ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

Effects of Dolomite and Kieserite on Growth of Rubber Tree Sapling

ธนพันธ์ พงษ์ไทย

Tanapan Pongthai

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 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก
ผู้เขียน นายธนพันธ์ พงษ์ไทย
สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. จำเป็น อ่อนทอง)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....
(ดร.ขวัญตา ขาวมี)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อัจฉรา เพ็งหนู)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. จำเป็น อ่อนทอง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์)

.....กรรมการ
(ดร. ขวัญตา ขาวมี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. จำเป็น อ่อนทอง)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ.....
(ดร. ขวัญตา ขาวมี)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ.....
(นายธนพันธ์ พงษไทย)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นายธนพันธ์ พงษ์ไทย)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก
ผู้เขียน นายธนพันธ์ พงษ์ไทย
สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรดิน
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

พื้นที่ปลูกยางพาราส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นดินที่มีแมกนีเซียมต่ำ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของยางพารา จึงศึกษาผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นยางเล็ก โดยทำการทดลองปลูกยางพารา (พันธุ์ RRIM 600) ในดินที่มีแมกนีเซียมที่สกัดได้ต่ำ (<0.30 $cmol_c\ kg^{-1}$) ประกอบด้วย 2 การทดลอง คือ 1) เติมแมกนีเซียม (kieserite) ในอัตราต่าง ๆ คือ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม และ 2) เติมแมกนีเซียมในรูปโดโลไมต์และคีเซอไรต์ คือ 0, 0.5 และ 1.0 เซนติโมลประจุของแมกนีเซียมต่อกิโลกรัม ทำการทดลอง 5 ซ้ำ

ผลการทดลอง พบว่า การใส่แมกนีเซียม ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราเพิ่มขึ้น โดยตำรับที่เติมแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ทำให้ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้นสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองอื่น ๆ ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อยางพาราได้รับแมกนีเซียมมากเกินความเหมาะสมทำให้การเจริญเติบโตและความเข้มข้นของแคลเซียมในส่วนของก้าน ลำต้น รากแก้ว และรากแขนงลดลง ($P \leq 0.05$) และความเข้มข้นของโพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน โดยเฉพาะตำรับที่ใส่แมกนีเซียม 2.0 เซนติโมล-ประจุต่อกิโลกรัม ส่งผลให้ใบของยางพาราแสดงอาการขาดธาตุโพแทสเซียม

การใส่คีเซอไรต์ 0.5 เซนติโมลประจุของแมกนีเซียมต่อกิโลกรัม ทำให้การเจริญเติบโตของยางพาราสูงที่สุด ($P \leq 0.05$) โดยยางพารามีการดูดใช้และสะสมแมกนีเซียมและกำมะถัน รวมถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเพิ่มขึ้น แต่มีการดูดใช้และสะสมโพแทสเซียมและแคลเซียมลดลง ($P \leq 0.05$) ส่วนการเติมโดโลไมต์ 0.5 เซนติโมลประจุของแมกนีเซียมต่อกิโลกรัม ทำให้ยางพารามีการเจริญเติบโตน้อยกว่าการใส่คีเซอไรต์แต่มากกว่าตำรับควบคุม

เมื่อมีการใส่แมกนีเซียมในดินที่มีแมกนีเซียมต่ำ ทำให้ยางพารามีการตอบสนองต่อการใส่แมกนีเซียมได้ดี โดยการใส่แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ในรูปของคีเซอไรต์ทำให้การเจริญเติบโตของยางพาราดีกว่าการใส่โดโลไมต์ ดังนั้น ในพื้นที่ปลูกยางพาราจึงต้องมีการเพิ่มปุ๋ยแมกนีเซียมในรูปของคีเซอไรต์ในอัตราที่เหมาะสม

Thesis Title Effects of Dolomite and Kieserite on Growth of Rubber Tree Sapling

Author Mr. Tanapan Pongthai

Major Program Soil Resources Management

Academic Year 2016

ABSTRACT

Most of rubber plantation areas in Thailand are low magnesium (Extr. Mg) soils. It decreased growth and yield of rubber. This study investigated the effect of dolomite and kieserite on growth and nutrient uptake of rubber tree sapling. Budded stump RRIM 600 rubbers were planted in low extractable Mg soil (<0.30 $cmol_c$ Mg kg^{-1}). The experiments consisted of 2 experiments. 1) Rubber tree sapling were planted in soil containing 0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 $cmol_c$ Mg kg^{-1} and as dolomite and 2) kieserite containing 0, 0.5 and 1.0 $cmol_c$ Mg kg^{-1} with 5 replicates.

The results showed that the applying Mg increased magnesium concentration in rubber. Application of 0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1} made plant height and stem diameter highest than other treatments ($P \leq 0.05$). However, applying 2.0 $cmol_c$ Mg kg^{-1} decreased rubber growth and calcium concentration in petiole, stem, primary root and lateral root ($P \leq 0.05$). Moreover, high Mg was likely to decrease potassium concentration in rubber and caused potassium deficient symptoms in leaf.

Kieserite 0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1} increased growth of rubber ($P \leq 0.05$). The applying kieserite increased magnesium, sulfur and chlorophyll concentration in leaf rubber. But high kieserite was likely to decrease potassium and calcium uptake in rubber ($P \leq 0.05$). Moreover, the applying dolomite (0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) increased rubber growth but lower than kieserite treatments

Most of rubber plantation areas are low magnesium soils. Mg application made response on growth of rubber. Kieserite application at 0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1} increased rubber growth better than dolomite. Therefore, rubber plantation areas should be applied Mg fertilizer as kieserite and considered appropriate nutrient management for rubber growth.

กิตติกรรมประกาศ

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

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อัจฉรา เพ็งหนู ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแก้ไขข้อบกพร่องในด้านการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาธรณีศาสตร์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้และวิชาการด้านต่าง ๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาธรณีศาสตร์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ ขอขอบคุณเจ้าของสวนยางพาราที่ได้สละดินในสวนยางพาราสำหรับทำการศึกษาในครั้งนี้ และขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ภาควิชาธรณีศาสตร์ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

ธนพันธ์ พงษ์ไทย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการรูป	(10)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	15
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	15
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	16
วัสดุและสารเคมี	16
อุปกรณ์	17
วิธีการทดลอง	18
3. ผลการทดลอง	23
4. วิจารณ์ผลการทดลอง	56
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	68
ประวัติผู้เขียน	80

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ค่าวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง	23
3.2	สมบัติทางเคมีของดินหลังจากมีการปรับธาตุอาหารที่จำเป็นให้แก่ต้นยางเล็ก	24
3.3	การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กเมื่อเริ่มการทดลอง	25
3.4	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	28
3.5	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อความสูงของต้นยางเล็ก	29
3.6	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางเล็ก	30
3.7	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อจำนวนใบของต้นยางเล็ก	30
3.8	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อจำนวนฉัตรของต้นยางเล็ก	31
3.9	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบของต้นยางเล็ก	32
3.10	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในก้านของต้นยางเล็ก	32
3.11	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในลำต้นของต้นยางเล็ก	33
3.12	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในรากแก้วของต้นยางเล็ก	33
3.13	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในรากแขนงของต้นยางเล็ก	34
3.14	สมบัติทางเคมีของดินหลังจากมีการใส่โดโลไมต์และคีเซอไรต์ให้แก่ต้นยางเล็ก	39
3.15	การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กเมื่อเริ่มการทดลอง	40
3.16	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อความสูงของต้นยางเล็ก	43
3.17	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางเล็ก	43
3.18	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อจำนวนใบของต้นยางเล็ก	44
3.19	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อจำนวนก้านใบของต้นยางเล็ก	44
3.20	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อจำนวนฉัตรของต้นยางเล็ก	45
3.21	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	46
3.22	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบของต้นยางเล็ก	47
3.23	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในก้านของต้นยางเล็ก	48

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3.24	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในลำต้นของต้นยางเล็ก	48
3.25	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในรากแก้วของต้นยางเล็ก	49
3.26	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในรากแขนงของต้นยางเล็ก	49
3.27	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นยางเล็ก	55

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
3.1	เริ่มทำการทดลองปลูกต้นยางเล็ก	24
3.2	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินของต้นยางเล็ก	26
3.3	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตในส่วนรากของต้นยางเล็ก	26
3.4	ผลของแมกนีเซียม อัตรา 2.0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ต่ออาการแตกของรากแก้วและอาการเน่าของรากแขนง	27
3.5	ผลของระดับแมกนีเซียมต่ออาการแสดงออกของใบของต้นยางเล็ก	27
3.6	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการดูดใช้แมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	35
3.7	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการดูดใช้โพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	36
3.8	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการดูดใช้แคลเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	36
3.9	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	37
3.10	ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	38
3.11	เริ่มทำการทดลองปลูกต้นยางเล็ก	39
3.12	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก	41
3.13	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตในส่วนรากของต้นยางเล็ก	42
3.14	อาการผิดปกติของต้นยางเล็กหลังจากใส่โดโลไมต์ (1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$)	42
3.15	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้แมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของยางพารา	51
3.16	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้กำมะถันในส่วนใบของต้นยางเล็ก	51
3.17	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้โพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	53
3.18	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้แคลเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	53
3.19	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	54
3.20	ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก	54

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพารา ประมาณ 23.33 ล้านไร่ กระจายอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) การปลูกยางพาราให้ประสบความสำเร็จจำเป็นต้องมีการจัดการอย่างเหมาะสม ทั้งนี้ การปลูกยางพาราให้ประสบความสำเร็จจำเป็นต้องมีการจัดการปุ๋ยอย่างเหมาะสม โดยในอดีตมีการใส่ปุ๋ยที่ประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม (นุชนารถ, 2554 ; Rubber Research Institute of Malaya, 1963) แต่หลังปี พ.ศ. 2521 มีการตัดแมกนีเซียมออกจากสูตรปุ๋ยยางพารา เพราะดินปลูกยางพาราในประเทศไทยยังมีระดับแมกนีเซียมที่เพียงพอ เนื่องจากเป็นการเปิดป่าใหม่ จึงทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง และยังมีแมกนีเซียมในดินที่เพียงพอต่อความต้องการของยางพารา (ปราโมทย์ และคณะ, 2525) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีการปลูกยางพาราติดต่อกันซ้ำบนพื้นที่เดิมเป็นเวลานาน โดยไม่มีการใส่แมกนีเซียม ทำให้แมกนีเซียมในดินลดลงจากการสูญเสียไปกับน้ำยางและไม้ยาง ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของยางพาราได้ โดยแมกนีเซียมจัดเป็นธาตุอาหารรองที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของยางพารา ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ ซึ่งมีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้ แมกนีเซียมยังมีบทบาทที่สำคัญในการผลิตทางชีววิทยาของพืชหลายอย่าง เช่น แมกนีเซียมทำหน้าที่เกี่ยวกับกระบวนการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (ยงยุทธ, 2558) ช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ การสร้างโปรตีน การถ่ายโอนพลังงาน และเป็นตัวนำพาฟอสฟอรัสในการดูดซึมจากรากไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช (วิจิตร, 2552) หากพืชที่ได้รับแมกนีเซียมไม่เพียงพอ จะแสดงอาการใบเหลืองระหว่างเส้นใบในขณะที่เส้นใบยังคงเขียวอยู่ (Marschner, 1995) กรณีขาดแมกนีเซียมที่รุนแรงในยางพารา ทำให้ใบร่วง การเจริญเติบโต และผลผลิตลดลง (สถาบันวิจัยยาง, 2556) อย่างไรก็ตาม การใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมที่มากเกินไป อาจมีผลให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุ

โพแทสเซียมและแคลเซียม ซึ่งธาตุเหล่านี้จะมีอันตรกิริยาเชิงลบในแง่การดูดธาตุอาหารพืช หากธาตุใดธาตุหนึ่งมีมากเกินไป พืชก็จะดูดใช้ธาตุนั้นได้มาก แต่จะไปลดการดูดใช้ของอีกธาตุหนึ่ง (ยงยุทธ, 2558)

มีรายงานว่า ในน้ำยาง 1 ตัน จะสูญเสียแมกนีเซียม 5 กิโลกรัม หากมีการสูญเสียแมกนีเซียมอย่างต่อเนื่อง อาจทำให้ยางพาราขาดแมกนีเซียม ส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลงได้ โดยระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เพียงพอในดินควรมากกว่า 0.30 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม (นุชนารถ, 2554) แต่มีรายงานว่าในพื้นที่ภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคเหนือ มีระดับของแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมถึงร้อยละ 87, 64, 58 และ 39 ตามลำดับ สำหรับดินปลูกยางพาราในภาคใต้มีแมกนีเซียม เฉลี่ย 0.18 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม (นุชนารถ และคณะ, 2556) ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าความต้องการของยางพารา จึงจำเป็นต้องเพิ่มแมกนีเซียมในดินในรูปของปุ๋ย เพื่อให้แมกนีเซียมในดินเพียงพอต่อการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ของยางพารา

การเพิ่มแมกนีเซียมในดินสามารถใส่ได้หลายรูป ได้แก่ แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แมกนีเซียมไนเทรต ($Mg(NO_3)_2{\cdot}6H_2O$) แมกนีไซต์ ($MgCO_3$) แลงไบไนต์ ($K_2SO_4{\cdot}MgSO_4$) ปูนโดโลไมต์ ($CaMg(CO_3)_2$) และคีเซอไรต์ ($MgSO_4{\cdot}H_2O$) เป็นต้น (Havlin *et al*., 2005) อย่างไรก็ตาม สารประกอบแมกนีเซียมที่นิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในประเทศไทยและหาง่ายในท้องตลาด ได้แก่ แมกนีเซียมในรูปของปูนโดโลไมต์และคีเซอไรต์ ซึ่งทั้งสองรูปจะมีสมบัติต่างกัน กล่าวคือ ปูนโดโลไมต์ เป็นสารประกอบที่มีทั้งธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียม และมีสมบัติในการปรับปรุงดินกรด แต่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย ซึ่งปลดปล่อยธาตุอาหารได้ช้าและไม่แน่นอน (ยงยุทธ และคณะ, 2556) ส่วนคีเซอไรต์เป็นสารประกอบแมกนีเซียมที่ละลายน้ำได้ง่าย พืชสามารถดูดใช้ได้ทันทีสามารถเป็นปุ๋ยที่ใช้ได้ทั้งทางดินและฉีดพ่นทางใบ ซึ่งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของดิน (Silva, 2000) จะเห็นได้ว่าแมกนีเซียมทั้งสองรูปนี้ต่างก็มีสมบัติเด่นที่แตกต่างกัน ดังนั้น สามารถเลือกใช้แมกนีเซียมทั้งสองรูปนี้ในดินปลูกยางพาราได้ ซึ่งปัจจุบันมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใส่แมกนีเซียมให้แก่ยางพารา เพราะแมกนีเซียมในดินมีอยู่น้อยมากจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของยางพารา มีรายงานว่าการใส่โดโลไมต์ในดินปลูกยางพาราสามารถช่วยปรับปรุงดินกรด ซึ่งส่งผลให้ยางพารามีการ

เจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Damrongrak *et al*., 2015) ส่วนการใส่คีเซอไรต์ ส่งผลให้ยางพารามีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเช่นกัน (นุชนารถ และคณะ, 2540 ; Yogaratnam and Weerasuriya, 1984) แต่ยังไม่มีรายงานการศึกษาผลของแมกนีเซียมในรูปโดโลไมต์เปรียบเทียบกับคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้แมกนีเซียมและธาตุอาหารอื่น ๆ และการเจริญเติบโตของยางพารา ดังนั้น จึงสนใจศึกษาผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของยางพารา

2. การตรวจเอกสาร

2.1 ความสำคัญของยางพารา

ยางพารามีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบทวีปอเมริกาใต้บริเวณลุ่มน้ำอะเมซอนของประเทศบราซิล โดยยางพารามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. จัดอยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae การนำยางพาราจากแหล่งกำเนิดมาปลูกในประเทศแถบเอเชีย เริ่มขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2403 แต่ยังไม่ประสบผลสำเร็จ ซึ่งได้มีการปลูกอยู่หลายครั้งจนกระทั่งประสบผลสำเร็จในปี พ.ศ. 2419 โดย เซอร์เฮนรี วิคแฮม ได้ย้ายต้นกล้ายางพาราที่ได้จากการเพาะเมล็ดในสวนพฤกษชาติคิวของประเทศอังกฤษ ไปปลูกที่สวนพฤกษชาติเฮเนอร์เรทโกดาของประเทศศรีลังกา ต่อมาในปี พ.ศ. 2420 ได้กระจายต้นกล้ายางพาราจากประเทศศรีลังกาเข้ามาปลูกยังประเทศสิงคโปร์และรัฐเปรัคในประเทศมาเลเซีย (องค์การสวนยาง, 2555) จากนั้นได้มีการกระจายพันธุ์ยางพาราไปปลูกยังประเทศต่าง ๆ ในแถบเอเชีย ได้แก่ ประเทศไทย อินโดนีเซีย มาเลเซีย จีน อินเดีย เวียดนาม ศรีลังกา ฟิลิปปินส์ กัมพูชา เมียนมา ปาปัวนิวกินี และบังคลาเทศ (สุภาพร, 2550)

ประเทศไทยได้ปลูกยางพาราสำเร็จในปี พ.ศ. 2442 โดยพระยารัษฎานุประดิษฐ์มหิศร-ภักดี (คอซิมบี้ ณ ระนอง) ได้นำยางพาราจากประเทศมาเลเซียมาปลูกที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง ต่อมาในปี พ.ศ. 2451 หลวงราชไมตรี (ปุณ ปุณศรี) ได้นำพันธุ์ยางพาราไปปลูกในภาคตะวันออกเป็นครั้งแรกที่จังหวัดจันทบุรี และหลังจากนั้นมีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราการกระจายตัวอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย (องค์การสวนยาง, 2555) การที่ยางพาราเป็นพืชที่นิยมปลูกกันมากในประเทศไทย เนื่องมาจากประเทศไทยมีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการปลูก ทั้งสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ ทั้งนี้ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นที่ให้ผลผลิตที่ยาวนาน สามารถให้ผลผลิตยางธรรมชาติและผลิตภัณฑ์จากเนื้อไม้ยางพารา ซึ่งสามารถขายได้ทุกคุณภาพ และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้มากมาย

จึงทำให้ยางพาราเป็นตัวแทนของยางธรรมชาติและเป็นพืชอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558)

ปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราเป็นอันดับ 2 ของโลก รองจากประเทศอินโดนีเซีย โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพารา 23.33 ล้านไร่ และเป็นประเทศผู้ผลิตที่สำคัญอันดับหนึ่งของโลก ซึ่งในปี พ.ศ. 2558 สามารถสร้างผลผลิตยางธรรมชาติสูงถึง 4.46 ล้านตัน ทั้งนี้ประเทศไทยยังเป็นผู้ส่งออกยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลก คือ 3.80 ล้านตัน สูงกว่าประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย และเวียดนาม คือ 2.90, 1.36 และ 1.22 ล้านตัน ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ราคาของผลผลิตยางพาราที่เกษตรกรได้รับ จะมีความแปรปรวนกันไปในแต่ละปีขึ้นอยู่กับกลไกตลาดโลก แม้ว่าในปี พ.ศ. 2558 ราคายางพาราจะลดลงเฉลี่ยเหลือ 44.17 บาทต่อกิโลกรัม ต่างจากปี พ.ศ. 2554 โดยสิ้นเชิง ที่มีราคายางพาราสูงถึง 124 บาทต่อกิโลกรัม แต่มูลค่าของผลผลิตตามราคาที่เกษตรกรขายได้ในปี พ.ศ. 2558 ยังสูงกว่าปี พ.ศ. 2552 คือ 197,263 และ 180,689 ล้านบาท ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) แม้ว่าปัจจุบันราคายางพาราจะตกต่ำ แต่ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นซึ่งให้ผลผลิตที่ยาวนาน สามารถสร้างความมั่นคงให้เกษตรกรชาวสวนยางพาราได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันจึงมีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราเพิ่มขึ้น และมีการส่งเสริมการปลูกยางพาราตามหลักวิชาการและคำแนะนำพันธุ์ยางพาราเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้เกษตรกรสามารถปลูกและผลิตยางพาราได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สถาบันวิจัยยาง, 2559)

2.2 สมบัติของดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกยางพารา

ยางพาราเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในภูมิอากาศเขตร้อนชื้น สำหรับประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตร้อน ละติจูด 5 องศา 37 ลิปดาเหนือ 20 องศา 27 ลิปดาเหนือ และระหว่างลองจิจูด 97 องศา 22 ลิปดาตะวันออก กับ 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก จึงมีสภาพเหมาะสมต่อการปลูกยางพารา ทำให้ยางพาราสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศ ทั้งนี้ยางพารายังเป็นพืชที่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี จึงทำให้ปัจจุบันมีการปลูกยางพารากระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม การปลูกยางพาราให้เจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสูงนั้น นอกจากสภาพภูมิอากาศและสภาพพื้นที่เหมาะสมแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายประการ เช่น พันธุ์ยาง การบำรุงรักษาสวนยาง ระบบการกรีดยาง โรคและศัตรูยาง เป็นต้น นอกจากนี้ ดินเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนกว่าปัจจัยอื่น ๆ ที่กล่าวมา เนื่องจากดินเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของยางพารา (นุชนารถ, 2552)

การเลือกดินที่เหมาะสมกับการปลูกยางพาราเป็นเรื่องสำคัญเพราะถ้าสภาพดินที่ปลูกไม่เหมาะสม ยางพาราจะมีอาการแคระแกรน ใบเล็ก ไม่สมบูรณ์ และการเจริญเติบโตไม่สม่ำเสมอ

ทำให้ผลผลิตต่ำ ดังนั้นการปลูกยางพาราจึงควรเลือกพื้นที่ที่มีดินเหมาะสมโดยพิจารณาถึงสมบัติต่าง ๆ ทั้งสมบัติทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี ดังต่อไปนี้

2.2.1 สมบัติทางกายภาพของดิน สมบัติทางกายภาพเป็นสมบัติที่มองเห็นและสัมผัสได้ มีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืช สมบัติทางกายภาพหลัก ๆ ประกอบด้วย เนื้อดิน ความหนาแน่นรวมของดิน และความชื้นในดิน (นุชนารถ และคณะ, 2556)

2.2.1.1 เนื้อดิน (soil texture) เนื้อดินเป็นสมบัติทางกายภาพขั้นมูลฐาน ซึ่งจะมีผลควบคุมสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ของดิน โดยเนื้อดินสามารถบ่งบอกถึงขนาดหรือความหยาบและความละเอียดของอนุภาคอนินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของดิน ซึ่งสัดส่วนโดยมวลของอนุภาคอนินทรีย์จะเป็นตัวกำหนดประเภทของเนื้อดิน เนื้อดินถูกจำแนกเป็น 3 กลุ่มขนาด (soil separates) ได้แก่ กลุ่มอนุภาคขนาดทราย (sand) จัดเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ที่สุดในดิน กลุ่มอนุภาคทรายตะกอนหรืออนุภาคทรายแป้ง (silt) จัดเป็นกลุ่มขนาดปานกลาง และกลุ่มอนุภาคดินเหนียว (clay) จัดเป็นกลุ่มขนาดเล็กที่สุดในดิน โดยอนุภาคดินแต่ละขนาดมีผลมาจากสมบัติทางธรณีสัณฐานและวัตถุต้นกำเนิดดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) สำหรับสมบัติของเนื้อดินแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ดินเนื้อหยาบ และดินเนื้อละเอียด

ดินเนื้อหยาบ มีความสามารถในการดูดน้ำและธาตุอาหารได้น้อย ดินจึงมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ โดยมีรายงานการปลูกยางพาราในดินทราย พบว่า ดินทรายมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่ำ การระบายน้ำดี และในฤดูแล้งดินจะแห้งมาก ทำให้ยางพาราเจริญเติบโตช้า แคระแกรน และเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ช้ากว่าดินทั่วไป (พิเชษฐ์ และคณะ, 2547) ซึ่งส่วนใหญ่พื้นที่ปลูกยางพาราจะเป็นดินเนื้อหยาบ โดยกลุ่มดินเนื้อหยาบที่ปลูกยางพารา สามารถแบ่งได้เป็นหลายเนื้อดิน ได้แก่ ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ซึ่งเป็นเนื้อดินที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกยางพารา (สุทัศน์, 2554) ดินร่วนปนทราย (sandy loam) ดินทรายปนดินร่วน (loamy sand) ดินร่วน (loam) และดินร่วนเหนียวปนทราย โดยชุดดินที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ชุดดินร้อยเอ็ด สตึก วังสะพุง นครพนม วาริน เชียงคาน เชียงแสน คลองซาก ท่ายาง บ้านจ้อง โป่งตอง วังชมพู สันป่าตอง ห้างฉัตร หางดง ตรัง ท่าแซะ ท่าใหม่ บางนารา แกลง ชุมพร ทุ่งหว้า ฝั่งแดง ภูเก็ต รือเสาะ วิสัย หาดใหญ่ อ่าวลึก คอหงส์ นาทวี และชุดดินคลองท่อม (นุชนารถ และคณะ, 2556)

ดินเนื้อละเอียด มีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าดินเนื้อหยาบ แต่มีการระบายน้ำเลว อาจเกิดการท่วมขังของน้ำได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของยางพารา มีรายงานว่าต้นยางพาราพันธุ์พื้นเมืองหรือต้นยางพาราพันธุ์ดีที่ปลูกในดินที่มีการระบายน้ำเลว จะมีลักษณะลำต้นแคระแกรน โคนต้นใหญ่ แตกพุ่มเตี้ย และมีใบเหลืองซีดคล้ายขาดธาตุไนโตรเจน บางครั้งอาจพบการแห้งตายของปลายยอด นอกจากนี้ ยังพบว่า ยางพาราที่เจริญเติบโตในดินที่มีการระบายน้ำเลวมีโอกาสเกิดโรครากขาวและการระบาดของโรคจะรุนแรงกว่ายางพาราที่ปลูกในดินที่การระบาย

อากาศดี (ปราโมทย์ และสมเจตน์, 2530) โดยกลุ่มดินเนื้อละเอียดที่ปลูกยางพารา สามารถแบ่งได้เป็น 2 เนื้อดิน ได้แก่ ดินเหนียวและดินร่วนเหนียว โดยชุดดินที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ชุดดินกบินทร์บุรี โชคชัย เชียงคาน พะเยา รือเสาะ และชุดดินเลย (นุชนารถ และคณะ, 2556)

