ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียม ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

Effects of Quantity and Ratio of Potassium to Magnesium on Growth of Rubber Tree Sapling

ภัทรานิษฐ์ คงมาก
Phatranis Kongmak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Soil Resources Management
Prince of Songkla University
2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียม ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

Effects of Quantity and Ratio of Potassium to Magnesium on Growth of Rubber Tree Sapling

ภัทรานิษฐ์ คงมาก
Phatranis Kongmak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Soil Resources Management
Prince of Songkla University
2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก
ผู้เขียน นางสาวภัทรานิษฐ์ คงมาก
สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

โพแทสเซียมและแมกนีเซียมเป็นธาตุที่มีอันตรกิริยาเชิงลบที่รุนแรงต่อกัน ในการจัดการด้านธาตุอาหารให้เหมาะสมจำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณและความสมดุลของธาตุทั้งสอง จึงศึกษาปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก การศึกษาประกอบด้วย 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาสถานะและสัดส่วนของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพารา โดยการเก็บตัวอย่างดินและใบของยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอนในจังหวัดสงขลา นำมาวิเคราะห์ธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียม นำค่าที่วิเคราะห์ได้ไปเทียบกับค่าที่เหมาะสมและหาสัดส่วนของธาตุทั้งสองทั้งในดินและในใบยางพารา และการทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก โดยการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์และคีเซอร์ไรต์ให้มีโพแทสเซียมและแมกนีเซียมปริมาณ 72:16, 72:36, 108:36, 180:36 และ 180:60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 4.5:1, 2:1, 3:1, 5:1 และ 3:1 ตามลำดับ)

ผลการทดลองพบว่า ในแปลงปลูกยางพาราที่ลุ่มและที่ดอนส่วนใหญ่มีโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินและโพแทสเซียมทั้งหมดในใบอยู่ในระดับต่ำ โดยโพแทสเซียมในแปลงที่ลุ่มต่ำกว่าในที่ดอน แต่แมกนีเซียมในที่ลุ่มสูงกว่าที่ดอน ในขณะที่แมกนีเซียมทั้งหมดในใบอยู่ในระดับสูง แปลงในที่ลุ่มมีสัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินต่ำกว่าที่ดอน โดยมีค่าเฉลี่ย 2.87 และ 6.99 ตามลำดับ แต่มีสัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในใบสูงกว่าที่ดอนโดยมีค่าเฉลี่ย 3.87 และ 3.25 ตามลำดับ

การใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 72 เป็น 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้มีความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมในใบเพิ่มขึ้น แต่แมกนีเซียมและแคลเซียมกลับลดลง ในขณะที่การใส่โพแทสเซียมปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ทำให้ต้นยางเล็กมีการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินและส่วนราก และมีการดูดใช้ธาตุอาหาร (N, P, K, Mg, Ca and S) สูงสุด ดังนั้น การจัดการด้านธาตุอาหารในดินปลูกยางพาราควรคำนึงถึงปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมให้เหมาะสมกัน ซึ่งควรใส่ปุ๋ยโพแทชให้มีปริมาณโพแทสเซียม 40-72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่แมกนีเซียมควรใส่ให้มีปริมาณ >36.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือใส่ในสัดส่วน 2:1

Thesis Title Effects of Quantity and Ratio of Potassium to Magnesium on Growth of Rubber Tree Sapling
Author Miss Phatranis Kongmak
Major Program Soil Resources Management
Academic Year 2017

ABSTRACT

Negative interaction between potassium (K) and magnesium (Mg) is severe. Optimum nutrient management must be considered both quantity and nutrient balance. Effects of quantity and ratio of potassium to magnesium on growth of rubber tree sapling were studied. This study consisted of 2 experiments. The first experiment was to study status and K/Mg ratio in soils and rubber leaves. The soils and leaves were collected from rubber plantations in lowland and upland areas in Songkhla province for analysis of K and Mg. The values were compared with the standard level. The second experiment was to study effects of quantity and ratio of potassium to magnesium on growth of rubber tree sapling. Rubber tree saplings were planted in soil containing quantity of K and Mg 72:16, 72:36, 108:36, 180:36 and 180:60 mg kg^{-1} (K/Mg ratio as 4.5:1, 2:1, 3:1, 5:1 and 3:1 respectively)

The results showed that available K and Mg in lowland and upland soil were low as same as total K in leaf and the available K in lowland soil was lower than upland soil, in contrast to the available Mg. However, leaf Mg was high. Average of available K/Mg ratio in lowland soil was lower than upland soil, 2.87 and 6.99 respectively. But the total K/Mg ratio in leaves of rubber grown in lowland areas was higher than upland areas, 3.87 and 3.25 respectively.

Appling K at rate of 72, 108 and 180 mg kg^{-1} increased leaf K concentration but decreased concentration of Mg and Ca. While applying 72 mg kg^{-1} and Mg 36 mg kg^{-1} (K:Mg ratio; 2:1) gave highest plant growth and nutrient uptake (N, P, K, Mg, Ca and S) of rubber tree sapling. This quantity and ratio of K and Mg are important for K and Mg management in rubber growing soils. Thus, rubber plantation areas should be applied K fertilizer at 40-72 mg kg^{-1} while Mg is more than 36.45 mg kg^{-1} or ratio of K and Mg at 2:1

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. ขวัญตา ขาวมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาเสียสละเวลา ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ตั้งแต่เริ่มต้น ด้วยการให้คำปรึกษา คำแนะนำ ให้กำลังใจ และข้อคิดในด้านต่าง ๆ ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไข จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงได้ดี

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.บัญชา สมบูรณ์สุข ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแก้ไขข้อบกพร่องในด้านการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาธรณีศาสตร์ ผศ.ดร.เชาวน์ ยงเฉลิมชัย รศ.ดร. อัจฉรา เพ็งหนู ดร.สุรชาติ เพชรแก้ว ดร.จุฑามาศ แก้วมโน และ ดร.เจษฎา โสภารัตน์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ และวิชาการด้านต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ ดร.กรกช นาคคนอง อาจารย์ประจำภาควิชาพืชศาสตร์ และ ดร. ปฏิมาพร ปลอดภัย อาจารย์ประจำภาควิชาการจัดการศัตรูพืช ที่ได้ความรู้ และคำแนะนำทางด้านพืช วิธีการกำจัดศัตรูพืช และวิธีการดูแลรักษาพืชที่ได้รับผลกระทบจากโรค

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาธรณีศาสตร์ คุณสิขเรศ แสงขำ คุณละไม เรืองสม คุณมาริสา รอดรัตน์ คุณธีรพงศ์ สุวรรณขำ และคุณถาวร ดิษโสภา ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณเจ้าของสวนยางพารา (ป้าอบ) ที่ได้สละดินในสวนยางพาราสำหรับทำการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบคุณรุ่นพี่ภาควิชาธรณีศาสตร์ พี่โจ๊ก พี่ต้น พี่แตะ พี่กานต์ พี่บุ๊ค พี่ซัน พี่ซกเฮง และพี่แด ที่คอยให้คำแนะนำ เป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือในด้านของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย รวมถึงการออกพื้นที่เพื่อเก็บตัวอย่างดินมาใช้สำหรับการทดลอง

ขอขอบคุณพี่ปุก พี่ทา พี่เก่ พี่สุ แอ้ เติ้ล และพี่เดี่ยว รวมถึงน้อง ๆ ภาควิชาธรณีศาสตร์ น้องเปี๊ยก น้องโจ น้องแป๊ก น้องจูน น้องมิ้นท์ น้องป๊อป น้องเอิร์ท น้องผา น้องอิ๋ว น้องวิลลี่ น้องริต้า และน้องฟาส ที่ให้ความช่วยเหลืองานต่าง ๆ ในโรงเรือนปลูกตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนถึงใกล้สิ้นสุดการทดลอง

ท้ายที่สุดขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวที่เลี้ยงดูหนูมาเป็นอย่างดี เป็นแบบอย่างในการดำเนินชีวิตที่ดีให้กับหนู คอยสนับสนุนและเอาใจใส่ในเรื่องต่าง ๆ โดยเฉพาะในเรื่องของการศึกษา ขอบคุณที่คอยอยู่ข้าง ๆ และคอยเป็นกำลังใจให้หนูในทุก ๆ วัน

ภัทรานิษฐ์ คงมาก

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการรูป	(10)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	12
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	13
วัสดุและสารเคมี	13
อุปกรณ์	14
วิธีการทดลอง	15
3. ผลการทดลอง	20
4. วิจารณ์ผลการทดลอง	40
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	53
ประวัติผู้เขียน	61

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงปริมาณและสัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่ใช้ในแต่ละตำรับการทดลอง	17
2	ระดับของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกยางพาราที่ลุ่มและที่ดอน ทั้งในระยะก่อนและหลังเปิดกรีด (0-30 เซนติเมตร)	23
3	ระดับของแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกยางพาราที่ลุ่มและที่ดอน ทั้งในระยะก่อนและหลังเปิดกรีด (0-30 เซนติเมตร)	23
4	ระดับของโพแทสเซียมในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอน ทั้งในระยะก่อนและหลังเปิดกรีด	24
5	ระดับของแมกนีเซียมในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอน ทั้งในระยะก่อนและหลังเปิดกรีด	24
6	ค่าวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง	26
7	ค่าวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินหลังจากมีการปรับธาตุอาหารที่จำเป็นให้กับต้นยางเล็ก	26
8	การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กเมื่อเริ่มการทดลอง	27
9	ความสูงของต้นต้นยางเล็กเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	30
10	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางเล็กเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	30
11	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	31
12	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบของต้นยางเล็ก	32
13	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในก้านใบของต้นยางเล็ก	32
14	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในลำต้นของต้นยางเล็ก	33
15	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในรากแก้วของต้นยางเล็ก	34
16	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในรากแขนงของต้นยางเล็ก	34

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกยางพารา	21
2	โพแทสเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมดในใบยางพารา	22
3	สัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินปลูกยางพาราและในใบยางพารา	25
4	การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กเมื่อเริ่มการทดลอง	27
5	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการแสดงออกของต้นยางเล็ก	28
6	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินของต้นยางเล็ก	29
7	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตส่วนรากของต้นยางเล็ก	29
8	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้โพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	35
9	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้แมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	36
10	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้แคลเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	37
11	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้กำมะถันในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	38
12	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	38
13	ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	39

บทที่ 1
บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ดังนั้น เพื่อเพิ่มผลผลิตยางพารา เกษตรกรจึงต้องเพิ่มธาตุอาหารให้ยางพาราในรูปของปุ๋ยที่ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม แต่การใส่ปุ๋ยที่ประกอบด้วยธาตุอาหารหลักเพียงอย่างเดียวอาจจะส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารอื่น ๆ ของยางพารา โดยเฉพาะธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมซึ่งเป็นธาตุที่มีอันตรกิริยาที่มีผลเชิงลบต่อกัน กล่าวคือ การเพิ่มปุ๋ยโพแทชทำให้พืชสะสมแมกนีเซียมในส่วนเหนือดินน้อยลง และการเพิ่มอัตราปุ๋ยแมกนีเซียมก็ทำให้พืชสะสมโพแทสเซียมในส่วนเหนือดินน้อยลงเช่นกัน (ยงยุทธ, 2552) เนื่องจากแมกนีเซียมและโพแทสเซียมเป็นแคตไอออนที่มีลักษณะและสมบัติคล้าย ๆ กัน ทำให้เกิดการแข่งขันระหว่างกัน (Tandon, 1992) และการเพิ่มปุ๋ย โพแทชให้กับยางพาราในปริมาณที่มากอาจทำให้ปริมาณของแมกนีเซียมลดลงจนยางพาราได้รับแมกนีเซียมไม่เพียงพอ สอดคล้องกับที่ นุชนารถ และคณะ (2556) รายงานว่า สถานะของแมกนีเซียมในดินปลูกยางพาราของประเทศไทยที่มีค่าระหว่าง 0.03 – 0.87 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม (เฉลี่ย 0.18 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม) จัดว่ามีระดับความเข้มข้นต่ำกว่าความต้องการของยางพารา คือ มากกว่า 0.30 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม (นุชนารถ และคณะ, 2556) ดังนั้น ถ้าธาตุอาหารในดินไม่สมดุลกัน จะทำให้การดูดใช้ธาตุอาหารของพืชธาตุใดธาตุหนึ่งลดลง (Tandon, 1992; Troeh and Thompson, 2005)

โพแทสเซียมและแมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตของพืช โดยโพแทสเซียมมีความสำคัญในกระบวนการสร้างและเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาล ส่วนแมกนีเซียมเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง หากพืชได้รับธาตุใดธาตุหนึ่งไม่เพียงพอหรือลดลงจะส่งผลกระทบต่อพืชได้ (ยงยุทธ, 2552) แม้ว่าในอดีตดินปลูกยางพาราในประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์สูงเนื่องจากการเปิดป่าใหม่ (ลิขิต และคณะ, 2525) แต่การใช้พื้นที่ทำการเกษตรติดต่อกันบนพื้นที่ดินเดิมเป็นระยะเวลานานและการโค่นไม้เดิมเพื่อปลูกพืชใหม่ย่อมส่งผลให้ธาตุอาหารในดินลดน้อยลง นอกจากนี้ การเก็บเกี่ยวผลผลิตก็ยังมีส่วนสำคัญต่อการลดลงของธาตุอาหารในดิน เพราะในการเก็บเกี่ยวผลผลิตน้ำยาง 1 ตัน ดินจะสูญเสียแมกนีเซียม 5 กิโลกรัม (นุชนารถ, 2554) ดังนั้น ในการจัดการสวนยางพาราจึงจำเป็นต้องเพิ่มธาตุอาหารในดินให้เพียงพอกับความต้องการของพืชและมีความสมดุลของธาตุอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินที่ใช้สำหรับปลูกยางพาราจะต้องมีความอุดมสมบูรณ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต ซึ่งนุชนารถ และคณะ (2556) ได้แนะนำปุ๋ยสูตรผสม 20-8-20 สำหรับยางพาราก่อนเปิดกรีดในเขตปลูกยางเดิม ซึ่งสามารถใช้ได้กับดินทุกชนิดแต่อัตราที่ใช้จะขึ้นอยู่กับอายุของยางพาราและชนิดของดิน รวมถึงสูตร 20-10-12 และ 20-10-17 สำหรับยางพาราในเขตปลูกยางใหม่ที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวและดินร่วนทราย ตามลำดับ นอกจากนี้ มีการแนะนำการใส่ปุ๋ยสำหรับยางพาราหลังเปิดกรีด คือ ปุ๋ยสูตร 29-5-18 สามารถใช้ได้กับดินทุกชนิดทั้งในแหล่งปลูกยางเดิมและในแหล่งปลูกยางใหม่ แต่ในสูตรปุ๋ยที่แนะนำไม่มีแมกนีเซียมผสม ทั้งนี้เพราะในอดีตดินปลูก

ยางพาราของประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์สูง แต่การไม่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมหรือการใส่เฉพาะปุ๋ยโพแทชในปริมาณสูงให้กับดินเป็นระยะเวลานานอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ปริมาณของแมกนีเซียมในดินลดลง เพราะฉะนั้น การใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ยางพาราต้องคำนึงถึงความเหมาะสมและอันตรกิริยาระหว่างธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งจะต้องใส่ให้มีสัดส่วนในดินที่เหมาะสม เช่น ในดินสำหรับปลูกปาล์มน้ำมันควรมีสัดส่วนที่เหมาะสมอยู่ในระดับ 9.25:1 (ธีระ, 2554) ไม้ผล 2:1 และพืชผัก 3:1 (Havlin *et al*., 2005) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของสถาบันวิจัยยาง พบว่า สัดส่วนของโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมของยางพาราที่ปลูกในภาคใต้มีสัดส่วนของโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมในใบยางพาราสูงกว่าภาคตะวันออก ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ 4.4, 3.2, 2.8 และ 2.5 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ยางพาราที่ปลูกในภาคใต้อาจจะแสดงอาการขาดแมกนีเซียมได้มากกว่าภาคอื่น (สถาบันวิจัยยาง, 2556) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแมกนีเซียมที่มีอยู่ในดินระดับต่ำ ดังนั้น การใส่ปุ๋ยสำหรับยางพาราจำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมด้วย เพราะหากปริมาณและสัดส่วนระหว่างทั้งสองธาตุไม่สมดุลกันจะส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุใดธาตุหนึ่งและส่งผลกระทบต่อธาตุอื่น ๆ รวมทั้งยังอาจจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของยางพาราได้

2. การตรวจเอกสาร

2.1 ความสำคัญของยางพารา

ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) จัดอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae มีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มน้ำอะเมซอน ประเทศบราซิลและเปรู ในทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งประเทศไทยมีการนำยางพารามาปลูกเป็นครั้งแรก โดยพระยารัษฎานุประดิษฐ์มหิศรภักดี (คอซิมบี้ ณ ระนอง) ซึ่งได้นำยางพาราจากประเทศมาเลเซียมาปลูกที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง ในปี พ.ศ. 2442 และหลังจากนั้นมีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราในภูมิภาคอย่างต่อเนื่อง จนปัจจุบันมีการปลูกยางพาราทั่วทุกภาคของประเทศไทย (องค์การสวนยาง, 2558)

ยางพาราเป็นพืชอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทยและภูมิภาคอาเซียน โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยาง 19.27 ล้านไร่ กระจายอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศโดยเฉพาะภาคใต้มีพื้นที่ปลูกยางพารามากที่สุดถึง 12.78 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลก เนื่องจากยางพาราเป็นวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตสินค้าหลายประเภท จึงทำให้ความต้องการใช้ยางทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทย มีการส่งออกยางธรรมชาติทั้งสิ้น 1,508,788 ตัน ประกอบด้วยยางแท่ง ร้อยละ 43.46 ยางแผ่นรมควัน ร้อยละ 19.38 ยางผสม ร้อยละ 18.03 น้ำยางข้น ร้อยละ 17.79 และยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางสกิม ยางเครพ และยางแผ่นดิบรวม ร้อยละ 1.35 ของปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของประเทศไทย ซึ่งสามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศ คิดเป็นมูลค่า 477,930 ล้านบาท (สมจิตต์ และคณะ, 2557)

2.2 สมบัติของดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกยางพารา

ดินเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของยางพารา (นุชนารถ, 2552) หากดินมีความอุดมสมบูรณ์สูงจะมีความเป็นประโยชน์ต่อพืชได้สูง ในทางตรงกันข้ามหากดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำไม่มีความเหมาะสมก็จะส่งผลกระทบต่อพืชด้วยเช่นกัน สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศในเขตร้อนที่ตั้งอยู่ระหว่างละติจูด 5 องศา 37 ลิปดาเหนือ 20 องศา 27 ลิปดาเหนือ และระหว่างลองติจูด 97 องศา 22 ลิปดาตะวันออก กับ 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก มีสภาพเหมาะสมต่อการปลูกยางพารา ทำให้สามารถปลูกยางพาราได้เกือบทุกภาคของประเทศ เพราะยางพาราเป็นพืชที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี (องค์การสวนยาง, 2558) อย่างไรก็ตาม การปลูกยางพาราให้เจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสูงขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพพื้นที่ อุณหภูมิ ปริมาณฝนและการกระจายของฝน โรคและศัตรูยาง การบำรุงรักษาสวนยาง พันธุ์ยาง และระบบการกรีดยาง เป็นต้น

การเลือกปลูกยางพาราในดินที่เหมาะสมเป็นเรื่องที่สำคัญ เพราะถ้าสภาพดินที่ปลูกไม่เหมาะสม ยางพาราจะมีอาการแคระแกรน ใบเล็ก ไม่สมบูรณ์ และการเจริญเติบโตไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ผลผลิตต่ำ (นุชนารถ, 2552) ดังนั้น การปลูกยางพาราจึงควรเลือกพื้นที่ที่มีดินเหมาะสมโดยพิจารณาถึงสมบัติต่าง ๆ ทั้งสมบัติทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี ดังต่อไปนี้

สมบัติทางกายภาพของดิน

พืชยืนต้นอย่างยางพาราจะมีรากแก้วหยั่งลึกลงไปในดินเพื่อช่วยในการพยุงลำต้น ดังนั้น จึงต้องการพื้นที่ที่มีหน้าตัดดินลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร ไม่มีชั้นหินแข็ง หินโผล่ ชั้นดินดาน หรืออุปสรรคอย่างอื่นที่จะมาขัดขวางการชอนไชของราก ยกเว้นแต่ในกรณีที่มีชั้นหินแข็งที่กำลังสลายตัว หรือมีศิลาแลง (laterite) เป็นก้อนกระจายอยู่ทั่วไปในชั้นดิน แต่ไม่พบเป็นแผ่นแข็งหรือแผ่นทึบ ยังมีช่องว่างให้รากของยางพาราสามารถชอนไชลงไปได้ นอกจากนี้ ดินที่ปลูกยางพาราจะต้องมีการระบายอากาศดี คือ มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินมากพอให้อากาศถ่ายเทได้ มีระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่า 1 เมตร เนื่องจากยางพาราเป็นพืชที่ชอบดินที่มีการระบายน้ำดี ไม่ชอบน้ำท่วมขัง นอกจากนี้ ดินจะต้องเป็นดินที่มีการอุ้มน้ำได้ดี เพราะรากของยางพาราดูดธาตุอาหารต่าง ๆ ในรูปของสารละลาย (นุชนารถ, 2552) ดังนั้น ถ้าหากดินมีการอุ้มน้ำไว้ได้ดีจะทำให้รากของยางพาราสามารถดูดธาตุอาหารได้ดีเช่นกัน

สมบัติทางเคมีของดิน

สมบัติทางเคมีเป็นสมบัติที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน และมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืช สมบัติทางเคมีของดินหลัก ๆ มีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาดิน อินทรียวัตถุ และธาตุอาหารในดิน

ปฏิกิริยาดินหรือความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ความสัมพันธ์ระหว่าง พีเอชของดินกับพืชนั้นขึ้นอยู่กับชนิดพืช ในพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน เช่น ยางพาราสามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่เป็นกรดจัดถึงด่างที่พีเอชระหว่าง 3.8 - 8.0 (Karthikakuttyamma *et al*., 2000) แต่ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพาราควรมีค่าพีเอชระหว่าง 4.5-5.5 (นุชนารถ, 2554) โดยมีรายงานระดับ พีเอชของดินปลูกยางพาราในประเทศไทย พบว่า ภาคเหนือและภาคตะวันออกมีค่าพีเอชของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา ร้อยละ 63 และ 46 ตามลำดับ แต่ดิน

ปลูกยางพาราในภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าพีเอชของดินต่ำกว่า 4.5 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา ร้อยละ 81 และ 65 แสดงให้เห็นว่า ดินปลูกยางพาราภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพีเอชของดินต่ำ ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชบางธาตุลดลง (นุชนารถ และคณะ, 2556)

อินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter) ปริมาณของอินทรียวัตถุในดินระดับที่สูงมากจะมีค่ามากกว่า 45 กรัมต่อกิโลกรัม หรือร้อยละ 4.5 ส่วนปริมาณของอินทรียวัตถุในดินที่อยู่ในระดับต่ำมากจะมีค่าน้อยกว่า 5 กรัมต่อกิโลกรัม หรือร้อยละ 0.5 (เอิบ, 2541) สำหรับดินในประเทศไทยซึ่งเป็นดินเขตร้อนจะมีอินทรียวัตถุในปริมาณที่ต่ำ โดยมีการศึกษาจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดินปลูกยางพาราตามปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่า ดินปลูกยางพาราของประเทศไทยร้อยละ 35 มีอินทรียวัตถุจัดอยู่ในระดับปานกลาง (อินทรียวัตถุ 23 กรัมต่อกิโลกรัม) ถึงค่อนข้างสูง (อินทรียวัตถุ >35 กรัมต่อกิโลกรัม) และดินปลูกยางพาราส่วนน้อยที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (อินทรียวัตถุ <10 กรัมต่อกิโลกรัม) (สมยศ และคณะ, 2536) ซึ่งดินปลูกยางพาราจะมีปริมาณอินทรียวัตถุที่ต่างกันไปในแต่ละภูมิภาคและส่วนใหญ่จะมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา (อินทรียวัตถุ 10-25 กรัมต่อกิโลกรัม) แต่สำหรับดินปลูกยางพาราในภาคใต้ร้อยละ 25 ของพื้นที่ทั้งหมด พบว่า มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่า 10 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา (นุชนารถ และคณะ, 2556) โดยเฉพาะดินในจังหวัดสงขลาที่มีอินทรียวัตถุในดินบน (0 - 30 เซนติเมตร) 9 - 13 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนดินล่าง (30–60 เซนติเมตร) มีเพียง 3-5 กรัมต่อกิโลกรัม (จักรกฤษณ์ และคณะ, 2556) ดังนั้น เกษตรกรควรมีการเพิ่มอินทรียวัตถุในดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อความอุดมสมบูรณ์ของดินต่อการเจริญเติบโตของยางพารา เช่น ปุ๋ยคอก เพราะนอกจากจะทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงขึ้นแล้ว ยังช่วยให้ดินมีสมบัติทางกายภาพและมีธาตุอาหารที่มีประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้นด้วย (สรัญญา และคณะ, 2548)

