1.79±0.36	23.33±4.91	9.10±2.57	3.64±0.45
T-test	NS	NS	NS	NS	*
Stem nutrients					
-K	9.81±1.07	1.10±0.18	12.68±3.39	11.69±2.36	2.58±0.39
+K	10.84±3.43	1.24±0.16	15.45±3.65	8.42±2.00	2.58±0.92
T-test	NS	NS	NS	*	NS
Tap root nutrients					
-K	6.67±0.98	0.42±0.20	3.95±0.72	3.55±0.69	0.89±0.22
+K	6.23±0.94	0.32±0.12	3.86±0.90	3.03±.68	0.89±0.30
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Lateral root nutrients					
-K	17.05±1.28	1.22±0.16	10.00±1.60	4.78±0.67	1.70±0.25
+K	15.85±0.80	1.31±0.31	10.60±1.70	4.57±0.76	1.99±0.61
T-test	NS	NS	NS	NS	NS

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 3.16 ผลของการใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราอายุ 16 เดือน ที่ปลูกในดิน KLM 24

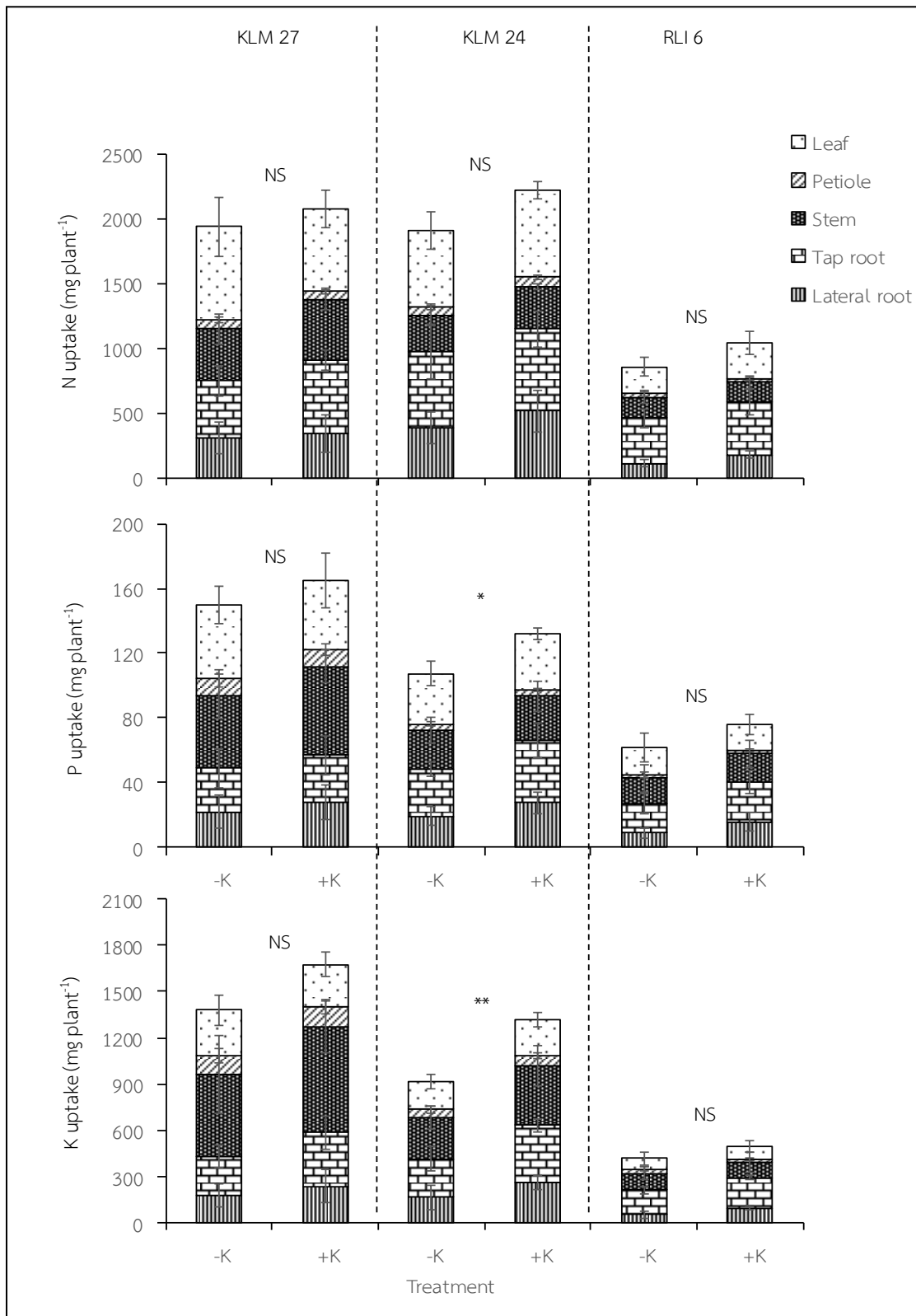
Treatment	N	P	K	Ca	Mg
(g kg ⁻¹)					
Leaf nutrients					
-K	30.69±2.49	1.61±0.14	9.07±1.18	7.83±1.42	3.23±0.72
+K	29.97±1.94	1.54±0.16	10.32±0.84	8.49±1.08	3.84±0.94
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Petiole nutrients					
-K	12.83±1.53	0.84±0.05	11.91±1.46	6.27±0.50	1.82±0.55
+K	13.70±1.19	0.79±0.09	13.30±1.91	7.08±1.11	1.96±0.56
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Stem nutrients					
-K	9.20±0.67	0.78±0.19	8.83±1.39	7.52±1.39	1.36±0.42
+K	9.01±1.03	0.76±0.31	10.40±3.29	8.30±0.72	1.69±0.72
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Tap root nutrients					
-K	8.14±1.49	0.43±0.15	3.58±0.77	3.39±0.98	0.95±0.26
+K	7.20±1.11	0.44±0.11	4.28±0.58	3.46±1.45	0.79±0.20
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Lateral root nutrients					
-K	16.88±1.99	0.85±0.10	7.06±1.63	4.15±1.01	1.54±0.46
+K	16.89±2.63	0.91±0.12	8.72±1.07	4.47±0.35	1.39±0.21
T-test	NS	NS	NS	NS	NS

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$

ตารางที่ 3.17 ผลของการใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K) ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราอายุ 16 เดือน ที่ปลูกในดิน RLI 6

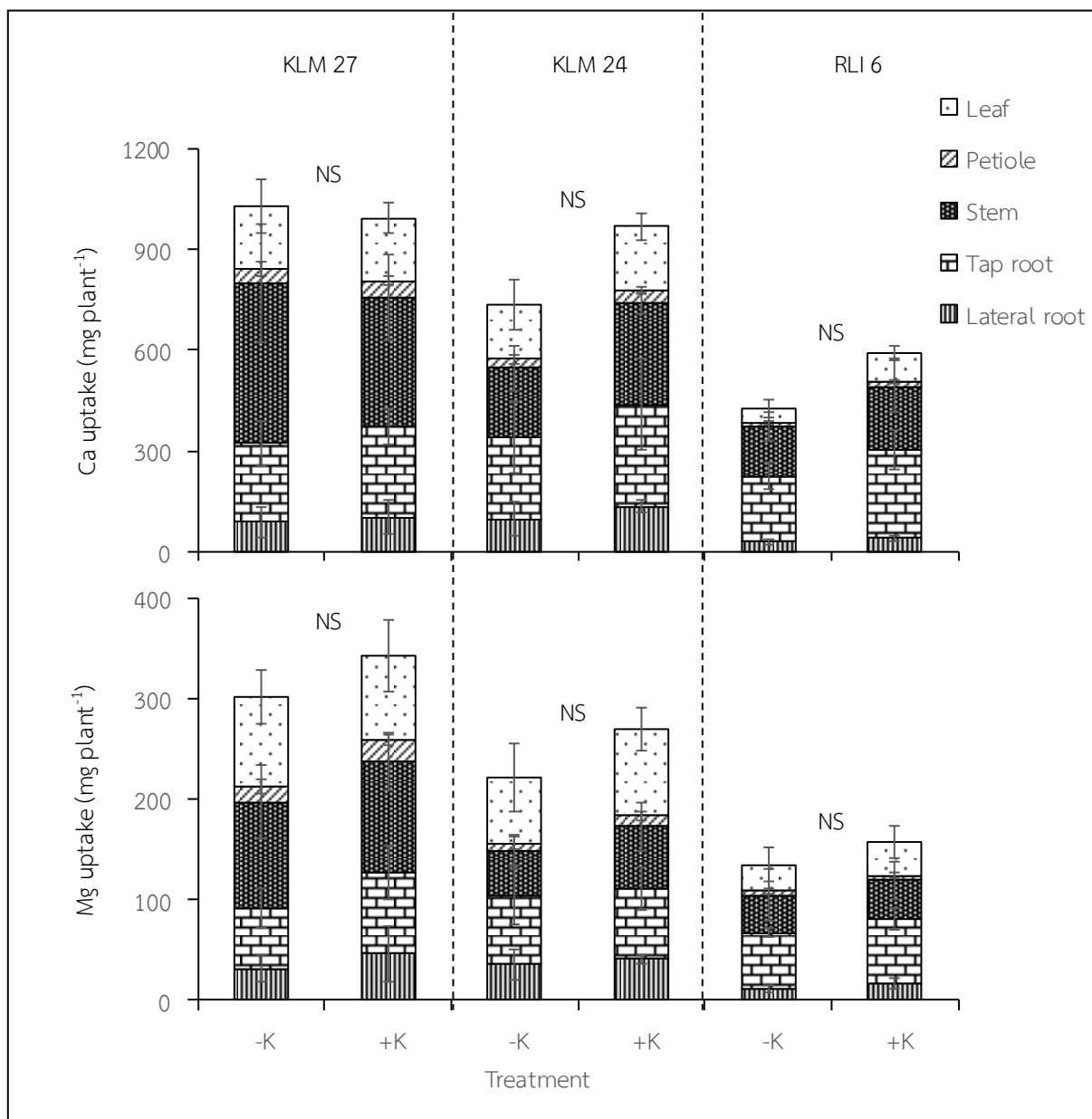
Treatment	N	P	K	Ca	Mg
(g kg ⁻¹)					
Leaf nutrients					
-K	31.12±4.04	2.43±0.71	11.98±4.28	6.41±2.13	3.69±0.50
+K	28.23±1.61	1.64±0.18	8.11±1.80	9.19±1.89	3.32±0.74
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Petiole nutrients					
-K	13.56±3.92	1.23±0.45	14.32±2.05	5.52±0.99	2.34±0.83
+K	13.71±2.59	1.14±0.24	9.86±3.50	8.30±2.54	2.50±0.99
T-test	NS	NS	*	NS	NS
Stem nutrients					
-K	9.77±1.52	0.92±0.20	6.57±0.53	9.01±1.13	2.13±0.88
+K	9.75±1.51	1.08±0.33	6.11±0.25	12.20±3.95	2.44±0.67
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Tap root nutrients					
-K	8.03±1.04	0.41±0.11	3.52±0.94	4.54±1.07	0.130±0.19
+K	7.84±1.17	0.48±0.12	3.85±0.58	5.15±1.15	1.25±0.21
T-test	NS	NS	NS	NS	NS
Lateral root nutrients					
-K	15.97±0.28	1.25±0.18	7.57±1.56	4.30±0.69	1.64±0.58
+K	15.34±0.92	1.33±0.38	8.24±0.57	3.53±0.59	1.38±0.28
T-test	NS	NS	NS	NS	NS

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$



ภาพที่ 3.21 การดูดใช้ธาตุอาหารพืชในกล้วยพาราอายุ 16 เดือน ที่ปลูกในดิน KLM 27, KLM 24 และ RLI 6

หมายเหตุ : คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$, ** คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$



ภาพที่ 3.21 (ต่อ)

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ

2.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินกับการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของยางพารา

จากสมการการคาดคะเนการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดิน พบว่า สมการ Elovic สามารถใช้ในการทำนายการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีที่สุด จึงนำค่า b ซึ่งแสดงถึงอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม ($\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) ของแต่ละตัวอย่างดินหาความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของยางพาราอายุ 8 และ 16 เดือน พบว่า อัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินไม่มีความสัมพันธ์กับการดูดใช้โพแทสเซียมและการเจริญเติบโตของยางพาราอายุ 8 เดือน แต่มีความสัมพันธ์กับการดูดใช้โพแทสเซียมและการเจริญเติบโตของยางพาราอายุ 16 เดือน (ตารางที่ 3.18)

ตารางที่ 3.18 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ของดิน ปลูกยางพารา การเจริญเติบโต และการดูดใช้โพแทสเซียมของยางพารา

Parameter	K release rate	NH ₄ AOC-K	Fixed-K	HNO ₃ -K	Total-K
<u>K uptake</u>					
Leaf K	0.942**	-0.081	0.067	0.045	0.958**
Petiole K	0.839*	-0.182	0.324	0.278	0.927**
Stem K	0.847*	-0.066	0.249	0.235	0.899*
Tap root K	0.719	0.477	-0.256	-0.124	0.586
Lateral root	0.819*	0.380	-0.282	-0.179	0.687
<u>Plant growth</u>					
Plant heigth	0.875*	-0.247	0.283	0.218	0.955**
Plant diameter	0.930**	0.141	-0.218	-0.182	0.818*
Total dry weight	0.900*	0.226	-0.253	-0.193	0.774

หมายเหตุ : *, ** = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ 99 ตามลำดับ

2.2 ศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดิน การเจริญเติบโต และการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวาน

2.2.1 สมบัติของดินและการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน

สมบัติทางเคมีของดิน ตารางที่ 3.19 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของดินก่อนปลูกและหลังปลูกข้าวโพดหวาน ผลการทดลองพบว่า ดินก่อนปลูกข้าวโพดหวานมีค่า pH เฉลี่ย 5.08 หลังจากเก็บเกี่ยวข้าวโพดหวานและวัดค่า pH ของดิน พบว่า pH ของดินมีแนวโน้มลดลง เฉลี่ย 4.67 ลดลงประมาณ 0.5 หน่วย pH ในขณะที่สมบัติทางเคมีอื่น ๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ยกเว้น ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ดินก่อนปลูกยางพารามีค่าเฉลี่ย 41.06 เมื่อปลูกข้าวโพดหวาน พบว่า ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินลดลง เฉลี่ย 29.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

รูปของโพแทสเซียมของดิน จากการศึกษา พบว่า หลังจากปลูกข้าวโพดหวาน โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ มีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะในทริตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช แต่ในทริตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยกเว้นในรูปโพแทสเซียมทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงทั้งในทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (ตารางที่ 3.20) และเมื่อพิจารณาร้อยละโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ พบว่า โพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ทันทีในทริตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทชมีค่าลดลง แต่พบว่า ทริตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยโพแทชมีแนวโน้มโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ทันทีเพิ่มขึ้น และโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้า ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่โพแทสเซียมในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ใกล้เคียงกับดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน (ตารางที่ 3.21)

การปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน หลังจากทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดหวาน ทำการเก็บตัวอย่างดินทั้ง 2 ทริตเมนต์เพื่อวิเคราะห์การปลดปล่อยโพแทสเซียม ผลการทดลอง พบว่า รูปแบบการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังปลูกเหมือนกับดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน คือ การปลดปล่อยโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาในการสกัดดินเพิ่มขึ้นในช่วงแรก จนถึงระยะเวลา 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นการปลดปล่อยโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ พบว่า ตัวอย่างดิน KLM 27 มีการ

ปลดปล่อยโพแทสเซียมมากที่สุด อยู่ในช่วง 1,012-4,254 mg kg⁻¹ (เวลา 2-168 ชั่วโมง) รองลงมาคือตัวอย่างดิน KLM 24 อยู่ในช่วง 698-3,889 mg kg⁻¹ (เวลา 2-168 ชั่วโมง) และตัวอย่างดิน RLI 6 ปลดปล่อยโพแทสเซียมได้น้อยที่สุด อยู่ในช่วง 260-1,327 mg kg⁻¹ (เวลา 2-168 ชั่วโมง) (ภาพที่ 3.22) เมื่อนำค่าการปลดปล่อยโพแทสเซียม ที่สกัดได้ที่ 168 ชั่วโมง มาเปรียบเทียบกับโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน พบว่าโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยออกมา โดยวิธีสกัดด้วย 0.3 M NaTPB มีปริมาณถึงร้อยละ 29-77 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน

เมื่อนำค่าการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังการปลูกข้าวโพดหวานมาสร้างสมการการปลดปล่อย ได้สมการต่าง ๆ พบว่า สมการ Elovich สามารถนำมาใช้ในการทำนายค่าการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังปลูกข้าวโพดหวานทั้งทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมได้ดีที่สุด ซึ่งพิจารณาได้จากค่า R² ที่สูงที่สุดทั้งในทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (0.992 และ 0.983 ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับสมการ Frist order สมการ Parabolic diffusion และสมการ Power function ทั้งในทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (0.985 และ 0.996, 0.917 และ 0.898, 0.966 และ 0.960 ตามลำดับ) และพิจารณาจากค่า RMSE ซึ่งมีค่าต่ำสุดทั้งในทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (88.5 และ 125.6 ตามลำดับ) และเมื่อพิจารณาค่าอัตราการปลดปล่อย (b) จากสมการ Elovich พบว่า ตัวอย่าง KLM 27 และ KLM 24 ปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ใกล้เคียงกัน และตัวอย่าง RLI 6 ปลดปล่อยได้น้อยที่สุด และพบว่าอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมใกล้เคียงกันทั้งดินที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (ตารางที่ 3.22) แต่เมื่อพิจารณาอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินก่อนและหลังปลูกข้าวโพดหวาน พบว่า ดินหลังปลูกข้าวโพดหวานทั้งในทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (574.6 และ 590.2 mg kg⁻¹ h⁻¹ ตามลำดับ) มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้สูงกว่าดินก่อนปลูกข้าวโพดหวาน (ค่าเฉลี่ย 422.8 mg kg⁻¹ h⁻¹) เช่นเดียวกันกับดินหลังปลูกยางพารา

ตารางที่ 3.19 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังปลูกข้าวโพดหวาน

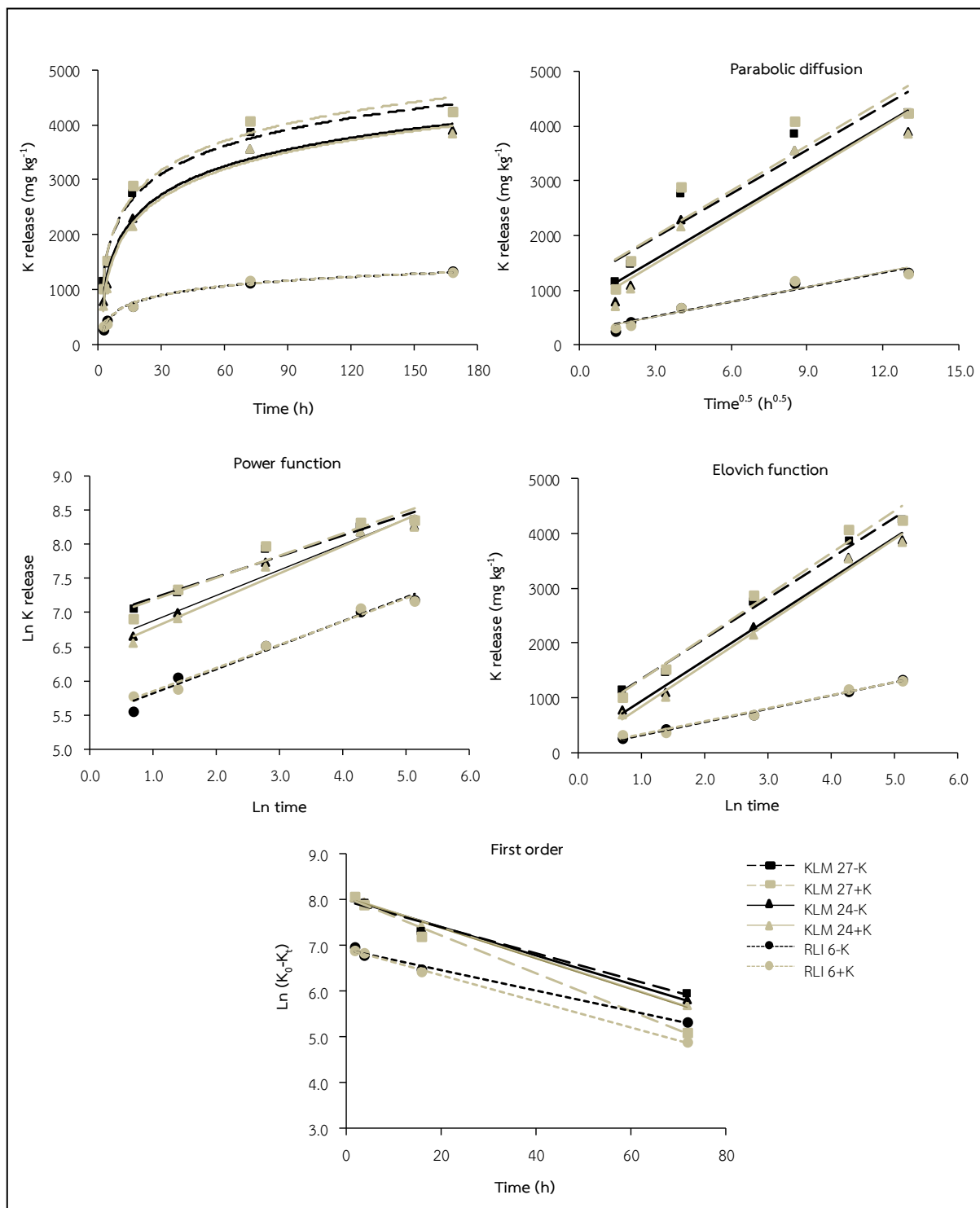
Samples	pH (1:5 H ₂ O)	EC (1:5) (dS m ⁻¹)	OM	Total N	Avai. P	Exch. K	Exch. Ca	Exch. Mg	CEC
			(g kg ⁻¹)		(mg kg ⁻¹)	(cmol _c kg ⁻¹)			
Before planting									
KLM 24	5.50	0.095	12.79	1.03	5.92	0.13	1.03	0.28	3.64
KLM 27	4.70	0.232	11.63	0.75	53.95	0.14	0.40	0.67	4.51
RLI 6	5.05	0.144	6.14	0.57	63.31	0.20	2.76	0.14	4.03
Mean	5.08±0.40	0.157±0.07	10.19±3.19	0.78±0.23	41.06±30.79	0.16±0.04	1.40±1.22	0.36±0.27	4.06±0.44
After planting									
KLM 24-K	4.87	0.202	11.79	1.11	35.02	0.10	0.31	0.12	6.30
KLM 24+K	4.90	0.165	13.01	0.97	25.39	0.30	0.24	0.11	6.30
KLM 27-K	4.90	0.162	12.74	1.06	26.19	0.08	1.12	0.38	7.99
KLM 27+K	4.33	0.234	11.94	0.93	17.66	0.14	1.17	0.42	7.06
RLI 6-K	4.58	0.116	10.26	0.56	40.39	0.07	0.77	0.73	5.76
RLI 6+K	4.44	0.147	11.02	0.59	30.43	0.11	0.94	0.86	6.62
Mean	4.67±0.25	0.171±1.04	11.79±1.03	0.87±0.24	29.18±7.97	0.13±0.09	0.76±0.40	0.44±0.31	6.67±0.77

ตารางที่ 3.20 โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินก่อนและหลังปลูกข้าวโพดหวาน

Samples	Water-K	Exch-K	NH ₄ OAc-K	Fixed-K	HNO ₃ -K	Total-K
	mg kg ⁻¹					
Before planting						
KLM 24	18.6	30.4	49.0	41.0	90.0	4958.0
KLM 27	16.4	26.4	42.8	234.9	277.7	7154.2
RLI 6	23.2	54.9	78.1	140.9	218.9	5645.9
Mean ± SD	19.4±3.5	37.2±15.4	56.6±18.8	138.9±97.0	195.5±96.0	5919±1123
After planting						
KLM 24-K	9.7	17.9	27.6	53.1	80.7	5071.9
KLM 24+K	26.4	109.5	135.9	58.5	194.4	5117.1
KLM 27-K	19.6	14.5	34.1	126.7	160.8	6334.9
KLM 27+K	18.3	34.2	52.5	226.3	278.8	5742.1
RLI 6-K	4.5	15.9	20.4	118.9	139.3	3274.7
RLI 6+K	16.1	23.1	39.2	147.3	186.5	4507.5
Mean (-K) ± SD	11.3±7.7	16.1±1.7	27.4±6.9	99.6±40.4	126.9±41.5	4893±1538
Mean (+K) ± SD	20.3±5.4	55.6±47.0	75.9±52.4	144.0±83.9	219.9±51.2	5122±617

ตารางที่ 3.21 ร้อยละโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินก่อนและหลังปลูกข้าวโพดหวาน

Samples	Readily available	Slowly available	Relative unavailable
	% of Total-K		
Before planting			
KLM 24	0.99	0.83	98.18
KLM 27	0.60	3.28	96.12
RLI 6	1.38	2.50	96.12
Mean ± SD	0.99±0.39	2.20±1.25	96.81±1.19
After planting			
KLM 24-K	0.54	1.05	98.41
KLM 24+K	2.66	1.14	96.20
KLM 27-K	0.54	2.00	97.46
KLM 27+K	0.91	3.94	95.15
RLI 6-K	0.62	3.63	95.75
RLI 6+K	0.87	3.27	95.86
Mean (-K) ± SD	0.57±0.05	2.23±1.31	97.21±1.35
Mean (+K) ± SD	1.48±1.02	2.78±1.46	95.74±0.54



ภาพที่ 3.22 การใช้สมการ Parabolic diffusion, Power function, Elovich function และ First order อธิบายการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกข้าวโพดหวาน โดยสกัดด้วย 0.3 M NaTPB ที่ระยะเวลา 2-168 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.22 ตัวแปรจากสมการการปลดปล่อยโพแทสเซียม ใช้อธิบายกลไกการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน โดยใช้ 0.3 M NaTPB