2.2.1.2 ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) ความหนาแน่นรวมของดินเป็นตัวบ่งชี้อย่างหนึ่งถึงระดับการอัดตัวของอนุภาคของดิน โดยดินทั่วไปมีความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 1.0-1.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับดินเนื้อหยาบมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 1.2-1.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และดินเนื้อละเอียดมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 1.0-1.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยค่าเฉลี่ยประมาณ 1.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยดินที่มีค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จัดว่าเป็นดินที่มีการอัดตัวแน่น ทำให้รากของพืชไม่สามารถชอนไชได้ง่าย (Brady and Weil, 2008) ส่งผลให้การดูดน้ำและธาตุอาหารของพืชน้อยลง จึงทำให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ไม่สมบูรณ์ ความหนาแน่นรวมของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกของดิน เนื่องจากดินบนมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าดินล่าง นอกจากนี้การเคลื่อนย้ายอนุภาคดินเหนียวลงไปสะสมในชั้นดินล่าง ทำให้อนุภาคขนาดเล็กของดินเหนียวแทรกไปตามช่องว่างของดินทำให้ดินล่างมีความหนาแน่นมากขึ้น รวมทั้งความชื้นของดินขึ้นอยู่กับการเขตกรรมและการปฏิบัติของเกษตรกร ซึ่งจะสัมพันธ์กับความหนาแน่นรวมของดิน เนื้อดินและปริมาณอินทรียวัตถุในดินและยังขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ที่ดินในการปลูกพืชและการเขตกรรมที่ไม่เหมาะสมทำให้ดินมีความแน่นทึบได้เช่นกัน โดยมีรายงานผลของความหนาแน่นรวมของดินในพื้นที่ปลูกยางพารา พบว่า ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าความหนาแน่นรวมของดินอยู่ในระดับต่ำถึงค่อนข้างสูง โดยมีค่าความหนาแน่นรวมของดินบน (ความลึก 0-30 cm) อยู่ในช่วง 1.08-1.81 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และดินล่าง (ความลึก 30-60 cm) อยู่ในช่วง 1.14-2.00 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ภาคเหนือมีค่าความหนาแน่นรวมของดินบนอยู่ในช่วง 1.01-1.76 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และดินล่างอยู่ในช่วง 1.35-1.84 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ภาคตะวันออกมีค่าความหนาแน่นรวมของดินบนอยู่ในช่วง 1.30-1.85 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และดินล่างอยู่ในช่วง 1.37-1.82 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และภาคใต้มีค่าความหนาแน่นรวมของดินบนอยู่ในช่วง 1.17-1.73 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และดินล่างอยู่ในช่วง 1.17-1.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (นุชนารถ และคณะ, 2556)

2.2.1.3 ความชื้นในดิน (soil moisture) เป็นสมบัติที่แสดงถึงปริมาณน้ำในดิน ซึ่งจะสัมพันธ์กับความหนาแน่นรวมของดิน โดยดินเนื้อละเอียดมีความสามารถในการเก็บความชื้นในดินได้ดีกว่าดินเนื้อหยาบ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) มีรายงานการศึกษาระดับความจุความชื้นภาคสนาม (field capacity) ของดิน ในพื้นที่ปลูกยางพาราแต่ละภูมิภาค พบว่า ภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือมีความชื้นในดินต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยความชื้นในดินบนอยู่ในช่วง ร้อยละ 8.5-29.8 ภาคเหนือมีค่าเฉลี่ยความชื้นในดินบนอยู่ในช่วง ร้อยละ 15.34-40.88 ภาคตะวันออกมีค่าเฉลี่ยความชื้นของดินบนอยู่ในช่วง ร้อยละ 8.19-25.12 และภาคใต้มีค่าเฉลี่ยความชื้นในดินบนอยู่ในช่วง ร้อยละ 5.23-25.64 (นุชนารถ และคณะ, 2556) ดินที่มีความชื้นในดินต่ำทำให้พืชขาดน้ำได้ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และอาจส่งผลให้พืชตายได้ ดังนั้น จึงต้องมีการให้น้ำแก่พืชเพิ่มเติม โดยมีรายงานการให้น้ำแก่ต้นยางพาราในช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ - มิถุนายน) พบว่า ต้นยางพาราที่มีการให้น้ำ ทำให้ผลผลิตของยางพาราสูงขึ้น และเนื้อยางแห้งเฉลี่ยสูงกว่าต้นยางพาราที่ไม่มีการให้น้ำ (ประเสริฐ และคณะ, 2557) นอกจากนี้การให้น้ำแก่ต้นยางพาราส่งผลให้ค่าศักย์ของน้ำในใบและค่าการชักนำปากใบในรอบวันมีแนวโน้มสูงกว่ายางพาราที่ไม่มีการให้น้ำ (สุเมธ และคณะ, 2550)

2.2.2 สมบัติทางชีวภาพของดิน เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตในดิน โดยสิ่งมีชีวิตในดินจะมีบทบาทสำคัญต่อความอุดมสมบูรณ์และการพัฒนาของดิน กล่าวคือ เมื่อสิ่งมีชีวิตในดินมีการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ภายในดิน เช่น การขุดคุ้ยเพื่อหาอาหารหรือเป็นที่อยู่อาศัย รวมถึงการกัดย่อยเศษซากต่าง ๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินได้ เช่น การสร้างรังและการขุดคุ้ยไชชอนดินของมด ปลวก แมลง หรือไส้เดือนดิน ทำให้เกิดการพลิกดิน การผสมคลุกเคล้าอินทรียวัตถุในดิน หรือการผสมคลุกเคล้าดินบนกับดินล่าง เกิดการนำธาตุอาหารจากดินล่างขึ้นมาสู่ดินบน และทำให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่ในดิน ซึ่งทำให้การระบายน้ำและถ่ายเทอากาศดีขึ้น นอกจากนี้ สิ่งมีชีวิตในดินยังมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายเศษซากพืชและซากสัตว์ให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งจะเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ดิน (ทัศนีย์ และประทีป, 2554) ได้แก่ แบคทีเรีย แอคทีโนมัยซิส รา โปรโตซัว และไวรัส ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายอินทรียวัตถุ การแปรสภาพอนินทรีย์ การตรึงไนโตรเจน และการย่อยสลายสารเคมี เป็นต้น ทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ของดิน และความหลากหลายทางชีวภาพของดินมากขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

2.2.3 สมบัติทางเคมีของดิน เป็นสมบัติที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน และมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืช สมบัติทางเคมีของดินหลัก ๆ ได้แก่ ปฏิกิริยาดิน อินทรียวัตถุ และธาตุอาหารในดิน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.3.1 ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) เป็นสมบัติทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร การดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน ในทางปฐพีวิทยาดินที่มีสภาพเป็นกลาง คือ มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.6-7.3 ถ้าดินมีพีเอชน้อยกว่า 6.6 จัดว่าเป็นดินกรด ในขณะที่ดินมีพีเอชสูงกว่า 7.3 จัดเป็นดินด่าง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) สำหรับประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ดินส่วนใหญ่อยู่ในอันดับอัลทิซอลส์ (Ultisols) ซึ่งเป็นดินที่

มีการพัฒนาการสูง เนื่องจากผ่านกระบวนการผุพังสลายตัวมายาวนาน และมีสภาพเป็นกรด เรียกว่า ดินกรดเขตร้อน (อภิศักดิ์, 2543) โดยทั่วไปดินกรดเขตร้อนมีปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองต่ำ แต่มีจุลธาตุบางธาตุสูง เช่น เหล็กและแมงกานีส ที่มีมากจนเป็นพิษต่อพืช เนื่องจากทั้งสองธาตุนี้ละลายได้ดีในดินที่มีพีเอชต่ำ มีรายงานว่า ดินกรดทำให้ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินลดลงในขณะที่แมงกานีสเพิ่มขึ้น (Heenan and Campbell, 1981) การที่ดินมีปริมาณแมงกานีสสูงอาจทำให้เกิดความไม่สมดุลกันระหว่างธาตุอาหาร กล่าวคือ แมงกานีสจะมีอันตรกิริยาในเชิงลบกับธาตุอาหารอื่น ๆ เช่น แมกนีเซียมไอออนและแคลเซียมไอออน (Stępniewska *et al*., 2010) จะเห็นได้ว่าระดับพีเอชของดินเป็นสมบัติทางเคมีที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์และความเป็นพิษของธาตุอาหารพืชในดิน โดยพีเอชของดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช อยู่ในช่วง 5.5-7.0 อย่างไรก็ตาม ระดับพีเอชของดินจะมีผลต่อพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน (ยงยุทธ และคณะ, 2556)

ดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกยางพาราควรมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4.5-5.5 (นุชนารถ, 2554) มีรายงานระดับพีเอชของดินปลูกยางพาราในประเทศไทย ดังนี้ ภาคเหนือและภาคตะวันออกมีค่าพีเอชของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา ร้อยละ 63 และ 46 ตามลำดับ แต่ดินปลูกยางพาราในภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าพีเอชของดินต่ำกว่า 4.5 ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารามีร้อยละ 81 และ 65 แสดงให้เห็นว่า ดินปลูกยางภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพีเอชของดินต่ำ ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชบางธาตุลดลง (นุชนารถ และคณะ, 2556)

2.2.3.2 อินทรียวัตถุในดิน (organic matter) เป็นสมบัติหนึ่งที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยอินทรียวัตถุมีความสัมพันธ์ต่อสมบัติทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมีของดิน กล่าวคือ อินทรียวัตถุมีสมบัติเป็นสารเชื่อมช่วยให้โครงสร้างของดินดี ดินมีสภาพร่วนซุย ระบายอากาศได้ดี มีความสามารถในการดูดซับแคตไอออนและแอนไอออนได้สูง ช่วยต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดิน มีการซาบซึมน้ำดี และดูดซับน้ำไว้ได้มากซึ่งอินทรียวัตถุสามารถดูดน้ำได้ประมาณ 6-20 เท่าของน้ำหนัก นอกจากนี้ อินทรียวัตถุยังเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืชได้อีกด้วย (Brady and Weil, 2008) โดยปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไนโตรเจนในดิน เมื่ออินทรียวัตถุสลายตัวจะปลดปล่อยไนโตรเจนจากสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจนให้เป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ดังนั้น ปริมาณของไนโตรเจนในดินจึงสอดคล้องกับปริมาณของอินทรียวัตถุในดิน (นุชนารถ และคณะ, 2556)

อินทรียวัตถุ ประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ คาร์บอนร้อยละ 58 ไฮโดรเจนร้อยละ 10 ออกซิเจนร้อยละ 20 ไนโตรเจนร้อยละ 5 ฟอสฟอรัสร้อยละ 1 และกำมะถันร้อยละ 1 (จำเป็น, 2557) ดังนั้น การเติมอินทรียวัตถุยังเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินอีกทางหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ดินเขตร้อนจะมีอินทรียวัตถุในปริมาณที่ต่ำ มีการศึกษาจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดินปลูก

ยางพาราตามปริมาณอินทรียวัตถุในดิน พบว่า ดินปลูกยางพาราของประเทศไทย ร้อยละ 35 มีอินทรียวัตถุอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง และมีแค่ส่วนน้อยเท่านั้นที่มีอินทรียวัตถุต่ำ (อินทรียวัตถุ < 10 g kg^{-1}) (สมยศ และคณะ, 2536) ดินปลูกยางพารามีปริมาณอินทรียวัตถุที่ต่างกันไปแต่ละภูมิภาค เช่น ภาคตะวันออก ภาคใต้ ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยดินส่วนใหญ่มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา (อินทรียวัตถุ 10-25 g kg^{-1}) ร้อยละ 79, 71, 54 และ 50 ตามลำดับ สำหรับดินปลูกยางพาราในภาคใต้ ร้อยละ 25 มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่า 10 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา (นุชนารถ และคณะ, 2556) โดยเฉพาะดินในจังหวัดสงขลาที่มีอินทรียวัตถุในดินบน (0-30 cm) 9-13 กรัมต่อกิโลกรัม ส่วนดินล่าง (30-60 cm) มีเพียง 3-5 กรัมต่อกิโลกรัม (จักรกฤษณ์ และคณะ, 2556) ดังนั้นเกษตรกรควรมีการเพิ่มอินทรียวัตถุในดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อความอุดมสมบูรณ์ของดินต่อการเจริญเติบโตของยางพารา

2.2.3.3 ธาตุอาหารในดิน เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มีทั้งหมด 17 ธาตุ ซึ่งจะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ 1) มหธาตุ (macronutrient element) เป็นธาตุที่พืชต้องการเป็นปริมาณมาก โดยทั่วไปพบว่าในน้ำหนักแห้งของพืชมีความเข้มข้นของธาตุในกลุ่มนี้ ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) และกำมะถัน (S) โดยไม่รวมคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) แม้จะพบในพืชมากก็ตาม และ 2) จุลธาตุ (micronutrient element) หรือธาตุอาหารเสริม ซึ่งธาตุอาหารในกลุ่มนี้พืชต้องการปริมาณน้อยกว่ากลุ่มแรก โดยทั่วไปจะพบในพืชน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) โบรอน (B) โมลิบดินัม (Mo) ทองแดง (Cu) คลอรีน (Cl) และนิกเกิล (Ni) หากในดินขาดธาตุใดธาตุหนึ่งพืชจะไม่สามารถดำรงชีวิตและให้ผลผลิตได้อย่างปกติจนครบวงจร (จำเป็น, 2557)

ดินปลูกยางพาราในประเทศไทยส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมักขาดธาตุอาหารหลายธาตุพร้อมกัน นุชนารถ และคณะ (2556) รายงานว่า ดินปลูกยางทุกภาคส่วนใหญ่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำกว่าระดับเหมาะสม (< 11 mg kg^{-1}) โดยเฉพาะภาคใต้ที่มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมถึงร้อยละ 92 ของดินที่ศึกษา รองลงมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคตะวันออก ร้อยละ 79, 61 และ 50 ตามลำดับ สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็น

ประโยชน์ในดินปลูกยางพาราทั่วทุกภูมิภาค ร้อยละ 71-93 ยังต่ำกว่าระดับเหมาะสม (11 mg kg^{-1}) ถึงแม้ในดินจะมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในระดับสูงก็ตาม ส่วนโพแทสเซียมในดินปลูกยางพาราส่วนใหญ่ก็ยังต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม (40 mg kg^{-1}) โดยภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่ำถึงร้อยละ 90 และ 68 ตามลำดับ จึงเห็นได้ว่า ดินปลูกยางพาราในประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำและขาดธาตุหลายธาตุพร้อมกัน โดยเฉพาะพื้นที่ปลูกยางพาราในภาคใต้ มีรายงานปริมาณธาตุอาหารในดินปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลา พบว่า มีไนโตรเจนทั้งหมด 0.47-0.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 8-15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 29-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (จักรกฤษณ์ และคณะ, 2556) จึงจำเป็นต้องมีการจัดการธาตุอาหารในดินปลูกยางพารา โดยสถาบันยางพาราได้แนะนำให้ใช้ปุ๋ยสำหรับยางพาราก่อนเปิดกรีดในเขตปลูกยางเดิม สูตร 20-8-20 เขตปลูกยางใหม่ สูตร 20-10-12 ในดินร่วนเหนียว และสูตร 20-10-17 ในดินร่วนทราย ส่วนยางพาราหลังเปิดกรีด สูตร 29-5-18 (นุชนารถ และคณะ, 2556) อย่างไรก็ตาม สถาบันยางพาราได้แนะนำให้ใส่เฉพาะธาตุอาหารหลัก โดยไม่คำนึงถึงธาตุอื่น ๆ โดยเฉพาะธาตุอาหารรอง เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม และกำมะถัน ซึ่งมีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าธาตุอาหารหลัก เพราะตลอดการปลูกยางพาราส่วนใหญ่ไม่มีการเติมธาตุเหล่านี้ จึงอาจทำให้ในดินมีธาตุเหล่านี้ลดลงจนอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของยางพารา โดยเฉพาะแมกนีเซียมซึ่งเป็นธาตุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการผลิตทางชีววิทยาหลายอย่างของพืช

2.3 ความสำคัญของแมกนีเซียม

แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก และสะสมในเนื้อเยื่อพืชซึ่งมีความเข้มข้นมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2558) อย่างไรก็ตาม พืชแต่ละชนิดมีความต้องการแมกนีเซียมต่างกัน โดยเฉพาะยางพาราซึ่งเป็นไม้ยืนต้นที่ต้องการแมกนีเซียมในปริมาณมาก โดยยางพาราจะสูญเสียแมกนีเซียมไปกับน้ำยาง 5 กิโลกรัมต่อน้ำยาง 1 ตัน เท่ากับปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่สูญเสียไปกับน้ำยาง (นุชนารถ และคณะ, 2556) จะเห็นได้ว่า แมกนีเซียมมีความสำคัญกับยางพารามาก แต่เกษตรกรส่วนใหญ่กลับไม่เห็นความสำคัญ เพราะแมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรอง และในอดีตมีแมกนีเซียมในดินเพียงพอต่อความต้องการของยางพารา เนื่องจากเป็นการเปิดป่าใหม่ (ปราโมทย์ และคณะ, 2525) หากมีการสูญเสียแมกนีเซียมไปกับผลผลิตเป็นเวลานานโดยไม่มีการใส่ทดแทน อาจทำให้เหลือน้อยจนไม่เพียงพอต่อความต้องการและอาจส่งผลกระทบต่อยางพาราได้

2.3.1 บทบาทของแมกนีเซียมในยางพารา แมกนีเซียมเป็นแคตไอออนที่มีประจุบวกสอง มีขนาดเล็ก มีมากในแวคิวโอล ทำหน้าที่ในการควบคุมสมดุลระหว่างแคตไอออนกับแอนไอออน เป็นส่วนประกอบในคลอโรพลาสต์และไซโตพลาซึม แมกนีเซียมส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนที่เป็นสีเขียวของพืช โดยสะสมอยู่มากในใบ ซึ่งแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ โดยแมกนีเซียมเป็นอะตอมที่อยู่กึ่งกลางโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ แต่ละโมเลกุลของคลอโรฟิลล์มีแมกนีเซียมอยู่ร้อยละ 6-25 (ยงยุทธ, 2558) ทั้งนี้แมกนีเซียมยังมีบทบาทที่สำคัญในการผลิตทางชีววิทยาของพืชอีกหลายประการ ได้แก่ แมกนีเซียมมีผลต่อระบบเอนไซม์หลายชนิดในพืช โดยทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ที่มีบทบาทในการถ่ายโอนฟอสเฟตหรือหมู่คาร์บอกซิล ช่วยกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์รูบิสโกซึ่งทำหน้าที่ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในปฏิกิริยาที่ไม่ใช้แสงของพืช (dark reaction) พวกซีสาม ช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างแป้ง การสร้างโปรตีน การถ่ายโอนพลังงาน และเป็นพาหะของฟอสฟอรัส (ยงยุทธ, 2558; วิจิตร, 2552) จะเห็นได้ว่า แมกนีเซียมมีบทบาทที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมากมาย หากพืชที่ได้รับแมกนีเซียมไม่เพียงพอจะแสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียม โดยจะแสดงอาการขาดที่ใบล่างหรือใบแก่ก่อน เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายได้ง่ายภายในพืช ลักษณะอาการขาดเริ่มแรกจะเป็นจุดประสีเขียวซีดระหว่างเส้นใบ (lateral vein) แล้วจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองแผ่ไปที่ขอบใบในขณะที่เส้นใบยังคงเขียวอยู่ (Shorrocks, 1964) อาการขาดแมกนีเซียมที่รุนแรงทำให้ไนโตรเจนในใบยางพาราลดลง (Weerasuriya and Yogaratnam, 1989) ใบร่วง การเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง (สถาบันวิจัยยาง, 2556)

2.3.2 แมกนีเซียมในดินปลูกยางพารา แมกนีเซียมในดินได้จากหิน แร่ และอินทรียวัตถุ โดยส่วนมากแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของหินและแร่ แร่ที่มีแมกนีเซียมสูง ได้แก่ ไบโอไทต์ (biotite: $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$) โดโลไมต์ (dolomite: $CaMg(CO_3)_2$ ฮอร์นเบลน (hornblende: $Ca_2(Mg, Fe, Al)_5$ $(Al, Si)_8O_{22}(OH)_2$) โอลิวีน (olivine: $(Mg, Fe)_2SiO_4$) และเซอร์เพนทีน (serpentine: $Mg_3(OH)_4(Si_3O_5)$ นอกจากนั้น แมกนีเซียมก็ยังเป็นองค์ประกอบของแร่ดินเหนียวบางชนิด คือ มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) อิลไลต์ (illite) เวอร์มิคิวไลต์ (vermiculite) และคลอไรต์ (chlorite) เมื่อหินและแร่ผุพังสลายตัวจะปลดปล่อยธาตุแมกนีเซียมออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช โดยแมกนีเซียมในดินสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูป คือ แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ในสารละลายดิน แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Mg) และแมกนีเซียมที่เป็นองค์ประกอบของเกลืออนินทรีย์และแร่ต่าง ๆ ในดิน (Merhaut, 2007) โดยพืชสามารถดูดใช้แมกนีเซียมได้ในรูปแมกนีเซียมไอออนในสารละลายดินและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แต่โดยทั่วไปดินมีแมกนีเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ปริมาณน้อยมาก และสูญเสียไปได้ง่ายโดยการชะละลายออกไป

จากหน้าตัดดินโดยเฉพาะในดินที่มีพีเอชต่ำ สำหรับแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีประมาณร้อยละ 4-20 ของแมกนีเซียมทั้งหมดในดิน ส่วนแมกนีเซียมไอออนในสารละลายดินมีประมาณ 5-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Havlin *et al*., 2005)

สำหรับดินที่ใช้ปลูกยางพาราส่วนใหญ่มักมีแมกนีเซียมที่เพียงพอ จึงไม่มีการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมเพิ่มเติม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 เนื่องจากมีการเปิดป่าใหม่ เพื่อทำเกษตรกรรม ดินในพื้นที่จึงมีความอุดมสมบูรณ์สูง (ปราโมทย์ และคณะ, 2525) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีการปลูกยางพาราติดต่อกันบนพื้นที่เดิมเป็นเวลานาน โดยไม่มีการใส่แมกนีเซียมทดแทนส่วนที่สูญเสียไปกับผลผลิต เช่น สูญเสียไปกับน้ำยางพารา และต้นยางพาราที่โค่นเพื่อปลูกใหม่ หากมีการสูญเสียอย่างต่อเนื่องโดยไม่ได้รับปุ๋ยแมกนีเซียม จะส่งผลให้ดินปลูกยางพาราขาดแมกนีเซียมได้ (นุชนารถ, 2554) โดยระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่เพียงพอในดินต่อยางพาราควรมากกว่า 0.30 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม มีรายงานว่า ในพื้นที่ภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคเหนือมีระดับของแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมถึงร้อยละ 87, 64, 58 และ 39 ตามลำดับ สำหรับดินปลูกยางพาราในภาคใต้มีแมกนีเซียม เฉลี่ยแค่ 0.18 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม (นุชนารถ และคณะ, 2556) ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าความต้องการของยางพารา นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่าดินปลูกยางพาราในจังหวัดสงขลามีระดับแมกนีเซียมต่ำมาก (0.07-0.29 $cmol_c\ kg^{-1}$) ทั้งดินบริเวณที่ลุ่มและที่ดอน (จักรกฤษณ์ และคณะ, 2556) จึงเห็นได้ว่า ปัจจุบันแมกนีเซียมในดินลดลงจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของยางพารา ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตได้ จึงจำเป็นต้องเพิ่มแมกนีเซียมในดินให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตที่สมบูรณ์ของยางพารา (สถาบันวิจัยยาง, 2556)

2.4 การเพิ่มปุ๋ยแมกนีเซียมในยางพารา

การเพิ่มแมกนีเซียมในดินสามารถเพิ่มได้ในรูปของสารประกอบแมกนีเซียม โดยสารประกอบแมกนีเซียม จำแนกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารประกอบแมกนีเซียมที่ละลายน้ำได้ง่าย เช่น แมกนีเซียมซัลเฟตโมโนไฮเดรตหรือคีเซอไรต์ ($MgSO_4 \cdot H_2O$) แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตา-ไฮเดรตหรือดีเกลือ ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) แมกนีเซียมไนทรต ($Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl) และเกลือเชิงคู่อื่น ๆ และสารประกอบแมกนีเซียมที่ละลายน้ำได้เล็กน้อย เช่น โดโลไมต์ โดโลมิติกไลม์ ($MgO \cdot CaO$) แมกนีไซต์ ($MgCO_3$) แมกนีเซียหรือแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)

เซอร์เพนทีน ($Mg_6Si_4O_{10}$ (OH_8)) และกากถลุงที่เป็นเบส (ยงยุทธ และคณะ, 2556; Havlin *et al*., 2005) อย่างไรก็ตาม สารประกอบแมกนีเซียมที่นิยมนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในประเทศไทยและหาง่ายในท้องตลาด ได้แก่ แมกนีเซียมในรูปของปูนโดโลไมต์และคีเซอไรต์

2.4.1 ปูนโดโลไมต์ (dolomitic limestone) เป็นสารปรับปรุงดินในรูปหินและแร่ธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เลยซึ่งไม่มีการปรุงแต่งด้วยกระบวนการสำคัญใด ๆ โดยการนำหินหรือแร่มาแยกสิ่งเจือปนออกแล้วนำไปบดและร่อนให้ได้ขนาดตามต้องการก่อนนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน โดยประเทศไทยสามารถพบหินปูนโดโลไมต์บริเวณใกล้ภูเขาหินปูน โดยในปัจจุบันมีการทำเหมืองสำหรับผลิตหินปูนโดโลไมต์ ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี ชลบุรี จันทบุรี และจังหวัดสงขลา (ปิยะ, 2553)

โดโลไมต์ เป็นแร่หรือหินตะกอนที่ประกอบด้วยแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับหินปูน มีลักษณะสีขาวหรือสีชมพู หรืออาจมีสีอื่นขึ้นอยู่กับปริมาณของสารเจือปน เช่น สีเหลือง สีเทา สีน้ำตาล หรือสีดำ ถ้ามีเหล็กเป็นองค์ประกอบในหน่วยผลึกของแร่ เนื้อแร่มีความแวววาวคล้ายไข่มุกหรือใสเหมือนแก้ว และมีความโปร่งแสงมากถึงปานกลาง มีความแข็ง (mohs hardness) ระหว่าง 3.5-4.0 และมีความถ่วงจำเพาะ 2.86 โดยโดโลไมต์มีองค์ประกอบทางเคมี คือ แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($CaMg(CO_3)_2$) ที่ประกอบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ร้อยละ 54.35 และแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ร้อยละ 45.65 หรือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 30.4 แมกนีเซียมออกไซด์ ร้อยละ 21.7 คาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 47.9 (ทวีลักษณ์ และสอิ้ง, 2544) และแมกนีเซียม (Mg) ร้อยละ 11.7-13.1 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ปัจจุบันมีการใช้ปูนโดโลไมต์กันอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในดินกรดเขตร้อน เนื่องจากการใส่ปูนลงไปในดินกรดจะช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน กล่าวคือ ดินเป็นกรดที่มีเนื้อหยาบหรือเหนียวเกินไปเมื่อได้รับการปรับพีเอชให้สูงขึ้นจะมีโครงสร้างดีขึ้น อาทิดินที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว อนุภาคของดินจะไม่อัดกันอย่างแน่นทึบ แต่จะเกาะกันเป็นก้อนเล็ก (granule) ซึ่งมีผลทำให้ดินโปร่งขึ้น และมีการระบายถ่ายเทน้ำและอากาศได้สะดวก ส่วนดินเนื้อหยาบที่เป็นกรดอนุภาคของเม็ดดินอยู่รวมกันอย่างหลวม ๆ มีความโปร่งมากเกินไปและอุ้มน้ำได้น้อย การใส่ปูนลงไปก็จะช่วยทำให้เกิดโครงสร้างแบบก้อนกลมพรุน (crumb structure) ซึ่งจะทำให้การอุ้มน้ำของดินดีขึ้นด้วย และช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมี กล่าวคือ การใส่ปูนช่วยยกระดับพีเอชให้สูงขึ้นถึงจุดที่เหมาะสม (pH