ธาตุอาหารของยางพารา ยางพารามีความต้องการธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์ ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการหายใจ การสังเคราะห์ด้วยแสง และใช้ในการส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ เช่นเดียวกันกับพืชทั่วไป โดยแหล่งของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์สำหรับยางพารานั้นมีมากมายหลายแหล่ง เช่น ธาตุออกซิเจน ไฮโดรเจน และคาร์บอน จากน้ำและอากาศ นอกเหนือจากนี้ก็จะเป็นธาตุอาหารที่ยางพาราได้รับมาจากดิน เช่น ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม เป็นต้น (นุชนารถ และคณะ, 2556)

ยางพาราต้องการธาตุอาหารในปริมาณที่แตกต่างกัน แต่มีธาตุเพียงไม่กี่ธาตุเท่านั้นที่ยางพาราต้องการใช้ในปริมาณมาก ซึ่งเรียกว่า ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยส่วนใหญ่แล้วธาตุดังกล่าวจะถูกเพิ่มลงในดินในรูปของปุ๋ยเคมี เพื่อส่งเสริมให้ยางพาราเจริญเติบโตและมีผลผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งการใส่ปุ๋ยเฉพาะธาตุอาหารหลักเพียงอย่างเดียวโดยไม่ได้เพิ่มธาตุอาหารรองอย่างแมกนีเซียมเพื่อทดแทนส่วนที่สูญเสียไปจากดิน ย่อมส่งผลให้ดินมีแมกนีเซียมต่ำกว่าความต้องการของยางพารา ดังนั้น ในการปลูกยางพาราจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมลงไปในดินร่วมกับการใส่ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักในปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มความสมดุลระหว่างปริมาณของธาตุอาหารในดิน

2.3 ดินในสภาพพื้นที่ลุ่มและที่ดอน

ประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณ 320.7 ล้านไร่ สามารถแบ่งเป็นพื้นที่ราบประมาณ 79.56 ล้านไร่ พื้นที่ดอนประมาณ 147.62 ล้านไร่ และพื้นที่สูงชันประมาณ 93.25 ล้านไร่ (จำเป็น, 2560) และในภาคใต้ที่มีพื้นที่รวมทั้งหมดประมาณ 44.19 ล้านไร่ พบว่า มีดินซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มที่เหมาะสมสำหรับการทำเกษตรประมาณ 6.39 ล้านไร่ โดยดินที่ลุ่มหรือดินนา เป็นดินที่เกิดในบริเวณพื้นที่ต่ำมักมีน้ำท่วมขังในพื้นที่ในช่วงฤดูฝน พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์ในการทำนา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2560) พื้นที่ลุ่มมีสภาพภูมิลักษณ์ (landform) เกิดจากตะกอนน้ำพาทับถมในพื้นที่ราบลุ่มต่ำของตะพักลำน้ำ (low alluvial terrace) (วุฒิชาติ, 2550) มีลักษณะภูมิประเทศเป็นแบบราบลุ่มจนถึงลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย เกิดในบริเวณพื้นที่ต่ำ สภาพพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบ ส่วนใหญ่พบเป็นบริเวณกว้างในภาคกลางและตามที่ราบลุ่มตามที่แม่น้ำต่างๆ กลุ่มชุดดินที่พบในพื้ที่ลุ่ม ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 1-25 และกลุ่มชุดดินที่ 57-59 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2560) โดยกลุ่มชุดดินที่พบในพื้นที่ลุ่มในภาคใต้ ได้แก่ ชุดดินบางนารา ชุดดินวิสัย ชุดดินน้ำกระจาย และชุดดินสะท้อน ซึ่งชุดดินดังกล่าวมีสภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ มีความชันร้อยละ 1-5 ลักษณะเป็นดินร่วนละเอียดลึกปานกลางถึงลึกมาก เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินเนื้อละเอียด มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การระบายน้ำเลว มีอัตราการไหลซึมผ่านผิวดินของน้ำช้า ทำให้ดินคงสภาพเปียกชื้นอยู่เป็นเวลานาน ส่งผลให้พบสีจุดประภายในหน้าตัดดินหากดินมีการแห้งสลับกับเปียก (วุฒิชาติ, 2550) และพื้นที่ดอนที่เหมาะสมสำหรับทำการเกษตรประมาณ พบว่า มีพื้นที่อยู่ประมาณ 13.09 ล้านไร่ (วุฒิชาติ, 2550) ซึ่งดินที่ดอนหรือดินไร่ เป็นดินที่พบในบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชัน สภาพพื้นที่อาจเป็นที่ราบ ที่ลาดชัน หรือลูกคลื่นไม่มีน้ำขังในช่วงฝนตก พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชไร่ ไม้ผล หรือไม้ยืนต้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2560) พื้นที่ดอนมีสภาพภูมิลักษณ์เกิดจากการพังสลายตัวอยู่กับที่หรือเคลื่อนย้ายมาทับถมหรืออาจเกิดจากตะกอนน้ำพามาทับถมอยู่บนพื้นที่ราบหรือส่วนต่ำของสันดินริมแม่น้ำ (old alluvium) (วุฒิชาติ, 2550) มีลักษณะภูมิประเทศที่ราบเรียบ เป็นลูกคลื่นหรือเนินเขา เป็นดินที่ไม่มีน้ำขังบริเวณที่เป็นเนิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2560) กลุ่มชุดดินที่พบในพื้นที่ดอน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 26-56 และกลุ่มชุดดินที่ 60-62 โดยในภาคใต้พบชุดดินที่พบได้ในพื้นที่ดอน ได้แก่ ชุดดินคอหงส์ ชุดดินสายบุรี ชุดดินระนอง และชุดดินพะโต๊ะ ชุดดินดังกล่าวมีสภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาด มีความชันร้อยละ 3-35 มีลักษณะเป็นดินตื้นถึงชั้นหินพื้น เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินชั้นล่างถัดไปอาจมีจุดประสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง ดินบนมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ส่วนดินล่างมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ การระบายน้ำดี ไม่มีการขังน้ำในช่วงฝนตก มีระดับน้ำใต้ดินตื้นในฤดูฝน และเกิดภาวะขาดแคลนน้ำในช่วงที่ฝนทิ้งช่วงนาน (วุฒิชาติ, 2550)

2.4 การใช้ปุ๋ยกับยางพารา

การปลูกยางพาราให้ประสบผลสำเร็จ มีผลผลิตสูง และลดต้นทุนการผลิต นอกเหนือจากการเลือกพื้นที่ปลูกให้เหมาะสม เลือกใช้ต้นพืชพันธุ์ดีเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม และมีการจัดการสวนที่ถูกต้อง การใช้ปุ๋ยยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้ยางพาราเจริญเติบโตเร็วและลดระยะเวลาในการให้ผลผลิต การเลือกใช้ปุ๋ยแต่ละชนิดจำเป็นต้องพิจารณาให้มีความเหมาะตามความต้องการของพืช สำหรับปุ๋ยของยางพาราจำเป็นต้องพิจารณาจากเนื้อดิน เนื่องจากดินปลูกยางส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกยางซ้ำบนพื้นที่ปลูกยางเดิม

ซึ่งจะทำให้ในดินมีปริมาณของธาตุอาหารต่ำ เนื่องจากธาตุอาหารส่วนใหญ่ถูกนำออกไปจากดินในรูปของน้ำยางและติดไปกับส่วนต่าง ๆ ของต้นยางพารา ดังนั้น ในการปลูกยางพาราจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มธาตุอาหารลงไปในดินในรูปของปุ๋ย โดย นุชนารถ และคณะ (2556) ได้แนะนำการใช้ปุ๋ยกับยางพาราก่อนเปิดกรีด 2 ประเภท คือ ปุ๋ยรองก้นหลุม ที่ใช้ผสมกับดินเพื่อรองก้นหลุมก่อนปลูก โดยจะมีการเร่งการเจริญเติบโตของราก และส่งเสริมการแผ่กระจายของรากให้เร็วขึ้น ได้แก่ ปุ๋ยหินฟอสเฟต (0-3-0) อัตรา 170–200 กรัมต่อต้น ในเขตปลูกยางใหม่แนะนำให้ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ 3-5 กิโลกรัมต่อต้น ร่วมกับปุ๋ยรองก้นหลุม และปุ๋ยบำรุงที่แนะนำให้ใช้สำหรับยางพาราก่อนเปิดกรีด คือ ปุ๋ยสูตรผสม 20-8-20 สำหรับยางพาราก่อนเปิดกรีดในเขตปลูกยางเดิม ซึ่งสามารถใช้ได้กับดินทุกชนิด แต่อัตราที่ใช้จะขึ้นอยู่กับอายุของยางพาราและชนิดของดิน รวมถึงสูตร 20-10-12 และ 20-10-17 สำหรับยางพาราในเขตปลูกยางใหม่ ที่มีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวและดินร่วนทราย ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังมีการแนะนำการใส่ปุ๋ยสำหรับยางพาราหลังเปิดกรีด คือ ปุ๋ยสูตร 29-5-18 ซึ่งสามารถใช้ได้กับดินทุกชนิดทั้งในแหล่งปลูกยางเดิมและในแหล่งปลูกยางใหม่ เป็นที่น่าสังเกตอย่างยิ่งว่า ปุ๋ยที่ใช้ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยธาตุอาหารหลักอย่างไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีธาตุแมกนีเซียม ทั้งที่แมกนีเซียมสูญเสียออกไปจากดิน ดังนั้น ในการใส่ปุ๋ยสำหรับยางพาราจึงจำเป็นต้องเพิ่มแมกนีเซียมเข้าไปด้วย เพื่อเพิ่มความสมดุลระหว่างธาตุอาหารในดินให้มีความเพียงพอต่อความต้องการใช้ในการเจริญเติบโต ในขณะเดียวกันก็ต้องคำนึงถึงอันตรกิริยาระหว่างธาตุแมกนีเซียมและโพแทสเซียมด้วย

2.5 ความสำคัญและระดับของธาตุโพแทสเซียมในดินปลูกยางพารา

โพแทสเซียมในดินมีกำเนิดมาจากการสลายตัวของหินและแร่มากมายหลายชนิด เช่น แร่ไมกาและการตกตะกอนของแร่ซิลไวต์ (KCl) และคาร์นัลไลต์ ($KCl{\cdot}MgCl_26H_2O$) แต่ส่วนใหญ่จะเกิดจากการสลายตัวของแร่โพแทสเฟลด์สปาร์ ($KAlSi_3O_8$) (อภิศักดิ์, 2543) โดยสามารถจำแนกรูปของโพแทสเซียมในดินออกได้เป็น 3 รูป คือ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนไม่ได้ (nonexchangeable K) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) และโพแทสเซียมไอออน (K^+) ซึ่งอยู่ในรูปของแคตไอออนที่พืชสามารถดูดไปใช้เป็นประโยชน์ได้ นอกจากนี้ โพแทสเซียมอาจจะอยู่ในน้ำ ในดิน หรือดูดยึดอยู่ที่พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียวก็ได้ ส่วนใหญ่จะดูดยึดที่พื้นผิวของอนุภาคดินเหนียว ดังนั้น ดินที่มีเนื้อดินละเอียด เช่น ดินเหนียว จึงมีปริมาณของธาตุโพแทสเซียมสูงกว่าดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายและดินร่วนปนทราย (นุชนารถ, 2547) ถึงแม้โพแทสเซียมไอออนจะดูดยึดอยู่ที่อนุภาคดินเหนียว รากของยางพาราก็สามารถดูดธาตุนี้ไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายไม่แตกต่างกันกับเมื่อโพแทสเซียมละลายอยู่ในน้ำ ในดิน

โพแทสเซียมเป็นธาตุที่ยางพาราต้องการมากเป็นอันดับสองรองจากธาตุไนโตรเจน ซึ่งโพแทสเซียมจะมีบทบาทที่สำคัญในกระบวนการต่าง ๆ ของยางพารา คือ ช่วยในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ ช่วยควบคุมการปิดหรือเปิดของปากใบ ช่วยในกระบวนการสร้างและเคลื่อนย้ายน้ำตาลและแป้ง (ศุภลักษณ์, 2549; ยงยุทธ, 2552; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยหากยางพาราได้รับโพแทสเซียมในปริมาณที่เพียงพอจะทำให้เกิดการสร้างเปลือกงอกใหม่เร็วขึ้น และให้น้ำยางเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน (นุชนารถ, 2542) นอกจากนี้ ธาตุ

โพแทสเซียมยังทำหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้ยางพาราดูดธาตุแมกนีเซียมมาใช้มากเกินไป (นุชนารถ, 2552) เพื่อช่วยในการรักษาระดับความสมดุลระหว่างแมกนีเซียมในดิน

จากการศึกษาธาตุอาหารในใบยางพาราที่ปลูกในพื้นที่ลุ่มและดอนในจังหวัดสงขลา ของ หทัยกานต์ และคณะ (2556) พบว่า ในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มมีโพแทสเซียมอยู่ในช่วง 9.37–11.31 กรัมต่อกิโลกรัม และในที่ดอน 7.85–10.10 กรัมต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับการทดลองของ จักรกฤษณ์ และคณะ (2556) ที่ได้ทำการศึกษาสถานะของโพแทสเซียมในใบยางพาราที่ปลูกในที่ดอนและที่ลุ่ม พบว่า มีปริมาณของโพแทสเซียมในใบยางพาราก่อนและหลังเปิดกรีดที่ปลูกในที่ดอนและที่ลุ่มอยู่ในช่วง 10.34–12.84 และ 9.26–12.65 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจัดว่ามีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่สถาบันวิจัยยางได้กำหนดไว้ คือ 13.60–16.50 กรัมต่อกิโลกรัม (นุชนารถ, 2552) และ ยังสอดคล้องการทดลองหาปริมาณของโพแทสเซียมในใบยางพาราก่อนเปิดกรีดในจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช (สายใจ, 2554) และยางพาราก่อนเปิดกรีดในอำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่ ของ สิทธิชัย และคณะ (2556) ที่พบว่า ยางพารามีโพแทสเซียมในใบต่ำเช่นเดียวกัน โดยมีความสัมพันธ์กับปริมาณของโพแทสเซียมในดินซึ่งมีปริมาณของโพแทสเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างช้า ๆ ประมาณร้อยละ 1–10 ของโพแทสเซียมทั้งหมด ซึ่งในดินปลูกยางพาราในภาคใต้มีปริมาณของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในช่วง 14–128 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (นุชนารถ, 2552) โดยจากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในดินปลูกยางพาราในจังหวัดนครศรีธรรมราชและสุราษฎร์ธานี ที่ใช้วิธีในการสกัดดินโดยใช้แอมโมเนียมอะซีเทตเข้มข้น 1 โมลาร์ (1 M NH_4OAc pH 7) ที่มีสภาพเป็นกลาง แล้วนำไปวัดค่าโพแทสเซียมด้วยวิธีการเปล่งแสงของอะตอม พบว่า ดินส่วนใหญ่มีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำมากถึงสูงมาก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 18-113 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สายใจ, 2554) สำหรับพื้นที่ปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลามีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในช่วง 29–40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (จักรกฤษณ์ และคณะ, 2556) โดยธาตุเหล่านี้มีค่าต่ำกว่าค่าเหมาะสมของสถาบันวิจัยยาง คือ มากกว่า 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (นุชนารถ, 2552) การที่ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ อาจเกิดจากการสูญเสียโพแทสเซียมในดินโดยการชะละลายออกไปจากหน้าตัดดิน การดูดใช้ของพืชเกินความจำเป็น และการที่โพแทสเซียมติดไปกับผลผลิตพืช (อภิศักดิ์, 2543; สถาบันวิจัยยาง, 2556) โดยสถาบันวิจัยยาง (2550) รายงานว่า ในผลผลิตน้ำยาง 1 ตัน มีการสูญเสียโพแทสเซียมออกไปจากดินถึง 25 กิโลกรัม การสูญเสียธาตุอาหารออกไปจากดินอาจทำให้ยางพาราได้รับโพแทสเซียมไม่เพียงพอ ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของยางพารา โดยอาการของยางพาราที่แสดงให้เห็นเมื่อขาดธาตุโพแทสเซียม คือ จะแสดงอาการใบเหลืองซีด โดยเริ่มจากปลายยอดและขอบใบ (นุชนารถ, 2552) ส่วนต้นยางที่ยังไม่แตกกิ่งอาการที่เกิดขึ้นมักปรากฏกับใบฉัตรชั้นล่างหรือฉัตรที่แก่กว่า หากเกิดการขาดโพแทสเซียมที่รุนแรงอาการจะแสดงถึงฉัตรกลางลำต้นหรือทั้งหมด ขนาดของใบจะเล็กกว่าปกติ ใบที่ถูกแสงแดดจะสีเหลืองซีดทั่วทุกใบฉัตร นอกจากนี้ หากมีการขาดโพแทสเซียมที่รุนแรงมากจะเห็นสีเหลืองซีดทั่วทั้งต้น โดยอาการจะแสดงให้เห็นได้ชัดในปลายฤดูก่อนเข้าฤดูผลัดใบ 1–2 เดือน ส่วนในฤดูฝนจะไม่พบอาการเช่นนี้ (สถาบันวิจัยยาง, 2556) ดังนั้น จำเป็นต้องเพิ่มความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมให้แก่ดินในรูปของปุ๋ย ซึ่งจากการรายงานของ สิทธิชัย และคณะ (2556) พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทชให้กับยางพารา

ก่อนเปิดกรีดในปริมาณสูงจะทำให้การสะสมธาตุอาหารในใบสูง ต้นยางเจริญเติบโตดีและเปิดกรีดได้เร็ว

2.6 ความสำคัญและระดับของธาตุแมกนีเซียมในดินปลูกยางพารา

แมกนีเซียมในดินส่วนมากเป็นองค์ประกอบของหินและแร่ ซึ่งไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยแร่ที่มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ แร่ไบโอไทต์ [$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$] แร่ออไจต์ [$(Ca,Na)(Mg,Fe,Al,Ti)(Si,Al)_2O_6$] แร่เซอร์เพนทีน ($Mg_3(OH)_4(Si_3O_5)$) แร่แมกนีไซต์ ($MgCO_3$) และแร่โดโลไมต์ [$CaMg(CO_3)_2$] เป็นต้น เมื่อหินและแร่ผุพังสลายตัวจะปลดปล่อยธาตุแมกนีเซียมออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช โดยแมกนีเซียมในดินสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูป คือ แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ในสารละลายดิน แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Mg) ซึ่งถูกดูดซับอยู่ที่คอลลอยด์ดิน และแมกนีเซียมที่เป็นองค์ประกอบของเกลืออนินทรีย์และแร่ต่าง ๆ ในดิน (Merhaut, 2007) โดยพืชสามารถดูดใช้แมกนีเซียมได้ในรูปแมกนีเซียมไอออนในสารละลายดินและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แต่ดินโดยทั่วไปมีปริมาณแมกนีเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์น้อยมาก สำหรับแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีประมาณร้อยละ 4-20 ของแมกนีเซียมทั้งหมดในดิน ส่วนแมกนีเซียมไอออนในสารละลายดินมีประมาณ 5-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Havlin *et al*., 2005)

แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรองที่พืชต้องการในปริมาณมากและสะสมในเนื้อเยื่อพืชมีความเข้มข้นมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง มีบทบาทที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช กล่าวคือ แมกนีเซียมมีหน้าที่สำคัญในกระบวนการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ (ยงยุทธ, 2552) นอกจากนี้ แมกนีเซียมยังมีบทบาทที่สำคัญในการผลิตทางชีววิทยาของพืชหลายอย่าง เช่น ช่วยในการสร้างโปรตีน การกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และถ่ายโอนพลังงาน (วิจิตร, 2552) และยังมีบทบาทที่สำคัญ คือ เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ซึ่งช่วยในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช สำหรับพืชที่ให้น้ำยางโดยเฉพาะยางพาราที่มีความต้องการแมกนีเซียมเพื่อนำไปใช้ในการสร้างผลผลิต โดยระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในยางพาราจะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำยาง คือ แมกนีเซียมทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ Rubber transferase ซึ่งใช้ในการสังเคราะห์น้ำยาง โดยมีรายงานว่า การสังเคราะห์ยางและน้ำหนักโมเลกุลของยางขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแมกนีเซียมไอออน (Costa *et al*., 2006) อย่างไรก็ตาม ยางพาราที่มีแมกนีเซียมในน้ำยางสูงจะมีผลต่อความไม่คงตัวของน้ำยาง (latex instability) อาจเนื่องจากแมกนีเซียมไอออนที่มากเกินไปจะมีผลยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ Rubber transferase (ยงยุทธ, 2552) นอกจากนี้ เอนไซม์ Rubber transferase ยังต้องการ Allylic pyrophosphate (APP) เพื่อใช้ในการเริ่มต้นโมเลกุลยาง และ Isopentenyl pyrophosphate (IPP) ในการทำให้โมเลกุลยางยืดยาวทั้ง APP และ IPP มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ หากสัดส่วนระหว่างแมกนีเซียมและฟอสฟอรัสในต้นยางพาราไม่สมดุลกัน อาจส่งผลต่อการผลิตและคุณภาพของยาง สำหรับความสมดุลของแมกนีเซียมและฟอสฟอรัสในน้ำยางที่เหมาะสมควรมีค่าสัดส่วนของแมกนีเซียมต่อฟอสฟอรัส เป็น 1:0.7-1.3 (สถาบันวิจัยยาง, 2556)

ในอดีตดินปลูกยางพาราในประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์สูง เนื่องจากเป็นการเปิดป่าใหม่ ดินปลูกยางพาราในภาคใต้จึงมีแมกนีเซียมเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของยางพารา (ปราโมทย์ และคณะ, 2525) แต่การปลูกยางพาราในปัจจุบันเป็นการปลูกบนพื้นที่ดินเดิมที่มีการใช้

พื้นที่ปลูกยางพาราติดต่อกันเป็นเวลานานกว่า 50 ปี นับตั้งแต่มีการส่งเสริมการปลูก ทำให้ดินที่เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารพืชมีความอุดมสมบูรณ์ลดลง (นุชนารถ, 2554) ส่งผลต่อแมกนีเซียมทั้งความเข้มข้นในใบและปริมาณในดิน ปริมาณของแมกนีเซียมในใบที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยางพารามีค่าอยู่ในช่วง 2.0–2.5 กรัมต่อกิโลกรัม (นุชนารถ, 2552) แต่จากการศึกษาของ สายใจ (2554) เพื่อหาปริมาณของแมกนีเซียมในใบยางพาราก่อนเปิดกรีดในจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช พบว่า มีปริมาณของแมกนีเซียมในใบยางอยู่ในช่วง 1.8–4.0 กรัมต่อกิโลกรัม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่เหมาะสม พบว่า ใบยางพารามีปริมาณของแมกนีเซียมอยู่ในช่วงที่เหมาะสม กล่าวได้ว่า ในพื้นที่ปลูกยางพาราได้รับแมกนีเซียมที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต แต่กลับพบว่าดินส่วนใหญ่มีปริมาณของแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำ ทั้งที่ค่าแมกนีเซียมในใบยางไม่ได้ต่ำด้วย ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจากการดูดใช้แมกนีเซียมค่อย ๆ ดูดไปใช้ และสะสมในพืช