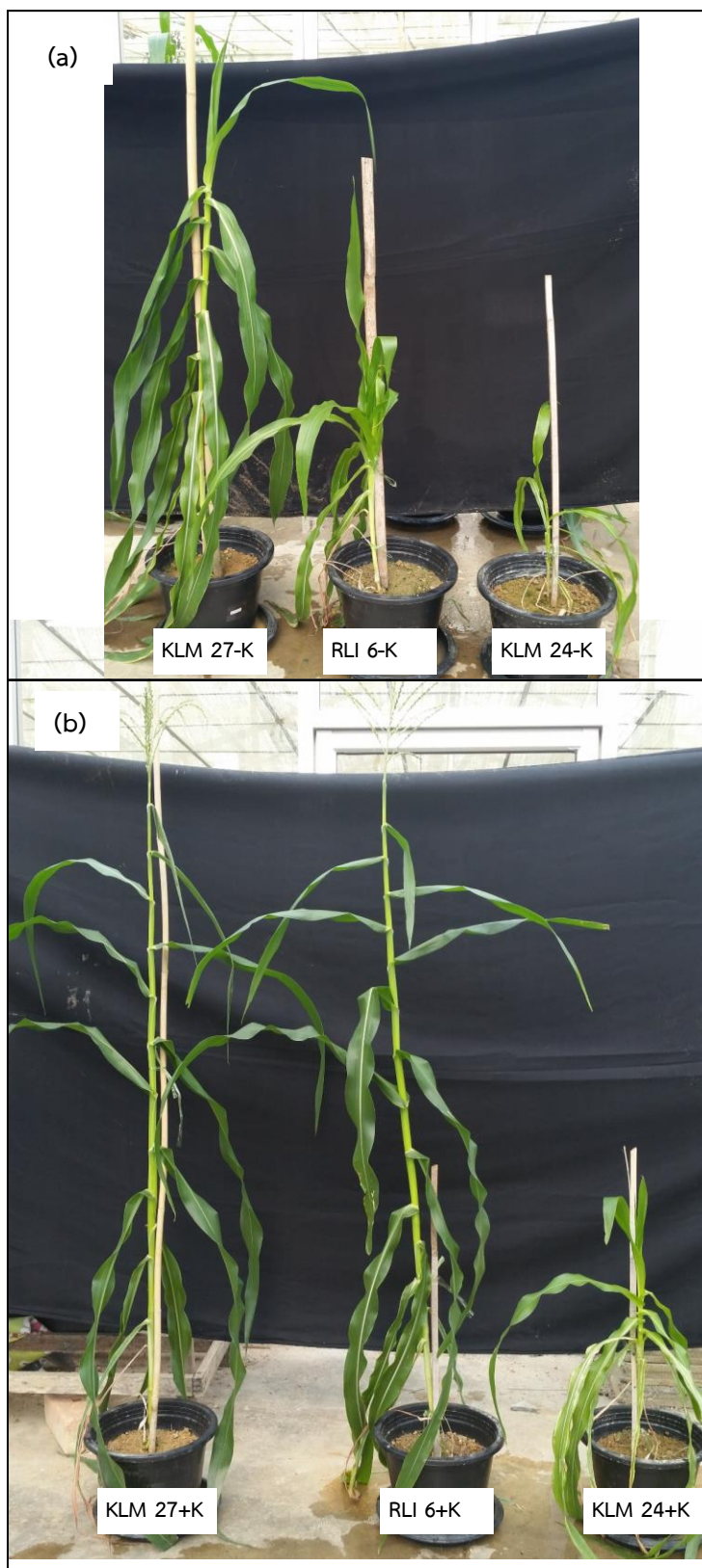
Samples	First order				Parabolic diffusion			
	Slope (b)	Intercept (a)	R ²	RMSE	Slope (b)	Intercept (a)	R ²	RMSE
KLM 27-K	-0.029	7.98	0.976	2961.8	268.1	1153.3	0.895	401.7
KLM 27+K	-0.041	8.05	0.992	3033.6	275.4	1160.1	0.849	506.4
KLM 24-K	-0.031	8.02	0.991	2628.1	273.0	744.3	0.903	390.5
KLM 24+K	-0.033	8.06	0.996	2579.0	278.5	643.0	0.906	392.2
RLI 6-K	-0.022	6.92	0.999	856.5	90.4	242.0	0.954	87.3
RLI 6+K	-0.029	6.93	0.990	858.6	89.7	248.9	0.939	100.2
Mean (-K)±sd	-0.027±0.004	7.64±0.63	0.985±0.008	2148±1132	210.5±104.0	713.2±456.4	0.917±0.032	293.1±178.4
Mean (+K)±sd	-0.034±0.006	7.68±0.65	0.996±0.004	2157±1147	214.5±108.1	684.0±457.0	0.898±0.045	332.9±209.5
Samples	Power function				Elovich			
	Slope (b)	Intercept (a)	R ²	RMSE	Slope (b)	Intercept (a)	R ²	RMSE
KLM 27-K	0.304	6.91	0.963	2950.4	736.6	601.2	0.992	184.9
KLM 27+K	0.325	6.85	0.935	3021.4	772.0	549.2	0.980	60.7
KLM 24-K	0.374	6.50	0.962	2611.1	746.3	192.5	0.991	118.3
KLM 24+K	0.397	6.38	0.963	2559.9	759.6	85.5	0.989	133.8
RLI 6-K	0.355	5.46	0.973	843.8	240.8	77.3	0.993	32.8
RLI 6+K	0.342	5.51	0.981	847.2	239.1	85.1	0.979	58.3
Mean (-K)±sd	0.345±0.036	6.29±0.75	0.966±0.006	2135±1131	574.6±289.1	290.3±275.3	0.992±0.001	88.5±48.3
Mean (+K)±sd	0.355±0.038	6.25±0.68	0.960±0.023	2142±1146	590.2±304.1	239.9±267.8	0.983±0.005	125.6±63.7

หมายเหตุ : RMSE = Root Mean Square Error

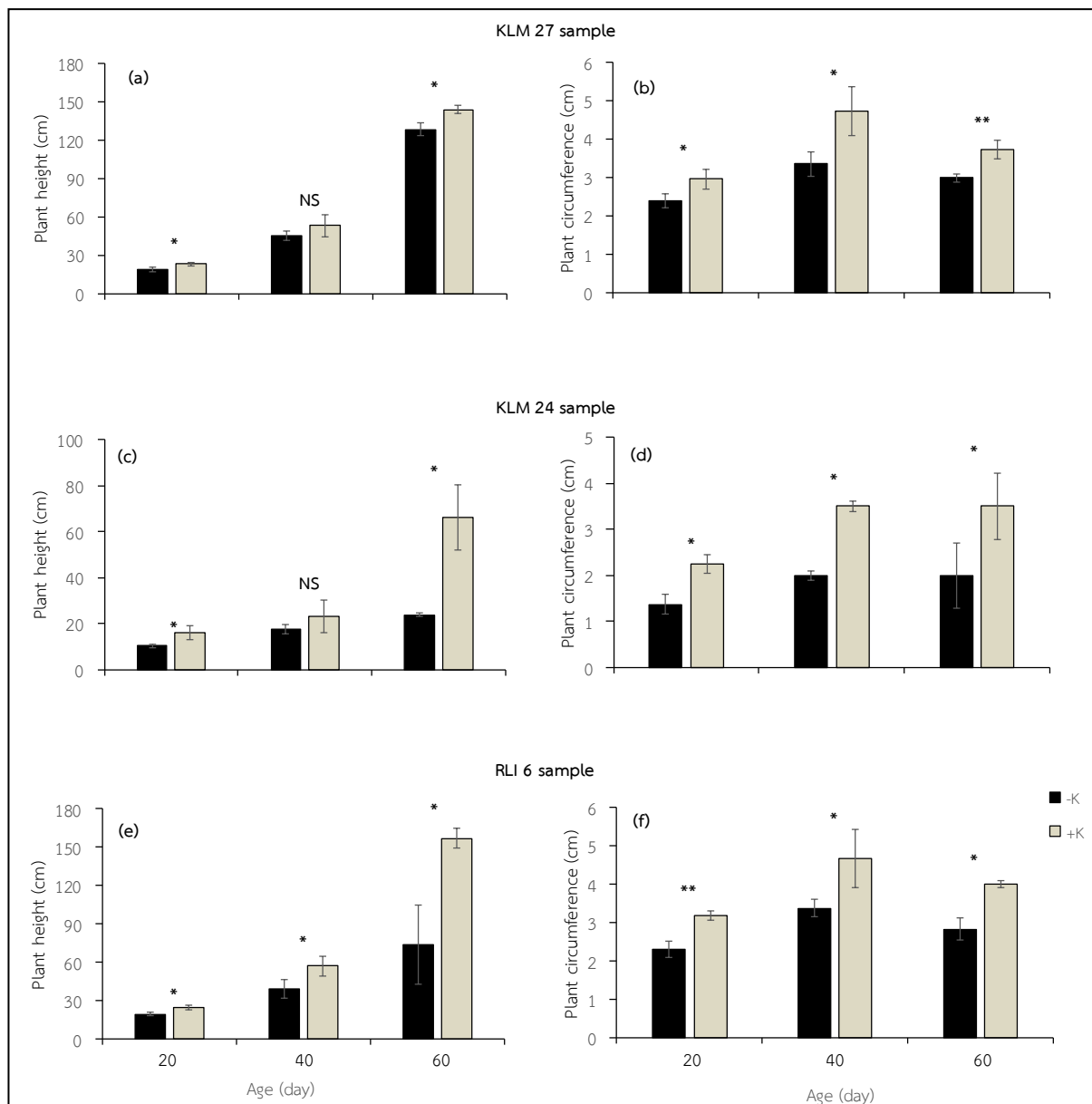
2.2.2 การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน

ประเมินการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27 ตัวอย่างดิน KLM 24 และตัวอย่างดิน RLI 6 ที่มีการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช โดยทำการวัดการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน ได้แก่ ความสูง และเส้นรอบวงลำต้นที่อายุ 20, 40 และ 60 วัน พบว่า ทริตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยโพแทช การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน (ความสูง และเส้นรอบวงลำต้น) สูงกว่าทริตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช ยกเว้น ความสูงของข้าวโพดหวานที่อายุ 40 วัน ที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27 และ KLM 24 พบว่า ทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทชไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต (ความสูง) ของข้าวโพดหวานระหว่างตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่างที่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า ข้าวโพดหวานที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27 และ RLI 6 ที่อายุ 60 วัน มีความสูงใกล้เคียงกัน (144.2 และ 157.0 cm ตามลำดับ) สูงกว่าข้าวโพดหวานที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 24 (66.0 cm) และเมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโต (ความสูง) ของข้าวโพดหวานระหว่างตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่างที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า ข้าวโพดหวานที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27 ที่อายุ 60 วัน มีความสูง สูงที่สุด (128.8 cm) รองลงมา คือ ตัวอย่างดิน RLI 6 (73.7 cm) และต่ำสุด คือ ตัวอย่างดิน KLM 24 (23.7 cm) (ภาพที่ 3.23 และ 3.24)

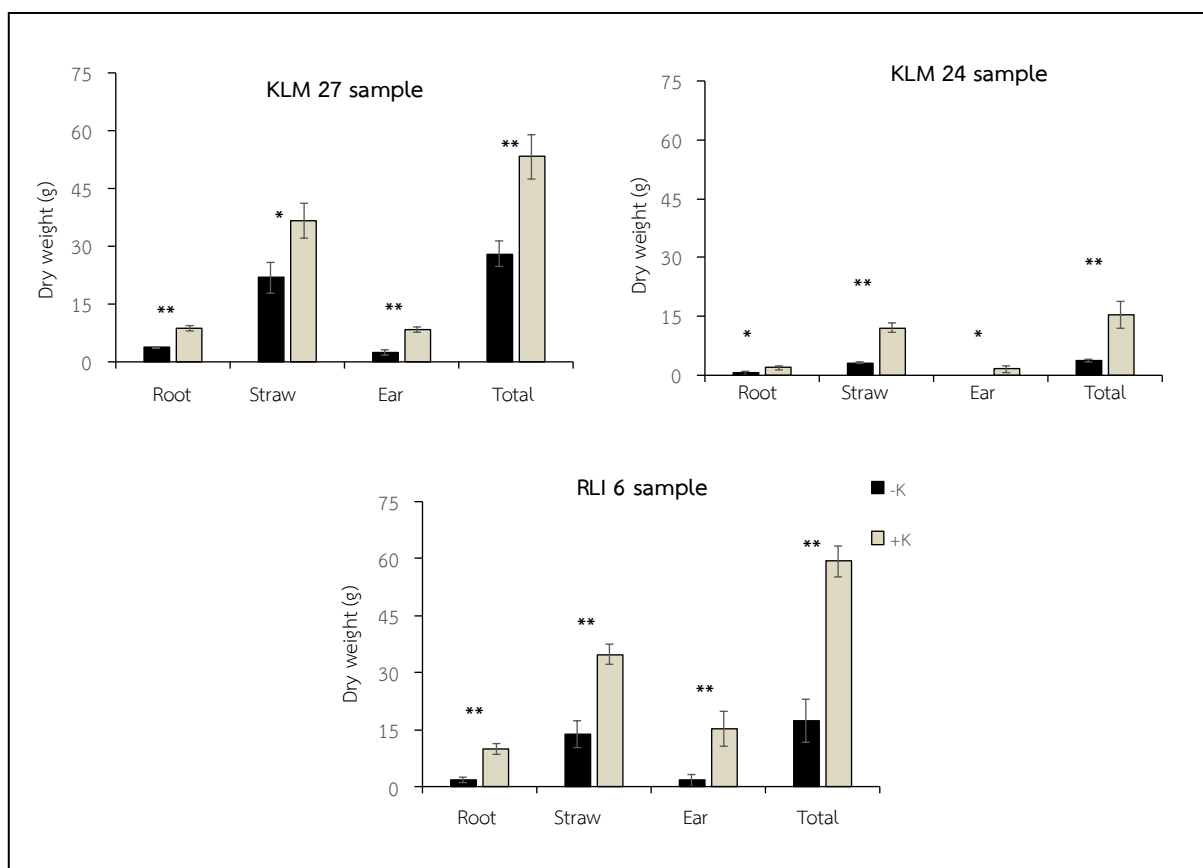
น้ำหนักแห้งของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่า ทริตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยโพแทชมีน้ำหนักแห้งราก ลำต้น ฝัก และน้ำหนักแห้งรวมสูงกว่าทริตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทช เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งราก ลำต้น ฝัก และน้ำหนักแห้งรวมของข้าวโพดหวานระหว่างตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่างที่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า ข้าวโพดหวานที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27 และ ตัวอย่างดิน RLI 6 มีน้ำหนักแห้งราก ลำต้น ฝัก และน้ำหนักแห้งรวมสูงใกล้เคียงกัน (8.7, 36.5, 8.2, 53.4 g plant⁻¹ และ 9.8, 34.7, 15.3, 59.3 g plant⁻¹ ตามลำดับ) และตัวอย่างดิน KLM 24 พบว่า มีน้ำหนักแห้งราก ลำต้น ฝัก และน้ำหนักแห้งรวมต่ำที่สุด (1.8, 12.0, 1.5 และ 15.3 g plant⁻¹ ตามลำดับ) และเมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งราก ลำต้น ฝัก และน้ำหนักแห้งรวมของข้าวโพดหวานระหว่างตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่างที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า ข้าวโพดหวานที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27 มีน้ำหนักแห้งราก ลำต้น ฝัก และน้ำหนักแห้งรวมสูงที่สุด (3.8, 22.0, 2.4 และ 28.1 g plant⁻¹ ตามลำดับ) รองลงมา คือ ตัวอย่างดิน RLI 6 (1.9, 13.8, 1.7 และ 17.3 g plant⁻¹ ตามลำดับ) และต่ำสุด คือ ตัวอย่างดิน 24 (0.4, 3.1, 0.0 และ 3.5 g plant⁻¹ ตามลำดับ) (ภาพที่ 3.25)