5.5-7.0) ลดความเป็นพิษของกรดในดิน (H^+) และธาตุบางธาตุที่มีมากเกินจนเป็นอันตรายต่อพืช ได้แก่ อะลูมินัม (Al^{3+}) เหล็ก (Fe^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) และการใส่ปูนโดโลไมต์ยังเป็นการเพิ่มธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียมในดินด้วย ดังนั้น การใส่โดโลไมต์จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มแมกนีเซียมในดินได้ อย่างไรก็ตาม ปูนโดโลไมต์มีสมบัติในการละลายน้ำได้ยาก (0.11 g L^{-1}) ซึ่งจะค่อย ๆ ปลดปล่อยแมกนีเซียมและแคลเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมาอย่างช้า ๆ หากมีการใส่โดโลไมต์มากจนเกินไป ทำให้โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่เดิมมีอยู่น้อยลดลงจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ยงยุทธ และคณะ, 2556)

จากการศึกษาผลของปูนโดโลไมต์ต่อสมบัติทางเคมีของดินกรด พบว่า การใส่ปูนโดโลไมต์สามารถปรับปรุงดินกรดได้ (Damrongrak *et al*., 2015) ทำให้ดินมีค่าพีเอช แมกนีเซียมและแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น แต่อะลูมินัมที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง (สรัญญา และคณะ, 2548) แมงกานีสลดลง (Jeffrey *et al*., 1998 ; Wada *et al*., 2006) ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้น เช่น ยางพารา (Damrongrak *et al*., 2015) ถั่วฮามาต้า เซนโตรซีมา และโสนอัฟริกัน (สุมาลี, 2536) แต่หากใส่ปูนมากเกินไป ส่งผลให้ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม อะลูมินัม และจุลธาตุในดินลดลง (Nwachuku and Loganathan, 1991) ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงด้วย เช่น ถั่วฮามาต้า (ชัยรัตน์ และวิเชียร, 2539) ข้าวโพด (Nwachuku and Loganathan, 1991) และมีแนวโน้มลดลงในยางพาราหลังเปิดเกรีด (Damrongrak *et al*., 2015) ดังนั้น การใส่โดโลไมต์แม้สามารถเพิ่มแมกนีเซียมในดินได้ก็จริง แต่จะค่อย ๆ ปลดปล่อยแมกนีเซียมออกมาช้า ๆ ไม่สามารถเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ทันที และหากใส่โดโลไมต์มากเกินไปก็จะส่งผลกระทบต่อพืชได้เช่นกัน

2.4.2 คีเซอไรต์ (kieserite) เป็นปุ๋ยแมกนีเซียมที่ละลายน้ำได้ง่าย (11.6 g L^{-1}) ซึ่งสามารถปลดปล่อยแมกนีเซียมให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ทันที โดยปุ๋ยคีเซอไรต์มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบร้อยละ 17.57 และกำมะถันร้อยละ 27 ปัจจุบันปุ๋ยคีเซอไรต์เป็นที่นิยมเป็นอย่างมากในการเพิ่มธาตุแมกนีเซียมให้กับพืช เนื่องจากสามารถเพิ่มแมกนีเซียมได้โดยตรง สามารถให้ได้ทั้งทางดินและฉีดพ่นทางใบ พืชสามารถดูดใช้ได้ทันที เป็นวิธีการแก้ปัญหาอาการขาดแมกนีเซียมได้อย่างรวดเร็ว (ยงยุทธ และคณะ, 2556) อย่างไรก็ตาม การใส่คีเซอไรต์ในดินที่มีสภาพเป็นกรด จะทำให้แมกนีเซียมสูญเสียไปกับการชะละลายได้ง่าย (Havlin *et al*., 2005)

จากการศึกษาการใส่ปุ๋ยที่มีธาตุอาหารหลักร่วมกับการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในรูปของคีเซอไรต์ พบว่า การใส่คีเซอไรต์ช่วยให้แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินเพิ่มขึ้น (นุชนารถ และคณะ, 2540) เมื่อดินมีแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้พืชดูดใช้แมกนีเซียมได้เพิ่มขึ้น เช่น การใส่คีเซอไรต์ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบของปาล์มน้ำมัน (สุนีย์ และคณะ, 2540) มะพร้าว (Jeganathan, 1990) ดอกคำฝอย (Farhat *et al*., 2013) และยางพาราเพิ่มขึ้น (นุชนารถ และคณะ, 2540 ; Yogaratnam and Weerasuriya, 1984) ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้น เช่น การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับคีเซอไรต์ส่งผลให้การเจริญเติบโตของยางพารา (นุชนารถ และคณะ, 2540) ปาล์มน้ำมัน (สุนีย์ และชาย, 2547) และส้มเพิ่มขึ้น (Xiao *et al*., 2014) อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการใส่คีเซอไรต์มากเกินไป ทำให้พืชดูดใช้แมกนีเซียมมากขึ้น แต่จะไปลดการดูดใช้โพแทสเซียม ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง มีรายงานว่า การใส่คีเซอไรต์ในอัตราสูงทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบของยางพารา (นุชนารถ และคณะ, 2540) และปาล์มน้ำมันลดลง(สุนีย์ และคณะ, 2540) ดังนั้น การใส่ปุ๋ยคีเซอไรต์จึงเป็นวิธีการเพิ่มแมกนีเซียมในดินได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว แต่การใส่คีเซอไรต์ในดินที่เป็นกรดจะทำให้แมกนีเซียมสูญเสียไปได้ง่าย ทั้งนี้ ปริมาณการใส่ในอัตราที่เหมาะสม หากใส่มากเกินไปจะทำให้พืชลดการดูดใช้ธาตุอาหารบางธาตุ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชได้

ดินปลูกยางพารามีแมกนีเซียมต่ำ จึงจำเป็นต้องใส่แมกนีเซียม โดยสถาบันวิจัยยางแนะนำให้ใส่โดโลไมต์อัตรา 100 กรัมต่อต้นต่อปี และใส่ปุ๋ยคีเซอไรต์อัตรา 80 กรัมต่อต้นต่อปี (นุชนารถ, 2547) ซึ่งแมกนีเซียมทั้งสองรูปนี้ต่างก็มีสมบัติเด่นที่แตกต่างกัน จึงควรนำสารประกอบแมกนีเซียมทั้ง 2 ชนิดนี้มาทดลอง เพื่อเปรียบเทียบหาความเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับยางพาราต่อไป

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาผลของแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ธาตุอาหารและการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก
2. ศึกษาผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้ธาตุอาหาร ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบ และการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงระดับและผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโต การดูดใช้แมกนีเซียมและธาตุอาหารอื่น ๆ ของต้นยางเล็ก
2. ทราบถึงผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตและการดูดธาตุอาหารอื่น ๆ รวมทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นยางเล็ก เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการธาตุอาหารต่าง ๆ และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการนำข้อมูลไปทดลองในสภาพพื้นที่จริง

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุและสารเคมี

1.1 กรดซัลฟิวริก (sulphuric acid: 98% w/w H_2SO_4)

1.2 กรดไนทริก (nitric acid: 65% w/w HNO_3)

1.3 กรดบอริก (boric acid: H_3BO_3)

1.4 กรดเพอร์คลอริก (perchloric acid: 70% w/w $HClO_4$)

1.5 กรดอะซีติก (glacail acetic acid: 99.5 % CH_3COOH)

1.6 กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid: $C_6H_8O_6$)

1.7 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric: HCl)

1.8 กลีเซอรอล (glycerol : 99.5% w/w $C_3H_8O_3$)

1.9 คอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulfate: $CuSO_4 \cdot 5H_2O$)

1.10 ซีลีเนียม (selenium : Se)

1.11 โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride : NaCl)

1.12 โซเดียมซัลเฟต (sodium sulfate : Na_2SO_4)

1.13 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide: NaOH)

1.14 โดโลไมต์ (dolomite : $CaMg(CO_3)_2$)

1.15 แบเรียมคลอไรด์ (barium chloride : $BaCl_2$)

1.16 โพแทสเซียมคลอไรด์ (potassium chloride: KCl: 0-0-60)

1.17 โพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulfate: K_2SO_4)

1.18 โพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dicromate: $K_2Cr_2O_7$)

1.19 ฟีนอล์ฟธาลีนอินดิเคเตอร์ (phenolphthalein indicator)

1.20 เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต (ferrous ammonium sulfate hexahydrate: $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$)

1.21 เฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (ferroin indicator)

1.22 แมกนีเซียมซัลเฟต (magnesium sulfate: $MgSO_4 \cdot H_2O$)

1.23 แมงกานีสซัลเฟต (manganese sulfate monohydrate: $MnSO_4 \cdot H_2O$)

1.24 ยูเรีย (urea: 46-0-0)

1.25 แลนทานัมคลอไรด์ (lanthanum chloride : 99.9% w/w $LaCl_3 \cdot xH_2O$)

1.26 สทรอนเทียมคลอไรด์ (strontium chloride: $SrCl_2 \cdot 6H_2O$)

1.27 สารผสมเร่งปฏิกิริยา (catalyst mixture)

1.28 สารละลายมาตรฐานแคลเซียม (standard calcium: 1,000 mg L^{-1})

1.29 สารละลายมาตรฐานทองแดง (standard copper: 1,000 mg L^{-1})

1.30 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (standard potassium: 1,000 mg L^{-1})

1.31 สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (standard phosphorus: 1,000 mg L^{-1})

1.32 สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม (standard magnesium: 1,000 mg L^{-1})

1.33 สารละลายมาตรฐานแมงกานีส (standard manganese: 1,000 mg L^{-1})

1.34 สารละลายมาตรฐานสังกะสี (standard zinc: 1,000 mg L^{-1})

1.35 สารละลายมาตรฐานเหล็ก (standard iron: 1,000 mg L^{-1})

1.36 สารละลายเอธานอล (ethanol)

1.37 อินดิเคเตอร์ผสม (mixed indicator)

1.38 แอนทิโมนีโพแทสเซียมทาร์เทรต (antinomy potassium tartrate: $KSbO \cdot C_4H_4O_6$)

1.39 แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate: $(NH_4)_2SO_4$)

1.40 แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (ammonium fluoride: NH_4F)

1.50 แอมโมเนียมเมทาวาเนเดต (ammonium metavanadate: NH_4VO_3)

1.51 แอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate: $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$)

1.52 แอมโมเนียมอะซีเทต (ammonium acetate: NH_4OAc)

1.53 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide: H_2O_2)

2. อุปกรณ์

2.1 กระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 1 และ 5

2.2 กระถางทดลองขนาด 30 ลิตร

2.3 กล้ายางพาราพันธุ์ RRIM 600

2.4 โกรงบดดินและตะแกรงร่อนดิน

2.5 เครื่องกลั่นไนโตรเจน (nitrogen distillation apparatus)

2.6 เครื่องแก้ว อุปกรณ์ตวงวัดชนิดต่าง ๆ และวัสดุสิ้นเปลือง

2.7 เครื่องเขย่า (shaker)

2.8 เครื่องเขย่าผสมสารละลาย (vortex mixer)

2.9 เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม และ 0.0001 กรัม

2.10 เครื่องบดตัวอย่างพืช (grinder)

2.11 เครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างดินและกล้ายางพารา

2.12 เครื่องวัด pH (pH meter)

2.13 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (vernier caliper)

2.14 เครื่องวิสิเบิลสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (visible spectrophotometer)

2.15 เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ความเร็ว 3,200 และ 14,000 รอบต่อนาที

2.16 เครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ (atomic absorption spectrophotometer: AAS)

2.17 เครื่องอิเล็กทริคอลคอนดักทิวิทีมิเตอร์ (electrical conductivity meter)

2.18 ตู้อบตัวอย่างพืช (hot air oven)

2.19 เตาย่อยตัวอย่าง (digestion block)

2.20 เตาให้ความร้อน (hot plate)

2.21 โถดูดความชื้น (desiccator)

2.22 เทปวัดระยะ

3. วิธีการทดลอง

การศึกษานี้ ประกอบด้วย 2 การทดลอง ดังนี้

3.1 การตอบสนองต่อแมกนีเซียมของต้นยางเล็ก

ปลูกกล้ายางพาราชำถุง พันธุ์ RRIM 600 ขนาด 1 ฉัตร ในกระถาง ซึ่งทำการทดลองภายใต้เรือนกระจก คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยทำการทดลองปลูกยางพาราโดยใช้ดิน 28 กิโลกรัม ซึ่งร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 เซนติเมตร ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำ 5 ซ้ำ ประกอบด้วย 5 ตำรับการทดลอง โดยใส่แมกนีเซียม (คีเซอไรต์) ในอัตรา 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และผสมกับปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ทริบเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรต์ (0-0-60) ให้ได้ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) และโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (K_2O) เท่ากับ 100, 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อ

กิโลกรัม ตามลำดับ เพื่อปรับระดับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตให้เหมาะสมต่อการปลูกกล้ายางพารา ระหว่างทดลองรดน้ำกลั่นเพื่อรักษาความชื้นให้เพียงพอ ตลอดการทดลอง 6 เดือน

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างดินสำหรับการทดลองและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

การศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างดินจากสวนยางพาราก่อนเปิดกรีดในอำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา โดยทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จากผิวดิน ซึ่งจัดเป็นชุดดินคลองท่อม (Km : Fine-loamy, kaolinitic, isohyperthermic Typic Kandiudults) ที่มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำกว่า 0.3 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม จากนั้นนำตัวอย่างดินมาผึ่งให้แห้งและแยกดินออกเป็น 2 ส่วน คือ นำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน และใช้สำหรับการทดลอง

ส่วนที่ 1 นำไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน โดยผึ่งดินให้แห้ง และร่อนผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนทำการทดลอง ได้แก่ พีเอช (ดิน:น้ำ=1:5) อินทรียวัตถุ (Walkley and Black) ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray II) โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (1M NH_4OAc pH 7) (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

ส่วนที่ 2 นำไปใช้ทำการทดลองปลูกกล้ายางพารา โดยนำดินผสมคลุกเคล้ากันให้ทั่วเพื่อเป็นตัวแทนของดินที่ใช้สำหรับทำการทดลอง แล้วผึ่งดินให้แห้งในโรงเรือนทดลอง จากนั้นร่อนดินผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 2 เซนติเมตร และชั่งดิน 28 กิโลกรัม มาผสมคลุกเคล้ากับปุ๋ยที่ใช้ในแต่ละตำรับการทดลอง แล้วปลูกยางพาราลงในกระถางขนาด 30 ลิตร และสุ่มเก็บตัวอย่างดินหลังจากปรับธาตุอาหารแล้วมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดิน (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557) ดังต่อไปนี้

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

3.1.1.2 ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) ชั่งดิน 5 กรัม ใส่หลอดเหวี่ยงพลาสติก เติมน้ำที่ปราศจากไอออน 25 มิลลิลิตร (ใช้ดิน:น้ำ อัตราส่วน 1:5) เขย่า แล้ววัดด้วยเครื่อง Conductivity meter

3.1.1.3 อินทรียวัตถุ (OM) โดยการวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วย $K_2Cr_2O_7$ ในกรดกำมะถันเข้มข้น แล้ววิเคราะห์ไดโครเมตที่เหลือด้วยการไทเทรตกับสารละลาย FAS โดยใช้ เฟอร์โรอิน (ferroin) เป็นอินดิเคเตอร์ แล้วคำนวณปริมาณอินทรียวัตถุ โดยหลักการในอินทรียวัตถุประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 58

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

3.1.1.5 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 นำไปวัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer

3.1.1.6 โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K, Ca and Mg) สกัดดินด้วยสารละลาย 1.0 โมลาร์ NH_4OAc pH 7.0 แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

3.1.2 การเก็บตัวอย่างพืช หลังสิ้นสุดการทดลอง (6 เดือน) เก็บตัวอย่างพืชโดยแยกชิ้นส่วนใบ ก้านใบ ลำต้น รากแก้ว และรากแขนง นำมาทำความสะอาด แล้วอบที่อุณหภูมิ 70 องศา-เซลเซียส เพื่อหาน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน แล้วนำไปบดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียมทั้งหมดในพืช ตามวิธีวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557) ดังนี้

3.1.2.1 ไนโตรเจน ด้วยวิธี Kjeldahl โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.1000 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (98% w/w H_2SO_4) แล้วเติมด่างและนำไปกลั่นหาแอมโมเนียม แล้วนำไปไทเทรตเพื่อหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน

3.1.2.2 ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.1000 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ย่อยสลายด้วยกรดผสมไนทริกและเพอร์คลอริก (HNO_3:$HClO_4$; 3:1) ย่อยตัวอย่างพืชจนใส แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสด้วยวิธี Vanadomolybdate วัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer และวิเคราะห์โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

จากข้อมูลน้ำหนักแห้งและความเข้มข้นของแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของยางพารา นำข้อมูลไปคำนวณการดูดใช้ธาตุอาหารของยางพารา

3.1.3 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของยางพาราก่อนและหลังทำการทดลอง ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น (วัดเหนือรอยเท้าช้าง 10 เซนติเมตร) ด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ และความสูง (วัดรอยแตกตาถึงปลายยอด) ด้วยเทปวัดระยะ จำนวนใบ และฉัตร

โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มการทดลอง และหลังปลูกทุก ๆ 1 เดือน จนถึงสิ้นสุดการทดลอง (6 เดือน) แล้วนำข้อมูลการเจริญเติบโตของยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองลบด้วยการเจริญเติบโตของยางพาราก่อนทำการทดลอง จะได้ผลต่างการเจริญเติบโตของยางพารา เพื่อชี้วัดการเจริญเติบโตในแต่ละตำรับการทดลอง

3.2 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

ทำการทดลองในดินชนิดเดียวกัน โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ประกอบด้วย 5 ซ้ำ 5 ตำรับการทดลอง ได้แก่ ตำรับที่ 1 ไม่ใส่แมกนีเซียม ตำรับที่ 2 และ 3 ใส่แมกนีเซียมในรูปของปูนโดโลไมต์ ($CaMg(CO_3)_2$) ให้มีแมกนีเซียม 0.5 และ 1.0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และตำรับที่ 4 และ 5 ใส่แมกนีเซียมในรูปของคีเซอไรต์ ($MgSO_4 \cdot H_2O$) ให้มีแมกนีเซียม 0.5 และ 1.0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และผสมกับปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ทริบเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) ให้ได้ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) และโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (K_2O) เท่ากับ 100, 40 และ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เพื่อปรับระดับธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตให้เหมาะสมต่อการปลูกกล้ายางพารา ระหว่างทดลองรดน้ำกลั่นเพื่อรักษาความชื้นให้เพียงพอ ตลอดการทดลอง 6 เดือน

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างดินและการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน การศึกษานี้ได้เก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างดินเหมือนกับข้อ 3.1.1

3.2.2 การเก็บตัวอย่างพืช เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (6 เดือน) เก็บใบยางพาราตำแหน่งใบย่อยกลาง จากก้านใบประกอบที่ 4 (นับจากล่าง) ของฉัตรที่ 1 มาวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (กฤษดา และพิเชษฐ, 2552) และเก็บตัวอย่างพืชโดยแยกชิ้นส่วนใบ ก้านใบ ลำต้น รากแก้ว และรากแขนง นำมาทำความสะอาด อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพื่อหาน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน แล้วนำไปบดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืชตามข้อ 3.1.2 และได้เพิ่มการวิเคราะห์กำมะถัน (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

3.2.2.1 คลอโรฟิลล์ สกัดตัวอย่างใบด้วย Dimethylformamide (DMF; C_3H_7NO) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ตัวอย่างใบละ 1 หลอด จากนั้นปิดฝาให้สนิท วางในที่มืดทันทีเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง และนำสารสกัดไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 664 และ 647 นาโนเมตร ค่าที่ได้นำมาคำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (total chlorophyll) ในใบ (หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร) จากสูตร (กฤษดา และพิเชษฐ์, 2552)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด = $\frac{(7.04A_{664}+20.27A_{647})}{Ar\times10}V$

เมื่อ A_{664} และ A_{647}คือค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 และ 647 นาโนเมตร

V คือ ปริมาตรของ DMF ที่ใช้สกัด (มิลลิลิตร)

Ar คือ พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)

3.2.2.2 กำมะถัน ย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรดผสมไนทริกและเพอร์คลอริค (HNO_3 : $HClO_4$; 3:1) นำสารละลายที่ได้ไปเติมแบเรียมคลอไรด์ (Barium chloride) วัดด้วยเครื่อง Visible Spectrophoto meter (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

3.2.3 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของยางพาราก่อนและหลังทำการทดลอง ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น (วัดเหนือรอยเท้าช้าง 10 เซนติเมตร) และความสูง (วัดรอยแตกตาถึงปลายยอด) จำนวนใบ ก้าน และฉัตร ด้วยเทปวัดระยะ รวมทั้งอาการที่แสดงออกของยางพาราเมื่อได้รับโดโลไมต์และคีเซอไรต์ในอัตราต่าง ๆ โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มการทดลอง และหลังปลูกทุก ๆ 1 เดือน จนถึงสิ้นสุดการทดลอง (6 เดือน) แล้วนำข้อมูลการเจริญเติบโตของยางพาราหลังสิ้นสุดการทดลองลบด้วยการเจริญเติบโตของยางพาราก่อนทำการทดลอง จะได้ผลต่างของการเจริญเติบโต เพื่อเปรียบเทียบผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

4. การวิเคราะห์สถิติ

นำข้อมูลของการเจริญเติบโต ปริมาณธาตุอาหารทั้งในดินและในส่วนต่าง ๆ ของยางพารา และปริมาณคลอโรฟิลล์ จากการได้รับโดโลไมต์และคีเซอไรต์มาหาค่าเฉลี่ย และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนทางเดียวด้วยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ ด้วยวิธี DMRT โดยทดสอบความแตกต่างระดับนัยสำคัญที่ 0.05

บทที่ 3

ผลการทดลอง

การศึกษานี้ ประกอบด้วย 2 การศึกษา คือ 1) การตอบสนองต่อแมกนีเซียมของต้นยางเล็ก และ 2) ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก โดยมีผลการทดลอง ดังนี้

1. การตอบสนองต่อแมกนีเซียมของต้นยางเล็ก

1.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นกรดจัด (pH 5.4) อินทรียวัตถุและไนโตรเจนทั้งหมดค่อนข้างต่ำ (6.40 และ 0.36 g kg^{-1}) และมีปริมาณธาตุอาหารหลักและรองต่ำ โดยมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (5.67 mg kg^{-1}) โพแทสเซียมที่สกัดได้ (0.01 $cmol_c$ kg^{-1}) และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (0.07 $cmol_c$ kg^{-1}) อยู่ในระดับที่ต่ำมาก และแคลเซียมที่สกัดได้ (0.27 $cmol_c$ kg^{-1}) ค่อนข้างต่ำ (ตารางที่ 3.1) หลังจากนั้นเมื่อมีการผสมปุ๋ยเข้ากับดินในแต่ละตำรับการทดลอง โดยการเพิ่มแมกนีเซียมในรูปของคีเซอไรต์ ทำให้ดินมีแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตามอัตราที่ใส่ แต่ในขณะเดียวกันปริมาณธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมและแคลเซียมที่สกัดได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.1 ค่าวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินก่อนการทดลอง

Soil properties	pH (1:5)	OM (g kg^{-1})	Total N (g kg^{-1})	Avail. P (mg kg^{-1})	Extr. K	Extr. Mg	Extr. Ca
					[----------	$cmol_c$ kg^{-1}	----------]
Analytical value	5.4	6.40	0.36	5.67	0.01	0.07	0.27
*Optimum level	4.5-5.5	10-25	1.1-2.5	11-30	0.10-0.15	>0.30	>0.30
Interpretation	Acidic	Low	Low	Very low	Very low	Very low	Low

หมายเหตุ: * นุชนารถ (2554)

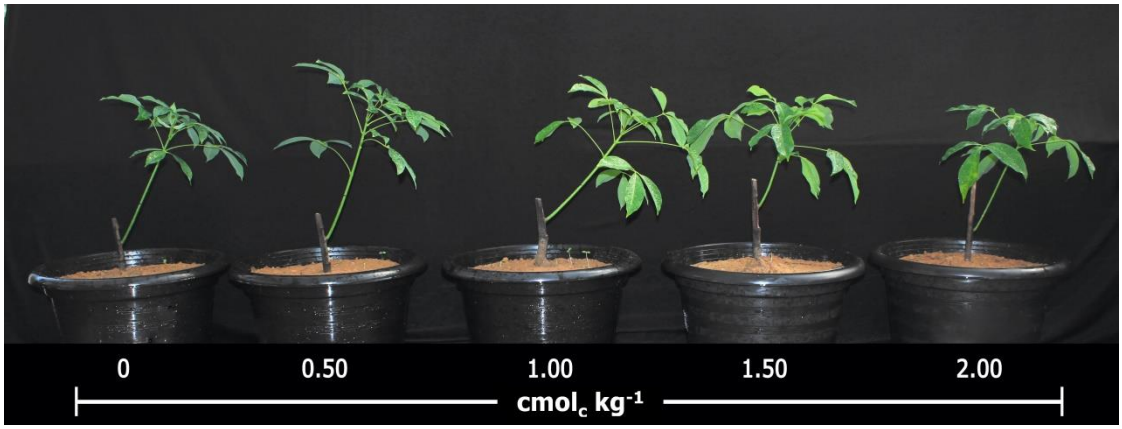
ตารางที่ 3.2 สมบัติทางเคมีของดินหลังจากมีการปรับธาตุอาหารที่จำเป็นให้แก่ต้นยางเล็ก