ปริมาณของแมกนีเซียมในพืชมีความสัมพันธ์กับแมกนีเซียมในดิน ซึ่งจากการศึกษาของ หทัยกานต์ และคณะ (2556) พบว่า ปริมาณของแมกนีเซียมในดินปลูกยางพารามีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสม (> 0.3 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม) คือ ในดินปลูกยางพาราก่อนเปิดกรีดทั้งในที่ลุ่มและที่ดอนมีปริมาณของแมกนีเซียม อยู่ในช่วง 0.10–0.22 และ 0.05–0.17 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม และหลังเปิดกรีดอยู่ในช่วง 0.04–0.11 และ 0.03–0.09 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับการศึกษาสถานะธาตุอาหารในดินของยางพาราก่อนเปิดกรีด ของ สายใจ (2554) พบว่า ในดินสวนยางพาราร้อยละ 72.1 มีปริมาณแมกนีเซียม 0.29 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม และระดับของแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินในจังหวัดสงขลาที่จักรกฤษณ์ และคณะ (2556) พบว่า มีระดับแมกนีเซียมในดินต่ำ (0.07-0.29 เซนติโมลต่อกิโลกรัม) ทั้งดินบริเวณที่ลุ่มและที่ดอน ดังนั้น เมื่อในดินมีปริมาณแมกนีเซียมในระดับที่ต่ำกว่าความต้องการจะส่งผลให้ยางพาราแสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียมได้ ยางพาราจะแสดงอาการขาดแมกนีเซียมเริ่มแรก คือ การสูญเสียสีเขียว (chlorosis) โดยเนื้อเยื่อระหว่างเส้นใบจะเป็นจุดประสีเขียวซีดแล้วเปลี่ยนเป็นสีเหลืองระหว่างเส้นใบ ในขณะที่เส้นใบยังคงมีสีเขียวปกติ มีลักษณะคล้ายก้างปลา โดยอาการจะเริ่มจากขอบใบและปลายใบก่อนแล้วลุกลามเข้าสู่กลางใบหรือโคนใบ อาจเกิดจุดหรือหย่อมสีขาวกระจายอยู่ทั่วไป (นุชนารถ, 2552) หากเกิดการขาดแมกนีเซียมที่รุนแรงจะทำให้ไนโตรเจนในใบยางพาราลดลง ใบแก่ตอนล่างจะเปราะหักง่าย (Weerasuriya and Yogaratnam, 1989) และแห้งตาย ส่งผลให้ยางพาราชะงักการเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง (สถาบันวิจัยยาง, 2556) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเพิ่มแมกนีเซียมในดินให้เหมาะสมเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้ดีขึ้นในรูปของปุ๋ย และเพื่อเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ประโยชน์ของพืช ในขณะเดียวกัน การเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมในดินก็ต้องคำนึงถึงอันตรกิริยาระหว่างธาตุแมกนีเซียมกับธาตุโพแทสเซียมด้วย

2.7 อันตรกิริยาระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมของยางพารา

การเพิ่มธาตุอาหารในดินให้แก่พืชจะต้องคำนึงถึงความสมดุลระหว่างธาตุอาหาร เพราะธาตุอาหารแต่ละธาตุจะมีผลต่อกันทั้งที่ส่งเสริมกัน (synergistic) และขัดแย้งกัน (antagonistic) ที่เรียกว่า อันตรกิริยาระหว่างธาตุอาหาร โดยอันตรกิริยาระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมมีผลในเชิงผกผันหรือเป็นปฏิปักษ์ต่อกัน คือ การเพิ่มปุ๋ยโพแทชทำให้พืชสะสมแมกนีเซียมในส่วนเหนือดินน้อยลง และการเพิ่มอัตราปุ๋ยแมกนีเซียมก็ทำให้พืชสะสมโพแทสเซียมใน

ส่วนเหนือดินน้อยลงเช่นกัน (ยงยุทธ, 2552) เนื่องจากแมกนีเซียมและโพแทสเซียมเป็นแคตไอออนที่มีลักษณะและสมบัติคล้าย ๆ กัน ทำให้เกิดการแข่งขันระหว่างกัน (Tandon, 1992) เมื่อมีการเพิ่มธาตุใดธาตุหนึ่งจะส่งผลให้ความเข้มข้นของอีกธาตุหนึ่งในพืชลดลง (Merhaut, 2007)

พืชดูดใช้โพแทสเซียมและแมกนีเซียมจากดินสู่รากด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนบริเวณรากพืช โดยพืชมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนเพื่อดูดใช้แคตไอออน เช่น แมกนีเซียมไอออน โพแทสเซียมไอออน แคลเซียมไอออน และโซเดียมไอออน ซึ่งเป็นการรักษาสมดุลของแคตไอออนภายในรากพืช โดยแคตไอออนเหล่านี้มีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ที่ต้องอาศัยพลังงานจากกระบวนการเมทาบอลิซึมภายในเซลล์พืช (ยงยุทธ, 2552) และเกิดการแข่งขันกันในแง่การดูดธาตุอาหารของพืช ความสัมพันธ์ระหว่างธาตุเหล่านี้ต่างเป็นที่สนใจ จึงได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างธาตุทั้งสองในยางพาราในประเทศศรีลังกา พบว่า ยางพาราที่ได้รับโพแทสเซียม (KCl) 95 กรัมต่อต้นต่อปี ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่โพแทสเซียม (Yogaratnam and Weerasuriya, 1984) ในขณะเดียวกันมีการทดลองปลูกยางพาราพันธุ์ BPM 24 ในดินร่วนเหนียว พบว่า การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมสูง ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบของยางพาราลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม ในทางตรงกันข้าม การใส่ปุ๋ยโพแทชมากเกินไป ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบของยางพาราลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่โพแทช (นุชนารถ และคณะ, 2540)

การศึกษาความสัมพันธ์ของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในพืชอื่น ๆ โดย Yu-Chuan และคณะ (2008) ได้ศึกษาการใส่ธาตุโพแทสเซียมในปริมาณสูงที่ส่งผลทำให้เกิดการขาดแมกนีเซียม และชักนำให้เกิดความเครียดในใบข้าว พบว่า การใส่โพแทสเซียมในระดับที่ส่งผลทำให้ข้าวขาดแมกนีเซียม เมื่อเป็นเช่นนี้ก็ทำให้ข้าวมีปริมาณความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบ กิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสง และโปรตีนที่ละลายน้ำได้ลดลง ในทางตรงกันข้ามกลับเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ ปริมาณของ malondialdehyde (MDA) และกิจกรรมของเอ็นไซม์ซุปเปอร์-ออกไซม์ดิสมิวเทส คะตะเลส และเปอร์ออกซิเดส นอกจากนี้ ยังพบว่า ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบและส่วนเหนือดินของข้าวยังส่งผลในเชิงลบต่อกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระและความเข้มข้นของ malondialdehyde ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียม ส่งผลต่อน้ำหนักแห้งของส่วนเหนือดิน ปริมาณคลอโรฟิลล์ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง กิจกรรมของ malondialdehyde ในใบของข้าว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า โพแทสเซียมในปริมาณที่สูงส่งผลให้ขาดแมกนีเซียมและชักนำให้เกิดความเครียดในข้าวได้

การทดลองถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมของใบลองกอง พบว่า ในใบลองกองที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูง ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบต่ำ ในทางตรงกันข้าม ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบสูง ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบต่ำเช่นกัน (จำเป็น และคณะ, 2549) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในส่วนเหนือดินของข้าวที่ปลูกในสารละลายที่มีแมกนีเซียมและโพแทสเซียมระดับต่าง ๆ พบว่า แมกนีเซียมและโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์ผกผันกัน (Ding *et al*., 2006) เช่นเดียวกันกับการทดลองของ Narwal และคณะ (1985) ที่ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในถั่วพุ่ม พบว่า เมื่อมีการใส่โพแทสเซียมที่ความเข้มข้น 150

มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียม 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้น้ำหนักแห้งของผลผลิตใบ ลำต้น และรากเพิ่มสูงขึ้น แต่อันตรกิริยาระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อผลผลิตของน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ ของพืช และผลผลิตของน้ำหนักแห้งทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Troyanos และคณะ (2000) ได้ศึกษาความเข้มข้นของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้นต่ออัตราการดูดใช้โพแทสเซียมและแมกนีเซียม และการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อของต้นตอเชอรี่สายพันธุ์ F.12/1 และพันธุ์ Colt โดยใส่สารละลายโพแทสเซียมที่ 250 และ 4,250 ไมโครโมลาร์ และใส่แมกนีเซียมที่ความเข้มข้น 50 และ 500 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อของต้นตอเชอรี่ พบว่า อัตราการดูดแมกนีเซียมในเนื้อเยื่อพืชถูกยับยั้งโดยโพแทสเซียมที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดอาการขาดธาตุแมกนีเซียม สอดคล้องกับการทดลองปลูกต้นคำฝอย พบว่า การใส่โพแทสเซียมสูง ทำให้น้ำหนักแห้งในส่วนใบ ลำต้น และรากของต้นคำฝอยลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่โพแทสเซียม (Granhee and Fuhrs, 2013) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาการใส่โพแทสเซียมในระดับสูงกับพืชชนิดอื่น ๆ เช่น ในข้าว พบว่า ทำให้น้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินและรากของข้าวลดลงทุกระยะ (Ding and Xu, 2011) และปาล์มน้ำมัน พบว่า ทำให้จำนวนทางใบของปาล์มน้ำมันลดลง (สุนีย์ และคณะ, 2547) เนื่องจาก การเพิ่มโพแทสเซียมในระดับที่มากเกินไป ทำให้พืชดูดใช้ธาตุแมกนีเซียมได้ลดลงจนไม่เพียงพอ ส่งผลกระทบการเจริญเติบโตของพืชลดลง

การศึกษาการใส่ธาตุแมกนีเซียมและโพแทสเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมะพร้าวที่ปลูกในดิน โดยใส่แมกนีเซียม ($MgSO_4 \cdot H_2O$) (0.06, 1.2 และ 1.8 MgO กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) และโพแทสเซียม (KCl) (1.2, 2.4 และ 3.6 K_2O กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) พบว่า การใส่แมกนีเซียมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และโซเดียมในใบของมะพร้าวน้อย แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแคลเซียมในใบซึ่งมีแนวโน้มลดลง ส่วนการใส่โพแทสเซียมที่ระดับ 3.6 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจน แมกนีเซียม แคลเซียม และโซเดียมในใบของมะพร้าวลดลงเหลือ ร้อยละ 2.11, 0.27, 0.50 และ 0.10 ตามลำดับ ในขณะที่การไม่ใส่โพแทสเซียมมีความเข้มข้นของไนโตรเจน แมกนีเซียม แคลเซียม และโซเดียมในใบมะพร้าว ร้อยละ 2.14, 0.30, 0.56 และ 0.15 ตามลำดับ การเพิ่มระดับแมกนีเซียมมีผลไม่ชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และโซเดียมในใบของมะพร้าว แต่การเพิ่มระดับโพแทสเซียมมีผลให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบเพิ่มขึ้นและทำให้ไนโตรเจน แมกนีเซียม แคลเซียม และโซเดียมในใบลดลง (ยงยุทธ, 2552) ดังนั้น การเพิ่มธาตุอาหารในดินจำเป็นต้องคำนึงถึงสัดส่วนระหว่างธาตุอาหาร เพราะหากใส่ธาตุใดธาตุหนึ่งมากเกินไปก็จะมีผลไปลดการดูดใช้ของอีกธาตุหนึ่ง ซึ่งจะทำให้พืชแสดงอาการขาดธาตุอาหารได้ เนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมเป็นคู่อันตรกิริยาที่สำคัญและรุนแรงต่อกัน เมื่อมีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของธาตุใดธาตุหนึ่งมาก พืชก็จะดูดใช้ธาตุนั้นได้มาก แต่จะไปลดการดูดใช้ของอีกธาตุหนึ่งลดลง ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของยางพาราลดลงได้ (Jones, 2003)

2.8 สัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในพืชและในดิน

การเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินในรูปของปุ๋ยจำเป็นต้องคำนึงถึงสัดส่วนระหว่างธาตุอาหาร โดยเฉพาะสัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรตระหนักเป็นอย่างยิ่ง เพราะหากธาตุอาหารระหว่างสองธาตุไม่สมดุลกัน ทำให้การดูดธาตุอาหารของพืชธาตุใดธาตุหนึ่ง

ลดลง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตทั้งใบ ส่วนเหนือดิน ราก และผลผลิตของพืชลดลงได้ โดยสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในพืชจากการรวบรวมผลการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในใบพืชหลายชนิด พบว่า ปาล์มน้ำมัน มีสัดส่วนของโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียม เท่ากับ 3.00-3.60 : 1 (ธีระ, 2554) ลองกอง เท่ากับ 7.25-7.35 : 1 (จำเป็น และคณะ, 2549) ทุเรียน เท่ากับ 5.70-7.38 : 1 (สุมิตรา และวิเชียร, 2553) ส้มโอ เท่ากับ 4.00–5.00 : 1 (สมศักดิ์, 2551) ส้มโชกุน เท่ากับ 3.46–4.00 : 1 (อิสริยาภรณ์, 2550) และในกาแฟ เท่ากับ 3.00:1 (ชวลิต และนริศ, 2548) ในขณะที่สัดส่วนของโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมในดินที่ปลูกพืชยืนต้นจากการศึกษาในดินที่ใช้ปลูกพืชที่แตกต่างกัน พบว่า ไม้ยืนต้นทั่วไปควรมีสัดส่วนน้อยกว่า 5 : 1 สำหรับพืชผักควรมีสัดส่วนอยู่ที่ 3 : 1 และในไม้ผลควรมีสัดส่วนอยู่ที่ 2 : 1 (Havlin *et al*., 2005) ในขณะที่ดินปลูกปาล์มน้ำมันพบสัดส่วนที่เหมาะสม เท่ากับ 9.25 : 1 (ธีระ, 2554) โดยสัดส่วนระหว่างธาตุทั้งสองในดินนั้นจะมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งหากสัดส่วนในพืชและในดินไม่มีความเหมาะสมกันจะส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของพืช

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสถานะและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอน
2. เพื่อศึกษาผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อสมบัติทางเคมีของดินปลูกยางพารา
3. เพื่อศึกษาผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

4. ประโยชน์ที่คิดว่าได้รับจากการวิจัย

1. ทราบถึงสถานะและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอน
2. ทราบถึงปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก
3. ทราบถึงปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก
4. สามารถจัดการธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมให้มีความเหมาะสมต่อการปลูกยางพารา

บทที่ 2
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุและสารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก (sulphuric acid: 98% w/w H_2SO_4)
2. กรดไนทริก (nitric acid: 65% w/w HNO_3)
3. กรดบอริก (boric acid: H_3BO_3)
4. กรดเพอร์คลอริก (perchloric acid: 70% w/w $HClO_4$)
5. กรดอะซิติก (glacail acetic acid: 99.5 % w/w CH_3COOH)
6. กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid: $C_6H_8O_6$)
7. กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid: 37% HCl)
8. กลีเซอรอล (glycerol: 99.5% w/w $C_3H_8O_3$)
9. คอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulphate: $CuSO_4 \cdot 5H_2O$)
10. ซีลีเนียม (selenium: Se)
11. โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride: NaCl)
12. โซเดียมซัลเฟต (sodium sulfate: Na_2SO_4)
13. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide: NaOH)
14. โดโลไมต์ (dolomite: $CaMg(CO_3)_2$)
15. แบเรียมคลอไรด์ (barium chloride: $BaCl_2$)
16. โพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride: KCl: 0-0-60)
17. โพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulphate: K_2SO_4)
18. โพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate: $K_2Cr_2O_7$)
19. ฟีนอล์ฟธาลีนอินดิเคเตอร์ (phenolphthalein indicator)
20. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต (ferrous ammonium sulfate hexahydrate: $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$)
21. เฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (ferroin indicator)
22. แมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulphate: $MgSO_4 \cdot H_2O$)
23. แมงกานีสซัลเฟต (manganese sulfate monohydrate: $MnSO_4 \cdot H_2O$)
24. ยูเรีย (urea: 46-0-0)
25. แลนทานัมคลอไรด์ (lanthanum chloride: 99.9% w/w $LaCl_3 \cdot xH_2O$)
26. สทรอนเทียมคลอไรด์ (strontium chloride: $SrCl_2 \cdot 6H_2O$)
27. สารผสมเร่งปฏิกิริยา (catalyst mixture)

28. สารละลายมาตรฐานแคลเซียม (standard calcium: 1,000 mg L^{-1})
29. สารละลายมาตรฐานทองแดง (standard copper: 1,000 mg L^{-1})
30. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (standard potassium: 1,000 mg L^{-1})
31. สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (standard phosphorus: 1,000 mg L^{-1})
32. สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม (standard magnesium: 1,000 mg L^{-1})
33. สารละลายมาตรฐานแมงกานีส (standard manganese: 1,000 mg L^{-1})
34. สารละลายมาตรฐานสังกะสี (standard zinc: 1,000 mg L^{-1})
35. สารละลายมาตรฐานเหล็ก (standard iron: 1,000 mg L^{-1})
36. สารละลายเอธานอล (ethanol: 95% w/w C_2H_5OH)
37. อินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator)
38. แอนทิโมนีโพแทสเซียมทาร์เทรต (antinomy potassium tartrate: $KSbO{\bullet}C_4H_4O_6$)
39. แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulphate: $(NH_4)_2SO_4$)
40. แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (ammonium fluoride: NH_4F)
41. แอมโมเนียมเมทาวาเนเดต (ammonium metavanadate: NH_4VO_3)
42. แอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate: $(NH_4)_6Mo_7O_{24}{\bullet}4H_2O$)
43. แอมโมเนียมอะซีเทต (ammonium acetate: NH_4OAc)
44. ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide: H_2O_2)
45. โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)
46. แมกนีเซียมออกไซด์ 10 % (10 % Light MgO)
47. ดีวาร์ดาอัลลอย (Al 45% + Zn 5% + Cu 50%)
48. แคลเซียมเททราไฮโดรเจนฟอสเฟตไดออร์โธฟอสเฟตโมโนไฮเดรต ($Ca(H_2PO_4)_2{\bullet}H_2O$)

2. อุปกรณ์

1. กระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 1 และ 5
2. กระถางทดลองขนาด 30 ลิตร
3. ต้นยางเล็กพันธุ์ RRIM 600
4. โกร่งบดดิน
5. ตะแกรงร่อนดิน
6. เครื่องกลั่นไนโตรเจน (nitrogen distillation apparatus)
7. เครื่องแก้ว อุปกรณ์ตวงวัดชนิดต่าง ๆ และวัสดุสิ้นเปลือง
8. เครื่องเขย่า (table rotary shaker)
9. เครื่องเขย่าผสมสารละลาย (vortex mixer)
10. เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม และ 0.0001 กรัม

11. เครื่องบดตัวอย่างพืช (grinder)
12. เครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างดินและต้นยางเล็ก
13. เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter)
14. เครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (visible spectrophotometer)
15. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ความเร็ว 3,200 และ 14,000 รอบต่อนาที
16. เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (atomic absorption spectrophotometer: AAS)
17. เครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า (electrical conductivity meter)
18. ตู้อบตัวอย่างพืช (hot air oven)
19. เตาย่อยตัวอย่าง (digestion block)
20. เตาให้ความร้อน (hot plate)
21. โถดูดความชื้น (desiccator)
22. เทปวัดระยะ
23. เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (vernier caliper)

3. วิธีการทดลอง

การศึกษานี้ประกอบด้วย 2 การทดลอง คือ 1). การศึกษาสถานะและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอน และ 2). การศึกษาผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

3.1 สถานะและสัดส่วนของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอน

ทำการเก็บดินและใบยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ใน 3 อำเภอ ของจังหวัดสงขลา ได้แก่ คลองหอยโข่ง นาทวี และรัตภูมิ รวมจำนวน 90 แปลง ประกอบด้วยแปลงในที่ลุ่ม 46 แปลง และแปลงที่ดอน 44 แปลง โดยเป็นยางที่ลุ่มระยะก่อนเปิดกรีด (อายุ 4-5 ปี) 48 แปลง และแปลงระยะหลังเปิดกรีด (อายุ 8-9 ปี) 42 แปลง เพื่อวิเคราะห์ธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และหาสัดส่วนของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพารา

การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดิน เก็บตัวอย่างดินโดยใช้สว่านเจาะดิน โดยทิศทางการสุ่มแบบ X-Shaped และเก็บดินแปลงละ 9 จุด ที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จากผิวดิน (Karthikakuttyma *et al.,* 2000) นำดินใส่ในถังจนครบ 9 จุด แล้วคลุกดินให้เป็นเนื้อเดียวกัน แบ่งดินมา 1 กิโลกรัม มาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม และร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 2 มิลลิเมตร สำหรับวิเคราะห์ธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน โดยใช้วิธีแอมโมเนียมอะซีเทต (Ammonium acetate method) และวัดค่าโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในตัวอย่างด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K and Mg) (NH_4OAc-K) ชั่งดิน 5.00 กรัม ใส่หลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร เติมแอมโมเนียมอะซีเทต (1 M NH_4OAc pH 7) 25 มิลลิลิตร เขย่า 30 นาที กรองส่วนใสผ่านกระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 5 นำสารละลายที่ได้วิเคราะห์โพแทสเซียมและแมกนีเซียมด้วยวิธีการเปล่งแสงและการดูดกลืนแสงของอะตอม (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557) ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer) เทียบกับค่าความเข้มของแสงที่เครื่องอ่านได้ของสารละลายมาตรฐานของโพแทสเซียมและแมกนีเซียม

การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในใบยางพารา การเก็บตัวอย่างใบยางพาราจะเลือกเก็บจากต้นยางใกล้จุดเก็บดิน โดยเก็บแปลงละ 9 ต้น ต้นละ 4-6 ใบ ในระยะก่อนใส่ปุ๋ย ในยางพาราก่อนเปิดกรีดใบที่เก็บต้องเป็นกิ่งที่อยู่ในร่มเงาทั้งสองข้างของทรงพุ่ม ส่วนยางพาราที่เปิดกรีดแล้ว เก็บใบอายุ 100-150 วัน (หลังจากผลิใบใหม่) และเก็บจากคู่ล่างหรือใบที่ 1 และ 2 (นับจากล่าง) ของฉัตรแรกของกิ่งในร่มเงาระหว่างแถว (นุชนารถ, 2542)

โพแทสเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมด (total K and Mg) นำใบยางพารามากำจัดสิ่งปนเปื้อนด้วยน้ำปราศจากไอออนและซับด้วยผ้าที่สะอาด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นำใบยางพารามาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืชผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช เพื่อวิเคราะห์ธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมทั้งหมดในใบยางพารา โดยการนำตัวอย่างใบมาย่อยด้วยกรดผสมไนทริก-เพอร์คลอริก (HNO_3-$HClO_4$) และวัดค่าโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในตัวอย่างด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

การประเมินสถานะของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพารา นำค่าที่วิเคราะห์ได้ไปประเมินสถานะธาตุอาหาร โดยการนำค่าธาตุอาหารที่วิเคราะห์ได้มาเทียบกับค่ามาตรฐานของธาตุอาหารในดินและในใบ (นุชนารถ, 2550) และหาสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมทั้งในดินและในใบ จากนั้นนำค่าโพแทสเซียมและแมกนีเซียมและค่าสัดส่วนของธาตุทั้งสองไปสร้างกราฟแบบ Box-plot เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของธาตุอาหารและสัดส่วนของธาตุอาหารในแปลงยางพาราที่ลุ่มและที่ดอน และหาความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารทั้งสองในดินและในใบยางพารา

3.2 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

การศึกษาในครั้งนี้ทำการทดลองภายใต้เรือนกระจกของคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งได้ทำการปลูกต้นยางเล็กชำถุง พันธุ์ RRIM 600 ขนาด 1 ฉัตร (อายุ 3 เดือน) ในกระถางขนาด 30 ลิตร โดยใช้ดินซึ่งเป็นดินในชุดดินคลองท่อมหนัก 28 กิโลกรัม ที่ถูกร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 เซนติเมตร เพื่อแยกส่วนที่ไม่ใช่ดิน เช่น รากยาง เศษใบยาง และเศษหญ้าอื่น ๆ ออกไปจากดิน การทดลองในครั้งนี้ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) ทำ 5 ซ้ำ ประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณและสัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่ใช้ในแต่ละตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	สัดส่วน	ปริมาณที่มีอยู่ในดินเดิม (mg kg^{-1})		ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ (g 28 kg^{-1} soil)	
		K*	Mg*	KCl	Kieserite
K_{72} : Mg_{16}	4.5:1	10.2	16.0	3.5	0.0
K_{72} : Mg_{36}	2:1	10.2	16.0	3.5	3.6
K_{108} : Mg_{36}	3:1	10.2	16.0	5.5	3.6
K_{180} : Mg_{36}	5:1	10.2	16.0	9.5	3.6
K_{180} : Mg_{60}	3:1	10.2	16.0	9.5	7.8

หมายเหตุ; * หมายถึง ปริมาณของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่มีอยู่เดิมในดินก่อนจะใส่ปุ๋ยเพื่อปรับธาตุอาหารตามตำรับการทดลอง