ภาพที่ 3.23 การเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในตัวอย่างดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (KLM 27-K, RLI-K และ KLM 24-K) (a) และที่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (KLM+K, RLI+K, KLM 24+K) (b)



หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$, ** คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$



ภาพที่ 3.25 น้ำหนักแห้งราก ลำต้น ฟัก และน้ำหนักแห้งรวมของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน KLM 27, KLM 24 และ RLI 6 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)

หมายเหตุ : * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P < 0.05$, ** คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P < 0.01$

2.2.3 ความเข้มข้นและการดูดใช้โพแทสเซียมและธาตุอาหารพืชในส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพดหวาน

วิเคราะห์ความเข้มข้นและการดูดใช้โพแทสเซียม และธาตุอาหารพืชอื่น ๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม ในส่วนต่าง ๆ ของข้าวโพดหวาน ได้แก่ ราก ลำต้น และฟัก ที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27 ตัวอย่างดิน KLM 24 และตัวอย่างดิน RLI 6 ที่มีการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในราก ลำต้น และฟัก ของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่างที่ใส่ปุ๋ยโพแทชสูงกว่าที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช ยกเว้นในฟัก และพบว่า ในลำต้นมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมมากที่สุด รองลงมา คือ ฟัก และราก (ตารางที่ 3.23 3.24 และ 3.25) และเมื่อพิจารณาการดูดใช้โพแทสเซียมระหว่างทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า ทริตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยโพแทชดูดใช้โพแทสเซียมได้สูงกว่าทริตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (ภาพที่ 3.26) นอกจากนี้ พบว่า ความเข้มข้นของธาตุอาหารอื่น ๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมในราก ลำต้น และฟักของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่างที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทชส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกัน ยกเว้น ความเข้มข้นของไนโตรเจน แคลเซียม และแมกนีเซียมในลำต้น และไนโตรเจนในฟักของข้าวโพดหวานที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 27 ไนโตรเจนและแมกนีเซียมในลำต้นของข้าวโพดหวานที่ปลูกในตัวอย่างดิน KLM 24 และไนโตรเจนในราก ไนโตรเจน และแมกนีเซียมในลำต้น และไนโตรเจนในฟักของข้าวโพดหวานที่ปลูกในตัวอย่างดิน RLI 6 พบว่า ทริตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทชมีความเข้มข้นของธาตุอาหารดังกล่าวสูงกว่าทริตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยโพแทช และพบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนและแมกนีเซียม

สูงที่สุดในลำต้น รองลงมา คือ ฝัก และราก ตามลำดับ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงที่สุดใกล้เคียงกันในลำต้นและฝัก และในรากน้อยที่สุด ความเข้มข้นของแคลเซียมสูงที่สุดในลำต้น รองลงมาคือ รากและฝัก ตามลำดับ (ตารางที่ 3.23 3.24 และ 3.25) และเมื่อพิจารณาการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมระหว่างทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า การดูดใช้ธาตุดังกล่าวข้างต้นข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่างในทริตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยโพแทชสูงกว่าทริตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (ภาพที่ 3.26)

ตารางที่ 3.23 ความเข้มข้นของโพแทสเซียมและธาตุอาหารพืชอื่น ๆ ในราก ลำต้น และฝักของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน KLM 27 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)

Treatment	N	P	K	Ca	Mg
(g kg ⁻¹)					
Root					
-K	22.45±3.65	1.21±0.34	2.33±0.57	0.91±0.02	0.55±0.06
+K	17.34±2.43	1.33±0.17	4.47±0.22	0.83±0.19	0.49±0.08
T-test	NS	NS	**	NS	NS
Straw					
-K	35.32±2.69	2.82±0.56	6.92±0.54	2.71±0.23	1.85±0.06
+K	25.64±1.47	2.63±0.40	18.48±1.94	1.94±0.46	1.13±0.11
T-test	**	NS	**	*	**
Ear					
-K	26.35±1.38	3.37±0.22	6.72±0.27	0.26±0.10	0.98±0.06
+K	19.70±3.83	2.96±0.19	7.57±2.14	0.19±0.10	0.89±0.09
T-test	*	NS	NS	NS	NS

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$, ** คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

ตารางที่ 3.24 ความเข้มข้นของโพแทสเซียม และธาตุอาหารพืชอื่น ๆ ในราก ลำต้น และฝักของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน KLM 24 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)

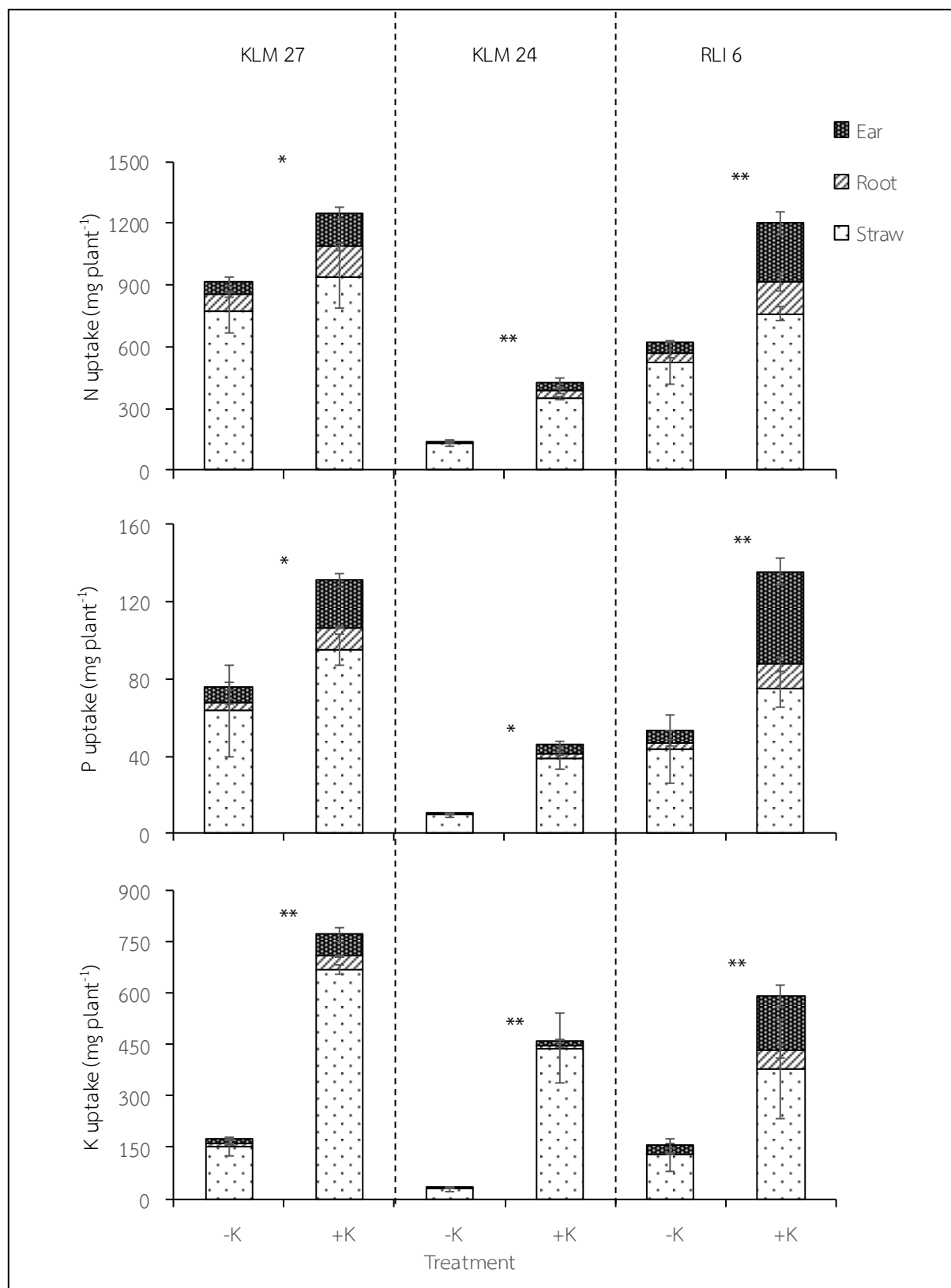
Treatment	N	P	K	Ca	Mg
(g kg ⁻¹)					
Root					
-K	23.07±5.75	1.21±0.07	2.31±1.19	0.99±0.12	0.47±0.15
+K	20.63±0.49	1.33±0.03	4.83±1.28	1.24±0.08	0.57±0.04
T-test	NS	NS	*	NS	NS
Straw					
-K	41.78±2.99	3.05±0.61	9.19±1.77	1.89±0.27	1.11±0.05
+K	29.31±3.38	3.24±0.18	36.39±4.85	2.13±0.25	0.98±0.14
T-test	*	NS	**	NS	*
Ear					
-K	ND	ND	ND	ND	ND
+K	25.80±0.05	3.12±0.33	8.82±1.60	0.19±0.04	0.76±0.04
T-test	NS	NS	NS	NS	NS

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$, ** คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$

ตารางที่ 3.25 ความเข้มข้นของโพแทสเซียม และธาตุอาหารพืชอื่น ๆ ในราก ลำต้น และฝักของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน RLI 6 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (-K)

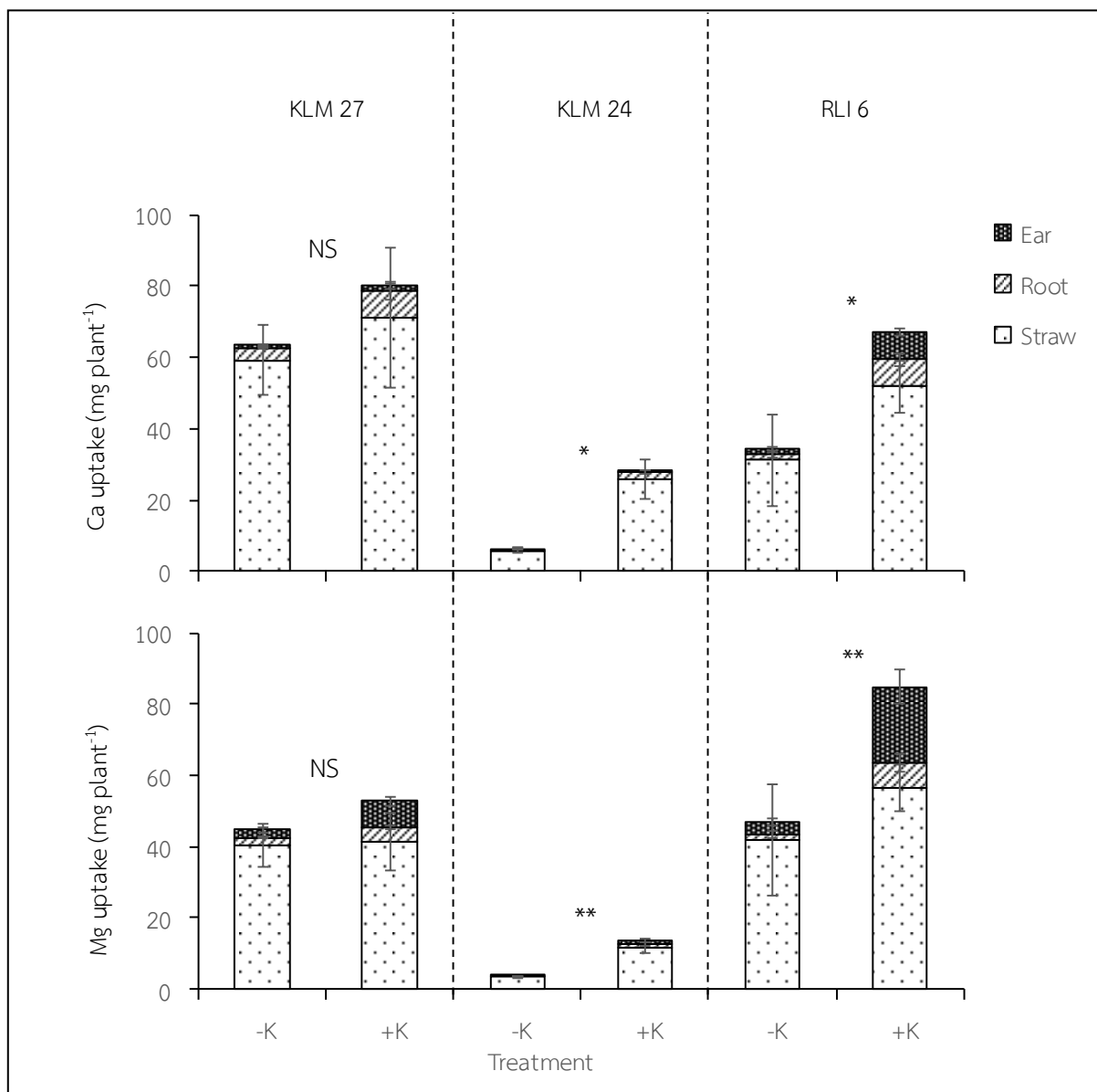
Treatment	N	P	K	Ca	Mg
(g kg ⁻¹)					
Root					
-K	24.24±0.57	1.56±0.32	1.72±0.12	0.91±0.19	0.81±0.24
+K	15.70±2.38	1.31±0.24	5.50±1.88	0.76±0.06	0.72±0.26
T-test	**	NS	*	NS	NS
Straw					
-K	38.44±2.95	3.06±0.60	9.17±1.39	2.19±0.42	2.97±0.44
+K	22.04±2.04	2.89±1.66	11.15±2.18	1.69±0.33	1.64±0.33
T-test	**	NS	*	NS	*
Ear					
-K	23.59±0.72	2.60±0.33	9.18±2.20	0.45±0.20	1.36±0.26
+K	18.96±1.72	3.24±0.43	10.68±1.33	0.54±0.10	1.46±0.43
T-test	*	NS	NS	NS	NS