Treatment	Total N ($g\ kg^{-1}$)	Avail. P ($mg\ kg^{-1}$)	Extr. K	Extr. Mg $cmol_c\ kg^{-1}$	Extr. Ca
Control	0.44	14.28	0.17	0.07d	0.27
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$	0.44	14.21	0.18	0.75c	0.28
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$	0.48	14.07	0.18	1.08bc	0.27
Mg 1.5 $cmol_c\ kg^{-1}$	0.44	13.93	0.16	1.36ab	0.28
Mg 2.0 $cmol_c\ kg^{-1}$	0.46	14.51	0.17	1.62a	0.29
F-test	NS	NS	NS	*	NS
C.V. (%)	6.98	5.51	18.60	34.93	25.25

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

1.2 การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กเมื่อเริ่มทดลอง

ปลูกยางพาราชำถุงพันธุ์ RRIM 600 โดยใช้ดินหนัก 28 กิโลกรัม ผสมกับปุ๋ยแต่ละตำรับการทดลองลงในกระถางขนาด 30 ลิตร (ภาพที่ 3.1) ต้นยางเล็กที่ใช้ในการทดลองมีการเจริญเติบโตสม่ำเสมอทุกตำรับการทดลอง ทั้งความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ก้านใบ และฉัตร (ตารางที่ 3.3)



ภาพที่ 3.1 เริ่มทำการทดลองปลูกต้นยางเล็ก

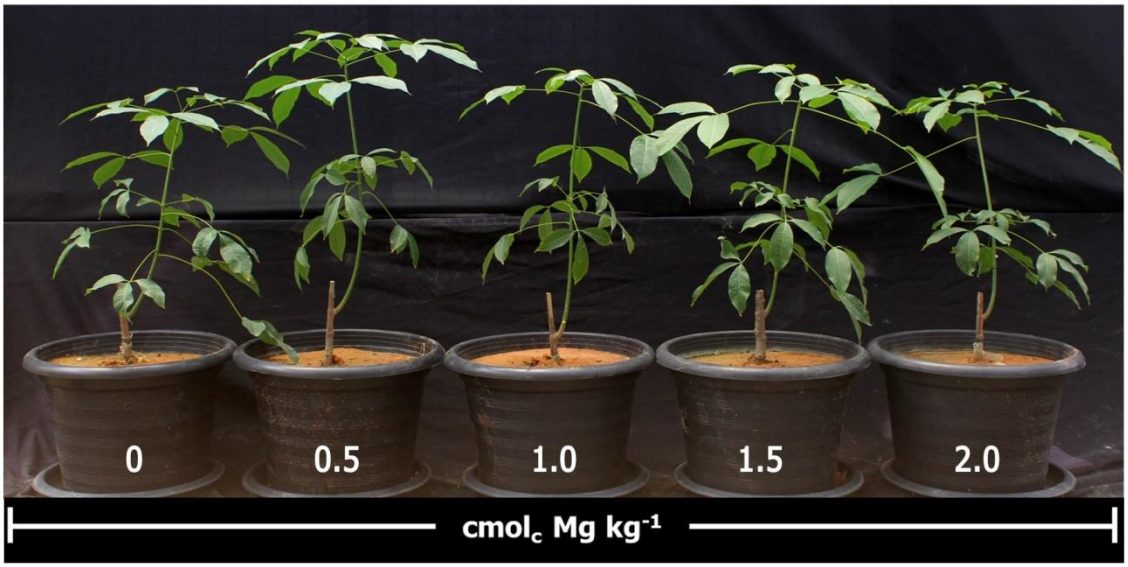
ตารางที่ 3.3 การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กเมื่อเริ่มการทดลอง

Treatment	Height (cm)	Diameter (mm)	Leaf number	Whorl number	Petiole number
Control	25.37	5.13	29.00	1	10.00
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$	24.07	4.67	27.67	1	9.33
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$	22.70	4.23	27.00	1	9.67
Mg 1.5 $cmol_c\ kg^{-1}$	25.50	4.79	29.00	1	9.67
Mg 2.0 $cmol_c\ kg^{-1}$	23.23	4.45	27.00	1	9.33
F-test	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	11.65	11.10	8.06	0.00	5.38

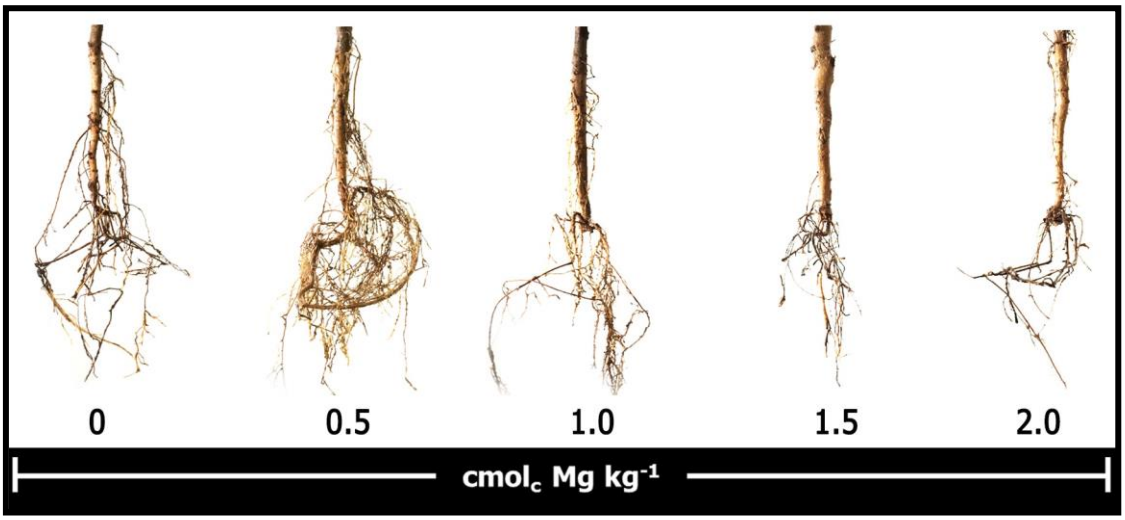
หมายเหตุ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ $P>0.05$

1.3 ผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

ยางพาราที่ได้รับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม มีการเจริญเติบโตของส่วนเหนือดินและรากสูงที่สุด โดยยางพารามีการขยายทรงพุ่มได้อย่างรวดเร็ว ลำต้นใหญ่ ใบหนาและมีสีเขียวเข้ม (ภาพที่ 3.2) เช่นเดียวกันกับรากแขนงที่มีการขยายตัวอย่างหนาแน่นซึ่งแสดงถึงความสมบูรณ์ของยางพารา (ภาพที่ 3.3) แต่เมื่อยางพาราได้รับแมกนีเซียมมากขึ้น ทำให้การเจริญเติบโตของส่วนเหนือดิน (ภาพที่ 3.2) และรากลดลง โดยเฉพาะตำรับที่มีการใส่แมกนีเซียมสูง (2.0 $cmol_c\ kg^{-1}$) พบปริมาณรากแขนงน้อยมาก (ภาพที่ 3.3) ทั้งยังมีอาการเน่าของรากแขนง โดยเฉพาะส่วนของปลายรากซึ่งลักษณะรากมีสีน้ำตาลดำ และมีอาการแตกเป็นแผลบริเวณรากแก้วซึ่งมีลักษณะเป็นแผลแตกสีดำ (ภาพที่ 3.4) นอกจากนี้ ใบของยางพารายังแสดงอาการเหลืองบริเวณขอบใบ โดยเกิดในส่วนของใบล่างของยางพารา มีลักษณะสีเหลืองซีดบริเวณขอบใบ โดยอาการเริ่มจากปลายใบสู่โคนใบ แล้วขอบใบจะกลายเป็นสีเหลืองเข้มขึ้น และในส่วนของปลายใบมีสีน้ำตาลแห้ง (ภาพที่ 3.5)

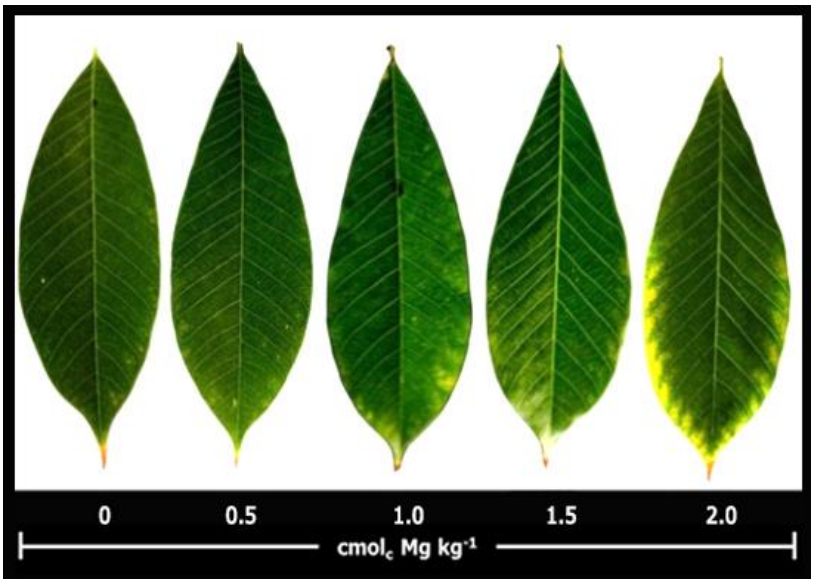


ภาพที่ 3.2 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตในส่วนเหนือดินของต้นยางเล็ก (6 เดือน)



ภาพที่ 3.3 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตในส่วนรากของต้นยางเล็ก (6 เดือน)

ภาพที่ 3.4 ผลของแมกนีเซียม อัตรา 2.0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ต่ออาการแตกของรากแก้วและอาการเน่าของรากแขนง



ภาพที่ 3.5 ผลของระดับแมกนีเซียมต่ออาการแสดงออกของใบของต้นยางเล็ก

การใส่แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ส่งผลให้น้ำหนักแห้งในส่วนรากและส่วนเหนือดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เป็น 21.60 และ 11.09 กรัมต่อต้น ตามลำดับ เปรียบเทียบกับตำรับควบคุม คือ 18.70 และ 11.03 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองอื่น ๆ (ตารางที่ 3.4) โดยน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราที่ได้จากการใส่แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในส่วนของลำต้น รากแขนง และใบ คือ 5.41, 5.25 และ 4.52 กรัมต่อต้น ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม คือ 5.32, 3.73 และ 4.32 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 3.4)

การใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น (1.0, 1.5 และ 2.0 $cmol_c\ kg^{-1}$) ส่งผลให้น้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินมีแนวโน้มลดลง ได้แก่ ส่วนของใบ 4.45, 4.05 และ 3.81 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนของก้านใบ 1.14, 0.88 และ 0.69 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และส่วนของลำต้น 5.20, 4.84 และ 4.33 กรัมต่อต้น ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ชัดในตำรับที่มีการใส่แมกนีเซียมสูง (2.0 $cmol_c\ kg^{-1}$) ส่งผลให้น้ำหนักแห้งทั้งในส่วนใบ ก้าน และลำต้น คือ 3.81, 0.69, และ 4.33 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งต่ำกว่าตำรับควบคุม คือ 4.32, 1.39 และ 5.32 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) และส่งผลในลักษณะเดียวกันกับน้ำหนักแห้งในส่วนราก (ตารางที่ 3.4)

ตารางที่ 3.4 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

Treatment	Dry weight (g $plant^{-1}$)							
	Leaf	Petiole	Stem	Primary Lateral root	Primary Lateral root	Shoot	Root	Total
Control	4.32ab	1.39a	5.32ab	14.97	3.73b	11.03a	18.70ab	29.74ab
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$	4.52a	1.16b	5.41a	16.35	5.25a	11.09a	21.60a	32.70a
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$	4.45a	1.14b	5.20ab	14.12	3.90b	10.79a	18.02ab	28.81ab
Mg 1.5 $cmol_c\ kg^{-1}$	4.05ab	0.88c	4.84bc	16.34	3.56b	9.77b	19.90ab	29.66ab
Mg 2.0 $cmol_c\ kg^{-1}$	3.81c	0.69d	4.33c	13.5	1.28c	8.83c	14.78b	24.60b
F-test	*	*	*	NS	*	*	*	*
C.V. (%)	7.05	9.51	18.04	18.44	12.53	2.17	15.56	4.78

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ $P > 0.05$

ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ $P = 0.05$

การใส่แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ส่งผลให้ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้น คือ 30.40 เซนติเมตร และ 2.85 มิลลิเมตร ตามลำดับ มากกว่าตำรับควบคุม คือ 20.73 เซนติเมตร และ 2.08 มิลลิเมตร ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) และมีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับอื่น ๆ (ตารางที่ 3.5 และ 3.6) ในขณะที่ใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น (1.0, 1.5 และ 2.0 $cmol_c\ kg^{-1}$) ส่งผลให้ความสูงที่เพิ่มขึ้นของยางพารามีแนวโน้มลดลง คือ 27.87, 20.87 และ 18.60 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยเฉพาะการใส่แมกนีเซียม 2.0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ส่งผลให้ความสูงที่เพิ่มขึ้น คือ 18.60 เซนติเมตร มีแนวโน้มน้อยกว่าตำรับควบคุม คือ 20.73 เซนติเมตร (ตารางที่ 3.5) แต่สำหรับจำนวนใบ และฉัตรของยางพารา ยังมีผลไม่ชัดเจน (ตารางที่ 3.7 และ 3.8)

ตารางที่ 3.5 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อความสูงของต้นยางเล็ก

Treatment	**Height (cm)**		
	Before	After (6 months)	Difference
Control	25.37	46.10bc	20.73b
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$	24.07	54.47a	30.40a
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$	22.70	50.57ab	27.87a
Mg 1.5 $cmol_c\ kg^{-1}$	25.50	46.37bc	20.87b
Mg 2.0 $cmol_c\ kg^{-1}$	23.23	41.83c	18.60b
F-test	NS	*	*
C.V. (%)	11.65	5.98	15.07

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ $P \geq 0.05$
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

ตารางที่ 3.6 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางเล็ก

Treatment	Diameter (mm)		
	Before	After (6 months)	Difference
Control	5.13	7.22a	2.08b
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$	4.67	7.52a	2.85a
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$	4.23	6.30b	2.07b
Mg 1.5 $cmol_c\ kg^{-1}$	4.79	7.09ab	2.30ab
Mg 2.0 $cmol_c\ kg^{-1}$	4.45	6.76ab	2.31ab
F-test	NS	*	*
C.V. (%)	11.10	6.75	27.09

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

ตารางที่ 3.7 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อจำนวนใบของต้นยางเล็ก

Treatment	Leaf number of rubber		
	Before	After (6 months)	Difference
Control	29.00	52.00	23.00
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$	27.67	52.67	25.00
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$	27.00	36.67	9.67
Mg 1.5 $cmol_c\ kg^{-1}$	29.00	45.67	16.67
Mg 2.0 $cmol_c\ kg^{-1}$	27.00	49.00	22.00
F-test	NS	NS	NS
C.V. (%)	8.06	17.18	40.84

หมายเหตุ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05

ตารางที่ 3.8 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อจำนวนฉัตรของต้นยางเล็ก

Treatment	Whorl number of rubber		
	Before	After (6 months)	Difference
Control	1	2.00	1.00
Mg 0.5 $cmol_c$ kg^{-1}	1	2.33	1.33
Mg 1.0 $cmol_c$ kg^{-1}	1	2.33	1.33
Mg 1.5 $cmol_c$ kg^{-1}	1	2.00	1.00
Mg 2.0 $cmol_c$ kg^{-1}	1	2.00	1.00
F-test	NS	NS	NS
C.V. (%)	0	1.71	3.22

หมายเหตุ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05

1.4 ผลของแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

การเพิ่มแมกนีเซียมในดิน (0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบเพิ่มขึ้นตามระดับของแมกนีเซียมที่ใส่ คือ 3.14, 3.52, 5.53, 6.04 และ 6.76 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยเฉพาะการใส่แมกนีเซียมสูง (2.0 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบเพิ่มขึ้นสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม ($P \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม การใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมและแคลเซียมในใบมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะการใส่แมกนีเซียมสูง ทำให้มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมและแคลเซียมในใบมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คือ 13.15 และ 3.29 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม คือ 14.91 และ 6.02 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3.9) และยังส่งผลในลักษณะเดียวกันในส่วนของก้าน ลำต้น รากแก้ว และรากแขนงของยางพารา โดยเฉพาะการใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในส่วนของก้าน ลำต้น รากแก้ว และรากแขนงลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 3.10, 3.11, 3.12 และ 3.13)

ตารางที่ 3.9 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบของต้นยางเล็ก

Treatment	N	P	K	Mg	Ca
	[---------- g kg^{-1} ----------]				
Control	29.67	1.00	14.91	3.14b	6.02
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1}	30.52	1.11	13.79	3.52b	6.03
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1}	28.76	1.72	13.94	5.53a	4.83
Mg 1.5 cmol$_c$ kg^{-1}	34.60	1.73	13.48	6.04a	3.30
Mg 2.0 cmol$_c$ kg^{-1}	29.28	1.68	13.15	6.76a	3.29
F-test	NS	NS	NS	*	NS
C.V. (%)	22.40	27.57	18.55	24.22	35.98

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

ตารางที่ 3.10 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในก้านของต้นยางเล็ก

Treatment	N	P	K	Mg	Ca
	[---------- g kg^{-1} ----------]				
Control	11.21	0.61	15.58	1.70b	2.89a
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1}	11.99	0.69	16.22	3.98a	0.68b
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1}	10.58	0.86	14.92	4.18a	0.84b
Mg 1.5 cmol$_c$ kg^{-1}	11.80	0.80	15.47	5.25a	0.56b
Mg 2.0 cmol$_c$ kg^{-1}	11.26	0.67	13.82	5.61a	0.35b
F-test	NS	NS	NS	*	*
C.V. (%)	11.74	29.17	17.52	35.3	42.98

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

ตารางที่ 3.11 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในลำต้นของต้นยางเล็ก

Treatment	N	P	K	Mg	Ca
	[---------- g kg^{-1} ----------]				
Control	9.67	0.55	11.46	2.89c	11.71a
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1}	9.93	0.56	11.80	4.77b	7.46b
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1}	8.06	0.86	10.97	5.49b	5.22c
Mg 1.5 cmol$_c$ kg^{-1}	7.84	0.70	10.17	7.46a	4.11cd
Mg 2.0 cmol$_c$ kg^{-1}	9.97	0.74	7.18	8.01a	2.99c
F-test	NS	NS	NS	*	*
C.V. (%)	28.72	40.86	32.06	21.03	20.86

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

ตารางที่ 3.12 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในรากแก้วของต้นยางเล็ก

Treatment	N	P	K	Mg	Ca
	[---------- g kg^{-1} ----------]				
Control	5.59	0.68	4.90	0.82d	2.77a
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1}	5.34	0.71	3.82	1.27cd	1.85ab
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1}	5.73	0.73	4.01	1.72bc	2.86a
Mg 1.5 cmol$_c$ kg^{-1}	6.76	0.72	3.67	1.90ab	2.42ab
Mg 2.0 cmol$_c$ kg^{-1}	6.01	0.67	3.44	2.26a	1.44b
F-test	NS	NS	NS	*	*
C.V. (%)	11.98	35.63	28.24	21.19	32.47

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

ตารางที่ 3.13 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในรากแขนงของต้นยางเล็ก

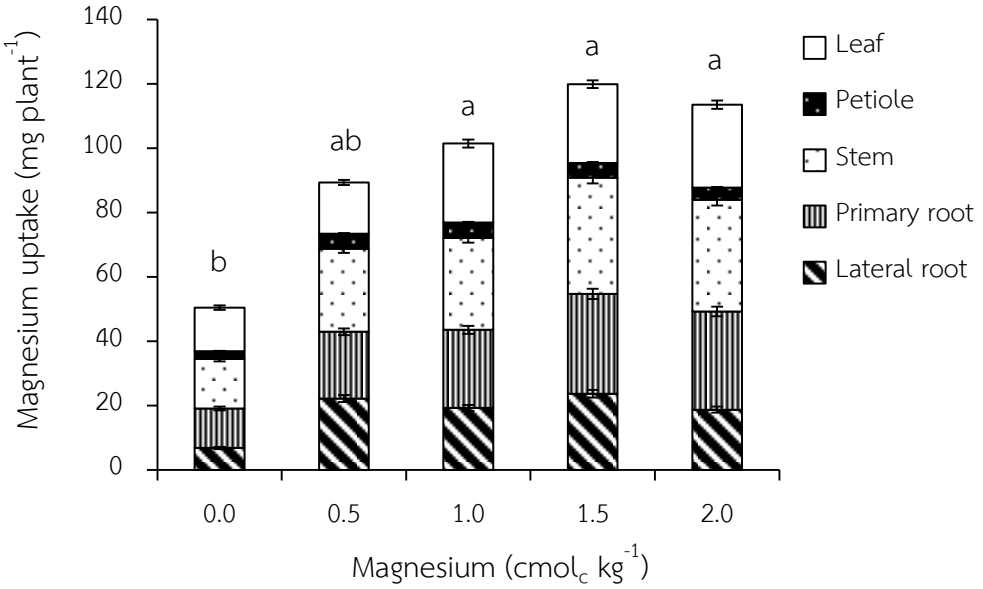
Treatment	N	P	K	Mg	Ca
	[---------- g kg^{-1} ----------]				
Control	16.15	0.39	7.68	1.84d	12.19a
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1}	17.33	0.28	7.85	4.23c	7.95b
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1}	15.55	0.30	6.02	4.94bc	5.54c
Mg 1.5 cmol$_c$ kg^{-1}	15.48	0.32	7.08	6.65ab	4.59cd
Mg 2.0 cmol$_c$ kg^{-1}	17.76	0.27	7.50	8.22a	3.48d
F-test	NS	NS	NS	*	*
C.V. (%)	12.22	26.38	16.71	22.51	18.89

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

1.5 การดูดใช้ธาตุอาหารของต้นยางเล็ก

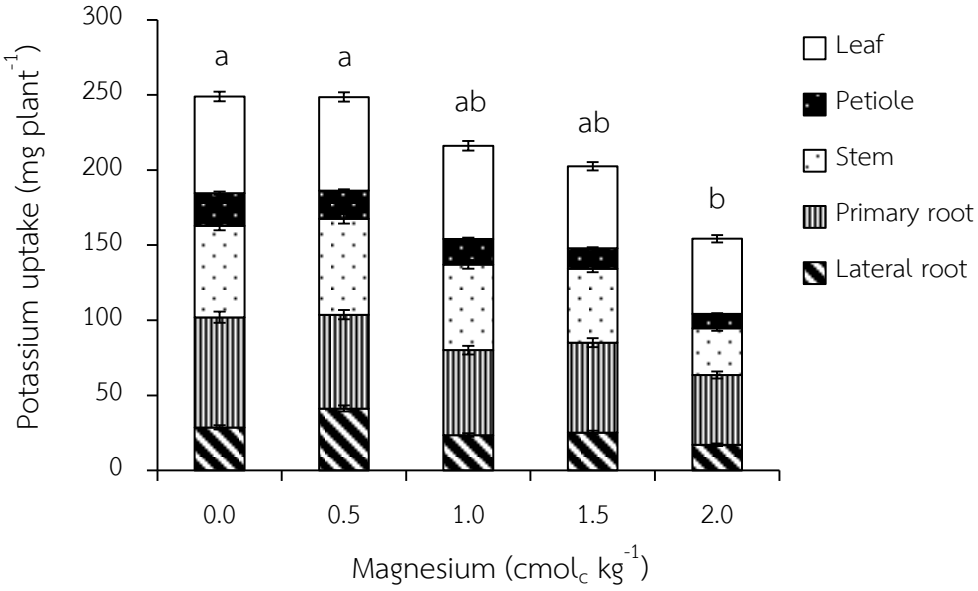
เมื่อประเมินการดูดใช้แมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราจากความเข้มข้นของแมกนีเซียมและน้ำหนักแห้ง พบว่า ยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ เพิ่มขึ้นตามอัตราที่ใส่ (0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 cmol$_c$ kg^{-1}) โดยการดูดใช้แมกนีเซียมทั้งต้นเพิ่มขึ้นเป็น 50.44, 89.31, 101.47, 119.9 และ 113.56 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ สำหรับในส่วนของใบมีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นชัดเจนที่สุดเป็น 13.56, 15.91, 24.61, 24.46 และ 25.76 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การใส่แมกนีเซียมอัตราสูงขึ้นมีแนวโน้มให้ยางพาราดูดใช้แมกนีเซียมลดลงได้เช่นกัน โดยในส่วนของก้านใบมีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นเป็น 2.36, 4.62, 4.77, 4.62 และ 3.87 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนของลำต้น 15.37, 25.81, 28.55, 36.11 และ 34.68 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนของรากแก้ว 12.28, 20.76, 24.29, 31.05 และ 30.51 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ และส่วนของรากแขนง 6.86, 22.21, 19.27, 23.67 และ 18.74 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 3.6)

การใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ทำให้ยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของลำต้น รองลงมา คือ รากแก้ว รากแขนง ใบ และก้านใบ ตามลำดับ (ภาพที่ 3.6)

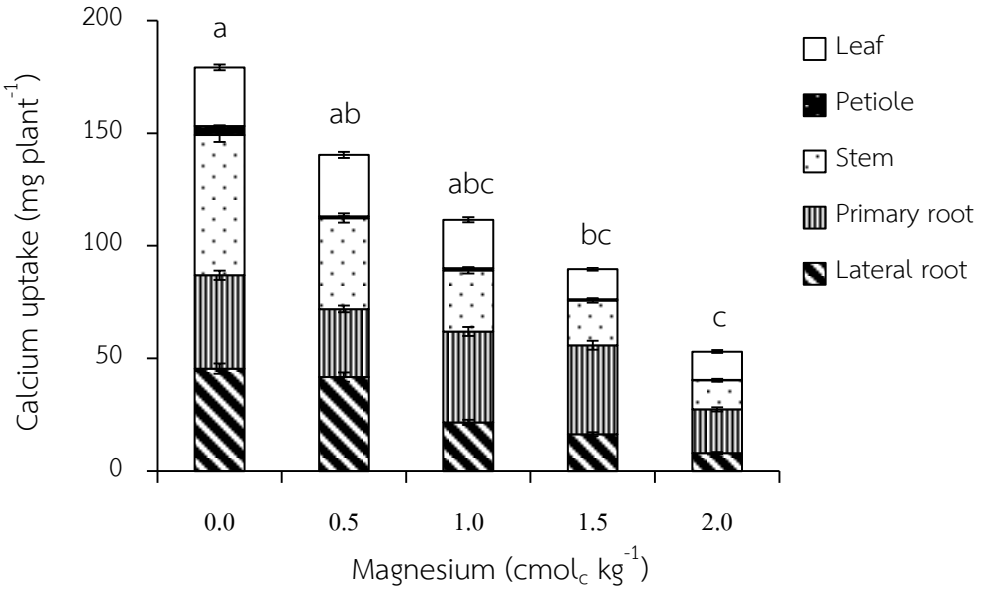


ภาพที่ 3.6 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการดูดใช้แมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

การเติมแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น (0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 $cmol_c\ kg^{-1}$) ส่งผลให้ยางพาราดูดใช้ธาตุอาหารบางธาตุลดลง โดยเฉพาะโพแทสเซียม พบว่า เมื่อใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ยางพารามีการดูดใช้โพแทสเซียมทั้งต้นลดลง คือ 248.65, 216.19, 202.69 และ 154.27 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ โดยในส่วนของใบลดลง คือ 62.33, 62.03, 54.59 และ 50.10 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ก้านใบ คือ 18.82, 17.01, 13.61 และ 9.54 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ลำต้น คือ 63.84, 57.04, 49.22 และ 31.09 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงในรากแก้ว คือ 62.46, 56.62, 59.97 และ 46.44 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ และรากแขนง คือ 41.21, 23.48, 25.21 และ 17.10 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 3.7) เช่นเดียวกับการใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้ยางพารามีการดูดใช้แคลเซียมทั้งต้นลดลง คือ 140.39, 111.58, 89.63 และ 53.10 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ โดยเฉพาะการใส่แมกนีเซียมในอัตราสูง พบว่า มีการดูดใช้แคลเซียมลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยในส่วนของใบ คือ 27.26, 21.49, 13.36 และ 12.53 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ลำต้น คือ 40.36, 27.14, 19.89 และ 12.95 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ รากแก้ว คือ 30.25, 40.38, 39.54 และ 19.44 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ รากแขนง คือ 41.74, 21.61, 16.34 และ 7.93 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงในก้านใบ คือ 0.79, 0.96, 0.49 และ 0.24 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 3.8)

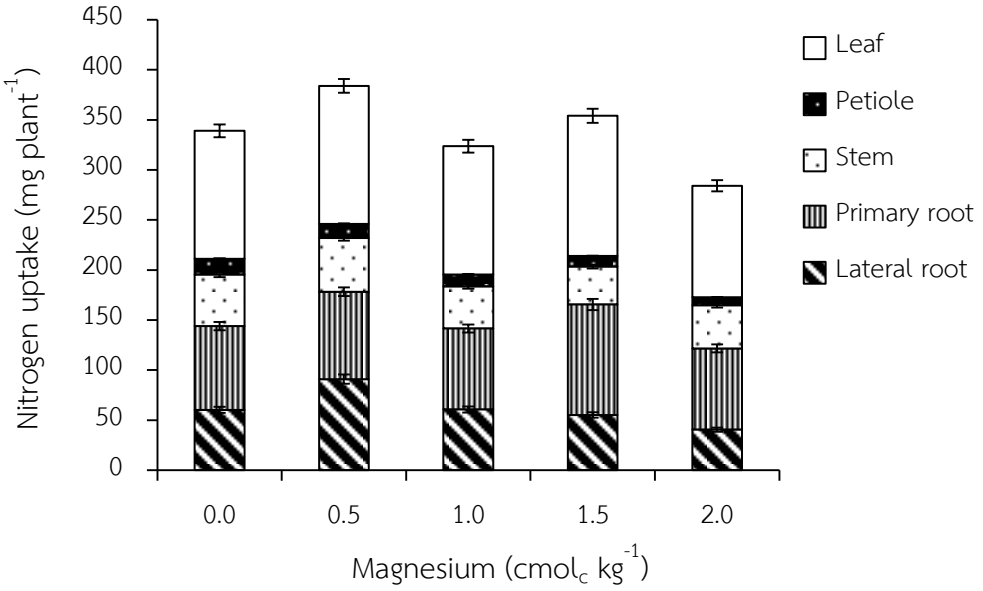


ภาพที่ 3.7 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการดูดใช้โพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

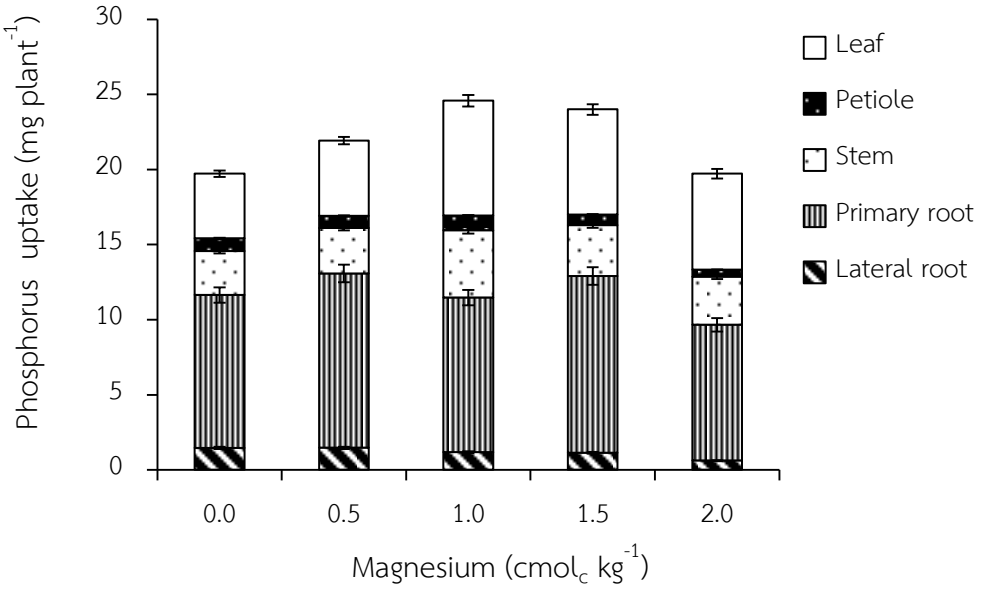


ภาพที่ 3.8 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการดูดใช้แคลเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก
หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

การเติมแมกนีเซียมไม่ส่งผลต่อการดูดใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของต้นยางพารา โดยการใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น (0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 $cmol_c\ kg^{-1}$) พบว่า ยางพาราดูดใช้ไนโตรเจนทั้งต้นเป็น 339.12, 383.87, 323.51, 354.03 และ 284.12 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 3.9) และฟอสฟอรัส เป็น 19.73, 21.93, 24.58, 24.00 และ 19.73 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 3.10) ทั้งในส่วนของใบ ก้านใบ ลำต้น รากแก้ว และรากแขนง อย่างไรก็ตาม การใส่แมกนีเซียมในอัตราสูง (2.0 $cmol_c\ kg^{-1}$) มีแนวโน้มให้ยางพาราลดการดูดใช้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้เช่นกัน (ภาพที่ 3.9 และ 3.10)



ภาพที่ 3.9 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก



ภาพที่ 3.10 ผลของระดับแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

เมื่อประเมินการดูดใช้ธาตุอาหารทั้งต้นของยางพารา พบว่า การใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น แต่ลดการดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียม อย่างไรก็ตาม การใส่แมกนีเซียมในอัตราสูง (2.0 $cmol_c$ kg^{-1}) ส่งผลให้ยางพารามีการดูดใช้ธาตุทุกธาตุลดลง เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม แคลเซียม ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส (ภาพที่ 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 และ 3.10)

2. ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

2.1 สมบัติทางเคมีของดินหลังจากมีการปรับธาตุอาหารให้แก่ต้นยางเล็ก

ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินชนิดเดียวกันกับการทดลองที่ 1 (ตารางที่ 3.1) หลังจากนั้นเมื่อมีการผสมปุ๋ยเข้ากับดินในแต่ละตำรับการทดลอง โดยการเพิ่มแมกนีเซียมทั้งในรูปของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ ทำให้ดินมีแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตามอัตราที่ใส่ อย่างไรก็ตาม การใส่แมกนีเซียม 0.5 และ 1.0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ในรูปของคีเซอไรต์ ส่งผลให้แมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นได้เป็น 0.68 และ 1.19 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ตามลำดับ มากกว่าการใส่ในรูปของโดโลไมต์ คือ 0.27 และ 0.36 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่ในขณะเดียวกันการใส่โดโลไมต์ทำให้ปริมาณธาตุแคลเซียมที่สกัดได้ (0.49 และ 0.60 $cmol_c$ kg^{-1}) และค่า pH (5.1 และ 5.6) เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลในตำรับที่ใส่คีเซอไรต์ (Extr. Ca 0.35 และ 0.34 $cmol_c$ kg^{-1} ; pH 4.6 และ 4.5) (ตารางที่ 3.14)

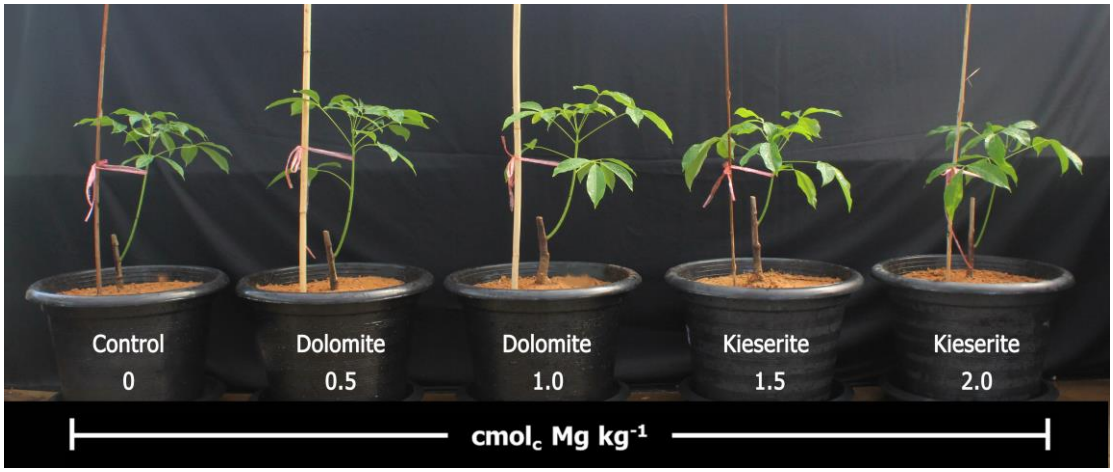
ตารางที่ 3.14 สมบัติทางเคมีของดินหลังจากมีการใส่โดโลไมต์และคีเซอไรต์ให้แก่ต้นยางเล็ก

Treatment	pH (1:5)	EC (dS m^{-1}) (1:5)	Total N (g kg^{-1})	Avail. P (mg kg^{-1})	Extr. K	Extr. Mg	Extr. Ca
					[---------- $cmol_c$ kg^{-1} ----------]		
Mg 0 $cmol_c$ kg^{-1} (Control)	4.6c	0.11c	0.33	10.80	0.23	0.12d	0.32c
Mg 0.5 $cmol_c$ kg^{-1} (Dolomite)	5.1b	0.12c	0.33	10.36	0.25	0.27cd	0.49b
Mg 1.0 $cmol_c$ kg^{-1} (Dolomite)	5.6a	0.12c	0.36	9.27	0.25	0.36c	0.60a
Mg 0.5 $cmol_c$ kg^{-1} (Kieserite)	4.6c	0.19b	0.34	10.87	0.26	0.68b	0.35c
Mg 1.0 $cmol_c$ kg^{-1} (Kieserite)	4.5c	0.26a	0.37	10.03	0.26	1.19a	0.34c
F-test	*	*	NS	NS	NS	*	*
C.V. (%)	2.75	19.66	9.19	13.88	21.91	23.4	7.56

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ 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 3.11) ต้นยางเล็กที่ใช้ในการทดลองมีการเจริญเติบโตสม่ำเสมอทุกตำรับการทดลอง ทั้งความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ ก้านใบ และฉัตร (ตารางที่ 3.15)



ภาพที่ 3.11 เริ่มทำการทดลองปลูกต้นยางเล็ก

ตารางที่ 3.15 การเจริญเติบโตของต้นยางเล็กเมื่อเริ่มการทดลอง

Treatment	Height (cm)	Diameter (mm)	Leaf number	Whorl number	Petiole number
Mg 0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Control)	24.28	4.92	18.0	1.0	6.0
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Dolomite)	24.82	5.16	18.0	1.0	6.0
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Dolomite)	24.66	5.21	18.0	1.0	6.0
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Kieserite)	24.32	4.25	18.0	1.0	6.0
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Kieserite)	25.70	4.62	18.0	1.0	6.0
F-test	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	9.56	13.44	0.00	0.00	0.00

หมายเหตุ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05

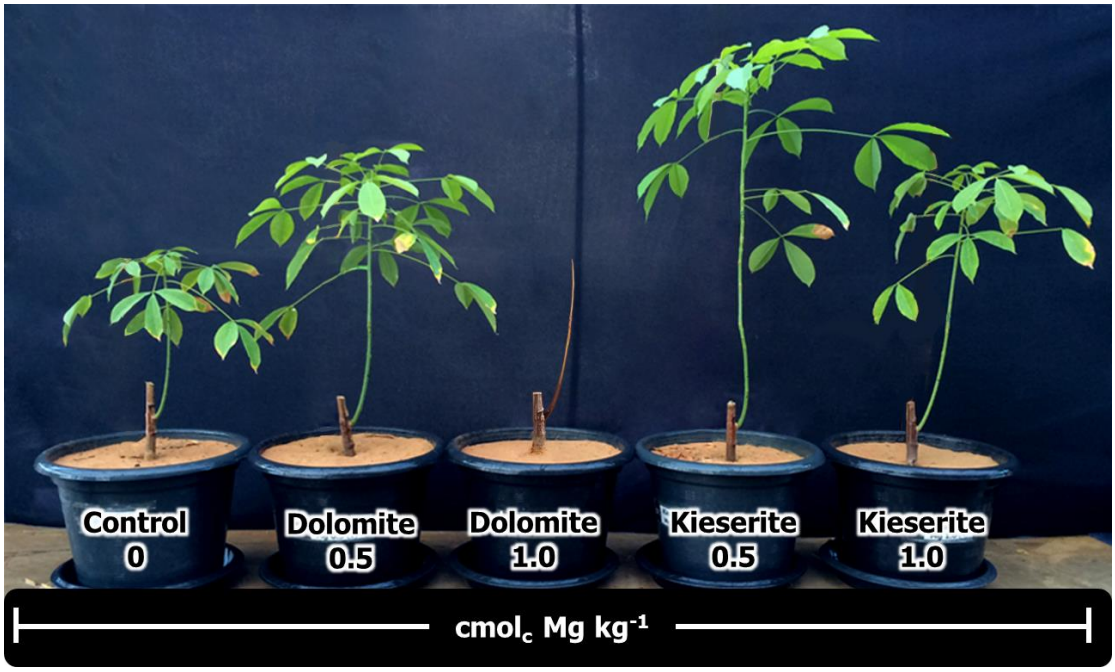
2.3 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

การใส่โดโลไมต์ (0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ส่งผลให้การเจริญเติบโตของยางพาราเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 3.12 และ 3.13) โดยความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของยางพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 28.13 เซนติเมตร และ 1.85 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม คือ 26.72 เซนติเมตร และ 1.31 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3.16 และ 3.17) และยังส่งผลในทำนองเดียวกันกับจำนวนใบ ก้าน และฉัตรของกล้ายางพารา (ตารางที่ 3.18, 3.19 และ 3.20) แต่การใส่โดโลไมต์สูงเกินไป (1.0 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ทำให้ยางพาราแสดงอาการผิดปกติ จนไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ ซึ่งแสดงอาการในเดือนที่ 2 หลังปลูก โดยอาการเริ่มแรก ใบจะมีสีเหลืองอ่อนระหว่างเส้นใบคล้ายกับอาการขาดแมกนีเซียม แต่เกิดพร้อมกันทั้งใบบนและใบล่าง ต่อมาจะมีอาการเหลืองสม่ำเสมอทั้งต้น ทั้งในส่วนของใบ ก้าน และลำต้น จากนั้นจะผลัดใบ และก้านร่วงหล่นจนหมดต้น และยืนต้นตายในที่สุด (ภาพที่ 3.14)

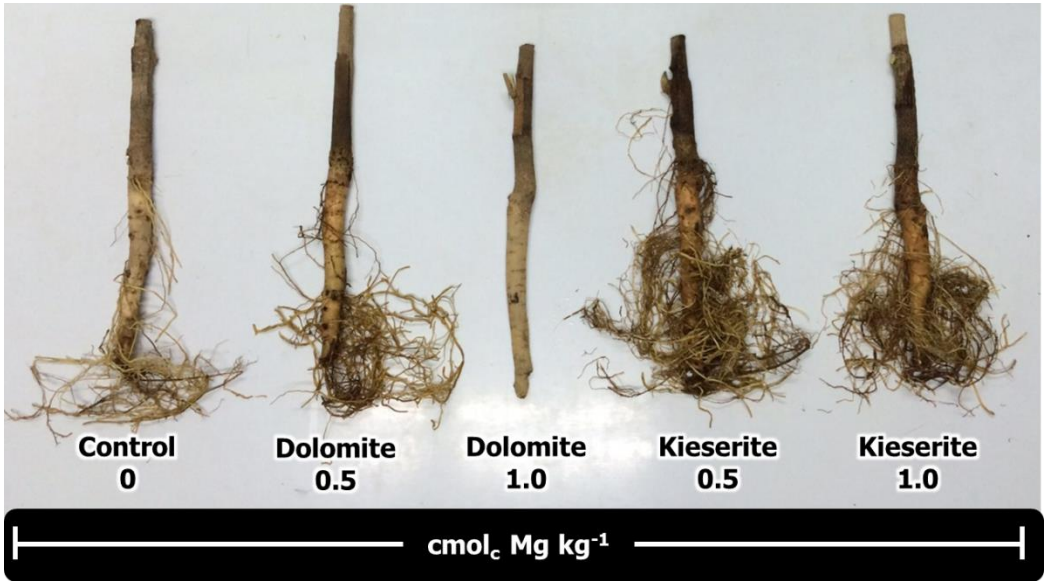
การใส่คีเซอไรต์ส่งผลให้การเจริญเติบโตของยางพาราเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการใส่คีเซอไรต์ 0.5 เซนติโมลประจุของแมกนีเซียมต่อกิโลกรัม สูงกว่าการใส่คีเซอไรต์ 1.0 เซนติโมลประจุของแมกนีเซียมต่อกิโลกรัม ทั้งในส่วนเหนือดินและราก (ภาพที่ 3.12 และ 3.13) โดยความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของยางพาราจากการใส่คีเซอไรต์ (0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ส่งผลให้ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้นสูงที่สุด คือ 51.01 เซนติเมตร และ 3.69 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อ

เปรียบเทียบกับตำรับควบคุม คือ 26.72 เซนติเมตร และ 1.31 มิลลิเมตร ตามลำดับ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 3.16 และ 3.17) นอกจากนี้ยังส่งผลในทำนองเดียวกันกับจำนวนใบ ก้าน และฉัตรที่เพิ่มขึ้นของกล้ายางพารา (ตารางที่ 3.18, 3.18 และ 3.20)

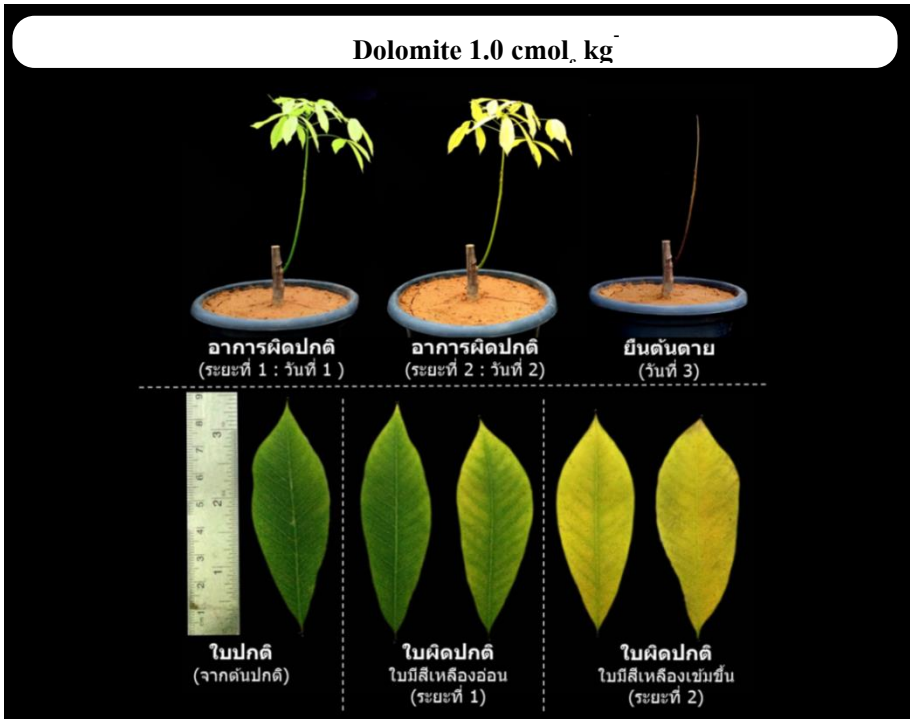
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใส่โดโลไมต์และคีเซอไรต์ พบว่า การใส่คีเซอไรต์ส่งผลให้การเจริญเติบโตของยางพาราเพิ่มขึ้น ทั้งความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ($P \leq 0.05$) และมีแนวโน้มให้จำนวนใบ ก้านใบ และฉัตร มากกว่าการใส่โดโลไมต์ (ตารางที่ 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, และ 3.20)



ภาพที่ 3.12 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก (6 เดือน)



ภาพที่ 3.13 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตในส่วนรากของต้นยางเล็ก (6 เดือน)



ภาพที่ 3.14 อาการผิดปกติของต้นยางเล็กหลังจากใส่โดโลไมต์ (1.0 cmol$_c$ kg^{-1})

ตารางที่ 3.16 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อความสูงของต้นยางเล็ก

Treatment	Height (cm)		
	Before	After (6 months)	Difference
Mg 0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Control)	24.28	51.00b	26.72b
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Dolomite)	24.82	52.95b	28.13b
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Dolomite)	24.66	ND	ND
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Kieserite)	24.32	75.33a	51.01a
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Kieserite)	25.70	56.03ab	30.33b
F-test	NS	*	*
C.V. (%)	9.56	28.76	32.71

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 3.17 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางเล็ก

Treatment	Diameter (mm)		
	Before	After (6 months)	Difference
Mg 0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Control)	4.92	6.23b	1.31b
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Dolomite)	5.16	7.01ab	1.85b
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Dolomite)	5.21	ND	ND
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Kieserite)	4.25	7.94a	3.69a
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Kieserite)	4.62	6.69ab	2.07b
F-test	NS	*	*
C.V. (%)	13.44	17.04	38.13

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 3.18 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อจำนวนใบของต้นยางเล็ก

Treatment	Leaf number of rubber		
	Before	After (6 months)	Difference
Mg 0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Control)	18.0	31.5b	13.50b
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Dolomite)	18.0	40.5ab	22.50ab
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Dolomite)	18.0	ND	ND
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Kieserite)	18.0	51.0a	33.00a
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Kieserite)	18.0	41.25ab	23.25ab
F-test	NS	*	*
C.V. (%)	0.00	35.35	34.76

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 3.19 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อจำนวนก้านใบของต้นยางเล็ก

Treatment	Petiole number of rubber		
	Before	After (6 months)	Difference
Mg 0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Control)	6.0	31.5b	25.5b
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Dolomite)	6.0	40.5ab	34.5ab
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Dolomite)	6.0	ND	ND
Mg 0.5 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Kieserite)	6.0	51.0a	45.0a
Mg 1.0 $cmol_c\ kg^{-1}$ (Kieserite)	6.0	41.25ab	35.25ab
F-test	NS	*	*
C.V. (%)	0.00	35.35	31.54

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 3.20 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อจำนวนฉัตรของต้นยางเล็ก

Treatment	Whorl number of rubber		
	Before	After (6 months)	Difference
Mg 0 $cmol_c$ kg^{-1} (Control)	1.0	2.00b	1.0b
Mg 0.5 $cmol_c$ kg^{-1} (Dolomite)	1.0	2.75a	1.8a
Mg 1.0 $cmol_c$ kg^{-1} (Dolomite)	1.0	ND	ND
Mg 0.5 $cmol_c$ kg^{-1} (Kieserite)	1.0	3.00a	2.0a
Mg 1.0 $cmol_c$ kg^{-1} (Kieserite)	1.0	3.00a	2.0a
F-test	NS	*	*
C.V. (%)	0.00	11.40	16.6

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล

การใส่โดโลไมต์ (0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ส่งผลให้น้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินและรากเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม โดยพบว่า น้ำหนักแห้งในส่วนรากแก้ว ใบ ลำต้น รากแขนง และก้านเพิ่มขึ้นเป็น 28.29, 5.89, 4.32, 2.68 และ 1.67 กรัมต่อต้น ตามลำดับ มากกว่าตำรับควบคุม คือ 17.31, 5.12, 4.28, 2.57 และ 0.66 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 3.21)

การใส่คีเซอไรต์ส่งผลให้น้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินและรากเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการใส่คีเซอไรต์ 0.5 เซนติโมลประจุของแมกนีเซียมต่อกิโลกรัม พบว่า น้ำหนักแห้งในส่วนรากแก้ว ใบ ลำต้น รากแขนง และก้านเพิ่มขึ้นเป็น 51.22, 10.09, 12.48, 7.76 และ 1.57 กรัมต่อต้น ตามลำดับ มากกว่าตำรับควบคุม คือ 17.31, 5.12, 4.28, 2.57 และ 0.66 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 3.21)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใส่โดโลไมต์และคีเซอไรต์ (0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) พบว่า การใส่คีเซอไรต์ส่งผลให้น้ำหนักแห้งในส่วนรากและส่วนเหนือดินเพิ่มขึ้นเป็น 58.97 และ 24.14 กรัมต่อต้น มากกว่าการใส่โดโลไมต์ 30.96 และ 11.87 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 3.21)

ตารางที่ 3.21 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อน้ำหนักแห้งในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

Treatment	Dry weight (g plant^{-1})							
	Leaf	Petiole	Stem	Primary root	Lateral root	Shoot	Root	Total
Mg 0 cmol$_c$ kg^{-1} (Control)	5.12b	0.66b	4.28b	17.31c	2.57b	10.06b	19.88c	29.45d
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1} (Dolomite)	5.89b	1.67a	4.32b	28.29b	2.68b	11.87b	30.96b	42.84c
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1} (Dolomite)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1} (Kieserite)	10.09a	1.57a	12.48a	51.22a	7.76a	24.14a	58.97a	83.11a
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1} (Kieserite)	6.71b	1.39a	12.51a	33.03b	3.57b	20.61a	36.60b	57.21b
F-test	*	*	*	*	*	*	*	*
C.V. (%)	31.95	29.70	23.93	11.51	20.07	21.58	8.95	9.96

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ ND คือ ไม่มีข้อมูล
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