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ในทุกตำรับการทดลองมีการใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 72, 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียม 3 ระดับ เช่นเดียวกัน คือ 16 (ปริมาณแมกนีเซียมที่มีอยู่ในดินเดิม) 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพื่อให้ในแต่ละตำรับการทดลองมีสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมอยู่ที่ 4.5:1, 2:1, 3:1, 5:1 และ 3:1 เมื่อเป็นเช่นนี้ทำให้ในแต่ละตำรับการทดลองจึงจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมลงไปในดินในรูปของปุ๋ย 2 ชนิด ในปริมาณที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ปริมาณของธาตุอาหารตามที่ได้กำหนดไว้ในตำรับการทดลอง ได้แก่ การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์เพื่อปรับระดับธาตุโพแทสเซียมโดยการใส่ปุ๋ย 3 ระดับ คือ 3.5, 5.5, และ 9.5 กรัมต่อกระถาง (ดิน 28 กิโลกรัม) และการใส่คีเซอร์ไรต์เพื่อปรับระดับของธาตุแมกนีเซียม โดยใส่ในปริมาณ 3.6 และ 7.8 กรัมต่อกระถาง นอกเหนือจากโพแทสเซียมและแมกนีเซียมแล้วในแต่ละตำรับการทดลองจะมีการปรับระดับของธาตุอาหารให้มีปริมาณของธาตุไนโตรเจน 100 และฟอสฟอรัส 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเพิ่มธาตุอาหารลงไปในรูปของปุ๋ย ดังนี้ ปุ๋ยไนโตรเจน (Urea) 3.9 กรัมต่อกระถาง (Total N 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ปุ๋ยฟอสฟอรัส (DAP) 4.0 กรัมต่อกระถาง หลังจากนั้นผสมคลุกเคล้าปุ๋ยและดินให้เข้ากัน แล้วนำกล้ายางลงปลูกและให้น้ำเป็นระยะเวลา 3 วันต่อ 1 ครั้ง พร้อมทั้งสังเกตอาการที่ยางพาราแสดงออกตลอดระยะเวลา 7 เดือน ของการทดลอง

ระหว่างการทดลองได้เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตด้านความสูง (cm) ของต้นยางเล็ก ที่วัดจากบริเวณที่ติดตาถึงปลายยอดด้วยเทปวัดระยะ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm) วัดโดยเครื่องเวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier caliper) โดยจะวัดจากตำแหน่งที่อยู่เหนือบริเวณที่ติดตายอดขึ้นไป 10 เซนติเมตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก ทำโดยการแยกส่วนต่าง ๆ เช่น ใบ ก้านใบ ลำต้น รากแก้ว และรากแขนง มาทำความสะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จำนวน 2-3 วัน จากนั้นนำมาชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้งก่อนจะนำตัวอย่างที่ผ่านการอบมาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืชที่มีช่องเปิดขนาด 20 เมช เพื่อวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

3.2.1 การเก็บตัวอย่างดินและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

การศึกษาในครั้งนี้ใช้ดินที่มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำกว่า 0.3 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดเป็นชุดดินคลองท่อม (Km : Fine-loamy, kaolinitic, isohyperthermic Typic Kandiudults) ที่ระดับความลึก 0 – 30 เซนติเมตร จากผิวดินของสวนยางพาราก่อนเปิดกรีด ในอำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา ที่ผ่านการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่สกัดได้มาแล้ว จากนั้นนำตัวอย่างดินแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. นำไปใช้วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน โดยนำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ได้แก่ พีเอช (ดิน:น้ำ=1:5) ค่าการนำไฟฟ้า (ดิน:น้ำ=1:5) ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl method) ฟอสฟอรัสที่-เป็นประโยชน์ (Bray II) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (1M NH_4OAc pH 7) และกำมะถันที่เป็นประโยชน์ (Turbidimetric method) (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557) และ 2. นำไปใช้ในการทดลองปลูกต้นยางเล็ก โดยนำดินร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 เซนติเมตร ให้ได้ 28 กิโลกรัมต่อกระถาง มาผสมคลุกเคล้ากับปุ๋ยที่ใช้ในแต่ละตำรับการทดลอง แล้วปลูกยางพาราลงในกระถางขนาด 30 ลิตร และสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแต่ละตำรับการทดลองที่มีการผสมปุ๋ยแล้วมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดิน (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557) ดังต่อไปนี้

ปฏิกิริยาดิน (pH) ชั่งดิน 5 กรัม ใส่หลอดเหวี่ยงพลาสติก เติมน้ำที่ปราศจากไอออน 25 มิลลิลิตร (ใช้ดิน : น้ำ อัตราส่วน 1 : 5) เขย่า แล้ววัดด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง

ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) ชั่งดิน 5 กรัม ใส่หลอดเหวี่ยงพลาสติก เติมน้ำที่ปราศจากไอออน 25 มิลลิลิตร (ใช้ดิน : น้ำ อัตราส่วน 1 : 5) เขย่า แล้ววัดด้วยเครื่องวัดสภาพการนำไฟฟ้า

ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total nitrogen) โดยวิธีเจลดาล (Kjeldahl method) ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (98% w/w H_2SO_4) แล้วเติมด่างและนำไปกลั่นหาแอมโมเนียม แล้วนำไปไทเทรตเพื่อหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน (Inorganic nitrogen : NH_4^+) โดยวิธีกลั่นโดยสกัดดินด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์ (0.2 M) เติมแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide) เพื่อทำให้เป็นเบสก่อนนำไปกลั่น และเติมดีวาร์ดาอัลลอย (Devarda's alloy) เพื่อรีดิวส์ไนเทรตและไนไทรต์ให้เป็นแอมโมเนียม แล้วนำไปกลั่นอีกรอบ จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลายกรดที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (H_2SO_4 0.002 M)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โดยวิธีเบรย์ทู (Bray II method) ชั่งดิน 1.00 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) เติมน้ำยาสกัดเบรย์ทู (0.10 M HCl+0.03 M NH_4F) 10 มิลลิลิตร เขย่า กรอง แล้วทำให้เกิดสีโดยวิธีโมลิบดินัมบลู นำไปวัดด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโท-มิเตอร์ (Visible Spectrophotometer)

โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K, Ca and Mg) สกัดดินด้วยสารละลาย 1.0 โมลาร์ NH_4OAc pH 7.0 แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของ

โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทรโฟ-โทมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer)

กำมะถันที่เป็นประโยชน์ (SO_4^{2-}) สกัดดินด้วยแคลเซียมเททราไฮโดรเจนฟอสเฟตไดออร์โธฟอสเฟตโมโนไฮเดรต (0.01 M) เติมน้ำยาป้องกันการละลายและการตกตะกอนของแบเรียมซัลเฟต (NaCl + Glyceral) และเติมผงแบเรียมคลอไรด์ (Barium chloride) เพื่อให้เกิดตะกอนสีขาวของแบเรียมซัลเฟต (Barium sulphate) แล้ววัดความขุ่นของสารละลายด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์

3.2.2 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์พืช

หลังสิ้นสุดการทดลอง (7 เดือน) เก็บตัวอย่างพืชโดยแยกชิ้นส่วน รากแก้ว รากแขนง ลำต้น ก้านใบ และใบ อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาประมาณ 2-3 วัน และนำมาชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้งก่อนนำตัวอย่างพืชมาวิเคราะห์ความเข้มข้นธาตุอาหารต่าง ๆ ในพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม และกำมะถันในพืช ตามวิธีวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557) ดังนี้

ไนโตรเจน ด้วยวิธี Kjeldahl โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.1000 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร และสารเร่งปฏิกิริยา ย่อยตัวอย่างพืชจนใส จากนั้นนำไปเติมด่าง และกลั่นหาแอมโมเนียมโดยมีสารละลายกรดบอริกเป็นตัวจับแก๊สแอมโมเนียหรือแอมโมเนียมไอออน แล้วไทเทรตหาแอมโมเนียมในกรดบอริกด้วยสารละลายกรดที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน

ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ย่อยด้วยกรดผสมไนทริกและเพอร์คลอริค (HNO_3 : $HClO_4$; 3 : 1) ย่อยตัวอย่างพืชจนใส แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสด้วยวิธี Vanadomolybdate วัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer และวิเคราะห์โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์

กำมะถัน ย่อยด้วยกรดผสมไนทริกและเพอร์คลอริก (HNO_3 : $HClO_4$; 3 : 1) เติมน้ำยาป้องกันการละลายและการตกตะกอนของแบเรียมซัลเฟต (NaCl + Glyceral) และเติมผงแบเรียมคลอไรด์ (Barium chloride) เพื่อให้เกิดตะกอนสีขาวของแบเรียมซัลเฟต (Barium sulphate) แล้ววัดความขุ่นของสารละลายด้วยเครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์

3.2.3 การวิเคราะห์สถิติ

นำข้อมูลของการเจริญเติบโต ปริมาณธาตุอาหารทั้งในดินและในส่วนต่าง ๆ ของยางพารา จากการได้รับธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในปริมาณและสัดส่วนแตกต่างกันมาหาค่าเฉลี่ย และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ ด้วยวิธี DMRT โดยทดสอบความแตกต่างระดับนัยสำคัญที่ 0.05

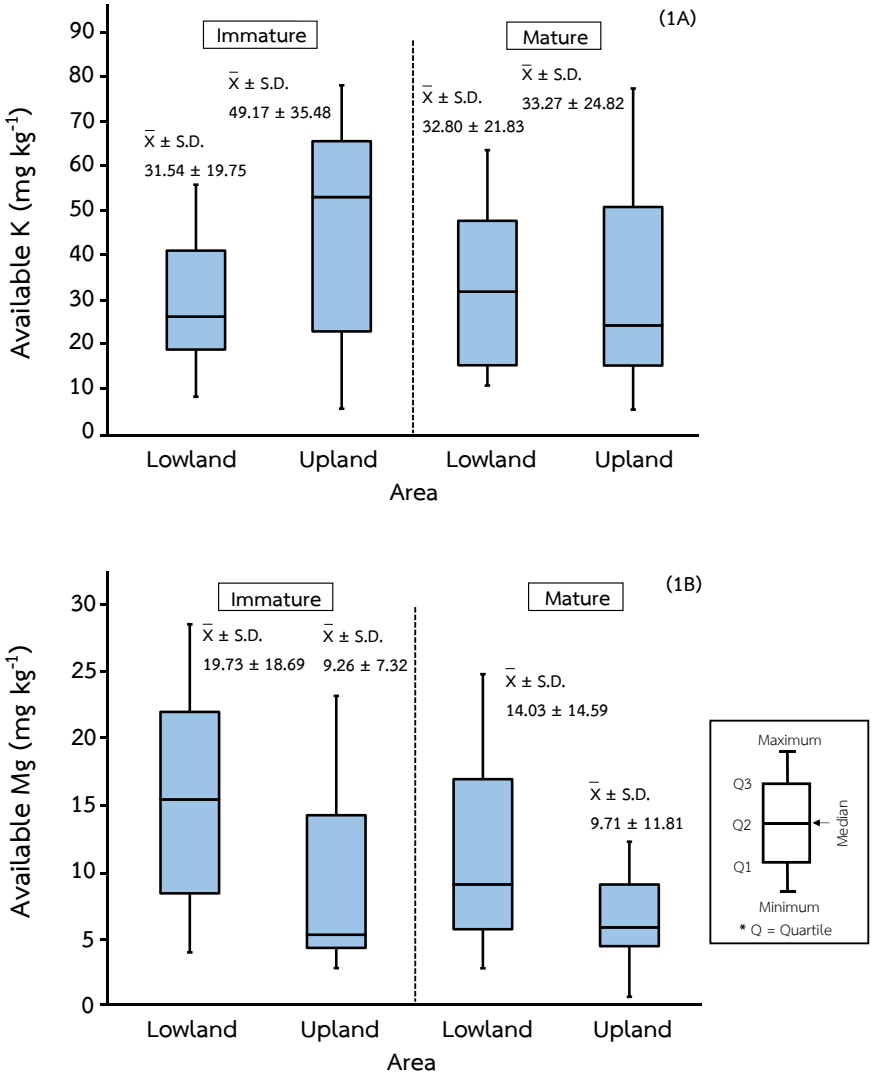
บทที่ 3
ผลการทดลอง

การศึกษาผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก ประกอบด้วย 2 การทดลองหลัก คือ การศึกษาสถานะและสัดส่วนของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอน และการทดลองผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก มีผลการทดลอง ดังนี้

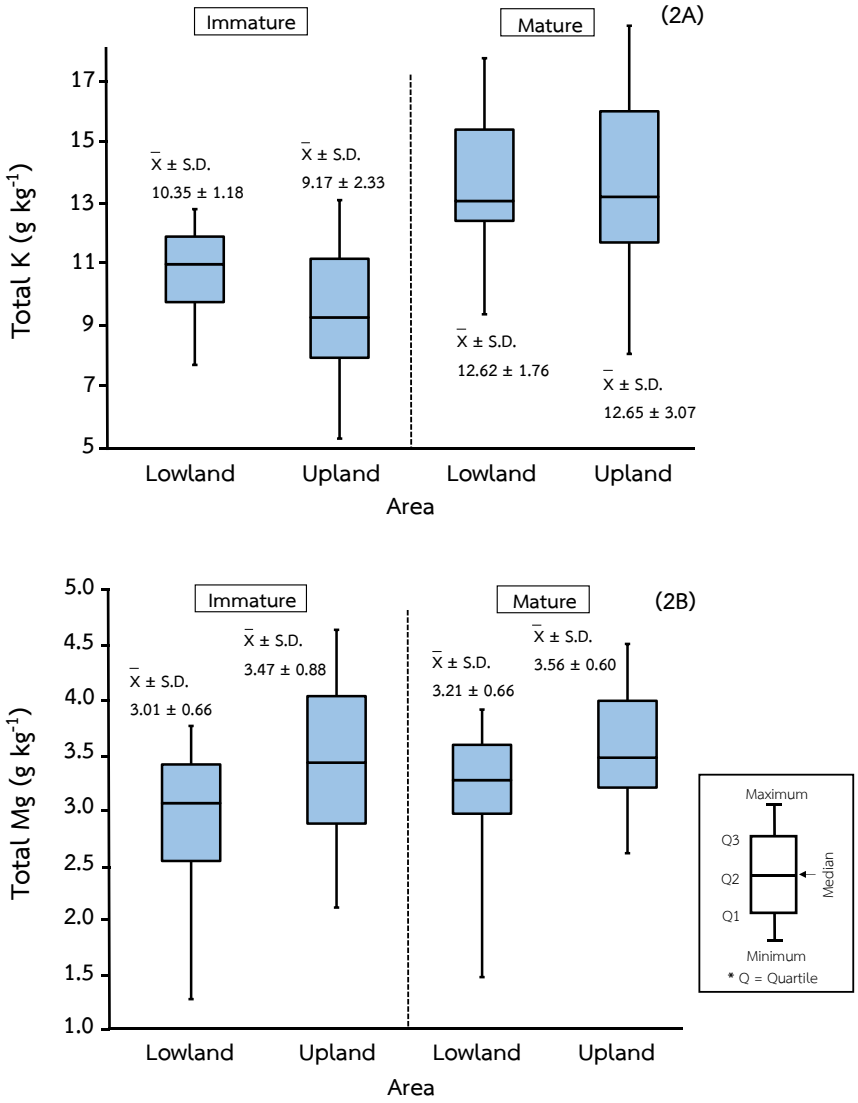
1. สถานะและสัดส่วนของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่ม และที่ดอน

1.1 โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพารา

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินจากแปลงที่ลุ่มในระยะก่อนเปิดกรีดต่ำกว่าแปลงในที่ดอน โดยมีค่าเฉลี่ยของโพแทสเซียมเท่ากับ 31.54 และ 49.17 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในแปลงยางพาราระยะหลังเปิดกรีดทั้งในที่ลุ่มและที่ดอนมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 32.8 และ 33.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 1A) แต่ พบว่าแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์จากแปลงในที่ลุ่มในระยะก่อนเปิดกรีดสูงกว่าที่ดอน โดยมีค่าเฉลี่ย 19.73 และ 9.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และในระยะหลังเปิดกรีดก็เช่นเดียวกัน ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 14.03 และ 9.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 1B) โพแทสเซียมทั้งหมดในใบยางพาราจากแปลงในที่ลุ่มในระยะก่อนเปิดกรีดสูงกว่าในที่ดอน โดยมีค่าเฉลี่ย 10.35 และ 9.17 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่โพแทสเซียมในใบยางพาราในแปลงที่ลุ่มและที่ดอนในระยะหลังเปิดกรีดมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 12.62 และ 12.65 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 2A) นอกจากนี้โพแทสเซียมในใบยางพาราหลังเปิดกรีดมีค่าสูงกว่าในใบยางพาราก่อนเปิดกรีด สำหรับแมกนีเซียมในใบยางพารา พบว่า ในแปลงที่ลุ่มในระยะก่อนเปิดกรีดมีแมกนีเซียมทั้งหมดในใบต่ำกว่าที่ดอน โดยมีค่าเฉลี่ย 3.01 และ 3.47 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับในระยะหลังเปิดกรีด ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 3.21 และ 3.56 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 2B)



ภาพที่ 1 โพแทสเซียม (1A) และแมกนีเซียม (1B) ที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกยางพารา



ภาพที่ 2 โพแทสเซียม (2A) และแมกนีเซียม (2B) ทั้งหมดในใบยางพารา

1.2 สถานะของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพารา

แปลงยางพาราส่วนใหญ่มีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำกว่า 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดว่ามีระดับต่ำ (สถาบันวิจัยยางพารา, 2555) โดยดินในแปลงที่ลุ่มในระยะก่อนเปิดกรีดร้อยละ 75 และแปลงที่ดอนร้อยละ 47 มีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ เช่นเดียวกับยางพาราในระยะหลังเปิดกรีดที่ดินในแปลงที่ลุ่มร้อยละ 72 และแปลงที่ดอนร้อยละ 64 มีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ (ตารางที่ 2) และแปลงยางพาราส่วนใหญ่มีแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่า 36.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำสำหรับยางพาราตามเกณฑ์มาตรฐานของสถาบันวิจัยยางพารา โดยดินในแปลงที่ลุ่มของยางพาราระยะก่อนเปิดกรีดร้อยละ 89 และแปลงในที่ดอนทั้งหมด และดินในแปลงที่ลุ่มของยางพาราระยะหลังเปิดกรีดร้อยละ 94 และแปลงในที่ดอนร้อยละ 96 มีแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำ (ตารางที่ 3) และเมื่อประเมินสถานะธาตุอาหารในใบยางพารา พบว่า แปลงยางพาราส่วนใหญ่มี

โพแทสเซียมทั้งหมดต่ำกว่า 13.5 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำสำหรับยางพารา โดยในใบยางพาราในระยะก่อนเปิดกรีดที่ปลูกในแปลงที่ลุ่มร้อยละ 93 และในแปลงที่ดอนร้อยละ 94 มีโพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำ เช่นเดียวกับใบยางพาราในระยะหลังเปิดกรีดที่ร้อยละ 67 และ 65 ของยางพาราแปลงที่ปลูกในที่ลุ่มและแปลงที่ดอนมีโพแทสเซียมทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่สถานะของธาตุแมกนีเซียมทั้งหมดในใบ พบว่า แปลงยางพาราส่วนใหญ่ทั้งแปลงที่ลุ่มและแปลงที่ดอนในระยะก่อนเปิดกรีดร้อยละ 68 และ 83 และในแปลงที่ลุ่มในระยะหลังเปิดกรีดร้อยละ 88 และในแปลงที่ดอนร้อยละ 96 มีปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมดสูงกว่า 2.6-2.9 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดว่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานสำหรับยางพารา (ตารางที่ 4 และ 5)

ตารางที่ 2 ร้อยละของแปลงที่ศึกษาที่มีระดับของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกยางพารา (0-30 เซนติเมตร) ต่ำ ปานกลาง และสูง

Phase	Area	Level of nutrient (%)		
		Low (<40)*	Moderate (40-60)*	High (>60)*
Immature	Lowland (n=28)	75	18	7
	Upland (n=18)	47	32	21
Mature	Lowland (n=18)	72	22	6
	Upland (n=26)	64	24	12

หมายเหตุ: ( )* = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในดิน (mg kg^{-1}) (สกัดโดยใช้ 1 M NH_4OAc pH 7)

ตารางที่ 3 ร้อยละของแปลงที่ศึกษาที่มีระดับของแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินปลูกยางพารา (0-30 เซนติเมตร) ต่ำ ปานกลาง และสูง

Phase	Area	Level of nutrient (%)		
		Low (<36.45)*	Moderate (>36.45)*	High (-)*
Immature	Lowland (n=28)	89	11	-
	Upland (n=18)	100	-	-
Mature	Lowland (n=18)	94	6	-
	Upland (n=26)	96	4	-

หมายเหตุ: ( )* = ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในดิน (mg kg^{-1}) (สกัดโดยใช้ 1 M NH_4OAc pH 7)

ตารางที่ 4 ร้อยละของแปลงที่ศึกษาที่มีระดับของโพแทสเซียมทั้งหมดในใบยางพาราต่ำ ปานกลาง และสูง

Phase	Area	Level of nutrient (%)		
		Low (<13.5)*	Moderate (13.6-16.5)*	High (>16.5)*
Immature	Lowland (n=28)	93	7	-
	Upland (n=18)	94	6	-
Mature	Lowland (n=18)	67	33	-
	Upland (n=26)	65	27	8

หมายเหตุ: ( )* = ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบยางพารา (g kg^{-1})

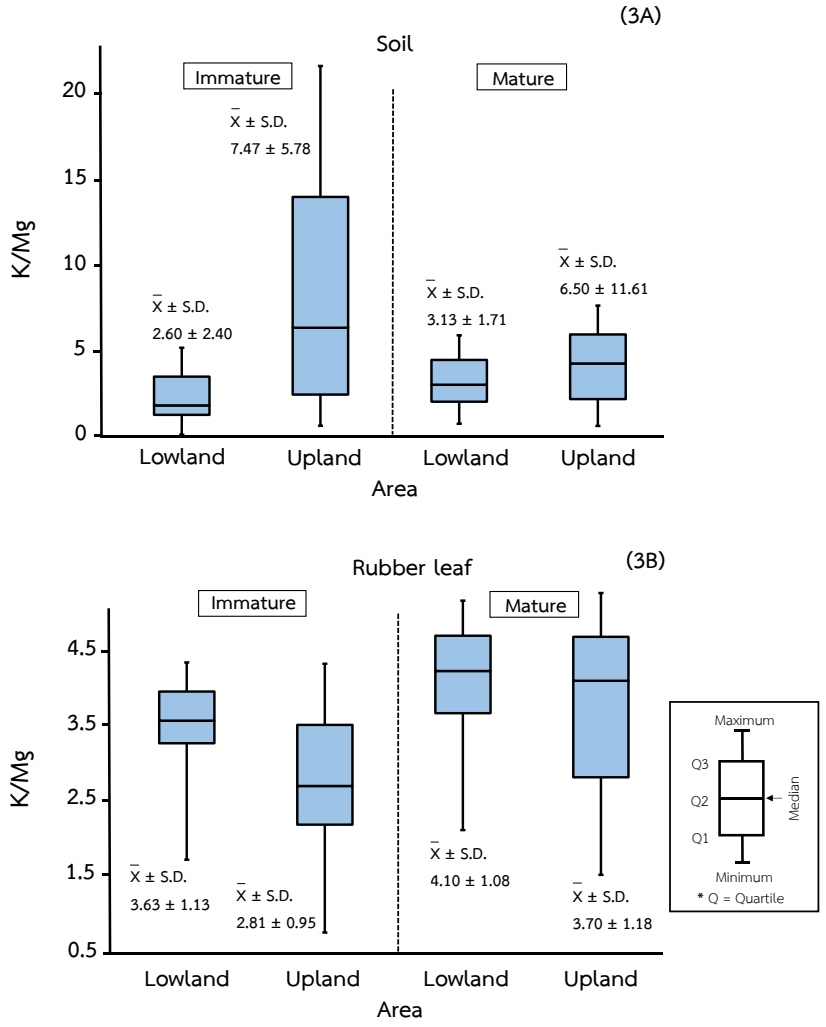
ตารางที่ 5 ร้อยละของแปลงที่ศึกษาที่มีระดับของแมกนีเซียมทั้งหมดในใบยางพาราต่ำ ปานกลาง และสูง

Phase	Area	Level of nutrient (%)		
		Low (<2)*	Moderate (2.0-2.5)*	High (>2.5)*
Immature	Lowland (n=28)	3	29	68
	Upland (n=18)	-	17	83
Mature	Lowland (n=18)	6	6	88
	Upland (n=26)	-	4	96