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$, ** คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$



ภาพที่ 3.26 การดูดใช้โพแทสเซียม และธาตุอาหารพืชอื่น ๆ ของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน KLM 27, KLM 24 และ RLI 6 ที่ใส่ (+K) และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (-K)

หมายเหตุ : * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$, ** คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.01$



ภาพที่ 3.26 (ต่อ)

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติ, * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P < 0.05$, ** คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P < 0.01$

2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินกับการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวาน

จากสมการการคาดคะเนการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดิน พบว่า สมการ Elovic สามารถใช้ในการทำนายการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีที่สุด จึงนำค่า b ซึ่งแสดงถึงอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม ($\text{mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) ของแต่ละตัวอย่างดินหาความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวาน พบว่า อัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินไม่มีความสัมพันธ์กับการดูดใช้โพแทสเซียมและการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวาน แต่พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการดูดใช้โพแทสเซียม

และการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานกับโพแทสเซียมที่ถูกตรึง และโพแทสเซียมที่สกัดด้วยกรดไนตริก (ตารางที่ 3.26)

ตารางที่ 3.26 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม (b) ของดินปลูกข้าวโพดหวานกับการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวาน

Parameter	K release rate	NH ₄ AOC-K	Fixed-K	HNO ₃ -K	Total-K
<u>K uptake</u>	0.009	0.382	0.703	0.930**	0.188
<u>Plant growth</u>					
Plant height	-0.234	-0.124	0.820*	0.714	0.287
Plant diameter	-0.231	0.386	0.603	0.835*	0.084
Total dry weight	-0.288	-0.109	0.840*	0.743	0.159

หมายเหตุ : *, ** = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ 99 ตามลำดับ

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. สมบัติทั่วไปของดินปลูกยางพารา

ดินที่นำมาศึกษา (20 ตัวอย่าง) ส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มดินร่วน (ตารางที่ 3.1) ซึ่งเป็นดินที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา (สถาบันวิจัยยาง, 2553) และเมื่อศึกษาสมบัติทางแร่วิทยาของดิน พบว่า ในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินที่นำมาศึกษาประกอบด้วยแร่เคโอลิไนต์เป็นแร่หลัก มีแร่อิลไลต์และควอตซ์เป็นแร่รอง นอกจากนี้ยังพบแร่อื่น ๆ เช่น แร่สเมกไทต์และแร่สอดชั้นด้วยไฮดรอกซีอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบเพียงเล็กน้อย (ภาพที่ 3.1 และตารางที่ 3.2) ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของดินที่พัฒนาการสูงและมีการผุพังสลายตัวสูง (Brady and Weil, 2008) สอดคล้องกับการศึกษาสมบัติทางแร่วิทยาของดินในภาคใต้ที่มีการปลูกยางพาราและไม้ผล และดินในกลุ่มที่ใช้ปลูกข้าวพบว่า ในอนุภาคขนาดดินเหนียวมีแร่เคโอลิไนต์เป็นแร่เด่น (Trakoonyingcharoen, 2005 ; Watana, 2005) ซึ่งเป็นแร่ที่ควบคุมสมบัติทางเคมีโดยเฉพาะสมบัติการแลกเปลี่ยนไอออนของดิน (อัญชลี, 2553 ; Kanket *et al.*, 2005) และพบว่า ในตัวอย่างดินมีแร่อิลไลต์เป็นแร่รอง (ภาพที่ 3.2 และตารางที่ 3.2) ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งที่สำคัญของธาตุอาหารพืชคือธาตุโพแทสเซียม แร่อิลไลต์ในประเทศไทยพบมากในดินอันดับเอ็นทิซอลส์ที่ไม่ใช่เกิดจากตะกอนทรายจัดและอินเซปติซอลส์ และอาจพบบ้างในแอลฟีซอลส์ที่มีพัฒนาการไม่สูงมากนัก นอกจากนี้ยังพบได้ในบริเวณพื้นที่ลุ่มที่วัตถุต้นกำเนิดของดินเป็นตะกอนน้ำพา และพบว่า ในบางบริเวณที่แสดงให้เห็นว่าดินมีพัฒนาการสูง เช่น ดินอันดับอัลทิซอลส์ก็มีอิลไลต์อยู่ในกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวด้วย (อัญชลี, 2553) อย่างไรก็ตามตัวอย่างดินส่วนใหญ่ที่นำมาศึกษาเป็นดินที่ลุ่มมีสภาพภูมิประเทศเป็นที่ราบหรือเกือบราบอยู่ในระบบของตะกอนน้ำขึ้นต่ำ วัตถุต้นกำเนิดดินเป็นตะกอนน้ำพา (จำป๋น และคณะ, 2556) ด้วยสภาพเช่นนี้จึงส่งเสริมให้สามารถพบแร่อิลไลต์ได้เช่นกัน

เมื่อพิจารณาสมบัติทางเคมีของดิน พบว่า ดินมีความเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง (ตารางที่ 3.3) ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยางพาราสามารถเจริญเติบโตได้ (3.8-6.0) (นุชนารถ, 2550 ; Yogaratnam, 2000) สภาพการนำไฟฟ้าของดินต่ำไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของยางพารา และพบว่า ดินมีอินทรีย์วัตถุระดับต่ำถึงปานกลางสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนในดิน (ตารางที่ 3.7) ในขณะที่เบสที่แลกเปลี่ยนได้และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินต่ำ (ตารางที่ 3.3) ซึ่งเป็นสมบัติโดยทั่วไปของดินเขตร้อน (Kanket *et al.*, 2005 ; Navarrete *et al.*, 2007) สอดคล้องกับการพบแร่เคโอลิไนต์เป็นแร่เด่นในอนุภาคขนาดดินเหนียว (ภาพที่ 3.2 และตารางที่ 3.2) และเมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารพืชตามระดับความเหมาะสมสำหรับยางพารา (นุชนารถ, 2550) พบว่า ทุกตัวอย่างดินที่นำมาศึกษามีไนโตรเจนทั้งหมดในดินต่ำ (0.52-1.07 g kg⁻¹) เมื่อเทียบกับระดับที่เหมาะสม (11-25 g kg⁻¹) สอดคล้องกับปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ต่ำถึงปานกลาง ในดินที่ศึกษา (7 ตัวอย่าง) พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับที่เหมาะสม (11-30 mg kg⁻¹) 6 ตัวอย่างมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม และอีก 6 ตัวอย่างมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าระดับที่เหมาะสม (ตารางที่ 3.3) จะเห็นได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินค่อนข้างแปรปรวน แตกต่างกัน ทั้งนี้ น่าจะมีผลมาจากจัดการปุ๋ยฟอสเฟตที่แตกต่างกัน หากใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในอัตราสูง พบว่า ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่ตกค้างในดินสูงมาก (ชัยรัตน์ และคณะ, 2552) ทั้งนี้เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ยากในดินและมีการสูญเสียโดยการชะละลายได้น้อย (Prasad and Power, 1997) นอกจากนี้ ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินที่ศึกษา พบว่า ตัวอย่างดิน KLI 17, KLI 22, KLI 25, KLM 24, KLM 27, KUM 11, NUM 28, RLI 6, RLI 10, RLI 15 และ RUI 17 มีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (40-60

mg kg⁻¹) และตัวอย่างดินที่เหลือมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม (ตารางที่ 3.3) ทั้งนี้เนื่องจากจากการจัดการปุ๋ยโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของพืชกับโพแทสเซียมในรูปนี้พบว่า มีความสัมพันธ์กันน้อย (Cox *et al.*, 1999) คือพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี แต่ผลการวิเคราะห์โพแทสเซียมรูปนี้ในดินต่ำ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ควรวิเคราะห์โพแทสเซียมรูปอื่น ๆ โดยเฉพาะรูปที่ถูกตรึง (Fixed-K) เมื่อพิจารณาธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม และแมกนีเซียม พบว่า แคลเซียมในดินส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (50-600 mg kg⁻¹) เนื่องจากช่วงที่เหมาะสมสำหรับแคลเซียมในดินที่รายงานค่อนข้างอยู่ในช่วงที่กว้างมาก แต่มีแมกนีเซียมในดินส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำกว่าระดับวิกฤต (<0.30 cmol_c kg⁻¹) (ตารางที่ 3.3) ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยสำหรับยางพาราไม่มีการแนะนำให้เพิ่มแมกนีเซียม ดังนั้นการไม่ได้ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเลยจึงมีผลทำให้แมกนีเซียมในดินต่ำ

2. โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดิน

โพแทสเซียมในดินแบ่งออกได้เป็น 4 รูป ได้แก่ โพแทสเซียมในสารละลายดิน โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ โพแทสเซียมที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ และโพแทสเซียมในโครงสร้างของแร่ในดิน แต่ละรูปมีความสามารถในการปลดปล่อยโพแทสเซียมให้แก่พืชได้แตกต่างกัน ดังนี้ ส่วนที่เป็นประโยชน์ทันที (NH₄OAc-K) ส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างช้า ๆ (Fixed-K) และส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไม่ได้ทันที (Havlin *et al.*, 2005) รูปเหล่านี้จะสมดุลด้วยตัวของมันเอง เช่น หากรูปที่เป็นประโยชน์ทันทีลดลงเนื่องจากการชะละลายหรือพืชดูดไปใช้ ส่วนที่เป็นประโยชน์อย่างช้า ๆ ก็ค่อย ๆ ปลดปล่อยออกมา แต่ก็อาจจะไม่ทันกับความต้องการของพืช และรูปเหล่านี้เป็นตัวควบคุมโพแทสเซียมในพืช ธรรมชาติของสมดุลของรูปโพแทสเซียมในดินค่อนข้างแปรปรวนและขึ้นอยู่กับชนิดของดิน และธรรมชาติของแร่ดินเหนียวภายในดิน (Lalitha and Dhakshinamoorthy, 2014) จากผลการทดลอง พบว่า โพแทสเซียมส่วนใหญ่อยู่ในส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไม่ได้ทันที (เฉลี่ย 97.83 %) ได้แก่ โพแทสเซียมที่เป็นส่วนประกอบของหินและแร่ในดิน พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ต้องเกิดการผุพังของแร่ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลานาน ขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อม (Havlin *et al.*, 2005) รองลงมาคือ ส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างช้า ๆ (เฉลี่ย 1.29 %) ได้แก่ โพแทสเซียมที่ถูกตรึงไว้ในหลักระหว่างชั้นของแร่ดินเหนียว 2:1 สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาได้เมื่อปัจจัยต่าง ๆ เหมาะสม โพแทสเซียมในรูปนี้จึงเป็นแหล่งธาตุโพแทสเซียมที่สำคัญแก่พืช (Spark, 2008) และมีส่วนที่เป็นประโยชน์ทันทีที่น้อยที่สุด (เฉลี่ย 0.88 %) (ตารางที่ 3.4 และ 3.5) ได้แก่ โพแทสเซียมที่อยู่ในสารละลายดิน และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์ดินและอินทรีย์วัตถุ พร้อมทั้งจะแลกเปลี่ยนกับแคตไอออนอื่น ๆ ที่อยู่ในสารละลายดินหรือที่ดูดซับที่ผิวคอลลอยด์ โพแทสเซียมรูปนี้พืชสามารถดูดใช้ได้ทันที แต่สามารถถูกชะละลายได้ง่าย ปริมาณโพแทสเซียมในรูปนี้จึงมีน้อยเมื่อเทียบกับรูปอื่น ๆ (Havlin *et al.*, 2005) สอดคล้องกับรูปของโพแทสเซียมที่พบในดินส่วนใหญ่ที่พบว่า ส่วนที่เป็นประโยชน์ทันทีมีอยู่ในดินประมาณร้อยละ 0.1-2.0 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน ส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างช้า ๆ มีอยู่ในดินประมาณร้อยละ 1-10 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน และส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไม่ได้ทันที มีอยู่ในดินประมาณร้อยละ 90-98 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน (Havlin *et al.*, 2005) การเปลี่ยนแปลงรูปของโพแทสเซียมในดินขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น การใส่ปุ๋ยทำให้โพแทสเซียมส่วนที่เป็นประโยชน์ทันทีเพิ่มขึ้น (Sharma and Paliyal, 2015) เมื่อพิจารณาส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างช้า ๆ ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกตรึงไว้ในหลักระหว่างชั้นของแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 โดยสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาได้เมื่อปัจจัยต่าง ๆ เหมาะสม (Havlin *et al.*, 2005) ส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับแร่ที่สามารถตรึงโพแทสเซียมได้ เช่น แร่อิลไลต์ ซึ่ง