2.4 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

การใส่โดโลไมต์ (0.5 cmol$_c$ Mg kg^{-1}) ส่งผลให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบของยางพาราเพิ่มขึ้นเป็น 3.85 กรัมต่อกิโลกรัม มากกว่าตำรับควบคุม คือ 1.48 กรัมต่อกิโลกรัม (P≤0.05) ในขณะเดียวกัน การใส่โดโลไมต์ส่งผลให้ความเข้มเข้นของแคลเซียมในใบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เป็น 8.29 กรัมต่อกิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม คือ 5.18 กรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3.22)

การใส่คีเซอไรต์ (0.5 และ 1.0 cmol$_c$ Mg kg^{-1}) ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบของยางพาราเพิ่มขึ้นตามอัตราที่ใส่ คือ 4.09 และ 4.50 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ มากกว่าตำรับควบคุม คือ 1.48 กรัมต่อกิโลกรัม (P≤0.05) นอกจากนี้ การใส่คีเซอไรต์ยังส่งผลให้ความเข้มข้นของกำมะถันในใบเพิ่มขึ้นเป็น 1.18 และ 1.67 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม คือ 0.67 กรัมต่อกิโลกรัม (P≤0.05) แต่การใส่คีเซอไรต์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมและไนโตรเจนในใบลดลง โดยโพแทสเซียมในใบลดลงเป็น 15.79 และ 12.58 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบลดลงเป็น 40.93 และ 33.71 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (P≤0.05) (ตารางที่ 3.22) และยังส่งผลในลักษณะเดียวกันกับส่วนของก้าน ลำต้น รากแก้ว และรากแขนงของยางพารา (ตารางที่ 3.23, 3.24, 3.25 และ 3.26)

เมื่อเปรียบเทียบการใส่โดโลไมต์และคีเซอไรต์ (0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) พบว่า การใส่คีเซอไรต์ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียม (4.09 g kg^{-1}) และกำมะถัน (1.18 g kg^{-1}) ในใบเพิ่มขึ้นสูงกว่าการใส่โดโลไมต์ (Mg 3.85 และ S 0.75 g kg^{-1}) แต่การใส่คีเซอไรต์ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบ (15.79 g kg^{-1}) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่โดโลไมต์ (20.07 g kg^{-1}) และตำรับควบคุม (20.01 g kg^{-1}) ($P \leq 0.05$) ในขณะที่การใส่โดโลไมต์ทำให้ความเข้มข้นของแคลเซียมในใบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (8.29 g kg^{-1}) เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่คีเซอไรต์ (4.85 g kg^{-1}) และตำรับควบคุม (5.18 g kg^{-1}) (ตารางที่ 3.22) และยังส่งผลในลักษณะเดียวกันกับส่วนของก้าน ลำต้น รากแก้ว และรากแขนงของยางพารา (ตารางที่ 3.23, 3.24, 3.25 และ 3.26)

ตารางที่ 3.22 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบของต้นยางเล็ก

Treatment	N	P	K	Mg	Ca	S
	[----------	----------	----------	g kg^{-1} ----------	----------	----------]
Mg 0 $cmol_c$ kg^{-1} (Control)	40.66a	1.25	20.01a	1.48b	5.18	0.67c
Mg 0.5 $cmol_c$ kg^{-1} (Dolomite)	39.46a	1.32	20.07a	3.85a	8.29	0.75c
Mg 1.0 $cmol_c$ kg^{-1} (Dolomite)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mg 0.5 $cmol_c$ kg^{-1} (Kieserite)	40.93a	1.42	15.79b	4.09a	4.85	1.18b
Mg 1.0 $cmol_c$ kg^{-1} (Kieserite)	33.71b	1.30	12.58c	4.50a	5.19	1.67a
F-test	*	NS	*	*	NS	*
C.V. (%)	24.23	11.08	13.33	19.96	34.32	23.53

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ $P > 0.05$
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 3.23 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในก้านของต้นยางเล็ก

Treatment	N	P	K	Mg	Ca
	[---------- g kg^{-1} ----------]				
Mg 0 cmol$_c$ kg^{-1} (Control)	21.63a	0.81	20.41ab	2.21b	5.01b
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1} (Dolomite)	19.66b	0.74	21.51a	2.61b	11.78a
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1} (Dolomite)	ND	ND	ND	ND	ND
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1} (Kieserite)	17.84c	0.77	24.03a	3.48b	3.55b
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1} (Kieserite)	13.81d	0.71	17.10b	6.05a	3.45c
F-test	*	NS	*	*	*
C.V. (%)	11.40	9.01	8.94	25.79	21.16

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 3.24 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในลำต้นของต้นยางเล็ก

Treatment	N	P	K	Mg	Ca
	[---------- g kg^{-1} ----------]				
Mg 0 cmol$_c$ kg^{-1} (Control)	18.47	0.54	14.03a	1.17c	6.78b
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1} (Dolomite)	18.25	0.63	9.18b	2.05b	12.15a
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1} (Dolomite)	ND	ND	ND	ND	ND
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1} (Kieserite)	15.87	0.57	12.10b	2.36b	5.67b
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1} (Kieserite)	13.20	0.54	10.56b	3.69a	5.40b
F-test	NS	NS	*	*	*
C.V. (%)	12.89	31.72	27.06	20.73	17.88

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 3.25 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในรากแก้วของต้นยางเล็ก

Treatment	N	P	K	Mg	Ca
	[---------- g kg^{-1} ----------]				
Mg 0 cmol$_c$ kg^{-1} (Control)	9.70a	0.46	7.19a	0.54c	3.73b
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1} (Dolomite)	8.44ab	0.37	7.12a	1.44a	4.46a
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1} (Dolomite)	ND	ND	ND	ND	ND
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1} (Kieserite)	7.83ab	0.45	4.98ab	1.04b	1.88c
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1} (Kieserite)	5.47b	0.40	4.51b	0.84bc	0.41d
F-test	*	NS	*	*	*
C.V. (%)	11.48	23.26	24.77	21.24	30.78

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 3.26 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารในรากแขนงของต้นยางเล็ก

Treatment	N	P	K	Mg	Ca
	[---------- g kg^{-1} ----------]				
Mg 0 cmol$_c$ kg^{-1} (Control)	41.50a	0.59	9.26	0.63b	2.39b
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1} (Dolomite)	30.24b	0.68	9.48	3.64a	4.94a
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1} (Dolomite)	ND	ND	ND	ND	ND
Mg 0.5 cmol$_c$ kg^{-1} (Kieserite)	33.15b	0.62	8.10	3.28a	2.16b
Mg 1.0 cmol$_c$ kg^{-1} (Kieserite)	30.61b	0.63	9.58	3.61a	1.64b
F-test	*	NS	NS	*	*
C.V. (%)	13.03	15.31	27.92	28.28	31.46

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ P≤0.05 และ NS คือ ไม่แตกต่างทางสถิติที่ P>0.05
ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล

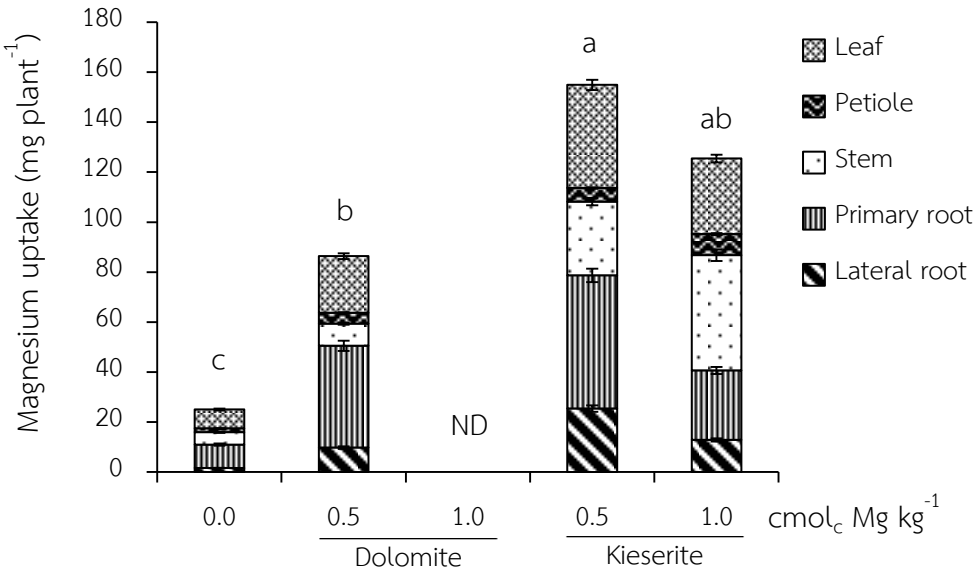
2.5 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นยางเล็ก

เมื่อประเมินการดูดใช้ธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราจากความเข้มข้นของธาตุอาหารและน้ำหนักแห้ง พบว่า การดูดใช้ธาตุอาหารจะมีการสะสมมากในส่วนของรากแก้ว รองลงมา คือ ลำต้น ใบ รากแขนง และก้านใบ ตามลำดับ (ภาพที่ 3.15, 3.17, 3.18, 3.19 และ 3.20)

การใส่โดโลไมต์ ส่งผลให้การดูดใช้แมกนีเซียมทั้งต้นของยางพาราเพิ่มขึ้นเป็น 164.93 มิลลิกรัมต่อต้น มากกว่าตำรับควบคุม คือ 25.01 มิลลิกรัมต่อต้น ($P \leq 0.05$) โดยยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมในใบเพิ่มขึ้น (22.67 mg plant^{-1}) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม (7.58 mg plant^{-1}) (ภาพที่ 3.15)

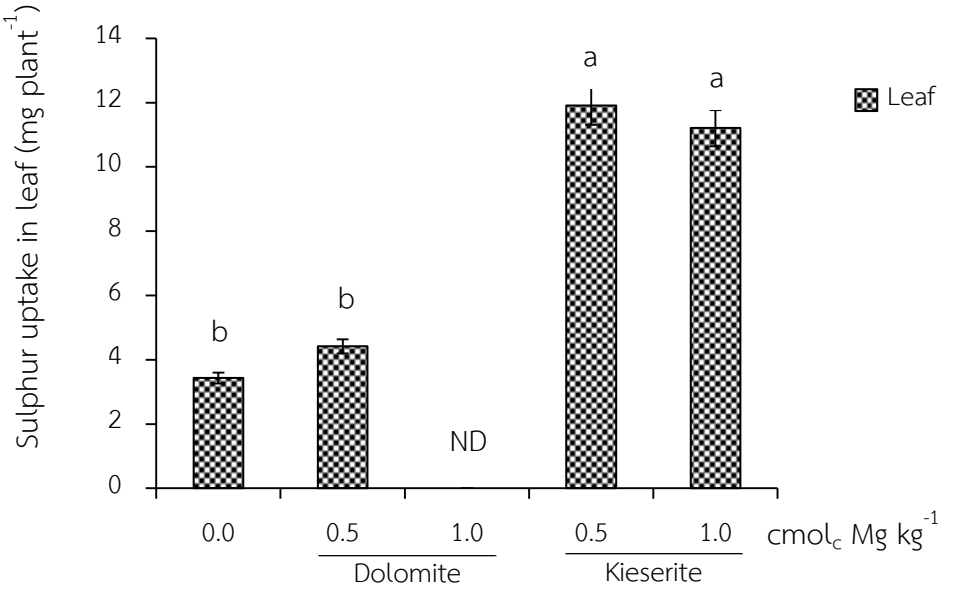
การใส่คีเซอไรต์ (0.5 cmol$_c$ Mg kg^{-1}) ส่งผลให้ยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมทั้งต้น เป็น 154.906 มิลลิกรัมต่อต้น มากกว่าตำรับควบคุม คือ 25.01 มิลลิกรัมต่อต้น ($P \leq 0.05$) โดยยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมในใบเพิ่มขึ้นสูงที่สุด คือ 41.27 มิลลิกรัมต่อต้น เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม คือ 7.58 มิลลิกรัมต่อต้น (ภาพที่ 3.15) และทำให้ยางพารามีการดูดใช้กำมะถันในใบเพิ่มขึ้น (11.91 mg plant^{-1}) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม (3.43 mg plant^{-1}) (ภาพที่ 3.16)

เมื่อเปรียบเทียบการใส่โดโลไมต์และคีเซอไรต์ (0.5 cmol$_c$ Mg kg^{-1}) พบว่า การใส่คีเซอไรต์ส่งผลให้ยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมในรากแก้ว ใบ ลำต้น รากแขนง และก้านเพิ่มขึ้นเป็น 53.67, 41.27, 29.45, 25.45 และ 5.46 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ มากกว่าการใส่โดโลไมต์ 40.74, 22.67, 8.86, 9.76 และ 4.36 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 3.15) และยางพารามีการดูดใช้กำมะถันในใบจากการใส่คีเซอไรต์ (11.91 mg plant^{-1}) มากกว่าการใส่โดโลไมต์ (4.42 mg plant^{-1}) ($P \leq 0.05$) (ภาพที่ 3.16)



ภาพที่ 3.15 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้แมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของยางพารา

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล



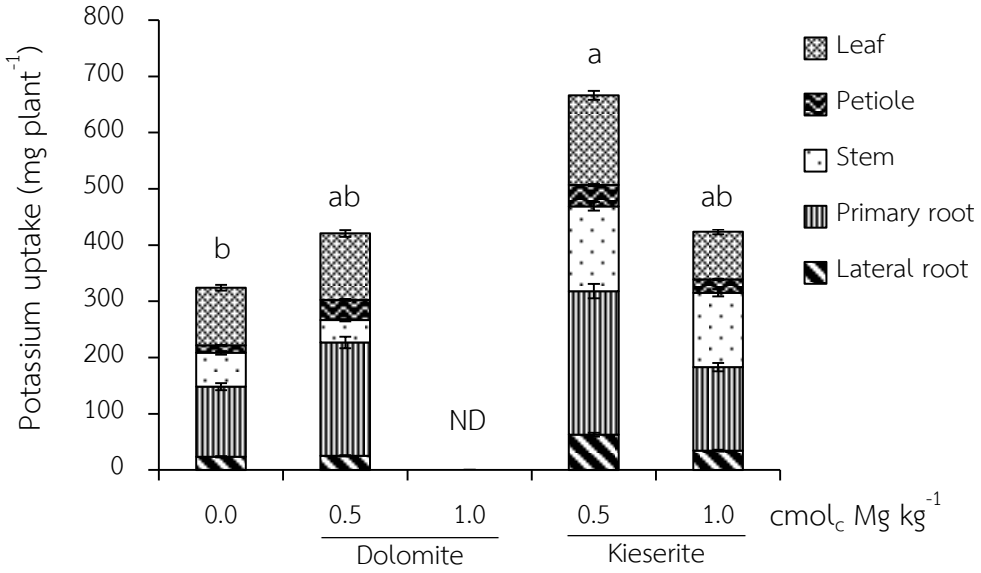
ภาพที่ 3.16 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้กำมะถันในส่วนใบของต้นยางเล็ก

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล

การใส่โดโลไมต์ ส่งผลให้ยางพารามีการดูดใช้ไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และฟอสฟอรัสทั้งต้นเพิ่มขึ้นเป็น 663.90, 420.62, 260.40 และ 24.21 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม คือ 576.07, 324.23, 129.56 และ 18.73 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 3.17, 3.18, 3.19 และ 3.20) โดยยางพารามีการดูดใช้ไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และฟอสฟอรัสในใบเพิ่มขึ้นเป็น 232.42, 118.21, 48.83 และ 7.78 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม คือ 208.18, 102.45, 26.52 และ 6.40 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ และให้ผลในทำนองเดียวกันกับส่วนของก้านใบ ลำต้น รากแก้ว และรากแขนง (ภาพที่ 3.17, 3.18, 3.19 และ 3.20)

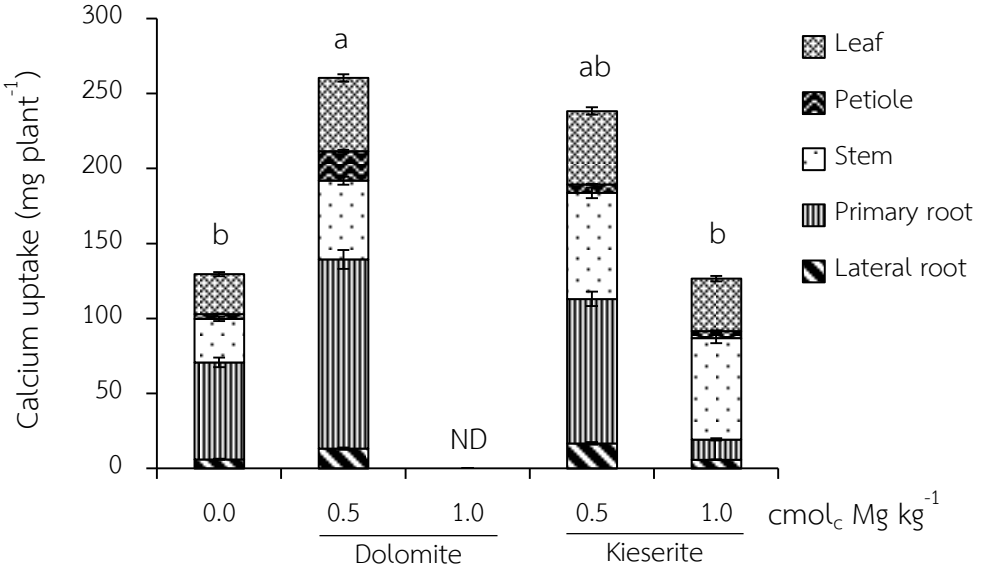
การใส่คีเซอไรต์ (0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ส่งผลให้ยางพารามีการดูดใช้ไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และฟอสฟอรัสทั้งต้นเพิ่มขึ้นเป็น 1,297.35, 665.99, 238.33 และ 50.51 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม คือ 576.07, 324.23, 129.56 และ 18.73 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ภาพที่ 3.17, 3.18, 3.19 และ 3.20) ($P \leq 0.05$) โดยยางพารามีการดูดใช้ไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และฟอสฟอรัสในใบเพิ่มขึ้นเป็น 412.98, 159.32, 48.94 และ 14.33 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับควบคุม คือ 208.18, 102.45, 26.52 และ 6.40 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่การใส่คีเซอไรต์เพิ่มขึ้น (1.0 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ทำให้การดูดใช้ไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม และฟอสฟอรัสในใบมีแนวโน้มลดลง คือ 226.19, 84.41, 34.82 และ 8.72 มิลลิกรัมต่อต้น ตามลำดับ และให้ผลในทำนองเดียวกันกับส่วนของก้านใบ ลำต้น รากแก้ว และรากแขนง (ภาพที่ 3.17, 3.18, 3.19 และ 3.20)

เมื่อเปรียบเทียบการใส่โดโลไมต์และคีเซอไรต์ (0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) พบว่า การใส่คีเซอไรต์ส่งผลให้การดูดใช้โพแทสเซียม ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในใบ ก้านใบ ลำต้น รากแก้ว และรากแขนงมากกว่าการใส่โดโลไมต์ (ภาพที่ 3.17, 3.18, 3.19 และ 3.20) อย่างไรก็ตาม การใส่โดโลไมต์ส่งผลให้การดูดใช้แคลเซียมในส่วนต่าง ๆ มากกว่าการใส่คีเซอไรต์ (ภาพที่ 3.18)



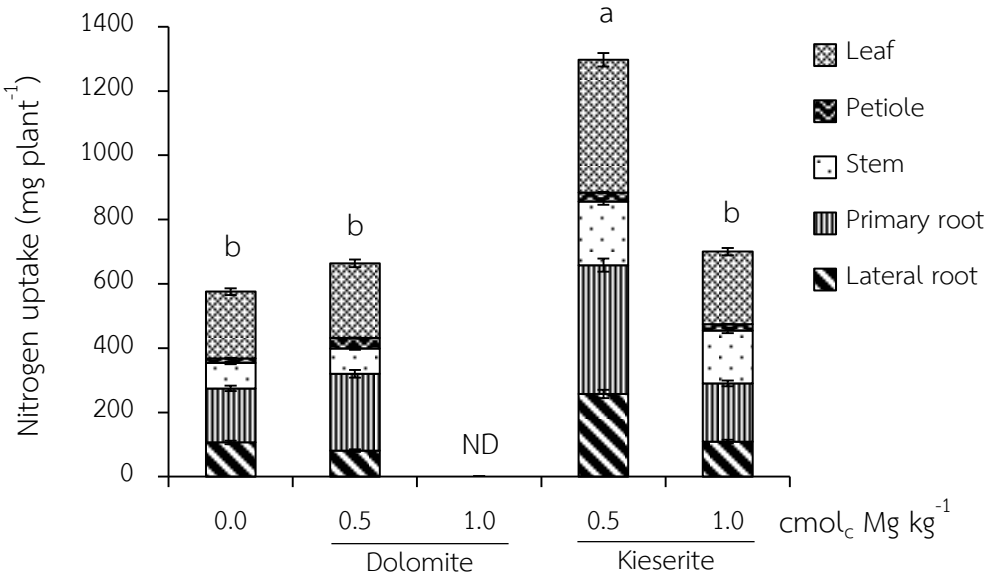
ภาพที่ 3.17 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้โพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล



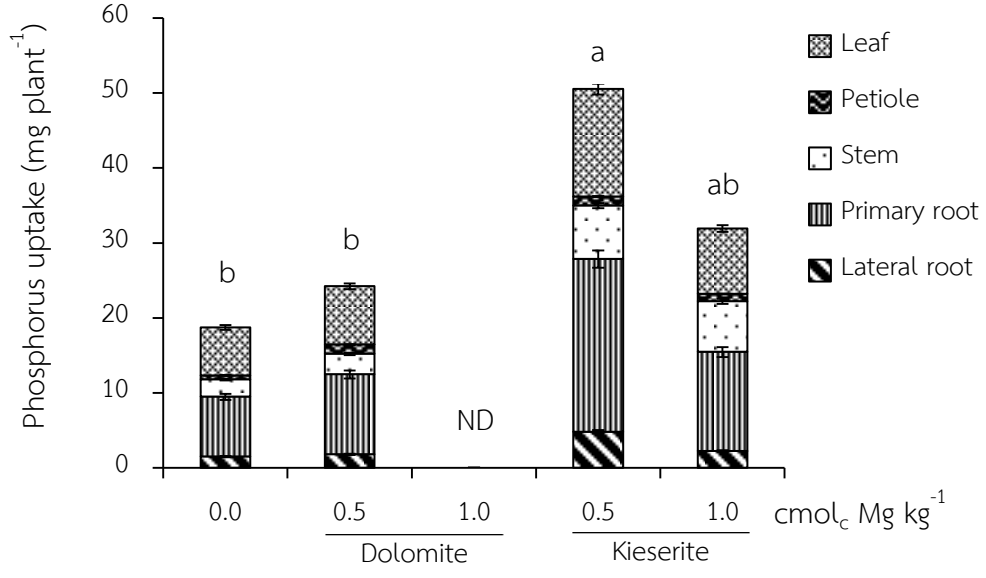
ภาพที่ 3.18 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้แคลเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล



ภาพที่ 3.19 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้ไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล



ภาพที่ 3.20 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้ฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05
ND คือ ไม่มีข้อมูล

2.6 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นยางเล็ก

ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใส่โดโลไมต์และคีเซอไรต์ โดยเฉพาะการใส่คีเซอไรต์ (0.5 และ 1.0 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น คือ 2.80 และ 2.88 มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร ตามลำดับ มากกว่าการใส่โดโลไมต์ (2.08 mg dm^{-2}) และมากกว่าตำรับควบคุม (1.79 mg dm^{-2}) (ตารางที่ 3.27)

ตารางที่ 3.27 ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของต้นยางเล็ก

Treatment	Total chlorophyll (mg dm^{-2})
Mg 0 $cmol_c$ kg^{-1} (Control)	1.79b
Mg 0.5 $cmol_c$ kg^{-1} (Dolomite)	2.08b
Mg 1.0 $cmol_c$ kg^{-1} (Dolomite)	ND
Mg 0.5 $cmol_c$ kg^{-1} (Kieserite)	2.80a
Mg 1.0 $cmol_c$ kg^{-1} (Kieserite)	2.88a
F-test	*
C.V. (%)	16.05

หมายเหตุ * คือ แตกต่างทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ และ ND คือ ไม่มีข้อมูล

ตัวอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบโดยวิธี DMRT ที่ P=0.05

บทที่ 4

วิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาผลของแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารและผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก

1. แมกนีเซียมในดินและการสะสมแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

ยางพารามีการตอบสนองต่อการใส่แมกนีเซียม เนื่องจากชุดดินที่ใช้ในการทดลองนั้น คือ ชุดดินคลองท่อม (Khlong Thom series: Km) ซึ่งจัดอยู่ในอันดับอัลทิซอลส์ (Ultisols) เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ (วุฒิชาติ และคณะ, 2548) โดยดินมีแมกนีเซียม (0.07 $cmol_c\ kg^{-1}$) ต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมในยางพารา (>0.30 $cmol_c\ kg^{-1}$) (ตารางที่ 3.1) เมื่อมีการใส่แมกนีเซียมในดินเพิ่มขึ้น ทำให้ดินมีแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3.2) จึงทำให้ยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ใบ ก้าน ลำต้น รากแก้ว และรากแขนงของยางพาราเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$) (ตารางที่ 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 และ 3.13) สอดคล้องกับการทดลองใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมในดินปลูกปาล์มน้ำมัน โดยใช้ชุดดินคอหงส์ ซึ่งเป็นดินที่มีพัฒนาการสูง และมีแมกนีเซียมในดินต่ำ คล้ายกับดินปลูกยางในภาคใต้ทั่วไป พบว่า เมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม (kieserite) ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น (สุนีย์ และชาย, 2547) และยังมีงานวิจัยในพืชอื่น ๆ เช่น ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบของยางพารา (นุชนารถ และคณะ, 2540) และมะพร้าวเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม (Jeganathan, 1990)

ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบของยางพาราในตำรับที่ไม่ใส่แมกนีเซียม (3.14 $g\ kg^{-1}$) (ตารางที่ 3.9) แม้ว่าจะมีค่าสูงกว่าระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม (2.0-2.5 $g\ kg^{-1}$) ของยางพารา (นุชนารถ และคณะ, 2556) แต่ยางพาราก็ยังตอบสนองต่อแมกนีเซียม แสดงว่าความเข้มข้นของแมกนีเซียมในกล้ายางพาราอาจจะสูงกว่าค่าในใบยางพาราทั่ว ๆ ไปตามที่ นุชนารถ และคณะ (2556) รายงานไว้ โดยมีรายงานความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืชว่า ความเข้มข้นวิกฤติของธาตุอาหารจะลดลงตามอายุของพืชที่เพิ่มขึ้น (Smith and Loneragon, 1997) ในยางพาราก่อนเปิดกรีด (<6 ปี) เป็นช่วงที่มีการพัฒนาและสร้างใบหรือทรงพุ่มสูง จึงทำให้ยางพาราก่อนเปิดกรีดมีความต้องการแมกนีเซียมในปริมาณค่อนข้างสูงกว่ายางพาราหลังเปิดกรีด สอดคล้องกับที่มีรายงานระดับวิกฤตของธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันว่า ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และ