หมายเหตุ: ( )* = ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบยางพารา (g kg^{-1})

1.3 สัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพารา

ยางพาราแปลงที่ปลูกในที่ลุ่มในระยะก่อนเปิดกรีดมีสัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินต่ำกว่าที่ดอน โดยมีค่าเฉลี่ย 2.60:1 และ 7.47:1 ตามลำดับ เช่นเดียวกับยางพาราแปลงที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอนในระยะหลังเปิดกรีดที่มีสัดส่วน คือ 3.13:1 และ 6.50:1 (ภาพที่ 3A) ในขณะที่สัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในใบยางพารา พบว่า ใบยางพาราแปลงที่ปลูกในที่ลุ่มระยะก่อนเปิดกรีดสูงกว่าที่ดอน โดยมีค่าเฉลี่ย 3.63:1 และ 2.81:1 และในระยะหลังเปิดกรีดก็เช่นเดียวกัน โดยมีค่าเฉลี่ย 4.10:1 และ 3.70:1 ตามลำดับ (ภาพที่ 3B)



ภาพที่ 3 สัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินปลูกยางพารา (3A) และในใบยางพารา (3B)

2. ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

2.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

ดินก่อนการทดลองเมื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีเบื้องต้น พบว่า ดินมีพีเอชเป็นกรดจัด (pH 5.5) มีไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ (NH_4^++NO_3^-) 10.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ (1.26 mg kg^{-1}) โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินก็ต่ำเช่นเดียวกัน โดยมีปริมาณ 10.15 และ 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

หลังจากมีการผสมปุ๋ยเข้ากับดินตามตำรับการทดลอง โดยการใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในปริมาณและสัดส่วนแตกต่างกัน หลังจากนั้นนำดินมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่าการใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในปริมาณและสัดส่วนที่สูงขึ้น ส่งผลให้โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ และกำมะถันที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกันปริมาณของ

ไนโตรเจนทั้งหมด แคลเซียมที่กสัดได้ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 6 ค่าวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

Soil properties	pH (1:5)	N (NH_4^++NO_3^-)	Avail. P	Extr. K	Extr. Mg
		mg kg^{-1}			
Analytical value	5.5	10.62	1.26	10.15	16
*Optimum level	4.5-5.5	-	11-30	>40	>36.45
Interpretation	Strongly acidic	-	Low	Low	Low

หมายเหตุ : * นุชนารถ (2554)

ตารางที่ 7 ค่าวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินหลังจากมีการปรับธาตุอาหารที่จำเป็นให้กับต้นยางเล็ก

Treatment	Ratio	Total N	Extr. K	Extr. Mg	Extr. Ca	Avail. P	Avail. S
		(g kg^{-1})	mg kg^{-1}				
K_{72} : Mg_{16}	4.5:1	0.406	64.64b	17.23c	84.99	27.07	1.04c
K_{72} : Mg_{36}	2:1	0.404	63.67b	30.36b	84.97	27.02	20.16b
K_{108} : Mg_{36}	3:1	0.366	107.87ab	33.33b	81.09	23.46	18.28b
K_{180} : Mg_{36}	5:1	0.380	150.44ab	32.53b	80.05	26.71	22.03b
K_{180} : Mg_{60}	3:1	0.386	167.71a	56.80a	79.92	27.11	41.04a
F-test		NS	*	*	NS	NS	*
C.V. (%)		18.21	48.76	18.68	10.08	14.28	30.44

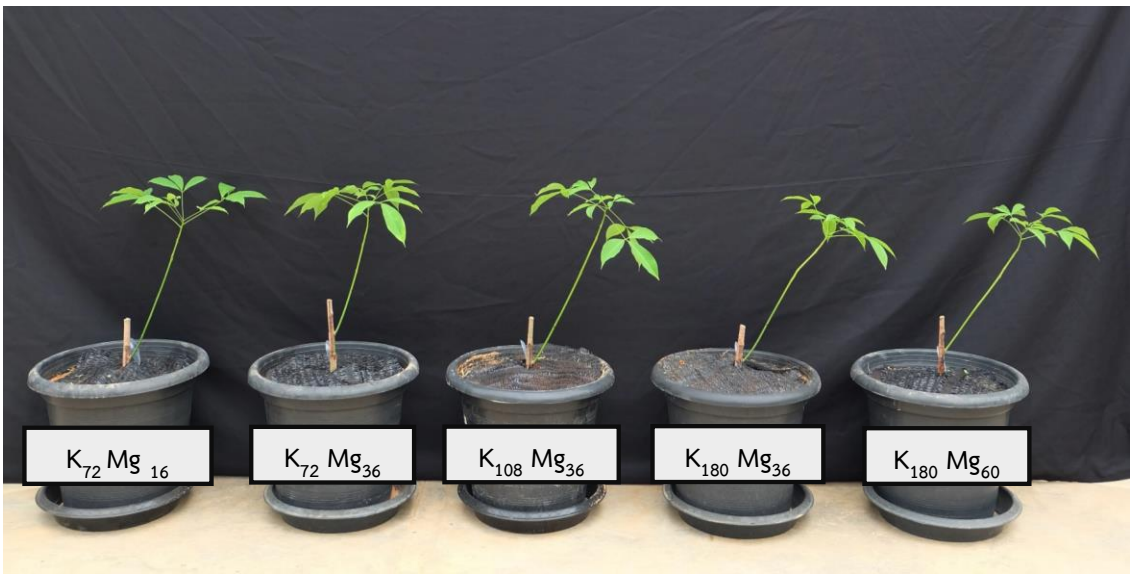
หมายเหตุ : * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P\leq0.05$

NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ $P>0.05$

ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ $P=0.05$

2.2 การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กเมื่อเริ่มทดลอง

ปลูกยางพาราชำถุงพันธุ์ RRIM 600 โดยใช้ดินหนัก 28 กิโลกรัม ผสมกับปุ๋ยแต่ละตำรับการทดลองลงในกระถางขนาด 30 ลิตร (ภาพที่ 4) ต้นยางเล็กที่ใช้ในการทดลองมีการเจริญเติบโตสม่ำเสมอทุกตำรับการทดลอง ทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความสูง (ตารางที่ 8)



ภาพที่ 4 การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กเมื่อเริ่มการทดลอง

ตารางที่ 8 การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กเมื่อเริ่มการทดลอง

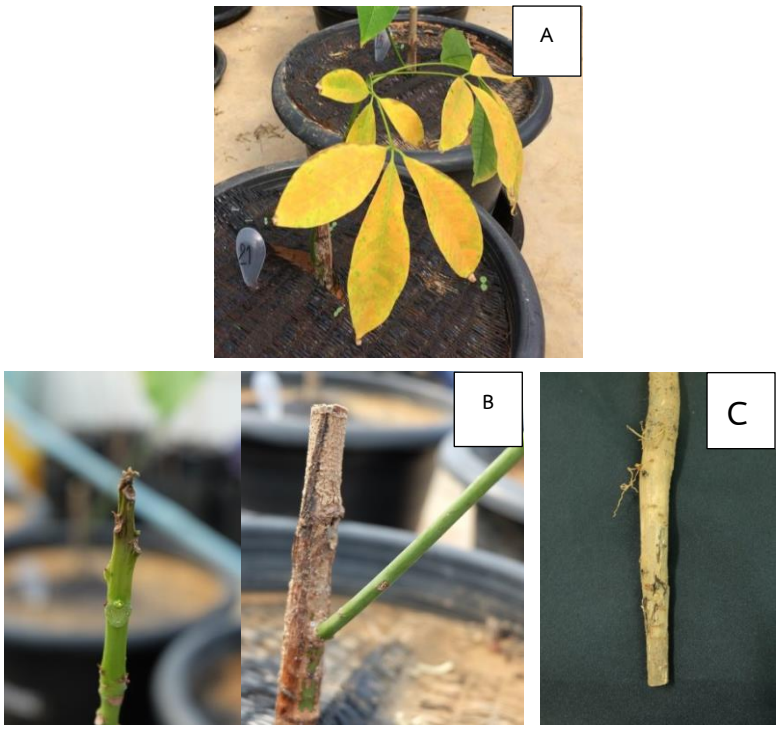
Treatment	Ratio	Diameter (mm)	Height (cm)
K_{72} : Mg_{16}	4.5:1	4.5:1	30.12
K_{72} : Mg_{36}	2:1	4.18	32.18
K_{108} : Mg_{36}	3:1	4.28	32.38
K_{180} : Mg_{36}	5:1	4.10	31.76
K_{180} : Mg_{60}	3:1	4.16	32.06
F-test		NS	NS
C.V. (%)		6.95	10.77

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05

2.3 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการแสดงออกของต้นยางเล็ก

ยางพาราในตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมสูง (K_{180} : Mg_{60}) มีการตอบสนองโดยการแสดงอาการที่แตกต่างจากยางพาราในตำรับการทดลองอื่น ๆ คือ เมื่อระยะเวลาในการปลูกผ่านไป 1 เดือน ยางพาราเริ่มแสดงอาการใบเหลืองทั่วทั้งใบ (ภาพที่ 5A) หลังจากนั้นใบยางพาราจะร่วงและไม่แตกยอดใหม่ แต่ยอดกลับแห้งเป็นสีน้ำตาลและค่อย ๆ ลุกลามมายังต้น จนสุดท้ายแห้งตายทั้งต้น (ภาพที่ 5B) โดยยางพาราทุกต้นในตำรับการทดลองนี้แสดงอาการ

ดังกล่าวข้างต้นเช่นเดียวกันหมด นอกจากนี้เมื่อล้างดินออกเพื่อดูการเจริญของราก พบว่า ยางพาราต้นที่ตายมีเพียงแต่รากแก้ว ไม่พบรากแขนง (ภาพที่ 5C)



ภาพที่ 5 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียม (K_{180} : Mg_{60}) ต่อการแสดงออกของต้นยางเล็ก

2.4 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

ต้นยางเล็กในตำรับการทดลองที่ได้รับโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินเพิ่มสูงขึ้น โดยในตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมในปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ทำให้ต้นยางเล็กมีการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินมากที่สุดเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองอื่น ๆ เช่นเดียวกันกับการเจริญเติบโตในส่วนของราก ที่มีปริมาณและความหนาแน่นของรากสูงในตำรับการทดลองดังกล่าวเช่นกัน (ภาพที่ 6 และ 7) และเมื่อพิจารณาความสูงต้นยางเล็กเมื่อสิ้นสุดการทดลองหลังจากระยะเวลาผ่านไป 7 เดือน พบว่า การทดลองที่ใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมในปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ทำให้ต้นยางเล็กสูงที่สุด คือ 49.56 เซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าในตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียมเท่ากันแต่มีแมกนีเซียมต่ำกว่า (K_{72}:Mg_{16} หรือสัดส่วน 4.5:1) นอกจากนี้ พบว่า การใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่สูงขึ้น (โพแทสเซียม 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่แมกนีเซียมเท่ากัน คือ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

กลับทำให้ความสูงของต้นยางเล็กมีค่าต่ำกว่าความสูงของต้นยางเล็กในตำรับการทดลองดังกล่าว คือ 44.00 และ 38.80 เซนติเมตร (ตารางที่ 9) เช่นเดียวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางเล็กที่พบว่า ตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมในปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ทำให้ต้นยางเล็กมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงถึง 6.29 มิลลิเมตร โดยสูงกว่าตำรับการทดลองที่มีการใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมที่ปริมาณเท่ากัน คือ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่พบว่า มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 6.17 และ 5.60 มิลลิเมตร (ตารางที่ 10)

ภาพที่ 6 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินของต้นยางเล็ก (7 เดือน)

หมายเหตุ : ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง

ภาพที่ 7 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตส่วนรากของต้นยางเล็ก (7 เดือน)

หมายเหตุ : ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง

ตารางที่ 9 ความสูงของต้นยางเล็ก (cm) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (7 เดือน)

Treatment	Ratio	Before	After (7 months)
K_{72} : Mg_{16}	4.5:1	30.12	44.13
K_{72} : Mg_{36}	2:1	32.18	49.56
K_{108} : Mg_{36}	3:1	32.38	44.00
K_{180} : Mg_{36}	5:1	31.76	38.80
K_{180} : Mg_{60}	3:1	32.06	ND
F-test		NS	NS
C.V. (%)		10.77	12.28

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05 และ ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง

ตารางที่ 10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางเล็ก (mm) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (7 เดือน)

Treatment	Ratio	Before	After (7 months)
K_{72} : Mg_{16}	4.5:1	4.24	5.55
K_{72} : Mg_{36}	2:1	4.18	6.29
K_{108} : Mg_{36}	3:1	4.28	6.17
K_{180} : Mg_{36}	5:1	4.10	5.60
K_{180} : Mg_{60}	3:1	4.16	ND
F-test		NS	NS
C.V. (%)		6.95	5.97

หมายเหตุ : NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05 และ ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง

การใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในปริมาณ 72:36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ทำให้น้ำหนักแห้งรวมในส่วนใบ ก้านใบ ลำต้น รากแล้ว และรากแขนงของต้นยางเล็กสูงที่สุด คือ 30.21 กรัมต่อต้น โดยแยกเป็นในใบ ก้านใบ ลำต้น รากแก้ว และรากแขนง 3.46, 2.21, 4.58, 17.37 และ 2.59 กรัมต่อต้น ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งรวมทั้งหมดในแต่ละตำรับการทดลอง พบว่า การใส่แมกนีเซียมในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นจาก 16 เป็น 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับการใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เท่ากันคือ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ต้นยางเล็กมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นจาก 25.24 เป็น 30.21 กรัมต่อต้น ซึ่งต่างจากผลของการใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นจาก 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่พบว่า

ทำให้น้ำหนักแห้งรวมทั้งหมดในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็กมีค่าลดลงเป็น 23.28 และ 19.74 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 11 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

Treatment	Ratio	Dry weight (g plant^{-1})					
		Leaf	Petiole	Stem	Primary root	Lateral root	Total
K_{72} : Mg_{16}	4.5:1	2.95b	1.66b	3.40bc	15.07ab	2.17b	25.24b
K_{72} : Mg_{36}	2:1	3.46a	2.21a	4.58a	17.37a	2.59a	30.21a
K_{108} : Mg_{36}	3:1	3.13ab	1.29b	3.80b	12.85bc	2.19b	23.28b
K_{180} : Mg_{36}	5:1	2.95b	1.23b	3.12c	10.60c	1.85c	19.74c
K_{180} : Mg_{72}	3:1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
F-test		*	*	*	*	*	*
C.V. (%)		6.8	13.86	7.58	11.44	7.04	7.42

หมายเหตุ : * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

2.5 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

เมื่อนำต้นยางเล็กมาวิเคราะห์ธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ พบว่า การใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบของต้นยางเล็กเพิ่มสูงขึ้น คือ 19.74, 21.41, 29.27 และ 27.82 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมกลับทำให้แมกนีเซียมในใบมีความเข้มข้นลดลง 3.67, 3.38, 3.20 และ 1.26 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยพบว่า การใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 180 ร่วมกับแมกนีเซียมในปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 5:1) ส่งผลทำให้ใบของต้นยางเล็กมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมน้อยที่สุด คือ 1.26 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 12) ความเข้มข้นของธาตุอาหารในก้านใบของต้นยางเล็ก พบว่า การใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในก้านใบเพิ่มสูงขึ้น คือ 23.30, 23.44, 29.79 และ 30.89 กรัมต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับการใส่แมกนีเซียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 16 เป็น 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในก้านใบเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นสูงที่สุดเป็น 3.36 กรัมต่อกิโลกรัม เมื่อใส่ร่วมกับโพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) อย่างไรก็ตาม การใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงนั้น กลับทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในก้านใบของต้นยางเล็กลดลง นอกจากนี้ยังส่งผลต่อความเข้มข้นของแคลเซียมในก้านใบของต้นยางเล็ก โดยปริมาณ

ของโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมลดลง คือ 7.63, 6.66, 5.44, 5.25 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 12 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบของต้นยางเล็ก

Treatment	Ratio	N	P	K	Mg	Ca	S
		(g kg^{-1})					
K_{72} : Mg_{16}	4.5:1	40.51	0.48	19.74b	3.67a	6.06	0.57
K_{72} : Mg_{36}	2:1	36.16	0.45	21.41b	3.38a	6.48	0.95
K_{108} : Mg_{36}	3:1	36.97	0.54	29.27a	3.20a	7.68	0.89
K_{180} : Mg_{36}	5:1	41.41	0.47	27.82a	1.26b	7.61	0.99
K_{180} : Mg_{60}	3:1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
F-test		NS	NS	*	*	NS	NS
C.V. (%)		11.19	35.34	11.06	35.53	14.32	37.17

หมายเหตุ : * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

ตารางที่ 13 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในก้านใบของต้นยางเล็ก

Treatment	Ratio	N	P	K	Mg	Ca	S
		(g kg^{-1})					
K_{72} : Mg_{16}	4.5:1	20.92	0.25	23.30b	2.90a	7.63a	0.59
K_{72} : Mg_{36}	2:1	19.24	0.29	23.44b	3.36a	6.66ab	0.83
K_{108} : Mg_{36}	3:1	18.99	0.27	29.79a	1.86b	5.44ab	0.73
K_{180} : Mg_{36}	5:1	19.21	0.3	30.89a	1.75b	5.25b	0.72
K_{180} : Mg_{60}	3:1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
F-test		NS	NS	*	*	*	NS
C.V. (%)		17.69	34.37	10.6	32.45	18.02	33.98

หมายเหตุ : * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

ตารางที่ 14 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในลำต้นของต้นยางเล็ก

Treatment	Ratio	N	P	K	Mg	Ca	S
		(g kg^{-1})					
K_{72} : Mg_{16}	4.5:1	25.92ab	0.43	10.61b	2.98	11.32	0.40
K_{72} : Mg_{36}	2:1	18.92b	0.31	12.83ab	3.64	11.65	0.70
K_{108} : Mg_{36}	3:1	23.44ab	0.35	14.40a	3.24	12.84	0.60
K_{180} : Mg_{36}	5:1	30.14a	0.45	15.62a	3.03	13.14	0.70
K_{180} : Mg_{60}	3:1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
F-test		*	NS	*	NS	NS	NS
C.V. (%)		16.02	26.11	12.1	21.61	22.23	16.95

หมายเหตุ : * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในลำต้นของต้นยางเล็ก พบว่า การใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในลำต้นเพิ่มสูงขึ้น คือ 10.61, 12.83, 14.40 และ 15.62 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น แต่การใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นไม่ได้ส่งผลต่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมในลำต้นของต้นยางเล็ก (ตารางที่ 14) ในขณะที่เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแคลเซียมในรากแก้ว พบว่า ความเข้มข้นของแคลเซียมลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อได้รับโพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 4.80, 3.90, 3.15 และ 2.24 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 15) ทั้งนี้ พบว่า ความเข้มข้นของกำมะถันในรากแก้วเพิ่มสูงขึ้นจาก 0.48 เป็น 0.64, 0.79 และ 0.74 กรัมต่อกิโลกรัม และรากแขนงเพิ่มขึ้นจาก 0.68 เป็น 1.68, 1.89 และ 2.20 กรัมต่อกิโลกรัม เมื่อใส่แมกนีเซียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็น 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 15 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในรากแก้วของต้นยางเล็ก

Treatment	Ratio	N	P	K	Mg	Ca	S
		(g kg^{-1})					
K_{72} : Mg_{16}	4.5:1	19.1	0.19	8.04	0.97	4.80a	0.48b
K_{72} : Mg_{36}	2:1	18.01	0.3	7.11	2.23	3.90b	0.64b
K_{108} : Mg_{36}	3:1	16.09	0.31	8.76	2.13	3.15b	0.79a
K_{180} : Mg_{36}	5:1	11.24	0.27	10.04	2.29	2.24c	0.74a
K_{180} : Mg_{60}	3:1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
F-test		NS	NS	NS	NS	*	*
C.V. (%)		14.05	37.6	22.05	18.71	39.34	15.11

หมายเหตุ : * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

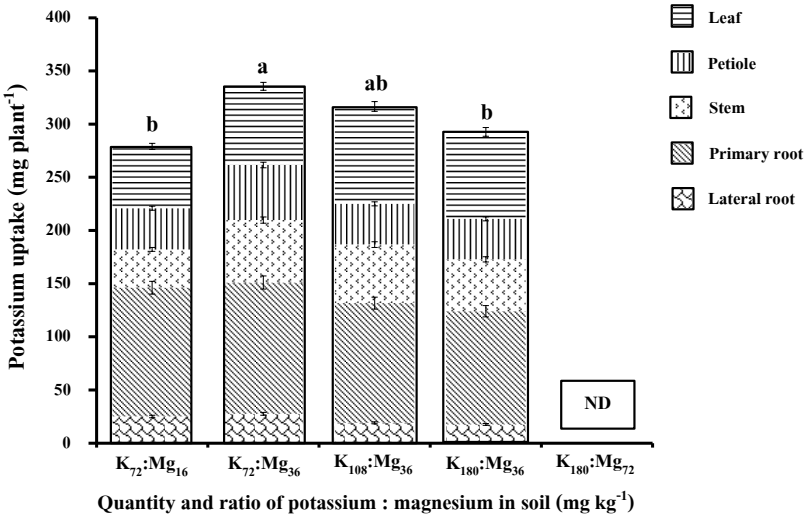
ตารางที่ 16 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในรากแขนงของต้นยางเล็ก

Treatment	Ratio	N	P	K	Mg	Ca	S
		(g kg^{-1})					
K_{72} : Mg_{16}	4.5:1	34.79	0.58	11.56	1.85	2.66	0.68c
K_{72} : Mg_{36}	2:1	31.76	0.61	10.61	1.98	3.06	1.68b
K_{108} : Mg_{36}	3:1	29.95	0.75	8.74	1.8	2.14	1.89ab
K_{180} : Mg_{36}	5:1	30.75	0.7	9.55	1.92	2.2	2.20a
K_{180} : Mg_{60}	3:1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
F-test		NS	NS	NS	NS	NS	*
C.V. (%)		19.28	15.15	22.15	25.19	15.91	6.2

หมายเหตุ : * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

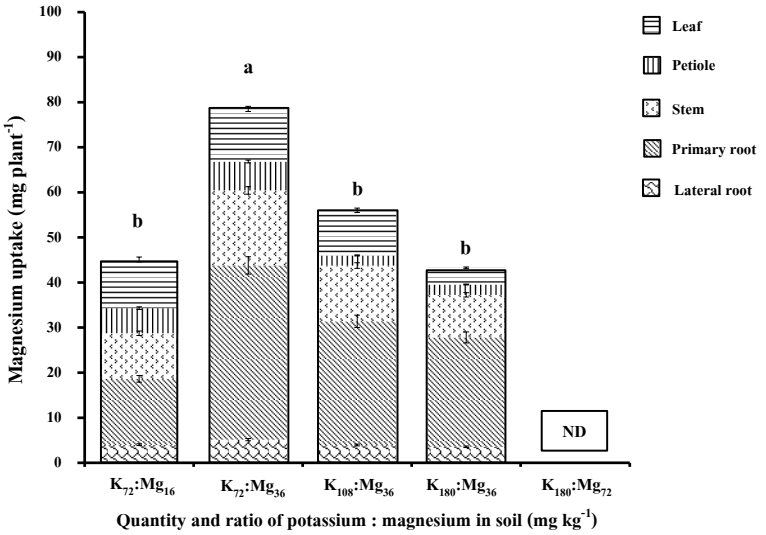
2.6 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

เมื่อประเมินการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็กจากน้ำหนักแห้งและความเข้มข้นของธาตุอาหาร พบว่า รากแก้วมีการดูดใช้โพแทสเซียมสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ ใบ ลำต้น ก้านใบ และรากแขนง และเมื่อพิจารณาผลจากปริมาณของโพแทสเซียมต่อการดูดใช้โพแทสเซียมของต้นยางเล็ก พบว่า การใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมในปริมาณที่ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ทำให้ต้นยางเล็กมีการดูดใช้โพแทสเซียมรวมทั้งต้นสูงที่สุด 333.53 มิลลิกรัมต่อต้น ซึ่งสูงกว่าในตำรับการทดลองที่ใส่แมกนีเซียมในปริมาณ 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 4.5:1) ที่มีค่าเพียง 279.08 มิลลิกรัมต่อต้น (ภาพที่ 8) การดูดใช้แมกนีเซียมของต้นยางเล็กในตำรับการทดลองที่ใส่แมกนีเซียมในปริมาณเพิ่มขึ้นจากที่มีอยู่เดิม 16 เป็น 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับโพแทสซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ทำให้มีค่าการดูดใช้แมกนีเซียมสูงที่สุด เท่ากับ 78.51 มิลลิกรัมต่อต้น แต่การดูดใช้แมกนีเซียมของต้นยางเล็กกลับลดลงเมื่อใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น และลดลงสูงที่สุดเมื่อมีการใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมในปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 5:1) โดยมีค่าการดูดใช้ เท่ากับ 43.27 มิลลิกรัมต่อต้น ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียม 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 4.5:1) โดยเมื่อพิจารณาการดูดใช้แมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก พบว่า ในรากแก้วมีการดูดใช้แมกนีเซียมสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ ลำต้น ใบ ก้านใบ และรากแขนง ตามลำดับ (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 8 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้โพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