จากการศึกษาแร่วิทยาของอนุภาคขนาดดินเหนียว พบว่า ดินที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้มีแร่โอลไลต์เป็นองค์ประกอบทุกดิน (ภาพที่ 3.1 ตารางที่ 3.2)

3. การปลดปล่อยโพแทสเซียมของดิน

ได้ศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมโดยใช้ NaTPB ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกพัฒนาการขึ้นโดย Smith และ Scott (1966) วิธีนี้มีกลไกคือเตตระฟีนอลโบรอน (tetraphenyl boron) ซึ่งเป็นแอนไอออนจะไปจับกับโพแทสเซียมไอออนในดิน จากนั้นจะเกิดการตกตะกอนเป็นโพแทสเซียมเตตระฟีนอลโบรอน (potassium tetraphenylboron ; KTPB) วิธีนี้จะเป็นการเลียนแบบรากพืช โดยให้โซเดียมเตตระฟีนอลโบรอนเปรียบเสมือนรากพืช โดยโซเดียมจะแลกเปลี่ยนกับโพแทสเซียมที่อยู่ในดินทำให้โพแทสเซียมในดินลดลง เป็นผลทำให้โพแทสเซียมในรูปที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้หรือรูปที่ถูกตรึงปลดปล่อยออกมา ผลการทดลองที่ระยะเวลาการบ่มดิน 2-168 ชั่วโมง ดินมีการปลดปล่อยโพแทสเซียม 159-4,481 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตัวอย่างดิน KLI 25 มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมมากที่สุดใกล้เคียงกับตัวอย่างดิน KLM 27 และตัวอย่างดิน KUM 11 ปลดปล่อยโพแทสเซียมได้น้อยที่สุด (ภาพที่ 3.2) จากการศึกษาร่วมกันพบว่า ตัวอย่างดิน KLM 27 มีแร่โอลไลต์เป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 20-40 (ภาพที่ 3.1 ตารางที่ 3.2) และมีโพแทสเซียมในรูปที่ถูกตรึงสูงที่สุด (ตารางที่ 3.4) จึงส่งผลให้สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตัวอย่างดิน KLI 25 ที่สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาได้สูงเช่นเดียวกันแต่พบว่า มีแร่โอลไลต์เป็นองค์ประกอบในอนุภาคขนาดดินเหนียวเพียงร้อยละ 5-20 (ภาพที่ 3.1 ตารางที่ 3.2) มีโพแทสเซียมที่ถูกตรึงไม่สูงเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่นนอกเหนือจากชนิดของแร่ดินเหนียว เนื่องจากความสามารถในการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดของแร่ดินเหนียว ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน อุณหภูมิ การเปียกและแห้งของดิน พีเอชดิน และสิ่งมีชีวิตในดิน (Havlin *et al.*, 2005) นอกจากนี้หากพิจารณาอนุภาคขนาดทรายแป้งพบว่า ตัวอย่างดิน KLI 25 มีอนุภาคขนาดทรายแป้งสูงที่สุด (62.05 %) (ตารางที่ 3.1) ลักษณะเด่นของกลุ่มอนุภาคขนาดทรายแป้งในดินคือ อาจมีแร่อื่นเป็นองค์ประกอบร่วมกับแร่ควอตซ์ด้วย ส่วนใหญ่แร่ที่พบคือ แร่ไมกา โดยเฉพาะมัสโคไวต์ เฟลด์สปาร์ โดยเฉพาะโพแทสเซเฟลด์สปาร์ (อัญชลี, 2553) ซึ่งแร่เหล่านี้สามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมให้แก่พืชได้ (Havlin *et al.*, 2005) สอดคล้องกับการพบสหสัมพันธ์เชิงบวกสูงระหว่างอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมกับปริมาณทรายแป้งในดิน ($p \leq 0.01$) และพบความสัมพันธ์กับปริมาณดินเหนียวเช่นกัน ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 3.7) และตัวอย่างที่ปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาได้น้อยที่สุด คือ ตัวอย่าง KUM 11 เนื่องจากตัวอย่างดินมีแร่โอลไลต์เป็นองค์ประกอบในอนุภาคขนาดดินเหนือน้อยกว่าร้อยละ 5 และมีแร่เคโอลิไนต์เป็นแร่ที่เด่นมาก (ภาพที่ 3.1 ตารางที่ 3.2) ประกอบกับมีอนุภาคขนาดทรายถึงร้อยละ 70 สูงกว่าตัวอย่างดินอื่น ๆ สอดคล้องกับการพบสหสัมพันธ์เชิงลบระหว่างอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมกับอนุภาคขนาดทราย (ตารางที่ 3.7) และมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดินน้อยที่สุดเพียง 879.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่น ๆ ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในช่วง 4,019.5-19,410.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3.4) จึงส่งผลทำให้ปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาได้น้อยที่สุด และพบว่าปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่สกัดด้วยวิธี NaTPB มีปริมาณสูงกว่าและไม่สัมพันธ์กับปริมาณ Fixed-K (ตารางที่ 3.4 และ 3.7 ภาพที่ 3.2) ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากในดินบางตัวอย่างอาจจะมีแร่ปฐมภูมิที่เป็นแหล่งโพแทสเซียมแต่ไม่สามารถถูกย่อยด้วยกรดไนตริกได้ (Cox *et al.*, 1996) นอกจากนี้การใช้ NaTPB สกัดโพแทสเซียม มีกลไกคือ โซเดียมจะไปแลกเปลี่ยนกับโพแทสเซียมในดินทำให้โพแทสเซียมในดินลดลง โดยที่โพแทสเซียมจะตกตะกอนในรูปโพแทสเซียมเตตระฟีนอลโบรอน และโพแทสเซียมในแร่ที่มีแหล่งสำรอง

โพแทสเซียมจะปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมา ในขั้นตอนการตะกอนนี้ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในสารละลายดินลดลงเรื่อย ๆ ระหว่างการสกัดดิน จึงทำให้โพแทสเซียมปลดปล่อยออกมาเรื่อย ๆ ส่งผลให้ปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่สกัดโดยวิธีนี้สูง แต่การสกัดด้วยกรดไทเทริกไม่มีการตกตะกอนเกิดขึ้นระหว่างการสกัด ทำให้โพแทสเซียมในสารละลายไม่ลดลง ดังนั้นการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากแหล่งสำรองจึงต่ำกว่าการสกัดด้วย NaTPB

เมื่อนำค่าโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยได้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ของการบ่มดินเปรียบเทียบกับโพแทสเซียมที่ปลดปล่อยที่ได้จากสมการคาดคะเนการปลดปล่อยโพแทสเซียม ทั้ง 4 สมการ ได้แก่ สมการ First order, Parabolic diffusion, Power function และ Elovich พบว่า ค่าการคาดคะเนปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่ได้จากสมการ Elovich มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณการปลดปล่อยโพแทสเซียมมากที่สุด ทั้งนี้พิจารณาจากค่า R^2 ที่สูง ร่วมกับค่า RMSE ที่ต่ำ (ตารางที่ 3.6) ซึ่งแสดงว่าค่าจากสมการ Elovich (ค่าจากการคาดคะเน) มีค่าใกล้เคียงมากกับค่าจริงที่ได้จากการทดลอง (ภาพที่ 3.2 และ 3.6) สอดคล้องกับการศึกษาในดินของประเทศไทย ได้แก่ ชุดดินชัยบาดาล ตาคลี ลพบุรี ลำานรายณ์ สมอทอด และชุดดินสบปราบที่ใช้ปลูกข้าวโพดหวาน (สาริศา, 2552) และในดินอันดับออกซิซอลส์และอัลทิสอลส์ของประเทศไทย (Darunsontaya *et al.*, 2010) ดินพัฒนาการต่ำจากประเทศเยอรมัน (Mengel and Uhlenbecker, 1993) และดินเนื้อปูนจากประเทศอิหร่าน (Jalali, 2006) ดังนั้นค่าคงที่ความชัน (slope constant ; b) จากสมการ Elovich จึงสามารถนำมาให้เป็นตัวชี้วัดอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินนี้ได้ ซึ่งอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม (b) ของตัวอย่างดินที่แตกต่างกันนี้ชี้ให้เห็นว่าดินมีแหล่งสำรองโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3.6)

4. การปลดปล่อยโพแทสเซียมของดิน การเจริญเติบโต และการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช

สมบัติของดินหลังปลูกพืช ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาสมบัติทางแร่วิทยาและสมบัติทางเคมีของดินหลังการปลูกยางพาราและข้าวโพดหวานที่ได้รับโพแทสเซียมและไม่ได้รับโพแทสเซียม โดยมีรายงานว่า ดินที่มีการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมติดต่อกันเป็นระยะเวลานานส่งผลให้แร่วิทยาในดินเปลี่ยนแปลง โดยปริมาณของแร่ซิลิเกตเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมเพิ่มขึ้น (Simonsson *et al.*, 2009) แต่การศึกษาในครั้งนี้พบว่า แร่องค์ประกอบในดินหลังการปลูกยางพารา 16 เดือนในทรีตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมไม่แตกต่างกับแร่องค์ประกอบในดินก่อนปลูกยางพารา (ภาพที่ 3.7) ทั้งนี้ น่าจะมีผลมาจากระยะเวลาในการทดลองไม่นานและการเปลี่ยนแปลงแร่ในดินยังขึ้นกับปัจจัยอื่น เช่น จุลินทรีย์ดิน การดูดใช้ของรากพืช (Robert and Berthlin, 1986 ; Hinsinger and Jaillard, 1993) นอกจากนี้มีรายงานว่า การวิเคราะห์ชนิดแร่โดยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์อาจจะไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของชนิดแร่ได้หากมีการสูญเสียหรือเพิ่มโพแทสเซียมเพียงเล็กน้อย (Singh and Goulding, 1997) ดังนั้นเมื่อไม่พบการเปลี่ยนแปลงทางแร่วิทยาของดินหลังปลูกยางพารา จึงไม่วิเคราะห์แร่องค์ประกอบในดินหลังปลูกข้าวโพดหวาน เพราะใช้เวลาในการปลูกเพียง 2 เดือน นอกจากนี้มีรายงานว่า การใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแร่ซิลิเกตในดินปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Paola *et al.*, 2016) ส่วนการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินหลังการปลูกพืช พบว่า ค่าพีเอชและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงอย่างชัดเจนทั้งในดินปลูกยางพาราและข้าวโพดหวาน (ตารางที่ 3.8 และ 3.19) การลดลงของค่าพีเอชน่าจะเกิดจากการที่ดินมีอินทรีย์วัตถุต่ำ ทำให้ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดินต่ำ เมื่อมีการให้น้ำแก่พืชอย่างต่อเนื่องทำให้แคตไอออนที่ไม่เป็นกรดถูกชะละลายได้ง่าย ทำให้ดินมีความอึดตัวด้วยกรดสูงขึ้น ส่งผลให้ดินมีสภาพเป็นกรดหรือพีเอชลดลงนั่นเอง (Brady and Weil, 2008) และเมื่อดินอยู่ในสภาพที่เป็นกรดรุนแรงขึ้นทำให้ฟอสฟอรัสเกิด

การตกตะกอนกับแคตไอออนสภาพกรด เช่น เหล็กและอะลูมิเนียม ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสลดลง (Havlin *et al.*, 2005)

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ของดินหลังปลูกยางพาราและข้าวโพดหวาน พบว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในทริตเมนต์ที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทชมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกพืช โดยเฉพาะในดินปลูกข้าวโพดหวาน ความเข้มข้นของโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ลดลงอย่างชัดเจน ยกเว้นรูปที่ถูกตรึงในดินปลูกยางพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การลดลงของโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ มีผลมาจากการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช และเนื่องจากไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทชเพิ่มลงไปจึงทำให้โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ลดลง โดยเฉพาะในดินที่ปลูกข้าวโพดหวานซึ่งเป็นพืชที่ต้องการโพแทสเซียมสูง (ระดับพอเพียง 3.5-4.5 %) (ศรีสม, 2544) และโตไว แต่เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในทริตเมนต์ที่ใส่ปุ๋ยโพแทช พบว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกพืช ยกเว้นโพแทสเซียมทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากโพแทสเซียมบางส่วนถูกดูดใช้โดยพืชจึงส่งผลให้โพแทสเซียมทั้งหมดลดลง (ตารางที่ 3.9 และ 3.20) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การปลูกพืชโดยไม่ใส่ปุ๋ยโพแทชจะทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ลดลง แต่การปลูกพืชโดยมีการใส่ปุ๋ยโพแทชทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาร้อยละของโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ พบว่า ร้อยละโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ทันที (สกัดด้วยแอมโมเนียมอะซิเตต) ในทริตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทชมีค่าใกล้เคียงกับดินก่อนปลูกยางพาราและข้าวโพดหวาน แต่พบว่า ทริตเมนต์ที่มีการใส่ปุ๋ยโพแทช ดินหลังปลูกพืชมีโพแทสเซียมส่วนที่เป็นประโยชน์ทันทีสูงกว่าดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทช (ตารางที่ 3.9 และ 3.20) เนื่องจากการใส่ปุ๋ยโพแทชซึ่งเป็นปุ๋ยอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ง่าย ดังนั้นเมื่อใส่ลงไปดินทำให้ละลายได้ทันที ซึ่งบางส่วนถูกดูดใช้โดยพืช ส่วนที่เหลือจะถูกดูดซับโดยอนุภาคดินและบางส่วนอยู่ในสารละลายดินจึงส่งผลให้โพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ทันทีสูงกว่าทริตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ย (Sharma and Paliyal, 2015) ส่วนโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้า ๆ ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกตรึงไว้ในหลักระหว่างชั้นของแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 และโพแทสเซียมในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์มีค่าใกล้เคียงกันทั้งดินก่อนปลูกและหลังปลูกยางพารา (ตารางที่ 3.9) ทั้งนี้เนื่องจากรูปเหล่านี้จะสมดุลด้วยตัวของมันเอง และรูปเหล่านี้เป็นตัวควบคุมโพแทสเซียมในพืช ธรรมชาติของสมดุลของรูปโพแทสเซียมในดินค่อนข้างแปรปรวนและขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ซึ่งมีผลมาจากสมบัติทางกายภาพ เคมีชีวภาพ และปัจจัยทางสภาพแวดล้อม (Lalitha and Dhakshinamoorthy, 2014) และนอกเหนือจากปัจจัยที่กล่าวมาแล้วนั้น การใส่ปุ๋ยและการปลูกพืชมีผลต่อรูปและสมดุลของโพแทสเซียมในดินเป็นอย่างมาก (Singh *et al.*, 2002 ; Simonsson *et al.*, 2007)

การปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังปลูกพืช ในดินที่ใช้ปลูกยางพาราและข้าวโพดหวานมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้อย่างช้า ๆ (slowly available) หรือส่วนที่ถูกตรึง (fixed-K) หรือโพแทสเซียมที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (non-exchangeable K) อยู่ในดินร้อยละ 0.83-3.28 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน (ตารางที่ 3.10 และ 3.20) สอดคล้องกับที่รายงานไว้ว่า ประมาณร้อยละ 1-10 ของโพแทสเซียมทั้งหมดในดิน เป็นส่วนที่ถูกตรึงไว้ในหลักระหว่างชั้นของแร่ดินเหนียวประเภท 2:1 โดยสามารถปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาได้เมื่อโพแทสเซียมถูกดูดใช้โดยรากพืชและการสูญเสียโพแทสเซียมโดยการชะละลาย (Havlin *et al.*, 2005) ดังนั้นการปลดปล่อยโพแทสเซียมจึงเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาของการปลูกพืช (Mengel and Uhlenbecker, 1993) การศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมจากส่วนที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้จึงเป็นสิ่งจำเป็น ผลการศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังการปลูกยางพาราและข้าวโพดหวานโดยใช้สมการทำนาย พบว่า สมการ Elovic สามารถคาดคะเนการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ใกล้เคียงกับค่าการปลดปล่อยโพแทสเซียมที่ได้จากการทดลองมากที่สุด โดยพิจารณาจากค่า R^2 ที่สูงและค่า RMSE ที่ต่ำ

(ตารางที่ 3.11 และ 3.22) เมื่อพิจารณาอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดิน (b) จากสมการ Elovich พบว่า ตัวอย่าง KLM 27 และ KLM 24 ปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ใกล้เคียงกัน และตัวอย่าง RLI 6 ปลดปล่อยได้น้อยที่สุดทั้งในดินที่ปลูกยางพาราและข้าวโพดหวาน สอดคล้องกับการอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินก่อนปลูกพืช (ตารางที่ 3.6) และพบว่าอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมใกล้เคียงกันทั้งดินที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (ตารางที่ 3.11 และ 3.22) ซึ่งให้เห็นว่าปริมาณปุ๋ยโพแทสเซียมที่ใส่ลงไปมีผลน้อยต่ออัตราการปลดปล่อยของโพแทสเซียม แต่มีผลมากต่อการเปลี่ยนรูปโพแทสเซียม แต่เมื่อพิจารณาอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินก่อนและหลังปลูกยางพาราและข้าวโพดหวาน พบว่า ดินหลังปลูกยางพาราและข้าวโพดหวานทั้งในทริตเมนต์ที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม มีอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้สูงกว่าดินก่อนปลูกยางพาราและข้าวโพดหวาน ทั้งนี้ น่าจะมีผลมาจากการที่รากพืชดูดใช้โพแทสเซียมจึงทำให้โพแทสเซียมในรูปถูกตรึงถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อชดเชยกับส่วนที่พืชดูดใช้ จึงทำให้การอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินหลังปลูกพืชสูงกว่าดินก่อนปลูกพืช นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า รากพืชมีความสามารถพิเศษในการขับกรดอินทรีย์ออกมา (Onthong and Osaki, 2006) ซึ่งอาจจะไปช่วยย่อยโพแทสเซียมในองค์ประกอบของหินและแร่ทำให้เมื่อมีการปลูกพืชอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมจึงเพิ่มขึ้น แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินไม่สัมพันธ์กับ Fixed-K ตัวอย่างดิน KLM 24 มี Fixed K ต่ำที่สุด (ตารางที่ 3.9 และ 3.20) แต่มีอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ใกล้เคียงกับตัวอย่างดิน KLM 27 (ตารางที่ 3.11 และ 3.22) สอดคล้องกับการศึกษา Fixed-K และอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดินก่อนปลูก ซึ่งไม่พบความสัมพันธ์กัน (ตารางที่ 3.4 และ 3.7) ทั้งนี้เป็นผลมาจากสาเหตุดังกล่าวที่อธิบายไปแล้วข้างต้น

การเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช จากการทดลองพบว่า ความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ จำนวนก้านใบ พื้นที่ใบ และการดูดใช้โพแทสเซียมของยางพาราที่ปลูกในดินที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3.14 3.15 3.16 3.17 3.18 และ 3.19) มีรายงานว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชน้อยมากเมื่อดินนั้นมีโพแทสเซียมในรูปที่ถูกตรึงหรือรูปที่ไม่สามารถเป็นประโยชน์ได้ทันทีสูง (Blake *et al.*, 1999) ทั้งนี้เนื่องจากโพแทสเซียมในรูปเหล่านี้สามารถปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ให้แก่ยางพาราได้ จึงส่งผลให้ยางพาราไม่ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของยางพาราที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่างดิน พบว่า ยางพาราที่ปลูกในดิน KLM 27 และ KLM 24 เจริญเติบโตได้ดีใกล้เคียงกัน และยางพาราที่ปลูกในดิน RLI 6 การเจริญเติบโตต่ำที่สุด ทั้งที่ดิน KLM 24 มี Fixed-K ต่ำที่สุด ทั้งนี้เป็นผลมาจาก KLM 24 มีอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาได้สูงกว่าดิน RLI 6 อย่างที่กล่าวไปแล้วข้างต้นว่าการใช้กรดไทเทรติกในการสกัดอาจจะไม่สามารถสกัดโพแทสเซียมในแร่ปฐมภูมิที่เป็นแหล่งโพแทสเซียมได้ (Cox *et al.*, 1996) ซึ่งเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของพืชกับอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักแห้งรวม และการดูดใช้โพแทสเซียมของใบ ก้านใบ ลำต้น และรากแขนงของยางพารากับอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดิน (ตารางที่ 3.18) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินที่มีการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม พบว่า การเจริญเติบโต และการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวานแตกต่างกัน (ภาพที่ 3.23 3.24 และ 3.25) โดยที่ข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินที่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมมีความสูง เส้นรอบวงลำต้น น้ำหนักราก ลำต้น ฝัก และการดูดใช้โพแทสเซียมสูงกว่าข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม (ภาพที่ 3.26) สอดคล้องกับการทดลองของ Sharma และ Paliyal (2015) ที่ได้ทำการทดลองปลูกข้าวโพดหวานในดินที่มีแหล่งสำรองโพแทสเซียมแตกต่างกัน พบว่า ข้าวโพดหวานมีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้นเมื่อมีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมปริมาณมากขึ้น เนื่องจากข้าวโพดเป็นพืชที่ไวต่อระดับธาตุอาหารที่ใส่ลงไปนั้น ดังนั้น ดินเดิมซึ่งมีโพแทสเซียมอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง (กรมวิชาการเกษตร, 2548) เมื่อได้รับโพแทสเซียมลงไปจึงทำให้

ข้าวโพดหวานตอบสนองได้ดี แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน KLM 24 ที่มีการใส่ปุ๋ยโพแทชตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินอื่น ๆ (ภาพที่ 3.23 และ 3.25) โดยเมื่อพิจารณาโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ที่เหลือในดิน KLM 24 หลังปลูกข้าวโพดหวานพบว่า เหลืออยู่ในปริมาณที่สูงมาก (ตารางที่ 3.19 และ 3.20) ซึ่งให้เห็นว่ารากข้าวโพดหวานไม่สามารถดูดโพแทสเซียมได้อย่างปกติ ส่งผลให้การดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินนี้ต่ำกว่าดินอื่น ๆ (ภาพที่ 3.26) มีรายงานว่าดินที่เหมาะสมแก่การปลูกข้าวโพด คือ ดินร่วนและมีการระบายน้ำดี (ทวิศักดิ์, 2540) อย่างไรก็ตามดิน KLM 24 และ KLM 27 มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวเหมือนกัน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณร้อยละอนุภาคขนาดดินเหนียวพบว่า ดิน KLM 24 มีร้อยละอนุภาคขนาดดินเหนียวสูงกว่าดิน KLM 27 ประมาณร้อยละ 10 ซึ่งอาจจะส่งผลให้การซบซึบและการเจริญของรากข้าวโพดหวานไม่ดี ทำให้การดูดใช้โพแทสเซียมรวมทั้งธาตุอาหารพืชอื่น ๆ จากดินนี้ได้น้อยกว่าดินอื่น (ภาพที่ 3.26) เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินทั้ง 3 ตัวอย่างดิน พบว่า การเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน KLM 27 สูงที่สุด รองลงมาคือ RLI 6 และข้าวโพดหวานที่ปลูกในดิน KLM 24 การเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมต่ำที่สุด สัมพันธ์กับโพแทสเซียมในรูป Fixed-K และ $\text{HNO}_3\text{-K}$ แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของข้าวโพดหวานกับอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมและโพแทสเซียมในรูป $\text{NH}_4\text{OAc-K}$ (ตารางที่ 3.26) การพบความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ สะท้อนให้เห็นว่าการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวานมีอิทธิพลมาจากของโพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชกับโพแทสเซียมรูปที่เป็นแหล่งสำรองในดินซึ่งจะค่อย ๆ ปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างช้า ๆ ซึ่งทั้งสองส่วนที่สามารถสกัดได้ด้วยกรดไนตริก นอกจากนี้การที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวานกับอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียม เนื่องจากดิน KLM 24 ถึงแม้มีการปลดปล่อยโพแทสเซียมออกมาสูงเช่นเดียวกับที่ปลูกยางพารา แต่ข้าวโพดหวานดูดใช้โพแทสเซียมได้น้อยจึงทำให้การเจริญเติบโตต่ำที่สุด ดังที่อธิบายเหตุผลไว้แล้วข้างต้น ดังนั้นจึงไม่พบสหสัมพันธ์ดังกล่าว

บทที่ 5

สรุป

การศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมในดินที่ใช้ปลูกยางพาราในภาคใต้ของประเทศไทย ประกอบด้วย 2 การทดลองหลัก คือ 1) ศึกษาสมบัติทางกายภาพ แร่วิทยา เคมี รูปของโพแทสเซียม และการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดิน และ 2) ศึกษาการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของยางพาราและข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินที่มีแหล่งสำรองโพแทสเซียมที่แตกต่างกัน ผลสรุปดังนี้

ดินปลูกยางพาราที่นำมาศึกษาส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มดินร่วน ในอนุภาคขนาดดินเหนียวพบแร่เคลอิไนต์เป็นแร่เด่น มีแร่โอลิไต์และควอตซ์เป็นแร่รอง และมีบางตัวอย่างดินพบแร่สมิทไทต์และแร่สอดซ์ด้วย ไฮดรอกไซด์อะลูมิเนียมเพียงเล็กน้อย ดินมีปฏิกิริยาตั้งแต่ระดับกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำ อินทรีย์วัตถุและไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำจนถึงระดับปานกลาง ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ค่อนข้างแปรปรวนตั้งแต่ระดับต่ำมากถึงสูงมาก โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนอยู่ในระดับต่ำ จากสมบัติทางกายภาพ แร่วิทยา และเคมีของดินที่แตกต่างกัน จึงส่งผลต่อรูปโพแทสเซียมในแต่ละดินแตกต่างกัน โดยสรุปพบว่า โพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ทันทีมีอยู่ในดินน้อยที่สุด ถัดมาคือรูปที่เป็นประโยชน์อย่างช้า ๆ และอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์มากที่สุด เมื่อนำดินมาศึกษาการปลดปล่อยโพแทสเซียมโดยสกัดด้วย 0.3 โมลาร์ NaTPB พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยสูงกว่าการสกัดด้วยกรดไนตริก เมื่อนำค่าการปลดปล่อยโพแทสเซียมมาสร้างสมการการปลดปล่อย ได้แก่ สมการ First order สมการ Parabolic diffusion สมการ Power function และสมการ Elovich พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) ที่ได้จากสมการ Elovich สูงที่สุด และมีค่า RMSE ต่ำที่สุด จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นสมการคาดคะเนการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีที่สุด และเมื่อนำอัตราการปล่อยปลดโพแทสเซียม (slope constant; b) ที่ได้จากสมการ Elovich หาคความสัมพันธ์กับโพแทสเซียมรูปต่าง ๆ และสมบัติของดิน พบว่า อัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งและดินเหนียว

ศึกษาการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของยางพาราและข้าวโพดหวานที่ปลูกในดินที่มีแหล่งสำรองโพแทสเซียมที่แตกต่างกันที่มีการใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียม พบว่า องค์ประกอบทางแร่ของดินหลังปลูกพืชไม่เปลี่ยนแปลงแต่พบว่า ดินหลังปลูกพืชมีค่าปฏิกิริยาดินและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงอย่างชัดเจน พบว่า โพแทสเซียมรูปต่าง ๆ ในดินหลังปลูกพืชโดยเฉพาะในดินที่ไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมลดลงแต่ในดินที่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยกเว้นโพแทสเซียมทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงทั้งในดินที่ใส่และไม่ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมเมื่อเทียบกับดินก่อนปลูกพืช และมีรูปแบบการปลดปล่อยโพแทสเซียมเหมือนกันดินก่อนปลูกพืช นอกจากนี้การใช้สมการ Elovich สามารถคาดคะเนการปลดปล่อยโพแทสเซียมได้ดีที่สุดเช่นเดียวกับดินก่อนปลูกพืช เมื่อประเมินการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของพืช พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมไม่ทำให้การเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของยางพาราเพิ่มขึ้น และพบว่า การเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของยางพารามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการปลดปล่อยโพแทสเซียมของดิน ส่วนในข้าวโพดหวานการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมทำให้การเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวานเพิ่มขึ้น และพบความสัมพันธ์เชิงบวกสูงระหว่างปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าวโพดหวานกับโพแทสเซียมรูปที่สกัดด้วยกรดไนตริกซึ่งเป็นโพแทสเซียมส่วนที่เป็นประโยชน์ทันทีและโพแทสเซียมที่สามารถปลดปล่อยออกมาให้แก่พืชได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2548. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กรุงเทพฯ ฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กองสำรวจดิน. 2516. แผนที่ดินจังหวัดสงขลา. กรุงเทพฯ ฯ : กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- จักรกฤษณ์ พูนภักดี, จำเป็น อ่อนทอง, ขวัญตา ขาวมี และสุพรรณิ ดวงทอง. 2556. รูปของโพแทสเซียมในดินที่ดอนและที่ลุ่มที่ใช้ปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลา. เกษตร 41 (2) : 21-32.
- จำเป็น อ่อนทอง และจักรกฤษณ์ พูนภักดี. 2555. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จำเป็น อ่อนทอง, จุฑามาศ แก้วมโน และจักรกฤษณ์ พูนภักดี. 2556. สถานะโพแทสเซียมและสมบัติของดินนาไร่และดินดอนที่ใช้ปลูกยางพารา. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชัยรัตน์ นิลนนท์, ชีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชีระพงศ์ จันทรมนิยม, ประกิจ ทองคำ และวรรณภา เลี้ยววาริณ. 2552. โครงการความต้องการธาตุอาหารและการจัดการปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตของปาล์มน้ำมัน. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สงขลา : คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ทวีศักดิ์ ภู่อำ. 2540. ข้าวโพดหวาน : การปรับปรุงพันธุ์และการปลูกเพื่อการค้า. กรุงเทพฯ ฯ : โอเดียนสโตร์.
- นवलศรี กาญจนกุล, สุวรรณีย์ ภูธรราช และชนิษฐศรี ฮันตระกูล. 2543. ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศไทย. กรุงเทพฯ ฯ : กองวิเคราะห์ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- นุชนารถ กังพิศดาร. 2550. การใช้ปุ๋ยและการปรับปรุงดินในสวนยาง. กรุงเทพฯ ฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- นุชนารถ กังพิศดาร, โสภา โพธิ์วัถฒธรรม, เวท ไทยนุกูล และสมยศ สันธูรหัส. 2522. การศึกษาชนิดของแร่ดินเหนียวและคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินปลูกยางพารา. รายงานผลการค้นคว้าวิจัยปี 2522 หน้า 161-162. กรุงเทพฯ ฯ : กองการยาง กรมวิชาการเกษตร.
- ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2544. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สถาบันวิจัยยาง. 2553. ข้อมูลวิชาการยางพารา 2553. กรุงเทพฯ ฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- สายใจ สุชาติกุล. 2554. การจัดทำค่ามาตรฐานเพื่อการวินิจฉัยสถานะธาตุอาหารในดินและใบสำหรับยางพาราก่อนเปิดกรีต. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- สาริศา ศิริชมจันทร์. 2552. การปรับปรุงวิธีการประเมินความต้องการปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับดินสมแก่ที่ปลูกข้าวโพด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2555. กรุงเทพฯ ฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- สิทธิชัย บุญมณี, จำเป็น อ่อนทอง และขวัญตา ขาวมี. 2556ก. เปรียบเทียบการใส่ปุ๋ยตามค่าทดสอบดินและปุ๋ยผสมสูตร 20-8-20 ในยางพาราก่อนเปิดกรีต. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 31 : 53-62.
- สิทธิชัย บุญมณี, จำเป็น อ่อนทอง และขวัญตา ขาวมี. 2556ข. ธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีในน้ำยางจากต้นยางพาราก่อนเปิดกรีตที่ใส่ปุ๋ยตามค่าทดสอบดินและปุ๋ยเชิงผสมสูตร 20-8-20. การประชุมวิชาการดินและปุ๋ย ครั้งที่ 3 ณ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 25-27 เมษายน 2556 หน้า 15.

- อัญชลี สุทธิประการ. 2553. แร่ในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินเขตร้อน. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Blake, L., Mercik, S., Koerschens, M., Goulding, K.W.T., Stempen, S., Weigel, A., Poulton, P.R. and Powlson, D.S. 1999. Potassium content in soil, uptake in plants and the potassium balance in three European long-term field experiments. *Plant and Soil* 216 (1-2) : 1-14.
- Brady, N.C. and Weil, R.R. 2008. *The Nature and Properties of Soils*. New Jersey : Pearson Prentice Hall.
- Cox, A.E., Joern, B.C., Brouder, S.M. and Gao, D. 1999. Plant-available potassium assessment with a modified sodium tetraphenylboron method. *Soil Science Society of America Journal* 63 : 902-911.
- Cox, A.E., Joern, B.C., Roth, C.B. 1996. Nonexchangeable ammonium and potassium determination in soils with a modified sodium tetraphenylboron method. *Soil Science Society of America Journal* 60 : 114-120.
- Darunsontaya, T., Suddhiprakarn, A., Kheoruenromne, I. and Gilkes, R.J. 2010. The kinetics of potassium release to sodium tetraphenylboron solution from the clay fraction of highly weathered soils. *Applied Clay Science* 50 : 376-385.
- Darunsontaya, T., Suddhiprakarn, A., Kheoruenromne, I., Prakongkep N. and Gilkes, R.J. 2012. The forms and availability to plants of soil potassium as related mineralogy for upland Oxisols and Ultisols from Thailand. *Geoderma* 170 : 11-24.
- Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle-sized analysis. In *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods* (ed. Kulte, A.) pp. 383-411. Wisconsin : American Society of Agronomy, Inc.
- Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. and Nelson, W.L. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers : An Introduction to Nutrient Management*. New Jersey : Pearson Prentice Hall.
- Havlin, J.L. and Westfall, D.G. 1985. Potassium release kinetics and plant response in calcareous soils. *Soil Science Society of America Journal* 49 : 366-370.
- Helmke, P.A., and Sparks, D.L. 1996. Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium and Cesium. In *Method of Soil Analysis*. (ed. Page, A.L.) pp. 551-573. Wisconsin : American Society of Agronomy, Inc.
- Hinsinger, P. and Jaillard, B. 1993. Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. *Journal of Soil Science* 44 : 525-534.
- Jacob, J.L., Prevot, J.C. and Kekwick, R.G.O. 1989. General metabolism of *Hevea brasiliensis* latex (with the exception of isoprenic anabolism). In *Physiology of Rubber Tree Latex*. (eds. d'Auzac, J., Jacob, J.L. and Chrestin, H.) pp. 101-144. Boca Raton : CRC Press.

- Jalali, M. 2006. Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma* 135 : 63-71.
- Jardine, P.M. and Sparks, D.L. 1984. Potassium–calcium exchange in a multireactive soil system : I. Kinetics. *Soil Science Society of America Journal* 48 : 39–45.
- Jones, J.B. 2001. *Laboratory Guide for Conduction Soil Tests and Plant Analysis*. Boca Raton : CRC Press.
- Joseph, M., Nair, R.B., Mathew, M. and Punnoose, K.I. 1998. Potassium nutrition of mature rubber. *Indian Journal of Natural Rubber Research* 11 : 58-66.
- Kanket, W., Suddhiprakarn, A., Kheoruenromne, I. and Gilkes, R.J. 2005. Chemical and crystallographic properties of kaolin from Ultisols in Thailand. *Clay and Clay Minerals* 53 : 478-489.
- Lalitha, M. and Dhakshinamoorthy, M. 2014. Forms of soil potassium – a review. *Agricultural Research Communication Centre* 35 (1) : 64-68.
- Mengel, K., and Uhlenbecker, K. 1993. Determination of available interlayer potassium and its uptake by ryegrass. *Soil Science Society of America Journal* 57 : 561-566.
- Navarrete, I., Asio, V.B., Jahn, R. and Tsutsuki, K. 2007. Characteristics and genesis of two strongly weathered soils in Samar, Philippines. *Australian Journal of Soil Research* 45 : 153-163.
- Onthong, J. and Osaki, M. 2006. Adaptations of tropical plants to acid soils. *Tropics* 15 : 337-347.
- Paola, C., Pierre, C., Vincenza, C., Vincenzo, D.M. and Bruce, V. 2016. Short term clay mineral release and re-capture of potassium in a Zeamays field experiment. *Geoderma* 264 : 54-60.
- Pushparajah, E., Sivanadyan, K. and Yen, F.K. 1974. *Efficient use of fertilizers*. Kuala Lumpur : Proc. Rubb. Res. Inst.
- Prasad, R. and Power, J.F. 1997. *Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture*. New York : CRC Press.
- Rahmatullah and Mengel, K. 2000. Potassium release from mineral structures by H⁺ ion resin. *Geoderma* 96 : 291-305
- Robert, M. and Berthelin, J. 1986. Role of biological and biochemical factors in soil mineral weathering. In: *Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes* (eds P.M. Huang and M. Schnitzer), pp. 453-495. Special Publication No 17. Madison : Soil Science Society of America.
- Samadi, A., Dovlati, B. and Barin, M. 2008. Effect of continuous cropping on potassium forms and potassium adsorption characteristics in calcareous soils of Iran. *Australian Journal of Soil Research* 46 : 265-272

- Samarappuli, L., Yogaratnam, N., Karunadasa, P., Mitrasena, U. and Hettiarachchi, R. 1993. Role of potassium on growth and water relation of rubber plants. *Journal of Rubber Reaserch Institute of Sri Lanka* 73 : 37-57.
- Sanisidar, H., Mahmood, A.A., Sivanadyan, K. and Gonez, J.B. 1975. Effects of mineral fertilizers on bark anatomy of *Hevea brasiliensis*. Kuala Lumpur : Proc. Int. Rubb. Res.
- Schulte, E.E. and Corey, R.B. 1963. Flame photometric determination of potassium precipitated in soils as potassium tetraphenylboron. *Soil Science Society of America Journal* 27 : 358-360.
- Schulte, E.E. and Corey, R.B. 1965. Extraction of potassium from soils with sodium tetraphenylboron. *Soil Science Society of America Journal* 29 : 33-35.
- Sharma, U. and Paliyal, S.S. 2015. Forms of soil potassium as influenced by long term application of chemical fertilizer and organic in rainfed maize-wheat cropping system. *Journal of Krishi Vigyan* 3(2) : 48-53.
- Simonsson, M., Andersson, S., Andrist-Rangel, Y., Hillier, S., Mattsson, L. and Öborn, I. 2007. Potassium release and fixation as a function of fertilizer application rate and soil parent material. *Geoderma* 140 (1-2) : 188-198.
- Simonsson, M., Hillier, S. and Öborn, I. 2009. Changes in clay minerals and potassium fixation capacity as a result of release and fixation of potassium in long-term field experiments. *Geoderma* 151 : 109-120.
- Singh, B. and Goulding, K.W.T. 1997. Changes with time in the potassium content and phyllosilicates in the soil of the Broadbalk continuous wheat experiment at Rothamsted. *European Journal of Soil Science* 48 : 651-659.
- Singh, M., Tripathi, A.K. and Reddy, D.D. 2002. Potassium balance and release kinetics of non-exchangeable K in a Typic Haplustert as influenced by cattle manure application under a soybean-wheat system. *Australian Journal of Soil Research* 40 : 533-541.
- Smith, S.J. and Scott, A.D. 1966. Extractable potassium in grundite illite : Method of extraction. *Soil Science* 102 : 115-122.
- Sparks, D.L., Zelazny, L.W. and Martens, D.C. 1980. Kinetics of potassium desorption in soil using miscible displacement. *Soil Science Society of America Journal* 44 : 1205-1208.
- Trakoonyingcharoen, P., Kheoruenromne, I., Suddhiprakarn, A. and Gilkes, R.J. 2005. Phosphate sorption by Thai red Oxisols and red Ultisols. *Soil Science* 170 : 716-725.
- von Uexkull, H. R. and Cohen, A. 1980. Potassium requirements of some tropical tree crops (oil palm, coconut palm, rubber, coffee, cocoa) and cotton In *Potassium Requirements of Crops*. Bern : IPI Research Topics, No.7: International Potash Institute, pp. 71-104.
- Watana, S., Kheoruenromne, I., Suddhiprakarn, A. and Gilkes, R.J. 2005. Properties of Aquic plinthite formed under a tropical monsoonal climate in Thailand. *Thai Journal of Agricultural Science* 38 : 1-26.

Whittig, L.D. and Allardice, W.R. 1986. X-ray diffraction technique. In *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods* (ed Klute, A.) pp. 671-698. Madison : American Society of Agronomy, Inc.