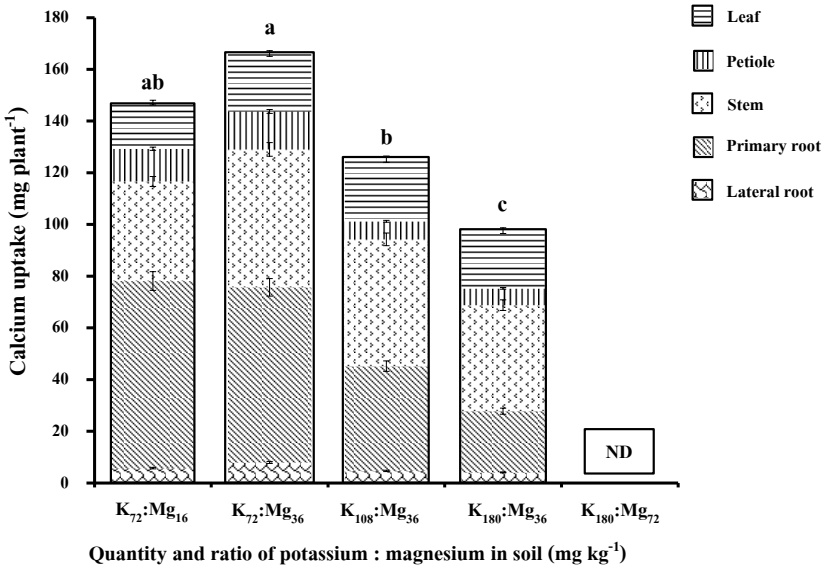
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05 และ ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง



ภาพที่ 9 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้แมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05 และ ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง

การดูดใช้แคลเซียมของต้นยางเล็ก พบว่า รากแก้วมีการดูดใช้แคลเซียมสูงใกล้เคียงกับในลำต้น รองลงมา ได้แก่ ใบ ก้านใบ และรากแขนง ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาการดูดใช้แคลเซียมทั่วทั้งต้นของต้นยางเล็ก พบว่า การใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียม 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ทำให้ต้นยางเล็กมีการดูดใช้แคลเซียมสูงที่สุดถึง 166.14 มิลลิกรัมต่อต้น แต่การใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นจาก 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมในปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 3:1 และ 5:1) กลับทำให้ต้นยางเล็กมีการดูดใช้แคลเซียมลดลงอย่างชัดเจน โดยมีค่าการดูดใช้เพียง 125.24 และ 97.62 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 10)



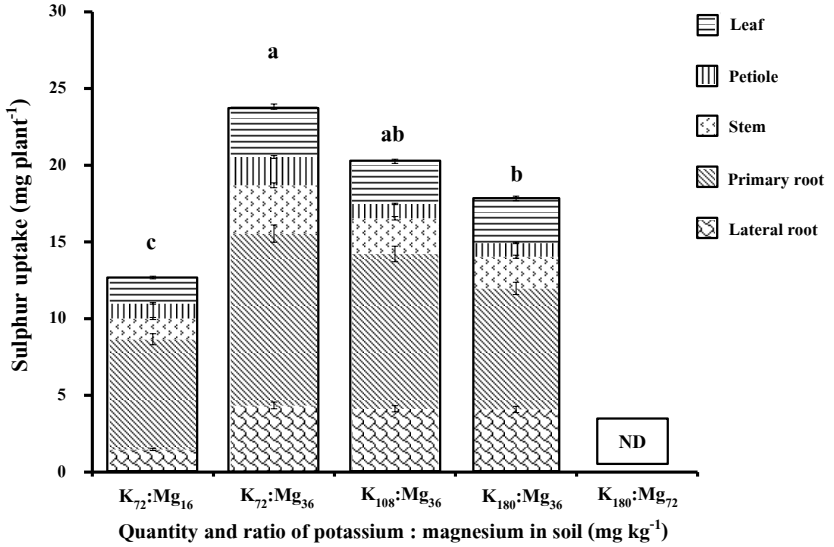
ภาพที่ 10 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้แคลเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05 และ ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง

2.7 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

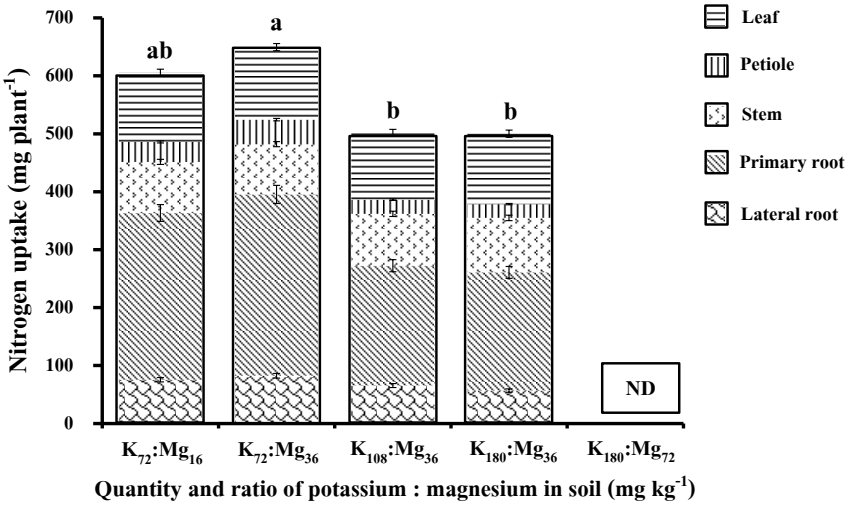
การใส่แมกนีเซียม 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ต้นยางเล็กมีการดูดใช้กำมะถันสูงกว่าการใส่แมกนีเซียมในปริมาณ 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่มีค่าการดูดใช้กำมะถันเพียง 12.68 มิลลิกรัมต่อต้น นอกจากนี้พบว่า การใส่แมกนีเซียมในปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับโพแทสเซียมปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ทำให้ต้นยางเล็กมีการดูดใช้กำมะถันสูงที่สุด 23.82 มิลลิกรัมต่อต้น และเมื่อพิจารณาการดูดใช้ส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก พบว่า รากแก้ว มีการดูดใช้กำมะถันสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ รากแขนง ใบ ลำต้น และก้านใบ ตามลำดับ (ภาพที่ 11) เช่นเดียวกับการดูดใช้ไนโตรเจนของต้นยางเล็กที่มีการดูดใช้มากที่สุดในส่วนของรากแก้ว และในใบ ลำต้น รากแขนง ล้านใบ รองลงมา ตามลำดับ การใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียม 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ทำให้ต้นยางเล็กมีการดูดใช้ไนโตรเจนสูงที่สุด 649.47 มิลลิกรัมต่อต้น ในขณะที่ในตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมในปริมาณ 16 มิลลิกรัมต่อต้น ไม่ได้ทำให้การดูดใช้ไนโตรเจนของต้นยางเล็กแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่สูงกว่า 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (โพแทสเซียม 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ร่วมกับแมกนีเซียมปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม (สัดส่วน 3:1 และ 5:1) ก็มีผลทำให้การดูดใช้ไนโตรเจนของต้นยางเล็กมีค่าลดลง เท่ากับ 501.91 และ 500.15 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 11 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้กำมะถันในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

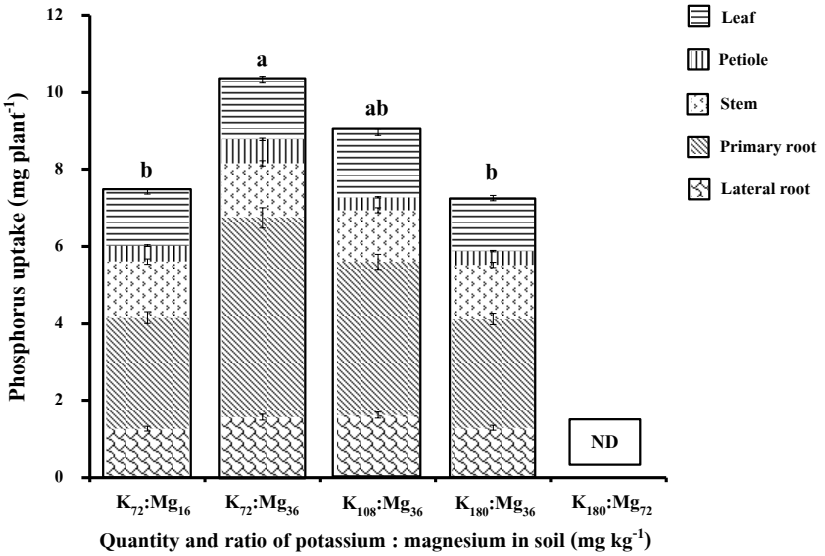
หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05 และ ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง



ภาพที่ 12 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05 และ ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง

เมื่อพิจารณาการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก พบว่า รากแก้วมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ ลำต้น ใบ รากแขนง และก้านใบ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลของปริมาณโพแทสเซียมต่อการการดุดใช้ฟอสฟอรัสของต้นยางเล็กรวมทั้งต้น พบว่า ใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ทำให้ต้นยางเล็กมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมทั้งต้นสูงที่สุด 10.33 มิลลิกรัมต่อต้น การใส่โพแทสเซียมปริมาณที่สูงขึ้นเป็น 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมในปริมาณเดิม คือ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 3:1 และ 5:1) ทำให้การดูดใช้ฟอสฟอรัสรวมทั้งต้นของยางเล็กมีค่าลดลง เท่ากับ 8.97 และ 7.25 มิลลิกรัมต่อต้น (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05 และ ND คือ ไม่มีข้อมูลเนื่องจากยางพาราตายในระหว่างการทดลอง

บทที่ 4
วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การศึกษาสถานะและสัดส่วนของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอน

1.1 โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพารา

สถานะของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินและโพแทสเซียมทั้งหมดในใบยางพาราจากการประเมินโดยใช้เกณฑ์มาตรฐานของสถาบันวิจัยยาง (นุชนารถ, 2554) พบว่า สวนยางพาราโดยส่วนใหญ่มีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ (< 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) โพแทสเซียมทั้งหมดในใบยางพาราก็อยู่ในระดับต่ำ (<13.5 กรัมต่อกิโลกรัม) (ตารางที่ 2 และ 4) เช่นเดียวกับที่มีรายงานว่า ยางพาราที่ปลูกในดินนาร้างมีโพแทสเซียมทั้งในดินและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในใบในระดับต่ำ (อิสริยาภรณ์ และคณะ, 2558) เนื่องจากดินในภาคใต้ของประเทศไทยมีการผุพังสลายตัวรุนแรงทำให้ดินมีสภาพเป็นกรด (อภิศักดิ์, 2543) ส่งผลให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินลดลง เนื่องจากมีการสูญเสียธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองไปจากดินโดยการชะละลาย (Skyllberg, 1999) และเมื่อพิจารณาโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่า ดินแปลงที่ลุ่มในระยะก่อนเปิดกรีดมีโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำกว่าที่ดอน (ภาพที่ 1A) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ดินในแปลงที่ลุ่มในอดีตใช้ปลูกข้าวและปุ๋ยที่ใส่ไม่มีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ เช่น 16-20-0 หรือ 20-20-0 (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ดังนั้น จึงส่งผลให้โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินค่อย ๆ ลดลงจนอยู่ในระดับที่ต่ำ

ในส่วนของแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน พบว่า แปลงในที่ลุ่มในระยะก่อนเปิดกรีดมีแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์สูงกว่าที่ดอน (ภาพที่ 1B) เนื่องจากเป็นดินเนื้อละเอียดซึ่งทำให้มีแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์สูงกว่าดินเนื้อหยาบ (Havlin *et al*., 2005) โดยมีแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำกว่า 36.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำสำหรับยางพารา (ตารางที่ 3) เช่นเดียวกับที่มีรายงานระดับของแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินนาร้างที่ใช้ปลูกยางพาราที่จัดอยู่ในระดับต่ำ (อิสริยาภรณ์ และคณะ, 2558) เนื่องจากดินที่เป็นดินกรดเขตร้อนส่งเสริมให้แมกนีเซียมในดินต่ำ เช่นเดียวกับ Heenan และ Campbell (1981) ที่รายงานว่า สภาพที่ดินเป็นกรดทำให้ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำลง อย่างไรก็ตาม ในใบยางพารากลับมีแมกนีเซียมจัดอยู่ในระดับสูง คือ สูงกว่า 2.5 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 5) ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ในดินมีแมกนีเซียมในรูปอื่นที่สามารถปลดปล่อยออกมาให้พืชดูดไปใช้ได้ เช่น รูปที่เป็นองค์ประกอบของเกลืออนินทรีย์และแร่ต่าง ๆ ในดิน (ยงยุทธ, 2552) ได้แก่ ไบโอไทต์ เซอร์เพนทีน แมกนีไซต์ และโดโลไมต์ เป็นต้น (อภิศักดิ์, 2543) ซึ่งการปลดปล่อยแมกนีเซียมในส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพการละลายได้ของเกลือ ความยากง่ายของการผุพังสลายตัวของแร่ที่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของพีเอชดิน (ยงยุทธ, 2552) เช่นเดียวกับที่มีรายงานว่า ยางพาราก่อนเปิดกรีดในจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช มีแมกนีเซียมทั้งหมดในใบสูงทั้ง ๆ ที่ในดินมีแมกนีเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่ำ (สายใจ, 2554)

1.2 สัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพารา

ดินปลูกยางพารามีโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในระดับต่ำ แต่เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของธาตุทั้งสองในดินแล้ว พบว่า ยางพาราแปลงที่ปลูกในที่ลุ่ม (ทั้งในระยะก่อนเปิดกรีดและหลังเปิดกรีด) มีสัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินต่ำกว่าที่ดอน (ภาพที่ 3A) เนื่องจากปริมาณของโพแทสเซียมในที่ลุ่มต่ำกว่าที่ดอน ในขณะที่แมกนีเซียมสูงกว่า ทำให้เมื่อนำมาหารกันเพื่อหาสัดส่วนระหว่างธาตุทั้งสอง ในดินจึงมีสัดส่วนของโพแทสเซียมต่อแมกนีเซียมในแปลงที่ลุ่มต่ำกว่าที่ดอน (ทั้งในระยะก่อนและหลังเปิดกรีด) (ภาพที่ 3A และ 3B) และเมื่อนำสัดส่วนในที่ดอนมาเปรียบเทียบกับสัดส่วนของดินปลูกยางพาราในจังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช ที่สายใจ (2554) ได้รายงานว่า มีสัดส่วนเพียง 3.86:1 พบว่า สัดส่วนของธาตุทั้งสองในดินจัดว่าสูง เช่นเดียวกับการรายงานในดินปลูกลำไยว่า มีสัดส่วนในดินที่ลุ่มต่ำกว่าที่ดอน คือ 1.5:1 และ 4.33:1 ตามลำดับ (ปฏิภาณ, 2555)

เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในใบยางพารา พบว่า ใบยางพาราแปลงในที่ลุ่ม (ทั้งในระยะก่อนเปิดกรีดและหลังเปิดกรีด) มีสัดส่วนสูงกว่าใบยางพาราแปลงที่ดอน ทั้ง ๆ ที่มีโพแทสเซียมในดินต่ำกว่า ซึ่งกลับกับสัดส่วนในดิน แสดงว่า ในแปลงยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มมีปริมาณของโพแทสเซียมสูงกว่าที่ดอน ซึ่งยางพาราอาจจะดูดใช้โพแทสเซียมจากดินในรูปที่ถูกตรึง (fixed-K) ซึ่งจะมีอยู่สูงในดินเนื้อละเอียด ทำให้ดินมีความสามารถในการเป็นแหล่งให้โพแทสเซียมแก่พืชในระยะยาวได้ดี จึงส่งผลให้ใบยางพาราที่ปลูกในดินที่ลุ่มซึ่งเป็นดินเนื้อละเอียดมีแนวโน้มของโพแทสเซียมในใบสูงกว่าในที่ดอนซึ่งเป็นดินเนื้อหยาบ (จักรกฤษณ์, 2556) ทั้งนี้ ในระยะหลังเปิดกรีดมีแนวโน้มของสัดส่วนสูงกว่าในระยะก่อนเปิดกรีด (ภาพที่ 3B) แสดงว่า ในยางพาราระยะหลังเปิดกรีดยางพารามีการดูดใช้โพแทสเซียมได้สูงกว่าในระยะก่อนเปิดกรีด ซึ่งอาจเป็นเพราะยางพาราหลังเปิดกรีดต้องการโพแทสเซียมสูง (เวท และโสภา, 2528) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนเคลื่อนย้ายน้ำตาลซูโครส (ยงยุทธ, 2552) ที่เป็นสารตั้งต้นสำหรับใช้ในการสร้างน้ำยางของยางพารา (จำเป็น และคณะ, 2556)

แม้สถานะของแมกนีเซียมในดินปลูกยางพาราอยู่ในระดับต่ำแต่สถานะในใบจัดอยู่ในระดับสูง (ประเมินตามเกณฑ์มาตรฐานของสถาบันวิจัยยาง) (นุชนารถ, 2554) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของธนพันธ์ (2560) พบว่า ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบยางพาราสูงกว่าค่าที่เหมาะสม (2.0-2.5 กรัมต่อกิโลกรัม) (นุชนารถ, 2554) แต่ยางพาราก็ยังเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีการใส่แมกนีเซียม แสดงให้เห็นว่า ยางพาราอาจต้องการแมกนีเซียมในปริมาณที่สูงกว่าค่าที่เหมาะสมตามที่มีรายงานไว้ ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาระดับของแมกนีเซียมเพิ่มเติมเช่นเดียวกับที่สายใจ (2554) ได้เคยเสนอแนะไว้ เพื่อให้ยางพาราได้รับแมกนีเซียมในปริมาณที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต

2. การทดลองผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

2.1 สมบัติทางเคมีของดิน

การศึกษาผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็กในครั้งนี้ ดินที่ใช้สำหรับทำการทดลองเป็นดินที่ชาวสวนยางพาราใช้ปลูกยางพาราจริง และเป็นชุดดินคลองท่อม (Khlong Thom series: Km) (Fine – loamy, kaolinitic,

isohyperthormic Typic kandiudults) ซึ่งดินเกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่หรือเคลื่อนย้ายมาเป็นระยะใกล้ ๆ ของวัตถุต้นกำเนิดดินจำพวกหินทราย จึงทำให้เนื้อดินของดินชนิดนี้เป็นดินร่วนปนทราย มีสีเป็นสีน้ำตาลหรือน้ำตาลปนแดง สมบัติด้านกายภาพ เช่น การระบายน้ำดี และการซึมผ่านได้ของน้ำปานกลาง ด้านสมบัติทางเคมีของดินอย่างเช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดินนั้นต่ำ ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดหรือเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) มีปริมาณของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2560) สอดคล้องกับการรายงานของนุชนารถ และคณะ (2556) และภัทรานิษฐ์ และคณะ (2560) ว่า ดินปลูกยางพาราในภาคใต้โดยส่วนใหญ่มีปริมาณของแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับยางพารา (>36.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลองที่พบว่า ดินมีปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ 1.26, 10.15 และ 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่ต่ำ เมื่อเทียบกับค่าที่เหมาะสมสำหรับยางพาราที่ นุชนารถ (2554) ได้รายงานไว้ว่า ควรมีธาตุดังกล่าว 11-30, >40 และ >36.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 6) จึงจะเพียงพอต่อความต้องการเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของยางพารา เมื่อธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีในดินต่ำ ดังนั้น จำเป็นต้องเพิ่มธาตุอาหารดังกล่าวลงไปในดินเพื่อปรับระดับของธาตุอาหารให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับพืชในรูปของปุ๋ย

หลังจากปรับสถานะของธาตุอาหารในดินที่ใช้สำหรับการศึกษา พบว่า เมื่อใส่โพแทสเซียมในปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้โพแทสเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการใส่แมกนีเซียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 36 และ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ก็ทำให้แมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้น โดยโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินที่เพิ่มสูงขึ้นจากในตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียม 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียม 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ทำให้โพแทสเซียมและแมกนีเซียมอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมต่อยางพารามากที่สุด คือ มีโพแทสเซียมที่สกัดได้มากกว่า 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียมมากกว่า 36.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (นุชนารถ, 2554) (ตารางที่ 7) การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารในดินหลังจากมีการผสมปุ๋ยเพื่อปรับธาตุให้เหมาะสมสำหรับพืชนั้น ให้ผลเช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินหลังจากมีการใส่โดโลไมต์และคีเซอไรต์ 0.5 และ 1.0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ของธนพันธ์ (2560) ที่พบว่าปริมาณของแมกนีเซียมในดินเพิ่มขึ้นเมื่อใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ ฮูซัน (2559) ที่ศึกษาผลของแมกนีเซียมต่อการดูดแมงกานีสของต้นกล้ายางพาราโดยใส่แมงกานีสและแมกนีเซียม ซึ่งเมื่อนำดินมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีหลังจากผสมแมงกานีสและแมกนีเซียม พบว่า ในดินมีปริมาณของแมกนีเซียมเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามแม้ว่าในดินจะมีธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจากการใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น แต่การใส่ในปริมาณที่มากเกินไป โดยเฉพาะโพแทสเซียมในปริมาณ 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้เมื่อวิเคราะห์ดินหลังจากผสมปุ๋ยแล้วมีปริมาณของโพแทสเซียมที่สกัดได้สูงถึง 107.87 และ >150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับการใส่แมกนีเซียมในปริมาณ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ทำให้มีแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงถึง 56.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 7) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่เหมาะสมกับยางพาราแล้ว พบว่า ปริมาณของธาตุทั้งสองมีค่าสูงโดยเฉพาะในตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียม 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับ แมกนีเซียม 60

มิลลิรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 5:1) ที่มีปริมาณของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่วิเคราะห์ได้ในดินสูงถึง 167.71 และ 56.80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ด้วยเหตุนี้จึงอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ต้นยางเล็กในตำรับการทดลองนี้ตายในระหว่างการทดลอง

2.2 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการแสดงออกของต้นยางเล็ก

การแสดงออกของกล้ายางเล็กสังเกตได้ชัดเจนที่สุดในตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียม 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแมกนีเซียมในปริมาณ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 3:1) ซึ่งทำให้กล้ายางเล็กตายในระหว่างการทดลอง (ภาพที่ 5) หากแต่เมื่อเลือกพิจารณาในตำรับการทดลองที่มีโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 108 ร่วมกับแมกนีเซียม 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือสัดส่วน 3:1 เช่นเดียวกัน กลับพบว่า ต้นยางเล็กในตำรับการทดลองดังกล่าวสามารถเจริญเติบโตได้ดี ทั้งในส่วนของความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ตารางที่ 8 และ 9) และเมื่อพิจารณาปริมาณของธาตุอาหารในดิน พบว่า ในตำรับการทดลองดังกล่าวมีปริมาณของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ 107.87 และ 33.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าปริมาณของธาตุทั้งสองที่วิเคราะห์ได้ในตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในปริมาณ 180 และ 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 7) ด้วยเหตุนี้จึงน่าจะเป็นเหตุผลที่คาดว่าในตำรับการทดลองดังกล่าวอาจมีปริมาณของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่เติมลงไปในดินสูงกว่าความต้องการของยางพารา (>40 และ 36.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ระดับธาตุอาหารที่สูงเกินไปอาจทำให้ดินไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก จนทำให้กล้ายางเล็กในตำรับการทดลองดังกล่าวอ่อนแอและมีความเสี่ยงต่อการเข้าทำลายของโรค โดยเฉพาะโรคตายจากยอด (Die back) ที่มีช่วงของการเกิดโรคตลอดทั้งปี ลักษณะอาการของโรค คือ กิ่งก้านหรือยอดแห้งตายจากปลายกิ่งหรือยอดเข้าหาส่วนโคนทีละน้อยแล้วลุกลามเข้าไปถึงโคนต้นในที่สุดต้นยางจะยืนต้นตาย โดยที่สาเหตุของโรคเกิดจากเชื้อราและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม (นุชนารถ, 2554) การแสดงออกของต้นยางเล็กให้ผลเช่นเดียวกับการแสดงอาการตายจากยอดของกาแฟที่ได้รับธาตุอาหารบางธาตุในปริมาณสูง จนอาจทำให้เกิดความไม่สมดุลของระหว่างธาตุอาหารโดยเฉพาะธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้กาแฟแสดงอาการดังกล่าว (ชวลิต และนริศ, 2548)

2.3 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

ต้นยางเล็กที่ได้รับโพแทสเซียมปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโกกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโกกรัม (สัดส่วน 2:1) ซึ่งเป็นปริมาณแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้นจาก 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ต้นยางเล็กมีการเจริญเติบโตส่วนเหนือดินและรากดีที่สุด (ภาพที่ 6 และ 7) อีกทั้งความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางเล็กก็ยังตอบสนองต่อปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุทั้งสองได้เป็นอย่างดีเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 9 และ 10) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณ

ของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินหลังจากที่มีการปรับปริมาณธาตุอาหารแล้วมีค่าเท่ากับ 63.67 และ 30.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับของธาตุอาหารที่ใกล้เคียงกับระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก คือ >40 และ 36.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของธนพันธ์ (2560) ที่รายงานว่า ยางพารามีการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินและรากดีที่สุดเมื่อยางพาราได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่สูงขึ้น (108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แม้จะทำให้ปริมาณของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 7) แต่ไม่ได้ทำให้การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กเพิ่มขึ้นทั้งในส่วนของความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ตารางที่ 9 และ 10) ทั้งนี้อาจเกิดจากปริมาณโพแทสเซียมในตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียมในปริมาณมากกว่า 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่มีโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินอยู่สูงมาก คือ มีค่ามากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 7) ซึ่งมากเกินกว่าความต้องการของพืชที่ต้องการเพียงมากกว่า 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยปริมาณธาตุอาหารที่สูงอาจทำให้เกิดการใช้ธาตุอาหารเหลือเฟือ (luxury consumption) ซึ่งแม้ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหารขึ้นแต่ก็ไม่ได้ช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่าเดิม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบ ก้านใบ และลำต้นของต้นยางเล็ก ที่แม้จะมีความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นจากการใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น เป็น 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 12, 13 และ 14) แต่ไม่ได้ทำให้การเจริญเติบในส่วนเหนือดินและราก (ภาพที่ 6 และ 7) รวมทั้งความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางเล็ก (ตารางที่ 9 และ 10) สูงกว่าในตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2.4 ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

2.4.1 ผลของปริมาณของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

การใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบ ก้านใบ และลำต้นของต้นยางเล็กเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 12, 13 และ 14) เช่นเดียวกับการศึกษาปริมาณธาตุอาหารและคุณภาพผลผลิตของส้มโอที่ได้รับปุ๋ยโพแทช พบว่า เมื่อโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบของส้มโอเพิ่มสูงขึ้น (Nguyen *et al.,* 2016) สอดคล้องกับผลการศึกษาของนุชนารถ และคณะ (2541) ที่ได้ทำการศึกษาระดับของธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมกับยางอ่อน พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทชในระดับที่สูง ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมในใบยางเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยโพแทชในระดับที่ต่ำกว่า แต่กลับทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบและก้านใบของต้นยางเล็กลดลง (ตารางที่ 12 และ 13) สอดคล้องกับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบของส้มโอมีแนวโน้มลดลงเมื่อได้รับปุ๋ยโพแทชเพิ่มขึ้น (Nguyen *et al.,* 2016) เช่นเดียวกับ Rietra และคณะ (2015) ที่รายงานว่า ข้าวที่ได้รับโพแทสเซียมสูงขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบข้าวลดลง และ Inthichack และคณะ (2012) พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมในปริมาณที่สูงขึ้นทำให้

ปริมาณแมกนีเซียมในใบของผักกาดขาว ผักชีฝรั่ง และกะหล่ำปลีลดลง เช่นเดียวกับกล้วยไม้ที่เมื่อได้รับโพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบลดลง (Poole and Seeley, 1978) นอกจากนี้ Ding และคณะ (2006) ได้รายงานว่า ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในปมรากที่เพิ่มขึ้นทำให้การเคลื่อนย้ายของแมกนีเซียมจากรากไปยังส่วนเหนือดินของข้าวลดลง

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแคลเซียมในก้านใบและรากแก้วของต้นยางเล็ก พบว่า ความเข้มข้นของแคลเซียมลดลงเมื่อปริมาณของโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นจาก 72 เป็น 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 13 และ 15) และลดลงมากที่สุดเมื่อมีปริมาณของโพแทสเซียม 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ให้ผลสอดคล้องกับในผักกาดขาว ผักชีฝรั่ง และกะหล่ำปลีที่ความเข้มข้นของแคลเซียมลดลง เมื่อได้รับโพแทสเซียมในรูปโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) ในปริมาณเพิ่มขึ้น (Inthichack *et al.,* 2012) และในลองลองที่ได้รับโพแทสเซียมทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองที่ไม่ใส่โพแทสเซียม (อรพิน และคณะ, 2550; จำเป็น และคณะ, 2550) เช่นเดียวกับกล้วยไม้เมื่อได้รับโพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบลดลง (Poole and Seeley, 1978) ความเข้มข้นของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่ลดลง อาจเกิดจากปริมาณของโพแทสเซียมซึ่งมีอยู่มากในดิน (ตารางที่ 7) ที่อาจจะไปยับยั้งการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นยางเล็ก โดยเฉพาะธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียม เนื่องจากโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์เชิงลบกับแมกนีเซียมและแคลเซียม ทำให้เมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้การเคลื่อนย้ายและการดูดใช้แมกนีเซียมและแคลเซียมของพืชลดลง (ยงยุทธ, 2552)

การใส่แมกนีเซียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้ความเข้มข้นของกำมะถันในส่วนของรากแก้วและรากแขนงแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 14 และ 15) ในขณะที่ส่วนอื่น ๆ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่แมกนีเซียมในปริมาณ 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยความเข้มข้นของกำมะถันที่เพิ่มขึ้นในบริเวณดังกล่าวอาจจะติดมาจากดิน เนื่องจากบริเวณรากแก้วและรากแขนงเป็นบริเวณที่สัมผัสกับดินโดยตรง แม้จะผ่านการล้างทำความสะอาดรากแล้วแต่อาจยังมีเศษดินติดมากับรากแก้วและรากแขนง ส่งผลให้เมื่อนำส่วนดังกล่าวมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกำมะถันแล้วทำให้มีค่าเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 7) โดยการเพิ่มขึ้นของกำมะถันในดินนั้นเกิดขึ้นหลังจากมีการปรับธาตุอาหารให้กับต้นยางเล็ก เนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้เลือกใช้ปุ๋ยคีเซอร์ไรต์ ($MgSO_4 \cdot H_2O$) ให้เป็นแหล่งของแมกนีเซียม และเมื่อพิจารณาจากสูตรทางเคมีของปุ๋ยจะทำให้ทราบว่า มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 27 (ยงยุทธ และคณะ, 2554) จึงอาจจะทำให้ในดินมีปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้นด้วย เพราะหากพิจารณาความเข้มข้นของกำมะถันในดินเดิมที่ไม่มีการเติมแมกนีเซียมในรูปของคีเซอร์ไรต์ (แมกนีเซียมปริมาณ 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) พบว่า มีความเข้มข้นของกำมะถันเพียง 0.48 และ 0.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับค่าที่เหมาะสมสำหรับยางพารา คือ 5-10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สถาบันวิจัยยาง, 2556) กำมะถันมีความสัมพันธ์กับปริมาณมาณอินทรียวัตถุในดิน หากดินมีอินทรียวัตถุสูงก็ทำให้กำมะถันสูงขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากกำมะถันเป็นองค์ประกอบของอินทรียวัตถุในดิน (ปัทมา, 2547) แต่สำหรับดินซึ่งใช้ในการทดลองครั้งนี้ พบว่า มีอินทรียวัตถุในดินเพียง 8.32 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับยางพารา คือ 10-25 กรัมต่อ

กิโลกรัม (สถาบันวิจัยยาง, 2556) จึงอาจจะเป็นไปได้ว่าในดินมีปริมาณของกำมะถันต่ำ ดังนั้น เมื่อในดินมีปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้นจากการใส่ปุ๋ยคีเซอไรต์ จึงทำให้ความเข้มข้นของกำมะถันในรากแก้วและรากแขนงของต้นยางเล็กเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 15 และ 16) แต่ทว่าเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของกำมะถันในแต่ละตำรับการทดลองทั้งในรากแก้วและรากแขนง พบว่า แม้จะใส่แมกนีเซียมในปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เท่ากันทุกตำรับการทดลอง แต่กลับทำให้ความเข้มข้นของกำมะถันสูงที่สุดในตำรับการทดลองที่ใส่แมกนีเซียมร่วมกับโพแทสเซียมในปริมาณ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 15 และ 16)

โพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 72 เป็น 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในลำต้นเพิ่มขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และเพิ่มขึ้นสูงที่สุดในตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 13) สอดคล้องกับการศึกษาผลอิทธิพลจากปุ๋ยโพแทสเซียมต่อระดับของธาตุอาหารในข้าวของ Gaj (2010) ที่พบว่า การใส่โพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณไนโตรเจนในข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองควบคุม ปริมาณของไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นอาจจะเกิดจากการส่งเสริมจากธาตุโพแทสเซียม เพราะมีรายงานว่า โพแทสเซียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกหรือส่งเสริมการดูดใช้ไนโตรเจนของพืช (Rietra *et al.,* 2015) สอดคล้องกับที่ยงยุทธ (2552) รายงานว่า ธาตุโพแทสเซียมจะช่วยส่งเสริมการดูดและการเคลื่อนย้ายไนโตรเจนในรูปของไนเทรต (NO_3^-) ไปสู่ส่วนเหนือดิน และถึงแม้ว่าการวิเคราะห์ธาตุไนโตรเจนในพืชจะอาศัยการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด ทำให้ไม่สามารถจำแนกได้ว่าแท้จริงแล้วไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นรูปใด แต่โดยทั่วไปไนโตรเจนในรูปของไนเทรตเป็นรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้เป็นส่วนใหญ่เมื่อเทียบกับรูปของแอมโมเนียม (NH_4^+) และยูเรีย [$CO(NH_2)_2$] (ยงยุทธ, 2552) ดังนั้น ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นอาจจะเกิดจากการส่งเสริมของโพแทสเซียม

2.4.2 ผลของปริมาณของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

การใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมในปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ต้นยางเล็กมีการดูดใช้ธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียมรวมทั้งต้นสูงกว่าการใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เท่ากัน (72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่มีแมกนีเซียมในปริมาณ 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) นอกจากนี้การดูดใช้ธาตุดังกล่าวได้ลดลงในตำรับการทดลองที่มีการใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 8, 9 และ 10) ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากโพแทสเซียมในตำรับการทดลองดังกล่าวมีปริมาณในดิน 107.87 และ 150.44 มิลลิกรัมต่อต้น (ตารางที่ 7) ซึ่งอาจจะมากเกินจนไปรบกวนหรือขัดขวางกลไกของพืชในการดูดใช้ธาตุอาหารจากดินมาสู่ราก ที่พืชจะใช้กระบวนการดูดธาตุอาหารโดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนบริเวณรากพืช โดยจะปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนเพื่อดูดใช้แคตไอออนและเป็นการรักษาสมดุลของแคตไอออนภายในรากพืช การที่แคตไอออนจะสามารถเคลื่อนย้ายธาตุอาหารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้นั้นจะต้องอาศัยพลังงานจากกระบวนการเมทาบอลิซึมภายในเซลล์พืช (ยงยุทธ, 2552) ในกระบวนการนี้อาจจะทำให้เกิดการแข่งกันในแง่การดูดธาตุอาหารของพืช โดยเฉพาะธาตุโพแทสเซียมกับแมกนีเซียมและแคลเซียมที่มีความสัมพันธ์เชิงผกผันหรือเป็นปฏิปักษ์ต่อกัน (Rietra *et al.,* 2015) ทำให้เมื่อมี

การเพิ่มธาตุใดธาตุหนึ่งจะส่งผลให้ความเข้มข้นของอีกธาตุหนึ่งในพืชลดลง (Merhaut, 2007) สอดคล้องกับพจนีย์ และคณะ (2554) ซึ่งได้ทำการศึกษาสถานะของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินสวนปลูกทุเรียนและลองกองแล้วรายงานว่า การมีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูง เป็นสาเหตุที่ทำให้พืชดูดใช้แมกนีเซียมและแคลเซียมได้ต่ำลง ในทางกลับกันในดินที่มีแมกนีเซียมและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง ก็เป็นสาเหตุให้พืชดูดใช้โพแทสเซียมได้ต่ำลงเช่นกัน

การใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียม 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่มีผลโดยตรงที่ทำให้การดูดใช้กำมะถัน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของต้นยางเล็กมีค่าสูงที่สุด หากเทียบกับในตำรับการทดลองอื่น ๆ ที่ใส่แมกนีเซียมเท่ากัน ร่วมกับโพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็น 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 11, 12 และ 13) หากแต่การใส่โพแทสเซียมร่วมกับแมกนีเซียมในปริมาณดังกล่าวส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นของยางเล็กสูงถึง 30.21 กรัมต่อต้น ซึ่งสูงกว่าน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นของต้นยางเล็กในตำรับการทดลองอื่น ๆ ที่มีค่าแค่เพียง 25.24, 23.28 และ 19.74 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 11) ทำให้เมื่อประเมินการดูดใช้ธาตุอาหารซึ่งมีการคำนวณมาจากความเข้มข้นของธาตุนั้นกับน้ำหนักแห้งรวมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก จึงทำให้ตำรับการทดลองที่มีน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นสูง มีการดูดใช้ธาตุต่าง ๆ สูงกว่าในตำรับการทดลองอื่น ๆ

2.4.3 ผลของสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

การใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในสัดส่วนที่แตกต่างกัน คือ 4.5:1, 2:1, 3:1 และ 5:1 พบว่า การใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในสัดส่วน 2:1 (โพแทสเซียม 72 ต่อ แมกนีเซียม 36 มิลลกรัมต่อกิโลกรัม) ทำให้ต้นยางเล็กมีการดูดใช้ธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม กำมะถัน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงที่สุด เมื่อเทียบกับตำรับการทดลองอื่น ๆ ในขณะที่การใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในสัดส่วนที่เพิ่มสูงขึ้น (4.5:1, 3:1 และ 5:1) กลับทำให้การดูดใช้ธาตุอาหารของต้นยางเล็กลดลง (ภาพที่ 8, 9, 10, 11, 12 และ 13) ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการเพิ่มปริมาณของโพแทสเซียมให้เพิ่มขึ้นจาก 72 เป็น 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่ปริมาณของแมกนีเซียมเท่ากับ 16 และ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเมื่อนำปริมาณของธาตุทั้งสองมาหารกันจะทำให้ได้สัดส่วนระหว่างธาตุทั้งสองที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมเป็น 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพื่อเพิ่มสัดส่วนระหว่างธาตุทั้งสองให้เพิ่มขึ้น ก็มีผลทำให้ปริมาณของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นเป็น 107.87 และ 150.44 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ด้วยเช่นกัน ซึ่งปริมาณของโพแทสเซียมที่เพิ่มสูงขึ้นอาจจะมีปริมาณมากกว่าความต้องการของต้นยางเล็ก คือ >40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่การใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้มีปริมาณของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินเพียง 64.64 และ 63.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณของโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินจากในตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียม 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่เพียงพอสำหรับต้นยางเล็กมากกว่า จึงทำให้การใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในสัดส่วน 2:1 (โพแทสเซียม 72 ต่อ แมกนีเซียม 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทำให้ต้นยางเล็กมีการตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโตทั้งในส่วนเหนือดิน

(ภาพที่ 6) และส่วนราก (ภาพที่ 7) ดีที่สุด นอกจากนี้ ความสูงของต้นยางเล็กที่เพิ่มสูงขึ้นถึง 49.56 เซนติเมตร (ตารางที่ 8) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่สูงที่สุด 6.29 มิลลิเมตร (ตารางที่ 9) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่า การใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในสัดส่วน 2:1 ทำให้ต้นยางเล็กมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองอื่น ๆ ดังนั้น เมื่อทำการประเมินการดูดใช้ธาตุอาหารจึงทำให้ในตำรับการทดลองดังกล่าวมีการดูดใช้ธาตุอาหารรวมทั้งต้นสูงที่สุด ทั้งนี้ก็เป็นผลมาจากน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นของต้นยางเล็กที่สูงที่สุดถึง 30.21 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 10)

3. การจัดการโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินปลูกยางพารา

ดินปลูกยางพาราส่วนใหญ่มีปริมาณของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินทั้งในพื้นที่ลุ่มและพื้นที่ดอนอยู่ในระดับต่ำ คือ <40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจัดว่าอยู่ในระดับที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของยางพารา (ตารางที่ 1) ทั้ง ๆ ที่โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่ยางพาราต้องการเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์และสร้างโปรตีน แป้ง ช่วยลำเลียงแป้งและน้ำตาล ควบคุมและรักษาความเป็นกรด-ด่าง ควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบ ช่วยให้ส่วนต่าง ๆ ของพืชมีความแข็งแรง ทนทานต่อโรคและการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืช (นุชนารถ, 2552) ดังนั้น เมื่อในดินมีโพแทสเซียมต่ำ เกษตรกรจำเป็นต้องมีการจัดการโพแทสเซียมในดินปลูกยางพารา โดยการเพิ่มปริมาณของโพแทสเซียมให้แก่ดินในรูปของปุ๋ยโพแทชที่มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl; 0-0-60) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH; 0-0-75) โพแทสเซียมไนเทรต (KNO_3; 13-0-46) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4; 0-0-50 หรือ 0-0-52 และมี S เป็นองค์ประกอบอยู่ 18 %) เป็นต้น (ยงยุทธ และคณะ, 2554)

การใส่ปุ๋ยโพแทชแต่ละชนิดแม้จะสามารถปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ให้พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่ายและรวดเร็ว แต่การใส่ปุ๋ยโพแทชในปริมาณที่มากจะส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุแมกนีเซียมและการเจริญเติบโตของยางพารา โดยผลจากการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทชให้มีปริมาณของโพแทสเซียม 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ต้นยางเล็กมีการดูดใช้แมกนีเซียม (ภาพที่ 9) ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบและก้านใบ (ตารางที่ 12 และ 13) และการเจริญเติบโตของต้นยางเล็กมีแนวโน้วลดลง (ภาพที่ 6) (ตารางที่ 8 และ 9) เช่นเดียวกับยางพาราที่มีการใช้ปุ๋ยตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยยาง คือ ปุ๋ยสูตร 20-8-20 (ยางพาราก่อนเปิดกรีด) และปุ๋ยสูตร 29-5-18 สำหรับยางพาราในระยะหลังเปิดกรีด (นุชนารถ, 2554) ที่ประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก โดยเฉพาะโพแทสเซียมเพียงอย่างเดียวแต่ไม่มีการใส่แมกนีเซียมร่วมด้วย ทั้ง ๆ ที่ในการเก็บเกี่ยวผลผลิตน้ำยาง 1 ตัน ดินจะสูญเสียแมกนีเซียมถึง 5 กิโลกรัม (นุชนารถ, 2554) โดยการจัดการปุ๋ยโดยไม่มีการใส่แมกนีเซียมร่วมด้วยจะส่งผลต่อการดูดใช้แมกนีเซียมของยางพารา โดยจากการศึกษายางพาราที่ได้รับโพแทสเซียมคลอไรด์ในปริมาณสูง จะทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบลดลง (Yogaratnam and Weerasuriya, 1984) เช่นเดียวกับยางพาราพันธุ์ BPM 24 ที่ได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมมากเกินไป ก็ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบของยางพาราลดลง (นุชนารถ และคณะ, 2540) นอกจากนี้ ยังมีรายงานในพืชอื่น ๆ เช่น ต้นเชอรี่ พบว่า เมื่อใส่โพแทสเซียมที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการดูดแมกนีเซียมเข้าไปในเนื้อเยื่อพืชลดลง (Troyanos *et al.*, 2000) และในข้าว พบว่า การใส่โพแทสเซียมที่ความเข้มข้นสูงขึ้น ทำให้ปริมาณของแมกนีเซียมในส่วนเหนือดินของข้าวลดลง

โดยเฉพาะการใส่โพแทสเซียมที่ความเข้มข้นสูงร่วมกับแมกนีเซียมที่ความเข้มข้นต่ำ ทำให้มีปริมาณของแมกนีเซียมในส่วนเหนือดินลดลงต่ำสุด (Ding and Xu, 2011) นอกจากนี้จากการศึกษา พบว่า การใส่ปุ๋ยโพแทชให้มีโพแทสเซียมในปริมาณเพียง 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้มีปริมาณของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินประมาณ 63-64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 7) ส่งผลให้การเจริญเติบโตของยางพาราดีที่สุด (ภาพที่ 6) (ตารางที่ 8 และ 9) และเมื่อพิจารณาปริมาณของโพแทสเซียมในดินที่แนะนำโดยนุชนารถ (2554) ว่า ควรมี >40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นั้นไม่ได้กำหนดปริมาณสุดท้ายไว้ ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าหากใส่โพแทสเซียมมากไปกว่านี้จะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของยางพารา ดังนั้น ในการจัดการโพแทสเซียมในดินปลูกยางพาราควรมีการจัดการดินให้มีปริมาณของโพแทสเซียม >40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่เกิน 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถึงจะเพียงพอและส่งเสริมให้ยางพารามีการเจริญเติบโตที่ดี

แมกนีเซียมในดินปลูกยางพารา พบว่า แปลงยางพาราส่วนใหญ่ทั้งระยะก่อนและหลังเปิดกรีดมีปริมาณของแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ (<36.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทั้งในแปลงที่ลุ่มและที่ดอน (ตารางที่ 2) แต่เมื่อมีการใส่แมกนีเซียมในดินให้เพิ่มขึ้นเป็น 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของยางพารา) ทำให้ยางพารามีการเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับในตำรับการทดลองที่มีแมกนีเซียมเพียง 16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 6) (ตารางที่ 8 และ 9) ดังนั้น ในพื้นที่ปลูกยางพาราจำเป็นต้องมีการจัดการแมกนีเซียมโดยการใส่สารประกอบที่ให้ธาตุแมกนีเซียมลงไปในดินให้มีระดับที่เพียงพอสำหรับยางพารา คือ >36.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เช่น โดโลไมต์ ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$; Mg=13.5%) แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$; Mg=25%) แมกนีเซียมซัลเฟตโมโนไฮ-เดรตหรือคีเซอร์ไรต์ ($MgSO_4 \cdot H_2O$; Mg=18%) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO; Mg=50-55%) เป็นต้น โดยสารประกอบแมกนีเซียมดังกล่าวข้างต้นเป็นรูปที่สามารถละลายน้ำได้ง่าย ทำให้เมื่อใส่ลงไปในดินอาจจะปลดปล่อยให้พืชนำไปใช้ประโยชน์อย่างรวดเร็ว (ยงยุทธ และคณะ, 2554)

แม้ว่าในดินจะมีปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอสำหรับพืช แต่การดูดธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ของพืชนั้นไม่ได้ขึ้นกับปริมาณและความเป็นประโยชน์ของธาตุนั้นในดินเพียงอย่างเดียว อาจจะมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการดูดธาตุอาหาร เช่น ความชื้น ธาตุอื่น ๆ อุณหภูมิ และพีเอช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) เมื่อเป็นเช่นนี้ก็อาจจะมีผลต่อการดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมของยางพารา ดังเช่นสัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในใบยางพาราแปลงที่ลุ่มสูงกว่าที่ดอน ซึ่งอาจเป็นเพราะยางพาราดูดโพแทสเซียมได้มากจาก fixed K แต่กลับดูดแมกนีเซียมได้น้อยทั้งที่มีมากกว่าที่ดอน ซึ่งอาจเกิดจากสภาพการถ่ายเทอากาศไม่ดี รากจึงดูดแมกนีเซียมน้อยลง อย่างไรก็ตาม เมื่อนำสัดส่วนในใบของธาตุทั้งสองมาเปรียบเทียบกับสัดส่วนในใบยางพาราที่ปลูกในภาคอื่น ๆ พบว่า ใบยางพาราในที่ลุ่มและที่ดอนในระยะก่อนเปิดกรีดมีสัดส่วน 3.63:1 และ 2.81:1 ตามลำดับ และในระยะหลังเปิดกรีดมีสัดส่วนเท่ากับ 4.10:1 และ 3.70:1 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับ 3.4 ซึ่งเป็นสัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่รายงานโดยสายใจ (2554) แต่สูงกว่าสัดส่วนในใบยางพาราที่ปลูกในภาคตะวันออก ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีสัดส่วน 3.2:1, 2.8:1 และ 2.5:1 ตามลำดับ (นุชนารถ และคณะ, 2556) โดยสัดส่วนในระยะหลังเปิดกรีดที่สูง แสดงให้เห็นว่า ในยางพาราระยะหลังเปิดกรีดมีปริมาณของโพแทสเซียมสูงกว่าแมกนีเซียม (ภาพที่ 3B) โดยยางพาราต้องการโพแทสเซียมในปริมาณสูงในการทำหน้าที่เคลื่อนย้ายน้ำตาลซูโครส (ยงยุทธ, 2552) เพื่อ

นำไปใช้สร้างน้ำยาง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยโพแทชเพิ่มขึ้นให้แก่ยางพาราในระยะหลังเปิดกรีด เพราะการให้ปุ๋ยโพแทชอย่างเพียงพอจะช่วยสร้างเปลือกใหม่และช่วยให้ยางพารามีน้ำยางเพิ่มสูงขึ้น (นุชนารถ, 2552) โดยปริมาณของโพแทสเซียมในใบยางพาราในระยะหลังเปิดกรีดสอดคล้องกับปริมาณของโพแทสเซียมในเซรั่มน้ำยางพารา (หทัยกานต์ และคณะ, 2556) อย่างไรก็ตาม ถ้าสัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในใบยางพาราสูงก็อาจทำให้ยางพาราขาดแมกนีเซียมได้ (สายใจ, 2554) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มเติมให้แก่ยางพาราในรูปของปุ๋ย อย่างไรก็ตาม การจัดการแมกนีเซียมในยางพาราก็ต้องคำนึงถึงระดับที่เหมาะสม (>36.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) เพราะการใส่แมกนีเซียมในปริมาณที่สูงจะทำให้ยางพาราดูดใช้แมกนีเซียมไปสะสมในส่วนต่าง ๆ ได้มากขึ้น โดยเฉพาะในน้ำยาง (นุชนารถ, 2552) จนอาจจะมีผลต่อกระบวนแปรรูปน้ำยางสดในอุตสาหกรรมการแปรรูปยางพารา เพราะแมกนีเซียมจะทำให้น้ำยางสูญเสียความคงตัวต่อเครื่องกล (วิภาวี, 2554) ทำให้ในกระบวนการแปรรูปยางพารามีความจำเป็นต้องกำหนดปริมาณของแมกนีเซียมไว้ไม่ให้เกิน 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ของของแข็งทั้งหมด ซึ่งเป็นระดับของแมกนีเซียมที่ไม่มากไปจนส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำยาง (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2552)

การจัดการโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นสำหรับชาวสวนยาง นับว่าเป็นเรื่องที่เกษตรกรควรตระหนักและให้ความสำคัญกับธาตุทั้งสองให้เท่าเทียมกัน เพราะหากยางพาราได้รับธาตุอาหารธาตุใดธาตุหนึ่งในปริมาณที่ไม่เหมาะสมก็จะส่งผลต่ออีกธาตุหนึ่ง และอีกประการสำคัญ คือ จะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของยางพาราอย่างแน่นอน

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก สรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

1. สถานะของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพารา แปลงปลูกยางพาราทั้งในแปลงที่ลุ่มและที่ดอนส่วนใหญ่มีโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำ (โพแทสเซียมในแปลงที่ลุ่มต่ำกว่าที่ดอนและแมกนีเซียมในแปลงที่ดอนต่ำกว่าที่ลุ่ม) และโพแทสเซียมทั้งหมดในใบอยู่ในระดับต่ำ ในขณะที่แมกนีเซียมทั้งหมดในใบอยู่ในระดับสูง (แปลงที่ลุ่มต่ำกว่าที่ดอน)

2. สัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพารา ยางพาราในระยะก่อนเปิดกรีดมีสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินที่ลุ่มและที่ดอนเฉลี่ย 2.60:1 และ 7.47:1 ตามลำดับ และในระยะหลังเปิดกรีดที่มีสัดส่วน เฉลี่ย 3.13:1 และ 6.50:1 ตามลำดับ (แปลงที่ลุ่มต่ำกว่าที่ดอน) ในขณะที่ในใบยางพาราในระยะก่อนเปิดกรีดมีสัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมเฉลี่ย 3.63:1 และ 2.81:1 ตามลำดับ และในระยะหลังเปิดกรีดมีค่าเฉลี่ย 4.10:1 และ 3.70:1 ตามลำดับ (แปลงที่ลุ่มสูงกว่าที่ดอน)

3. ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก การใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมในปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กทั้งส่วนเหนือดินและราก ความสูง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงที่สุด ในขณะที่การใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นเป็น 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กลับมีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กลดลง

4. **ผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก** การใส่โพแทสเซียมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจาก 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 108 และ 180 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในต้นยางเล็กเพิ่มสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามกลับทำให้ความเข้มข้นของธาตุอื่นลดลง โดยเฉพาะแมกนีเซียมและแคลเซียม ซึ่งเป็นธาตุที่มีอันตระกิริยาเชิงลบต่อกัน โดยการใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียม 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลทำให้การดูดใช้โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม กำมะถัน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของต้นยางเล็กสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตำรับการทดลองที่ใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในปริมาณและสัดส่วนที่เพิ่มสูงขึ้น

กล่าวโดยสรุปได้ว่า จากการศึกษาสถานะและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพารา ทำให้ทราบว่า แปลงปลูกยางพาราทั้งในแปลงที่ลุ่มและที่ดอน

ส่วนใหญ่มีโพแทสเซียมและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดิน และโพแทสเซียมทั้งหมดในใบอยู่ในระดับต่ำ แต่กลับมีแมกนีเซียมทั้งหมดในใบสูง ในขณะที่สัดส่วนของโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินที่ลุ่มและที่ดอนในระยะก่อนเปิดกรีดมีค่าเฉลี่ย 2.60:1 และ 7.47:1 หลังเปิดกรีดมีค่าเฉลี่ย 3.13:1 และ 6.50:1 ตามลำดับ สำหรับในใบยางพาราในระยะก่อนเปิดและหลังเปิดกรีดที่ปลูกในที่ลุ่มมีสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมเฉลี่ย 3.63:1 และ 2.81:1 ขณะที่ในที่ดอนมีสัดส่วนเฉลี่ย 4.10:1 และ 3.70:1 ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนที่ได้ถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดปริมาณและสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมสำหรับใช้ในการศึกษาผลของปริมาณและสัดส่วนระหว่างโพแทสเซียมและแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก พบว่า การใส่โพแทสเซียมในปริมาณ 72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับแมกนีเซียมในปริมาณ 36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัดส่วน 2:1) ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กทั้งส่วนเหนือดินและราก ความสูง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงที่สุด และยังส่งผลทำให้การดูดใช้โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม กำมะถัน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของต้นยางเล็กสูงที่สุด ในขณะที่การใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมในปริมาณและสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นและการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นยางเล็กลดลง ดังนั้น การจัดการโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินปลูกยางพารานั้น ควรเพิ่มปริมาณของปุ๋ยโพแทชให้มีโพแทสเซียมปริมาณ 40-72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่แมกนีเซียมก็ควรให้มีปริมาณแมกนีเซียม >36.45 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จึงทำให้ยางพาราเจริญเติบโตได้ดี อย่างไรก็ตาม จะต้องคำนึงถึงสัดส่วนระหว่างธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมด้วย ซึ่งจากการศึกษา พบว่า การใส่ธาตุทั้งสองในสัดส่วน 2:1 ทำให้ต้นยางเล็กมีการดูดใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. 2560. ประเภทของดินแบ่งเป็นสภาพพื้นที่. เข้าถึงได้จาก http://oss101.ldd.go.th/-web_soils_for_youth/s_type2.htm. [เข้าถึงเมื่อ 1 ธันวาคม 2560].

กรมพัฒนาที่ดิน. 2560. ลักษณะและสมบัติของชุดดินภาคใต้และชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก. เข้าถึงได้จาก http://oss101.ldd.go.th/web_thaisoils/pf_desc/south/Km.htm. [เข้าถึงเมื่อ 6 ตุลาคม 2560].

กรมวิชาการเกษตร. 2548. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กรุงเทพ ฯ : กรมวิชาการเกษตร.

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2552. มาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำยางข้นธรรมชาติ. สำนักงานมาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จักรกฤษณ์ พูนภักดี, จำเป็น อ่อนทอง, ขวัญตา ขาวมี และสุพรรณี ดวงทอง. 2556. รูปของโพแทสเซียมในดินที่ดอนและที่ลุ่มที่ใช้ปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลา. ว. แก่นเกษตร 41 : 21-32.

จักรกฤษณ์ พูนภักดี. 2556. สถานะโพแทสเซียมในดินที่ดอนและที่ลุ่มที่ใช้ปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จำเป็น อ่อนทอง, อัจฉรา เพ็งหนู, บุญส่ง ไกรศรพรสรร. 2556. การวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำยางเพื่อประเมินสถานะธาตุอาหารในยางพารา. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.

จำเป็น อ่อนทอง และจักรกฤษณ์ พูนภักดี. 2557. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จำเป็น อ่อนทอง, สายใจ กิ้มสงวน และพิรุณ ติระพัฒน์. 2549. ค่ามาตรฐานของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบลองกอง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 37 : 257-268.

จำเป็น อ่อนทอง, สายใจ กิ้มสงวน และพิรุณ ติระพัฒน์. 2549. ค่ามาตรฐานของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมในใบลองกอง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 37 : 257-268.

จำเป็น อ่อนทอง, สุรชาติ เพชรแก้ว, สายใจ กิ้มสงวน และณรงค์ มะลี. 2550. ผลการใช้ปูนขาว ยิปซัม และโพแทสเซียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโตและการดูธาตุอาหารของต้นกล้าลองกอง. Songklanakarin J. Sci. Technol. 29(3) : 655-667.

จำเป็น อ่อนทอง. 2560. ดินมีปัญหาและการจัดการ. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากร-ธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชวลิต กอสัมพันธ์ และนริศ ยิ้มแย้ม. 2548. ผลของโพแทสเซียมและแมกยีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบกาแฟอราบิก้าที่กำลังติดผล. วารสารเกษตร 21(1) : 27-35.

ธนพันธ์ พงษ์ไทย. 2560. ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2554. การปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ โอ เอส พริ้นติ้ง เฮ้าส์ จำกัด.

นุชนารถ กังพิศดาร และไววิทย์ บูรณธรรม. 2541. ศึกษาระดับปุ๋ย N P K และ Mg ที่เหมาะสมกับยางอ่อนในดินชุดคอหงส์ ในสวนยางปลูกแทนรอบสองที่มีการปลูกพืชร่วมยางบางชนิด . กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

นุชนารถ กังพิศดาร, มนัชญา รัตนโชติ, ปูธิตา เปรมกระสิน, ธมลวรรณ ขิวรัมย์, ลาวัลย์ จันทร์อัมพร และอนันต์ ทองภู. 2556. การพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชสำหรับยางพาราเฉพาะพื้นที่. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

นุชนารถ กังพิศดาร, มนัชญา รัตนโชติ, ปูธิตา เปรมกระสิน, ธมลวรรณ ขิวรัมย์, ลาวัลย์ จันทร์อัมพร และอนันต์ ทองภู. 2556. การพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารพืชสำหรับยางพาราเฉพาะพื้นที่. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

นุชนารถ กังพิศดาร, ไววิทย์ บูรณธรรม, ชำนาญ บุญเลิศ และอนันต์ เฉลิมพนาพันธ์. 2540. ศึกษาระดับปุ๋ย N P K และ Mg ที่เหมาะสมกับยางอ่อนในดินร่วนเหนียวในสวนยางปลูกแทนรอบสอง. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

นุชนารถ กังพิศดาร. 2542. การประเมินระดับธาตุอาหารพืชเพื่อแนะนำการใช้ปุ๋ยกับยางพารา. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยางกรมวิชาการเกษตร.

นุชนารถ กังพิศดาร. 2547. การใช้ปุ๋ยและการปรับปรุงดินในสวนยาง. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

นุชนารถ กังพิศดาร. 2550. การใช้ปุ๋ยและการปรับปรุงดินในสวนยาง. กรุงเทพ ฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

นุชนารถ กังพิศดาร. 2552. การจัดการสวนยางพาราอย่างยั่งยืน ดิน น้ำ และธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

นุชนารถ กังพิศดาร. 2554. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยยางพารา ปี 2554. กรุงเทพ ฯ : สถาบันวิจัยยางกรมวิชาการเกษตร.

ปราโมทย์ สุวรรณมงคล, เกรียงศักดิ์ พันธุ์มณี และลิขิต มวลศรี. 2525. การตัดธาตุแมกนีเซียมออกจากสูตรปุ๋ยยางพารา. การประชุมวิชาการของกรมวิชาการเกษตร ณ กรมป่าไม้ กรุงเทพมหานคร วันที่ 26-30 เมษายน 2525 หน้า 1-21.

ปัทมา วิตยากร. 2547. ความอุดมสมบูรณ์ของดินขั้นสูง. ขอนแก่น : ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พจนีย์ แสงมณี, อำพรรณ พรมศิริ และฮิโรโตชิ ทามูระ. 2554. สถานะธาตุอาหารพืชในสวนทุเรียนและลองกองในระบบวนเกษตร จังหวัดอุตรดิตถ์. วารสารเกษตร 27(2) : 197-208.

ภัทรานิษฐ์ คงมาก, จำเป็น อ่อนทอง และขวัญตา ขาวมี. 2560. สถานะและสัดส่วนของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอน. วารสารพืชศาสตร์. (กำลังจัดพิมพ์)

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2554. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2552. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขิต นวลศรี, ปราโมทย์ สุวรรณมงคล, เวทไทยนุกูล และเกรียงศักดิ์ พันธุ์มณี. 2525. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยในยางพาราปี 2525. วารสารยางพารา 3 : 4-25.

วิจิตร วังใน. 2552. ธาตุอาหารกับการผลิตพืชผล. กรุงเทพฯ : สานักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิเชียร จาฏุพจน์. 2553. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วิภาวี พัฒนกุล. 2554. ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์. เอกสารในงานนิทรรศการพืชสวนเชียงใหม่เดือนตุลาคม 2554 : กลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง. เข้าถึงได้จาก http://rubberthai.com/index.php. [เข้าถึงเมื่อ 12 กันยายน 2560].

วุฒิชาติ ศิริช่วยชู. 2550. ฐานข้อมูลดินภาคใต้เพื่อการพัฒนาที่ดิน. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาที่ดิน.

เวท ไทยนุกูล และโสภา โพธิวัตถุธรรม. 2528. การใช้ปุ๋ยยางพาราหลังเปิดกรีด. วารสารยางพารา 6 : 129-141.

ศุภลักษณ์ สิงหบุตร. 2549. โรคขาดธาตุอาหารของพืช. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

สถาบันวิจัยยาง. 2543. เอกสาวิชาการปุ๋ยยางพารา. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

สถาบันวิจัยยาง. 2550. ข้อมูลวิชาการยางพาราปี 2550. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

สถาบันวิจัยยาง. 2556. การจัดการสวนยางอย่างยั่งยืน. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

สมจิตต์ ศิขรินมาศ, จุมพฏ สุขเกื้อ, พัชรินทร์ ศรีวารินทร์, สมมาต แสงประดับ, มณิสร อนันต๊ะ, ทินกร เพชรสูงเนิน และธมลวรรณ ขิวรัมย์. 2557. สถานการณ์ยางปัจจุบันและแนวโน้ม ปี 2558. วารสารยางพารา 35 : 16-32.

สมยศ สิธุระหัส, พิเชษฐ ไชยพานิชย์ และสุทัศน์ ด่านสกุลผล. 2536. การจำแนกดินปลูกยางพาราตามความอุดมสมบูรณ์ของดิน. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

สมศักดิ์ มณีพงศ์. 2551. การสำรวจธาตุอาหารเพื่อจัดทำค่าแนะนำมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ดินและพืชสำหรับส้มโอ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 40 : 198-201.

สรัญญา ดำอำภัย, จำเป็น อ่อนทอง และชัยรัตน์ นิลนนท์. 2548. ผลของการใช้ปุ๋ยคอกและปูนโดโลไมต์ต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในดินกรดที่ดอน. ว.สงขลานครินทร์ วทท 27 : 727-737.

สายใจ สุชาติกูล. 2554. การจัดทำค่ามาตรฐานเพื่อการวินิจฉัยสถานะธาตุอาหารในดินและใบสำหรับยางพาราก่อนเปิดกรีด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร. กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สิทธิชัย บุญมณี, จำเป็น อ่อนทอง และขวัญตา ขาวมี. 2556. เปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและตามคำแนะนำของสถาบันวิจัยยางในยางพาราก่อนเปิดกรีด. ว. เกษตรพระจองเกล้า 31 : 53-62.

สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, ภิญโญ มีเดช, สุรกิตติ ศรีกุล และชาย โฆรวิส. 2540. ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างธาตุโพแทสเซียมและธาตุแมกนีเซียมที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอร่าซึ่งปลูกในดินร่วนปนทราย. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2540. สุราษฎร์ธานี : ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. เข้าถึงได้จาก from http://it.doa.go.th/palm/performance1.htm. [เข้าถึงเมื่อ 8 กันยายน 2557].

สุมิตรา ภู่วโรดม และวิเชียร จาฏุพจน์. 2546. การใช้วิธีเส้นขอบเขตในการกำหนดค่ามาตรฐานธาตุอาหารสำหรับทุเรียน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 34 : 51-58.

หทัยกานต์ นวลแก้ว, จักรกฤษณ์ พูนภักดี, จุฑามาศ แก้วมโน และจำเป็น อ่อนทอง. 2556. การใช้ปุ๋ยและแนวทางการจัดการดินปลูกยางพาราในที่ลุ่มและที่ดอนในจังหวัดสงขลา. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 8 : 146-159.

องค์การสวนยาง. 2555. ประวัติยางพารา. เข้าถึงได้จาก http://www.reothai.co.th/-Para1.htm. [เข้าถึงเมื่อ 29 สิงหาคม 2558].

อภิศักดิ์ โพธิ์ปั้น. 2543. ดินเขตร้อน. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อรพิน ปรพฤติดี, จำเป็น อ่อนท่อง และชัยรัตน์ นิลนนท์. 2550. การใช้ปุ๋ยโพแทสเซียมเพื่อพัฒนาผลและคุณภาพผลผลิตของลองกอง. วารสารสงขลานครินทร์. วิทยาศาสจร์และเทคโนโลยี. 29(4) : 1003-1016.

อิศริยาภรณ์ ดำรงรักษ์. 2550. ธาตุอาหารพืชกับคุณภาพผลผลิตส้มโชกุน. ว.มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา 2 : 56-71.

อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, ประยูร ดำรงรักษ์ และศศิธร พังสุบรรณ. 2558. สมบัติของดิน สถานะธาตุอาหารพืชในใบ และการเจริญเติบโตของยางพาราที่ปลูกในพื้นที่นาร้าง. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 3 : 17-22.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. 2541. คู่มือปฏิบัติการสำรวจดิน. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฮูซัน บือราเฮง. 2559. อันตรกิริยาของแมกนีเซียมและอะลูมินัมต่อการดูดแมงกานีสและการเจริญ-เติบโตของยางพารา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Costa, B.M.T., Keasling, JD., Mahan. C.M. and Cornish. K. 2006. Magnesium ion regulation of in vitro rubber biosynthesis by Parthenium argentatum Gray. *Phytochemistry* 67 : 1621-1628.

Ding, Y. and Xu, G. 2011. Low magnesium with high potassium supply changes sugar partitioning and root growth pattern prior to visible magnesium deficiency in leaves of rice (Oryza sativa L.). American Journal of Plant Sciences 2 : 601-608.

Ding, Y., Luo, W. and Xu, G. 2006. Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. Ann Apply Biology 149 : 111-123.

Gaj Renata. 2010. Influence of different potassium fertilization level on nutritional status of winter wheat and on yield during critical growth stage. Journal of Elementol. 15(4) : 629-637.

Gransee, A. and Fuhrs. H. 2013. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. Plant Soil. 368 : 5-21.

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 Education.

Heenan, D.P. and Campbell L.C. 1981. Influence of potassium and manganese on growth and uptake of magnesium by soybeans (*Glycine max* (L.) Merr. cv. Bragg). Plant and Soil 61 : 447-456.

Inthichack, P., Nishimura, Y. and Fukumoto, Y. 2012. Effect of Potassium Sources and Rates on Plant Growth, Mineral Absorption, and the Incidence of Tip Burn in Cabbage, Celery, and Lettuce. Hort. Journal of Environ. Biotechnol 53(2) : 135-142.

Jones, J.B. 2003. Agronomic Handbook: Management of Crops Soil and Their Fertility. Boca Raton. CRC Press.

Karthikakuttyamma, M., Joseph, M. and Nair, A.N.S. 2000. Soil and nutrition. *In* Natural Rubber Agromanagement and Crop Processing. pp 170-198. Anaswara Printing and Pubishing Company, Cochin. Levels of Potassium. Agric. Res. Commun 1(1) : 30-38.

Merhaut, D.J. 2007. Magnesium. *In* Handbook of Plant Nutrition. (A.V. Barker and D.J. Pilblrameds). New York : CRC Press Tayor and Francis Group.

Narwal, R.P., Kumar, V..ard Singh, J.P. 1984 Potassinm and magnesium relationship in cowpea (Vigna unguiculuta (L.) Welp). Plant and soil 86 : 129-134

Nguyen, H., Maneepong. S. and Suranilpong P. 2016. Nutrient uptake and fruit quality of pummelo as influenced by ammonium, potassium, magnesium, zinc application. Journal of Agricultural Science. 8(1) : 1-10.

Poole, H.A. and Seeley, J.G. 1978. Nitrogen, Potassium and Magnesium Nutrition of Three Orchid Genera. Journal of American Society for Horticulture Science 103(4) : 1-7.

Rietra, R.P.J.J., Heinen, M., Dimkpa, C. and Bindraban, P.S. 2015. Effects of nutrient antagonism and synergism on fertilizer use efficiency. USA.

Skyllberg, U. 1999. pH and solubility of aluminium in acidic forest soils: a consequence of reactions between organic acidity and aluminium alkalinity. European Journal of Soil Science 50 : 95-106.

Tandon, H.L.S. 1992. Management of Nutrient Interactions in Agriculture. New Delhi : Print Process.

Troeh, F.R. and Thompson, L.M. 2005. Soils and Soil Fertility. New Delhi : Black well Publishing.

Troyanos, Y.E., Hipps, N.A., Moorby, J. and Kingswell, G. 2000. The effects of external potassium and magnesium concentrations on the magnesium and potassium inflow rates and growth of micropropagated cherry rootstocks, 'F.12/1' (Prunus avium L.) and 'Colt' (Prunus avium L.) × Prunus pseudocerasus L.). Plant and Soil 225 : 73–82.

Weerasuriya, S.M. and Yogatatnam, N. 1989. Effects of potassium and magnesium on leaf and bark nutrient contents of young *Hevea brasiliensis*. Journal of the Rubber Research Institute of Sri Lanka 69 : 1-20.

Yogaratnam, N. and Weerasuriya, S.M. 1984. Fertilizer responses in mature Hevea under Sri Lankan conditions. Res. Journal of the Rubber Research Institute of Sri Lanka 62 : 19-39.

Yu-Chuan, D., Chun-Rong, C., Wen, L., Yan-Shou, W., Xiao-Li, R., Ping, W. and Guo-Hua, X. 2008. High Potassium Aggravates the Oxidative Stress Inducedy by Magnesium Deficiency in Rice Leaves. Journal of Pedosphere 18(3) : 316–327.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวภัทรานิษฐ์ คงมาก
รหัสประจำตัวนักศึกษา 5810620028
วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2557

ทุนการศึกษา ทุนบัณฑิตศึกษาสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ภัทรานิษฐ์ คงมาก, จำเป็น อ่อนทอง และขวัญตา ขาวมี. 2560. สถานะและสัดส่วนของธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมในดินและในใบยางพาราที่ปลูกในที่ลุ่มและที่ดอน. วารสารพืชศาสตร์. (กำลังตีพิมพ์)