แคลเซียมในทางใบที่ 17 ลดลงเมื่ออายุของปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น (ธีระ และคณะ, 2544) ดังนั้น จึงมีการกำหนดความเข้มข้นในใบย่อยจากทางใบที่ 17 ที่เพียงพอสำหรับปาล์มเล็ก (< 6 ปี) กับปาล์มใหญ่ (> 6 ปี) ที่แตกต่างกัน (ธีรพงศ์ และคณะ, 2547)

การใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบมีผลชัดเจนที่สุด (ตารางที่ 3.9) สอดคล้องกับการทดลองหาความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักในยางพารา พบว่า ในส่วนของใบและก้านใบของยางพารามีความเข้มข้นของแมกนีเซียมสูงกว่าส่วนอื่น ๆ (สุนทรี และจินตนา, 2549) เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ จึงพบแมกนีเซียมมากในส่วนที่เป็นสีเขียวของพืช และพืชจะเก็บแมกนีเซียมไว้ในแวคคิวโอลเพื่อสำรองไว้ใช้ปรับภาวะธำรงดุล (homeostasis) สร้างสมดุลระหว่างแคตไอออนกับแอนไอออน และควบคุมความเต่งของเซลล์ (ยงยุทธ, 2552) อย่างไรก็ตาม ในการดูดใช้แมกนีเซียมของยางพารา พบว่า มีการดูดใช้แมกนีเซียมในลำต้นสูงที่สุด รองลงมา คือ รากแก้ว รากแขนง ใบ และก้านใบ (ภาพที่ 3.6) เนื่องจากลำต้นเป็นส่วนที่มีน้ำหนักรวมมากกว่าส่วนอื่น ๆ ซึ่งอัตราการดูดใช้แมกนีเซียมคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของธาตุอาหารในส่วนนั้น ๆ และน้ำหนักแห้งในส่วนนั้น ๆ จึงทำให้พบผลการดูดใช้แมกนีเซียมในลำต้นได้มากกว่าส่วนอื่น ๆ สอดคล้องกับการทดลองใส่แมกนีเซียมในยางพารา โดยยางพาราดูดใช้แมกนีเซียมสะสมมากในลำต้นและรากแก้ว (ฮูซัน, 2559) และยางพารามีการดูดใช้แมงกานีสสูงที่สุดในรากแก้ว รองลงมา คือ รากแขนง ลำต้น ใบ และก้านใบ ตามลำดับ (สายใจ, 2558) จึงเห็นได้ว่า การดูดใช้ธาตุอาหารมาจากความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของธาตุอาหาร และน้ำหนักแห้ง แม้ว่าความเข้มข้นของธาตุอาหารจะสูง แต่น้ำหนักแห้งของพืชต่ำ ก็ส่งผลให้การดูดใช้ธาตุอาหารพืชต่ำเช่นกัน ดังนั้น การใส่แมกนีเซียม 2.0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมสูง (ตารางที่ 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 และ 3.13) แต่น้ำหนักแห้งของยางพาราทั้งต้นต่ำ (ตารางที่ 3.4) จึงทำให้ผลประเมินการดูดใช้แมกนีเซียมน้อยกว่าการใส่แมกนีเซียม 1.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 3.6)

2. ผลการใส่แมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตและการดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียมของต้นยางเล็ก

เมื่อยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเจริญเติบโตของยางพาราเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะตำรับที่มีการใส่แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ทำให้การเจริญเติบโตของยางพาราสูงที่สุด (ภาพที่ 3.2) ทั้งความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (ตารางที่ 3.5 และ 3.6) รวมทั้งน้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินและรากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3.4) สอดคล้องกับการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นของยางพารา (นุชนารถ และคณะ, 2540) ปาล์มน้ำมัน (สุนีย์ และชาย, 2547)

และส้ม (Xiao *et al*, 2014) เนื่องจากแมกนีเซียมมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายอย่าง เช่น ช่วยในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ร้อยละ 6-25 ช่วยในกระบวนการใช้แก๊ซคาร์บอนไดออกไซด์ การสร้างโปรตีน การจัดแบ่งส่วนคาร์โบไฮเดรต กระตุ้นการเกิดรากของพืช (ยงยุทธ, 2558) กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และการถ่ายโอนพลังงานในพืช (วิจิตร, 2552) ดังนั้น เมื่อยางพาราได้รับแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม หากยางพาราได้รับแมกนีเซียมไม่เพียงพอ ทำให้ยางพาราชะงักการเจริญเติบโตและผลผลิตลดลง โดยยางพาราจะแสดงอาการใบเหลืองระหว่างเส้นใบในขณะที่ใบยังคงเขียวเป็นปกติ (สถาบันวิจัยยาง, 2556) และหากยางพาราได้รับแมกนีเซียมมากเกินไปส่งผลให้การเจริญเติบโตของยางพาราลดลงได้เช่นกัน (ภาพที่ 3.2 และ 3.3)

การใส่แมกนีเซียมในอัตราสูง (2.0 $cmol_c$ kg^{-1}) ทำให้การเจริญเติบโตของยางพาราลดลง (ตารางที่ 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 และ 3.8) เนื่องจากการใส่แมกนีเซียมในอัตราเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความเข้มเข้นของโพแทสเซียมและแคลเซียมในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราลดลง (ตารางที่ 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 และ 3.13) โดยความเข้มข้นของแคลเซียมและโพแทสเซียมในใบ คือ 13.15 และ 3.29 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3.9) ซึ่งมีระดับต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมในใบยางพารา (6.0-10.0 g K kg^{-1} ; 13.6-16.5 g Ca kg^{-1}) (นุชนารถ และคณะ, 2556) จึงทำให้ใบยางพาราแสดงอาการขาดโพแทสเซียม โดยแสดงอาการเหลืองบริเวณขอบใบล่าง (ภาพที่ 3.5) สอดคล้องกับอาการขาดโพแทสเซียมในใบปาล์ม (Nelson and Patnude, 2012) และใบของชา (Pethiyadoga and Krishnapillai, 1970) เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารที่เคลื่อนย้ายได้ง่าย หากพืชได้รับโพแทสเซียมไม่เพียงพอ โพแทสเซียมจะเคลื่อนย้ายจากใบแก่ไปยังใบอ่อนที่กำลังเจริญเติบโตได้ เมื่อส่วนของการแตกยอดใหม่ได้รับไม่เพียงพอจะมีการลำเลียงขึ้นไปส่วนยอด จึงทำให้ใบแก่ของพืชแสดงอาการเหลืองบริเวณขอบใบ เริ่มจากปลายใบสู่โคนใบแบบสมมาตร หากอาการรุนแรงขอบใบจะแห้ง และร่วงหล่น (ยงยุทธ, 2558; Shorrocks, 1964) ทั้งนี้ยางพารายังแสดงอาการขาดแคลเซียม โดยแสดงอาการแตกบริเวณรากแก้วและรากแขนงมีอาการเน่า (ภาพที่ 3.4) คล้ายคลึงกับผลการทดลองใส่แมงกานีสในยางพารา ส่งผลให้ยางพารามีอาการรากแก้วแตกและรากแขนงเน่าเนื่องจากขาดแคลเซียม (สายใจ, 2558) และในพืชอื่น ๆ เช่น ต้นแตงกวา (Qing-hua *et al*., 2006) ยาสูบ (Santandrea *et al*., 1998) และมันเทศ (Mortley, 1993) เนื่องจากแคลเซียมมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงให้ผนังเซลล์ เพราะช่วยให้มีการเชื่อมไขว้ของโซ่เพกทินในมิดเดิลลาเมลลา (middle lamella) ซึ่งเป็นชั้นบาง ๆ ของผนังเซลล์ปฐมภูมิอยู่กึ่งกลางระหว่างผนังเซลล์ของเซลล์ที่ติดกัน นอกจากนั้น แคลเซียมทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีเสถียรภาพ เพราะเป็นสะพานเชื่อมระหว่างฟอสเฟตกับหมู่คาร์บอกซิลของฟอสโฟ ลิพิด และโปรตีนตรงบริเวณผิวของเยื่อหุ้มเซลล์ (ยงยุทธ, 2552) ดังนั้น การใส่แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นมาก

เกินไปทำให้ยางพาราลดการดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียม ส่งผลให้เจริญเติบโตของยางพาราน้อยลง

การใส่แมกนีเซียมมากไปส่งผลให้ยางพาราลดการดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียม (ภาพที่ 3.7 และ 3.8) จึงทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมและแคลเซียมในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราลดลง (ตารางที่ 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 และ 3.13) เนื่องจากแมกนีเซียมมีอันตรกิริยาเชิงลบในแง่การดูดธาตุอาหารกับโพแทสเซียมและแคลเซียม (ยงยุทธ, 2552) มีรายงานความสัมพันธ์ระหว่างแมกนีเซียมกับโพแทสเซียมว่า ใบลองกองที่มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูง ทำให้ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบต่ำ ในทางตรงกันข้าม ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบสูง ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบต่ำเช่นกัน (จำเป็น และคณะ, 2549) และยังมีรายงานถึงภาวะปฏิปักษ์ของธาตุทั้งสองในพืชยืนต้นอื่น ๆ เช่น ในยางพารา (นุชนารถ และคณะ, 2537; สุนทรีย์ และจินตนา, 2549; Iqbal and Yogaratnam, 1995) ปาล์มน้ำมัน (สุนีย์ และชาย, 2547) และมะพร้าว (Jeganathan, 1990) หากในสารละลายดินมีปริมาณแมกนีเซียมอยู่สูง จะส่งผลให้พืชดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียมในดินได้น้อยลง (ยงยุทธ, 2552) เนื่องจากพืชมีกลไกการดูดใช้แมกนีเซียม โพแทสเซียม และแคลเซียม จากดินสู่รากด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออนบริเวณรากพืช โดยพืชมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออนเพื่อดูดใช้ธาตุอาหารในรูปแคตไอออน เช่น แอมโมเนียม (Husteg et al., 2005) แมกนีเซียม โพแทสเซียม และแคลเซียม (Venkatesan *et al*., 2007; Jones, 2003) ซึ่งเป็นการรักษาสมดุลของแคตไอออนภายในรากพืช โดยแคตไอออนเหล่านี้มีการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ที่ต้องอาศัยพลังงานจากกระบวนการเมทาบอลิซึมภายในเซลล์พืช (ยงยุทธ, 2558) ดังนั้นหากธาตุใดธาตุหนึ่งในดินมีมาก พืชก็จะสามารถดูดใช้ธาตุนั้นได้มากแต่จะไปลดการดูดใช้ของอีกธาตุหนึ่ง (Tandon, 1992 ; Troeh and Thmpson, 2005)

3. ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อสมบัติของดินและความเข้มข้นของแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของต้นยางเล็ก

การใส่โดโลไมต์และคีเซอไรต์ส่งผลให้แมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้น โดยการใส่แมกนีเซียมทั้งสองรูปนี้ก็ทำให้แมกนีเซียมในดินเพิ่มขึ้นตามอัตราที่ใส่ ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมในยางพารา (>0.30 $cmol_c\ kg^{-1}$) อย่างไรก็ตาม การใส่คีเซอไรต์สามารถทำให้แมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นได้มากกว่าการใส่โดโลไมต์ในอัตราเท่ากัน (ตารางที่ 3.14) เนื่องจากคีเซอไรต์เป็นปุ๋ยแมกนีเซียมที่มีสมบัติละลายน้ำได้ง่ายซึ่งสามารถปลดปล่อยแมกนีเซียมออกมาได้อย่างรวดเร็วกว่าโดโลไมต์ซึ่งเป็นสารประกอบแมกนีเซียมที่ละลายน้ำได้ยากและจะค่อย ๆ ปลดปล่อยแมกนีเซียม

ออกมาอย่างช้า ๆ (ยงยุทธ และคณะ, 2556) แต่การใส่โดโลไมต์มีผลให้แคลเซียมที่สกัดได้ในดินและค่า pH ของดินเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 3.14) สอดคล้องกับการทดลองใส่โดโลไมต์ในดินปลูกยางพารา (Damrongrak *et al*., 2015) ดินกรดในชุดดินสันป่าตอง (กำชัย และคณะ, 2540) และดินกรดชุดคอหงส์ (สรัญญา, 2548) เนื่องจากโดโลไมต์เป็นแร่ประกอบหินในชั้นคาร์บอเนตที่ประกอบด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งจะสามารถให้ทั้งแมกนีเซียมและแคลเซียม จึงทำให้ดินมีแคลเซียมเพิ่มขึ้นด้วย (ทวีลักษณ์ และสอิ้ง, 2544) นอกจากนี้ สารประกอบคาร์บอเนตยังทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3.14) โดยเมื่อวัสดุปูนอยู่ในสภาพที่มีความชื้นจะทำปฏิกิริยากับน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ได้เป็นปูนแคลเซียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($Ca(HCO_3)_2$) และจะแตกตัวให้แคลเซียมไอออน และไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน แคลเซียมไอออนจะไปไล่ที่ไฮโดรเจนไอออนที่ถูกดูดซับที่ผิวคอลลอยด์ดิน ให้ออกมาทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน ได้เป็นน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนั้น อนุภาคปูนก็สามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับไฮโดรเจนไอออนที่ถูกดูดซับที่ผิวคอลลอยด์ดินได้ ทำให้ไฮโดรเจนไอออนในดินลดลง ดินจึงมีพีเอชสูงขึ้น (จำเป็น, 2560)

เมื่อดินมีแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ยางพาราดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของแมกนีเซียมในดิน จึงทำให้ทุกส่วนของยางพารา เช่น ใบ ก้านใบ ลำต้น รากแก้ว และรากแขนงมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 3.22, 3.23, 3.24, 3.25 และ 3.26) สอดคล้องกับการใส่แมกนีเซียมในยางพารา (ฮูซัน, 2559) ส้มสายพันธุ์ Ponkan (Xiao *et al*., 2014) ส้มเขียวหวาน (Zheng *et al*., 2015) และข้าว (Ding *et al*., 2006) โดยเฉพาะในส่วนของใบและลำต้นมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมมากกว่าส่วนอื่น ๆ (ตารางที่ 3.22 และ 3.24) สอดคล้องกับการศึกษาความเข้มข้นของแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของยางพารา (สุนทรี และจินตณา, 2549) เนื่องจากแมกนีเซียมสามารถเคลื่อนย้ายได้ดีมากในพืช ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนที่เป็นสีเขียวของพืช โดยจะไปสะสมอยู่มากในใบซึ่งแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของคลอโรฟิลล์ โดยแมกนีเซียมเป็นอะตอมที่อยู่กึ่งกลางโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ แต่ละโมเลกุลของคลอโรฟิลล์มีแมกนีเซียมอยู่ร้อยละ 6-25 การใส่แมกนีเซียมจึงทำให้คลอไรฟิลล์ทั้งหมดในใบเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 3.27) สอดคล้องกับการใส่แมกนีเซียมในส้ม (Xiao *et al*., 2014) ข้าว (Yu-Chuan *et al*., 2008; Moreira *et al*., 2015) สตรอเบอรี่ (Choi and Latigui, 2008) และข้าวโพด (Jezek *et al*., 2014)

4. ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโต ความเข้มข้น และการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นยางเล็ก

การใส่คีเซอไรต์ส่งผลให้ยางพาราเจริญเติบโตได้ดีกว่าการใส่โดโลไมต์ (ภาพที่ 3.12 และ 3.13) ทั้ง ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง จำนวนใบ ก้าน ฉัตร น้ำหนักแห้งในส่วนเหนือดินและราก (ตารางที่ 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20 และ 3.21) เนื่องจากการใส่คีเซอไรต์ในอัตรา 0.5 เซนติโมลประจุของแมกนีเซียมต่อกิโลกรัม ทำให้ดินมีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเป็น 0.68 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3.14) ส่งผลให้ยางพาราซึ่งขาดแมกนีเซียม ได้รับแมกนีเซียมที่เพียงพอ (>0.3 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) (นุชนารถ, 2554) แต่การใส่โดโลไมต์ 0.5 เซนติโมลประจุของแมกนีเซียมต่อกิโลกรัม มีปริมาณแมกนีเซียมที่สกัดได้เพิ่มขึ้นเป็น 0.27 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ซึ่งมีแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินน้อยกว่าการใส่คีเซอไรต์ในอัตราเท่ากัน (ตารางที่ 3.14) จึงทำให้ยางพาราดูดใช้แมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของยางพาราจากการใส่คีเซอไรต์มีมากกว่าการใส่โดโลไมต์ (ภาพที่ 3.15) ส่งผลให้การเจริญเติบโตของยางพาราที่ได้รับคีเซอไรต์สูงกว่าโดโลไมต์ (ภาพที่ 3.12 และ3.13) ทั้งนี้คีเซอไรต์มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 27 ซึ่งช่วยเพิ่มกำมะถันให้แก่ยางพาราได้ โดยดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินเนื้อหยาบ และมีอินทรียวัตถุต่ำ มักพบปัญหาการขาดกำมะถัน (ยงยุทธ และคณะ, 2556) เมื่อมีการใส่คีเซอไรต์ (0.5 และ 1.0 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) จะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของกำมะถันในใบของยางพาราเพิ่มขึ้น (1.18 และ 1.67 g kg^{-1}) (ตารางที่ 3.22) แต่ยังไม่มีรายงานค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในยางพารา อย่างไรก็ตาม พืชทั่วไปมีค่าความเข้มข้นของกำมะถันในใบที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2.0-5.0 กรัมต่อกิโลกรัม (ปัทมา, 2533) และในพืชผักอยู่ในช่วง 1.6-14.0 กรัมต่อกิโลกรัม (Haneklaus *et al*., 2007) จึงเห็นได้ว่าการทดลองในตำรับควบคุมมีความเข้มข้นของกำมะถันในใบแค่ 0.67 กรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอาจจะไม่เพียงพอ (ตารางที่ 3.22) ดังนั้น ยางพาราที่ได้รับกำมะถันเพิ่มจึงทำให้การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เนื่องจากกำมะถันเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อพืชจำเป็นต่อการสร้างโปรตีนและกรดอะมิโนบางชนิดที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น cysteine, cysteine และ methionine และยังเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์อีกหลายชนิด (Marschner, 1995)

การใส่คีเซอไรต์ (0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ส่งผลให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมและแคลเซียมในใบของยางพารามีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 3.22) เช่นเดียวกันกับการทดลองการตอบสนองต่อ

แมกนีเซียมของต้นยางเล็ก (ตารางที่ 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 และ 3.13) อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการประเมินการดูดใช้ธาตุอาหาร พบว่า ยางพารา มีการดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียมในส่วนต่าง ๆ เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 3.15, 3.17, 3.18, 3.19 และ 3.20) ทั้ง ๆ ที่พบความเข้มเข้นของ 2 ธาตุนี้ ในยางพาราต่ำ (ตารางที่ 3.22, 3.23, 3.24, 3.25 และ 3.26) เนื่องจากการประเมินการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชมีการคำนวณมาจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุอาหารนั้น ๆ กับน้ำหนักแห้งของยางพารา ดังนั้น ตำรับการทดลองที่มีน้ำหนักแห้งสูงกว่าตำรับอื่น ๆ แต่มีความเข้มข้นของธาตุอาหารต่ำก็สามารถพบการดูดใช้ธาตุอาหารสูงกว่าตำรับที่มีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูงแต่น้ำหนักแห้งต่ำได้เช่นกัน สอดคล้องกับการทดลองการตอบสนองต่อแมกนีเซียมของต้นยางเล็ก พบว่า ตำรับที่ใส่แมกนีเซียมสูงพบความเข้มข้นข้องแมกนีเซียมสูงที่สุดแต่น้ำหนักแห้งต่ำกว่าการทดลองอื่น ๆ จึงส่งผลให้การดูดใช้แมกนีเซียมต่ำกว่าการทดลองอื่น ๆ (ภาพที่ 3.6) ในทำนองเดียวกันการใส่คีเซอไรต์สูง (1.0 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ซึ่งพบว่าการเจริญเติบโตของยางพาราลดลง เมื่อทำให้การประเมินการดูดใช้แมกนีเซียม โพแทสเซียม แคลเซียม ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของยางพารา จึงต่ำกว่าการใส่คีเซอไรต์ (0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) (ภาพที่ 3.15, 3.17, 3.18, 3.19 และ 3.20) สอดคล้องกับการใส่คีเซอไรต์อัตราสูงส่งผลให้ยางพารามีการเจริญเติบโตลดลง (ฮูซัน, 2559)

การใส่โดโลไมต์ (0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ส่งผลให้การเจริญเติบโตของยางพาราเพิ่มขึ้นมากกว่าตำรับควบคุม (ภาพที่ 3.12 และ 3.13) เนื่องจากการใส่โดโลไมต์สามารถเพิ่มแมกนีเซียมและแคลเซียมที่สกัดได้ในดินเป็น 0.27 และ 0.49 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งอยู่ใกล้เคียงกับระดับที่เหมาะสม (>0.3 $cmol_c$ kg^{-1}) กว่าตำรับควบคุม คือ 0.12 และ 0.32 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3.14) ทำให้ยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมและแคลเซียมได้มากกว่าตำรับควบคุม (ภาพที่ 3.15 และ 3.18) ส่งผลให้การเจริญเติบโตของยางพาราเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการใส่ปูนโดโลไมต์กับยางพารา (Damrongrak *et al*., 2015) ข้าวโพด (สรัญญา, 2548) ถั่วฮามาต้า เซนโตรซีมา และโสนอัฟริกัน (สุมาลี, 2536) อย่างไรก็ตาม การใส่โดโลไมต์ (0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) แม้ว่าจะทำให้การเจริญเติบโตของยางพาราเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นได้น้อยกว่าการใส่คีเซอไรต์ (0.5 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) เนื่องจากโดโลไมต์มีการละลายน้ำ (0.11 g L^{-1}) ได้ยากกว่าคีเซอไรต์ (11.6 g L^{-1}) จึงทำให้สามารถปลดปล่อยแมกนีเซียมในรูปที่พืชดูดใช้ได้ช้ากว่าคีเซอไรต์ (ยงยุทธ และคณะ, 2556) ส่งผลให้ยางพาราดูดใช้แมกนีเซียมได้น้อยกว่าการใส่คีเซอไรต์ (ภาพที่ 3.15) จึงทำให้การเจริญเติบโตของยางพาราที่ได้รับโดโลไมต์เพิ่มขึ้นน้อยกว่าการใส่คีเซอไรต์ (ภาพที่ 3.13)

เมื่อยางพาราได้รับคีเซอไรต์และโดโลไมต์ ทำให้ยางพารามีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับรายงานความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบที่เพิ่มขึ้นของยางพารา (กฤษดา และพิเชษฐ์, 2552) อย่างไรก็ตาม การใส่โดโลไมต์มากเกินไป (1.0 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ส่งผลให้ยางพารายืนต้นตาย (ภาพที่ 3.12)

การใส่โดโลไมต์ (1.0 $cmol_c$ Mg kg^{-1}) ทำให้ดินมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 5.6 (ตารางที่ 3.14) ซึ่งค่าพีเอชของดินที่เหมาะสมสำหรับปลูกยางพาราควรอยู่ในช่วง 4.5-5.5 (นุชนารถ และคณะ, 2556) มีรายงานว่า ดินปลูกยางพาราที่มีพีเอชมากกว่า 5.10 ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และการเจริญเติบโตของยางพาราลดลง (กฤษดา และพิเชษฐ์, 2552) คล้ายคลึงกับการทดลองใส่ปูนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในดิน ทำให้พีเอชดินเพิ่มขึ้นเป็น 5.73 ส่งผลให้การเจริญเติบโตของกล้ายางพาราลดลง (อิสริยาภรณ์, 2558) นอกจากนี้ การใส่โดโลไมต์ ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินลดลงเป็น 9.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3.14) ซึ่งต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับปลูกยางพาราควรอยู่ในช่วง 11-30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (นุชนารถ และคณะ, 2556) สอดคล้องกับดินปลูกยางพาราที่มีพีเอชสูงกว่าค่าที่เหมาะสม ทำให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลง (กฤษดา และพิเชษฐ์, 2552) อย่างไรก็ตาม การใส่โดโลไมต์ ทำให้แคลเซียมที่สกัดได้ในดินเพิ่มขึ้นเป็น 0.60 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 3.14) ซึ่งแคลเซียมที่เหมาะสมในดินปลูกยางพารา คือ มากกว่า 0.30 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม (นุชนารถ, 2554) แต่ยังไม่มีรายงานธาตุแคลเซียมที่สูงจนเป็นอันตรายต่อยางพารา จึงเห็นได้ว่า สมบัติทางเคมีเบื้องต้นมีแนวโน้มไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยางพารามากนัก ซึ่งอาจเป็นสาเหตุเบื้องต้นต่อการยืนต้นตายของต้นยางเล็ก

อาการยืนต้นตายของยางพาราหลังจากได้รับโดโลไมต์ 1.0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม โดยหลังจากย้ายกล้ายางพาราลงกระถาง 1 เดือน (เดือนมีนาคม-เมษายน) ยางพารายังคงเจริญเติบโตปกติ หลังจากนั้นผ่านไป 2 เดือน (เดือนพฤษภาคม) ยางพาราเริ่มแสดงอาการใบสีเหลืองอ่อนระหว่างเส้นใบคล้ายกับอาการขาดแมกนีเซียม แต่เกิดพร้อมกันทั้งใบบนและใบล่าง (วันที่ 1) ต่อมาจะมีอาการเหลืองสม่ำเสมอทั้งต้น ทั้งในส่วนของใบ ก้าน และลำต้น (วันที่ 2) จากนั้นจะผลัดใบ และก้านร่วงหล่นจนหมดต้น และยืนต้นตายในที่สุด (วันที่ 3) (ภาพที่ 3.14) เมื่อนำรากยางพารามาล้างพบว่าเหลือเฉพาะรากแก้วเท่านั้น รากแขนงเน่าจนหมด (ภาพที่ 3.13) และหลังจากนั้นยางพาราในตำรับเดียวกันก็ทยอยตายไปเรื่อย ๆ แสดงให้เห็นว่าการใส่ปูนในอัตราที่เกินความเหมาะสม ส่งผลเสียต่อการปลูกพืช โดยเฉพาะในดินกรดที่มีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (buffering capacity) ค่อนข้างต่ำ ในสภาพเกินปูนส่งผลให้ผลผลิตของพืชลดลง (เจริญ และคณะ, 2540) เช่นเดียวกันกับการใส่ปูนในอัตราสูง ทำให้ผลผลิตของอ้อย (von Uexkull, 1990) และถั่วฮามาต้าลดลง (ชัยรัตน์ และวิเชียร, 2539) เนื่องจากปริมาณปูนที่เพิ่มขึ้น ทำให้แคลเซียมในดินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณจุลธาตุเป็นประโยชน์ลดลง และฟอสฟอรัสอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช

เพราะเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตของแคลเซียมซึ่งละลายน้ำยาก การเจริญเติบโตของพืชจึงลดลง (von Uexkull, 1990) อย่างไรก็ตาม สถาบันวิจัยยางไม่แนะนำให้มีการใส่ปูน เนื่องจากค่าพีเอชของดินในช่วง 6-7 ทำให้เชื้อรา *Rigidoporus microporus* (Sw.) Overeen (ชื่อเดิม *Rigidoporus lingo-sus*) ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุของโรครากขาวมีการเจริญได้ดี (อารมณ์ และคณะ, 2541)

5. แนวทางการใช้แมกนีเซียมกับยางพารา

ดินปลูกยางพาราส่วนใหญ่มีแมกนีเซียมในดินต่ำ จนไม่เพียงพอต่อความต้องการของยางพารา เมื่อมีการใส่แมกนีเซียมจึงทำให้ยางพารามีการตอบสนองต่อการใส่แมกนีเซียมได้ดี โดยการใส่แมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ส่งผลให้น้ำหนักแห้งทั้งต้นของยางพาราเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.96 เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่แมกนีเซียม แต่การได้รับแมกนีเซียมมากเกินความเหมาะสม ทำให้ยางพาราลดการดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียมจนไม่เพียงพอ ส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง (ภาพที่ 3.2 และ 3.3) ดังนั้น ในพื้นที่ปลูกยางพาราที่มีแมกนีเซียมต่ำควรมีการเพิ่มปุ๋ยแมกนีเซียม เพื่อให้ยางพาราได้รับแมกนีเซียมอย่างเพียงพอ คือ 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม

ปัจจุบันดินปลูกยางพาราในประเทศไทยมีแมกนีเซียมในดินลดลงจนต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม (>0.30 $cmol_c\ kg^{-1}$) (นุชนารถ, 2554) และมีรายงานว่า ในพื้นที่ภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคเหนือ มีระดับของแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม ถึง ร้อยละ 87, 64, 58 และ 39 ตามลำดับ (นุชนารถ และคณะ, 2556) จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการใส่แมกนีเซียมในดินให้แก่ยางพารา โดยเฉพาะภาคใต้ที่ควรพิจารณาในการใส่แมกนีเซียมเป็นพิเศษ นอกจากนี้มีรายงาน ระดับของแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินในจังหวัดสงขลา พบว่า มีระดับแมกนีเซียมในดินต่ำ (0.07-0.29 $cmol_c\ kg^{-1}$) ทั้งดินบริเวณที่ลุ่มและที่ดอน (จักรกฤษณ์ และคณะ, 2556) โดยเฉพาะแมกนีเซียมในแปลงที่ดอน (0.07 $cmol_c\ kg^{-1}$) จะต่ำกว่าแปลงที่ลุ่ม (0.16 $cmol_c\ kg^{-1}$) (ภัทรานิษฐ์ และคณะ, 2560) เนื่องจากดินปลูกยางพาราเป็นดินที่ปลูกติดต่อกันซ้ำบนพื้นที่เดิมเป็นเวลานาน โดยไม่มีการใส่แมกนีเซียมทดแทนส่วนที่สูญเสียออกไปจากดิน ทั้งนี้แมกนีเซียมในดินมีการสูญเสียไปกับผลผลิตจากน้ำยางพารา 5 กิโลกรัมต่อตัน (นุชนารถ และคณะ, 2556) และการโค่นยางพาราที่มีการนำไม้ยางพาราออกจากสวน เพื่อปลูกใหม่รอบที่สอง มีรายงานว่า ยางพาราอายุ 25 ปี มีน้ำหนักแห้งของไม้ยางรวม 589.1 กิโลกรัมต่อต้น และมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมทั้งต้นร้อยละ 0.101 (สุนทรีย์ และจินตนา, 2549) ซึ่งเมื่อนำมาประเมินการสูญเสียแมกนีเซียมจากผลผลิตไม้ยางพารา (1 ไร่ = ยางพารา 76 ต้น) จะเห็นว่า ดินปลูกยางพาราจะสูญเสียแมกนีเซียมไปกับไม้ยางพาราสูงถึง 45.22 กิโลกรัมต่อไร่ และหากไม่มีการใส่แมกนีเซียมทดแทนส่วนที่สูญเสียไปกับผลผลิต ทำให้ยางพาราได้รับไม่เพียงพอ ส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของยางพาราลดลงได้

จึงจำเป็นต้องพิจารณาอย่างยิ่งในการเพิ่มแมกนีเซียมในดินให้แก่ยางพารา เพื่อให้ยางพารามีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูง อย่างไรก็ตาม ในแง่ของอุตสาหกรรมยางพาราไม่ต้องการให้มีปริมาณของธาตุแมกนีเซียมในน้ำยางสูง เนื่องจากแมกนีเซียมจะทำให้น้ำยางสูญเสียความคงตัวต่อเครื่องกล คือ น้ำยางจะมีการจับตัวเร็วกว่าปกติ ดังนั้น หากน้ำยางข้นมีปริมาณธาตุแมกนีเซียมเกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในทางปฏิบัติโรงงานจะต้องมีการจัดการเป็นพิเศษ (วิภาวี, 2554)

ปัจจุบันสถาบันวิจัยยางพาราแนะนำให้ใส่ปุ๋ยคีเซอไรต์ 80 กรัมต่อต้นต่อปี (นุชนารถ, 2547) ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก ถ้าจะใส่คีเซอไรต์ให้ได้ดิน 1 ไร่ (ความหนาแน่นรวม 1.3 กรัมต่อลูกบาศก์-เซนติเมตร ลึก 30 เซนติเมตร ; ปลูกยาง 76 ต้นต่อไร่) มีแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม ต้องใส่คีเซอไรต์ ประมาณ 3 กิโลกรัมต่อต้น อย่างไรก็ตาม การทดลองปลูกพืชในกระถางซึ่งมีปริมาตรดินจำกัด ทำให้รากพืชดูดธาตุอาหารได้น้อยกว่าในสภาพแปลงทดลอง ซึ่งในแปลงทดลองจึงอาจจะไม่ต้องใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมจนกระทั่งมีแมกนีเซียมสูงเท่ากับการทดลองในกระถาง รากพืชก็สามารถดูดธาตุอาหารจากดินได้อย่างเพียงพอ อย่างไรก็ตาม ผลการตอบสนองของยางพาราต่อแมกนีเซียมจากการทดลองนี้สามารถยืนยันได้ว่าควรมีการพิจารณาใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมกับยางพารา โดยควรใส่ในรูปของปุ๋ยคีเซอไรต์ ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ง่ายและเพิ่มกำมะถันได้ด้วย หรืออาจจะใส่ในรูปของปูนโดโลไมต์ได้ ซึ่งสามารถให้ทั้งธาตุแมกนีเซียมและแคลเซียม สามารถปรับปรุงดินกรดได้ สำหรับดินปลูกยางพาราที่มีพีเอชอยู่ในช่วง 4.0-4.5 อาจไม่จำเป็นต้องใส่ปูนก็ได้ เพราะพีเอชดินที่เหมาะสมของยางพาราอยู่ในช่วง 4.5-5.5 อีกทั้งยางพาราก็เป็นพืชที่ทนต่อความเป็นกรดในดินได้ดี (นุชนารถ, 2554) หากดินเป็นกรดมากเกินไปก็ควรใส่ปูนโดโลไมต์เพื่อยกระดับพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับยางพารา และควรใส่คีเซอไรต์เพื่อเพิ่มแมกนีเซียมร่วมด้วย มีรายงานว่า การใส่ปูนโดโลไมต์ร่วมกับคีเซอไรต์ทำให้น้ำหนักแห้งของต้นข้าวโพดสูงสุด (สรัญญา, 2548) ดังนั้น ดินปลูกยางพาราควรใส่แมกนีเซียมให้กับยางพารา ในอัตรา 0.5 เซนติโมลประจุของแมกนีเซียมต่อกิโลกรัม ในรูปของคีเซอไรต์ ซึ่งเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ง่าย ยางพาราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที นอกจากนี้การใส่คีเซอไรต์ยังสามารถเพิ่มกำมะถันให้กับยางพาราได้อีกด้วย

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็กสามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

1. ผลของแมกนีเซียมต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของต้นยางเล็ก ยางพารามีความเข้มข้นและมีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้นตามอัตราที่ใส่ทั้งส่วนเหนือดินและราก แต่ลดการดูดโพแทสเซียมและแคลเซียม รวมทั้งความเข้มข้นของโพแทสเซียมและแคลเซียมลดลง ทั้งในส่วนเหนือดินและราก

2. ผลของแมกนีเซียมต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก ยางพาราที่ได้รับแมกนีเซียม 0.5 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นสูงที่สุดทั้งในส่วนเหนือดินและราก แต่เมื่อเติมแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้การเจริญเติบโตของยางพารามีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะยางพาราที่ได้รับแมกนีเซียม 2.0 เซนติโมลประจุต่อกิโลกรัม มีการเจริญเติบโตต่ำกว่าตำรับควบคุม

3. ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก ยางพาราที่ได้รับคีเซอไรต์ 0.5 เซนติโมลประจุของแมกนีเซียมต่อกิโลกรัม การเจริญเติบโตดีที่สุด ทั้งความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และน้ำหนักแห้งทั้งส่วนเหนือดินและราก ส่วนการเติมโดโลไมต์ 0.5 เซนติโมลประจุของแมกนีเซียมต่อกิโลกรัม ยางพารามีการเจริญเติบโตน้อยกว่าการใส่คีเซอไรต์แต่มากกว่าตำรับควบคุม

4. ผลของโดโลไมต์และคีเซอไรต์ต่อการดูดใช้ธาตุอาหารและปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบของต้นยางเล็ก ยางพาราดูดใช้และสะสมแมกนีเซียมในใบมาก ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเพิ่มขึ้น และสะสมกำมะถันในใบมาก แต่มีการดูดใช้และสะสมโพแทสเซียมและแคลเซียมลดลง เมื่อมีการเติมคีเซอไรต์ ส่วนการเติมโดโลไมต์ ยางพารามีการดูดใช้และสะสมแคลเซียมในทุกส่วนของยางพารามาก ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเพิ่มขึ้นแต่น้อยกว่าการใส่คีเซอไรต์

กล่าวโดยสรุป การเติมแมกนีเซียมทำให้การเจริญเติบโตของยางพาราเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการใส่ในรูปของคีเซอไรต์ดีกว่าในรูปของโดโลไมต์ แต่การใส่แมกนีเซียมควรเติมในอัตราที่เหมาะสม ซึ่งก็คือที่ 0.5 เซนติโมลประจุของแมกนีเซียมต่อกิโลกรัมดิน หากเติมแมกนีเซียมมากไปทำให้ยางพาราลดการดูดใช้โพแทสเซียมและแคลเซียม ส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลงได้ การใส่คีเซอไรต์

จึงเป็นวิธีการที่สามารถเพิ่มแมกนีเซียมให้กับยางพาราได้อย่างรวดเร็ว ยางพารามีการดูดใช้แมกนีเซียมเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ ความเข้มข้นของกำมะถันในใบเพิ่มขึ้นเช่นกัน ยางพาราจึงมีการเจริญเติบโตได้ผลดีกว่าการใส่โดโลไมต์ ซึ่งยางพารามีการสะสมแคลเซียมและแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ เพิ่มขึ้น และช่วยยกระดับพีเอชของดิน แต่การใส่โดโลไมต์มีการสะสมแมกนีเซียมได้น้อยกว่าการใส่คีเซอไรต์ จึงควรมีการศึกษาการใส่โดโลไมต์ร่วมกับการใส่คีเซอไรต์ เพื่อยกระดับพีเอชในดินกรดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมและเพิ่มระดับแมกนีเซียมให้เหมาะสมกับยางพารา รวมถึงศึกษาการตอบสนองต่อกำมะถันจากคีเซอไรต์หรือปุ๋ยชนิดอื่นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กฤษดา สังข์สิงห์ และพิเชษฐ์ ไชยพานิชย์. 2552. สมบัติทางเคมีและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบกับการเจริญเติบโตของต้นยางพาราช่วงก่อนเปิดกรีดในเขตปลูกยางใหม่. ว. ยางพารา 30 : 35-60.

กำชัย กาญจนธรเศรษฐ์, บรรเจิดลักษณ์ จินตฤทธิ์, จุมพล ยูวะนิยม และเจริญ เจริญจำรัสชีพ. 2540. การศึกษาชนิดของวัสดุปรับสภาพความเป็นกรดของชุดดินสันป่าตองสำหรับระบบการปลูกข้าวโพดตามด้วยถั่วดำ. กรุงเทพ ฯ : กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

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

จำเป็น อ่อนทอง, สุรชาติ เพชรแก้ว, สายใจ กิ้มสงวน และณรงค์ มะลี. 2549. ผลการใช้ปูนขาว ยิปซัม และโพแทสเซียมคลอไรด์ต่อการเจริญเติบโต และการดูดธาตุอาหารของต้นกล้าลองกอง (*Aglaia dookkoo* Griff.). ว. สงขลานครินทร์ วทท. 29 : 656-667.

จำเป็น อ่อนทอง. 2557. การวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากร-ธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

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

เจริญ เจริญจำรัสชีพ, กำชัย กาญจนธรเศรษฐ์ และเมธิน ศิริวงศ์. 2540. การจัดการดินกรดในประเทศไทย. กรุงเทพ ฯ : กรมพัฒนาที่ดิน.

ชัยรัตน์ นิลนนท์ และวิเชียร จาฏุพจน์. 2539. การประเมินความอุมสมบูรณ์และความต้องการธาตุอาหารของพืชอาหารสัตว์ตระกูลถั่วในชุดดินคออหงส์. ว. สงขลานครินทร์. 18 : 35-42.

ทวีลักษณ์ อ้นองอาจ และสะอิ้ง จักษุศิลา. 2544. การใช้ประโยชน์หินปูน โดโลไมต์ และปูนไลม์. ว. กรมวิทยาศาสตร์บริการ 49 : 12-16.

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์ และประทีป วีระพัฒนนิรันดร์. 2554. รู้จักดิน รู้จักปุ๋ย. กรุงเทพฯ : มูลนิธิมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2554.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และวรรณา เลี้ยววาริณ. 2544. คู่มือปาล์มน้ำมันและการจัดการสวน. สงขลา: คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระพงศ์ จันทร์นิยม, ประกิจ ทองคำ, ชัยรัตน์ นิลนนท์ และธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2547. การเก็บตัวอย่างใบปาล์มวิเคราะห์ธาตุอาหารเพื่อการแนะนำการใช้ปุ๋ยที่ถูกต้อง. *ใน* เอกสารการประกอบการอบรมหลักสูตร เทคโนโลยีการจัดการน้ำและธาตุอาหารพืชเพื่อเพิ่มผลผลิตปาล์มน้ำมัน. ณ โรงแรมชุมพร แกรนด์ พาเลช และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร. 25-26 มิถุนายน 2547. หน้า 63-75.

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

นุชนารถ กังพิศดาร, ไววิทย์ บูรณธรรม และชำนาญ บุญเลิศ. 2540. ศึกษาระดับปุ๋ย N P K และ Mg ที่เหมาะสมกับยางอ่อนในดินร่วนเหนียวในสวนยางปลูกแทนรอบสอง. รายงานผลการวิจัย แผนงานวิจัยและพัฒนายาง ประจำ ปี 2540 : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

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

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

นุชนารถ กังพิศดาร. 2554. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยยางพารา. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

นุชนารถ กังพิสดาร, ลิขิต นวลศรี, ยุบล ลิมจิตติ, ชำนาญ บุญเลิศ, วีรพงศ์ ตันอภิรมย์ และไววิทย์ บูรณธรรม. 2537. การตอบสนองของยางหลังเปิดกรีดต่อปุ๋ย N P K และ Mg ในดินชุดคอหงส์. รายงานผลการวิจัยยางพาราปี 2537 หน้า 127-162. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

ประเสริฐ ถาหล้า, กิจติศักดิ์ คุ้มหน่อแนว, ณัฐวัตร แก้วงาม และ กิตติ สัจจาวัฒนา. 2557. อิทธิพลของการให้น้ำต่อการให้ผลผลิตยางพาราในพื้นที่สวนเกษตรกร ตำบลแม่กา จังหวัดพะเยา ประเทศไทย. ว. แก่นเกษตร 42 : 423-429.

ปราโมทย์ สุวรรณมงคล และสมเจตน์ ประทุมมินทร์. 2530. การปลูกยางพาราในดินที่ระบายน้ำเลว. ว. ยางพารา 8 : 18-30.

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

ปัทมา วิตยากร. 2533. ดิน: แหล่งธาตุอาหารของพืช. ภาควิชา ปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปิยะ ดวงพัตรา. 2553. สารปรับปรุงดิน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิเชษฐ ไชยพานิชย์, จำนง คงศิลป์, อารักษ์ จันทุมา, ธีรชาติ วิชิตชลชัย และยุทธกร ธรรมศิริ. 2547. ระดับธาตุอาหารในดินและในต้นยางพาราในเขตปลูกยางใหม่. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยางพารา กรมวิชาการเกษตร.

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

ยงยุทธ โอสถสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2556. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2552. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิจิตร วังใน. 2552. ธาตุอาหารกับการผลิตพืชผล. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิภาวี พัฒนกุล. 2554. ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์. เอกสารในงานนิทรรศการพืชสวนเชียงใหม่ เดือนตุลาคม 2554 : กลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง. [Online] Available from http://rubberthai.com/index.php. [Accessed July 6, 2017].

วุฒิชาติ สิริช่วยชู, ณรงค์ ตรีสุวรรณ, สุพร บุญประดับ, สมศักดิ์ สุขจันทร์, ขนิษฐศรี ฮุ่นตระกูล, บำรุง ทรัพย์มาก, สุมิตรา วัฒนา, อัธยะ พินจงสกุลดิษฐ, สยาม ไชยทิพย์, กรรณิสา สฤษฏ์ศิริ และอมรรัตน์ สระเพ็ชร. 2548. มหัศจรรย์พันธุ์ดิน. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาที่ดิน.

สถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย. 2559. คำแนะนำพันธุ์ยาง ปี 2559. ว. ยางพารา 37 : 2-41.

สถาบันวิจัยยาง. 2556. การจัดการสวนยางอย่างยั่งยืน. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ.

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

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

สายใจ หมื่นภักดี. 2558. ผลของแมงกานีสต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระในกล้ายางพารา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร. กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุนทรี ยิ่งชัชวาลย์ และจินตณา บางจั่น. 2549. ปริมาณธาตุอาหารหลักในต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600. ว. วิทย. กษ. 37 : 353-364.

สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และชาย โพรวิส. 2547. ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างธาตุโพแทสเซียมและธาตุแมกนีเซียมที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอร่าซึ่งปลูกในดินร่วนปนทราย. 106 น. ใน รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2540. สุราษฎร์ธานี : ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, ภิญโญ มีเดช, สุรกิตติ ศรีกุล และชาย โพรวิส. 2540. ปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างธาตุโพแทสเซียมและธาตุแมกนีเซียมที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอร่าซึ่งปลูกในดินร่วนปนทราย. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2540. สุราษฎร์ธานี : ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. [Online] Available from http://it.doa.go.th/palm/performance1.htm. [Accessed September 8, 2014].

สุภาพร บัวแก้ว. 2550. สถานการณ์ยางและแนวโน้มในอนาคต. เอกสารประกอบการฝึกอบรมพนักงานบรรจุใหม่สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง วันที่ 27 - 29 สิงหาคม 2550 ณ มาริไทม์ปาร์คแอนด์สปารีสอร์ท จ.กระบี่. [Online] Available from http://www.rubberthai.com/book/file/77.pdf. [Accessed May 24, 2017].

สุมาลี สุทธิประดิษฐ์. 2536. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากร-ธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุเมธ ลิ่มมณีธร, สายัณห์ สดุดี และอิบรอเฮม ยีดำ. 2550. ผลการให้น้ำต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาและผลผลิตน้ำยางของยางพารา (*Havea brasiliensis*) ช่วงฤดูแล้ง. ว. สงขลานครินทร์ วทท 29 : 601-613.

องค์การสวนยาง. 2555. ประวัติยางพารา. [Online] Available from http://www.reothai.co.th/-Para1.htm. [Accessed August 29, 2014].

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

อารมณ์ โรจน์สุจิตร, เก็บ หนูศรี และสมยศ สินธุระหัส. 2541. ผลของ pH และธาตุอาหารพืชบางชนิดต่อการเจริญ และความรุนแรงของเชื้อราโรครากขาวของยางพารา. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์. 2558. การปรับปรุงดินกรดเขตร้อนด้วยปุ๋ยและปูนสำหรับปลูกยางพารา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ฮูซัน บือราเฮง. 2559. อันตรกิริยาของแมกนีเซียมและอะลูมินัมต่อการดูดแมงกานีสและการเจริญเติบโตของยางพารา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลา-นครินทร์.

Brady, N. C. and Weil, R.R. 2008. The Nature and Properties of Soils. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Choi, J.M. and Latigui, A. 2008. Effect of Various Magnesium Concentrations on the Quantity of Chlorophyll of 4 Varieties of Strawberry Plants (Fragaria ananassas D.) Cultivated in Inert Media. Journal of Agronomy 7 : 244-250.

Damrongrak, I., Onthong, J. and Nilnond, C. 2015. Effect of fertilizer and dolomite applications on growthand yield of tapping rubber trees. J. Songklanakarin 37 : 643-650.

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

Farhat, N., Rabhi, M., Falleh, H., Lengliz, K., Smaoui, A., Abdelly, C., Lachaal, M. and Karray Bouraoui, N. 2013. Interactive effects of excessive potassium and Mg deficiency on safflower. Acta Physiol Plant 35 : 2737-2745.

Haneklaus S., Bloem E. and Schnug E. (2007). Sulfur and Plant Disease, in Mineral Nutrition and Plant Disease, eds Datnoff L. E., Elmer W. H., Huber D. M., editors. (Minnesota, MN: APS Press; St. Paul;): 101-118.

Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. and Nelson, W.L. 2005. Soil Fertility and Fertilizer: An Introduction to Nutrient Management. New Jersey : Coral Graphics.

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.

Husteg, S., Thomsen, M.U., Mattsson, M. and Schjoerring, J.K. 2005. Influence of nitrogen and sulphur form on manganese acquisition by barley (*Hordeum vulgare*). Plant and Soil 268 : 309-317.

Iqbal, S. M. M. and Yogaratnam, N. 1995. Effect of potassium on growth yield and mineral composition of young *Hevea brasiliensis*. Jl. Rubb. Res. Inst. Sri Lanka 75 : 13-30.

Jeffrey, H. G., Michael, A.D., and Kristine, B.S. 1998. Effects of dolomitic lime on growth and nutrient uptake of buddleia davidii 'Royal Red' grown in pine bark. J. Environ 16 :111-113.

Jeganathan, M. 1990. Studies on potassium magnesium interaction in coconut (*Cocos nuifera*). Cocos 8 : 1-12.

Jezek, M., Geilfus, C. M., Bayer, A. and Mühling, K.H. 2014. Photosynthetic capacity, nutrient status, and growth of maize (Zea mays L.) upon MgSO4 leaf-application. Front Plant Sci. 781 : 1-10.

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

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. London : Academic Press.

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.

Moreira, W. R., Bispo, W. M. S., Rios, J. A., Debona, D., Nascimento1, C. W. A. and Rodrigues, F. A. 2015. Magnesium-induced alterations in the photosynthetic performance and resistance of rice plants infected with Bipolaris oryzae. Sci. Agric 72 : 328-333.

Mortley, D.G. 1993. Manganese toxicity and tolerance in sweetpotato. HortScience 28 : 812-813.

Nelson, S. and Patnude, E. 2012. Potassium Deficiency of Palms in Hawai‘i Department of Plant and Environmental Sciences. College of tropical agriculture and human resources university of Hawai‘I at Manoa : 1-7.

Nwachuku, D.A. and Loganathan, P. 1991. The effect of liming on maize yield and soil properties in southern Nigeria. Commun. Soil Sci. Plant Anal 22 : 623-639.

Pethiyadoga, U. and Krishnapillai, S. 1970. Studies on the mineral nutrition of tea 2 experimentally-induced major nutrient deficiency symptoms. Tea Quarterly 41: 107-120.

Qing-hua, S., Zhu-jun, Z., Juan, L. and Qiong-qiu, Q. 2006. Combined effect of excess Mn and low pH on oxidative stress and antioxidant in cucumber roots. Agricultural Science in China 5 : 767-772.

Rubber Research Institute of Malaya. 1963. Revised manuring programme for replantings. Plrs' Bubb. Res. Inst. Malaya 67 : 79-85.

Santandrea, G., Schiff, S. and Bennici, A. 1998. Effect of manganese on *Nicotiana* species cultivated in *vitro* and characterization of regenerated Mn-tolerant tobacco plants. Plant Science 132 : 71-82.

Shorrocks, V.M. 1964. Mineral Deficiencies in Hevea and Associated Cover Plants. Rubber Research Institute: Kuala Lumpur.

Silva, J.A. 2000. Inorganic Fertilizer Materials. *In* Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils. (eds. Silva, J.A. and Uchida, R.S.) pp. 117-120. Honolulu : University of Hawaii.

Smith, F.W. and Loneragan, J.F. 1997. Interpretation of plant analysis : concepts and principles. *In* Plant Analysis : An Interpretation Manual, 2nd edition. (eds. Reuter, D.J. and Robinson, J.B.) pp. 3-33. CSIRO Publishing. Collingwood.

Stepniewska, Z., Sochaczewska, A., Wolinska, A., Nakonieczna, A.S. and Paszczyk, M. 2010. Manganese release from peat soils. Int. Agrophys 24 : 369-374.

Tandon, HLS. 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.

Venkatesan, S., Hemalatha, K.V. and Jayaganesh, S. 2007. Characterization of manganese toxicity and its influence on nutrient uptake, antioxidant enzymes and biochemical parameter in tea. Journal of Phytochemistry 1 : 52-60.

Von Uexkull, H.R. 1990. Fertilizer of oil palm : Fertilizer and Plantation Management. Paper presented for the Management of Oil Palm Plantations for Estate Managers in Southern Thailand at Veing Tong Hotel, Krabi, 28-30 March 1989. Pp. 66-79. Research and Development Office, Prince of Songkla University. Songkhla. 281p.

Wada, S., Altland, J., Smith, C.M. and Stang, J. 2006. Effect of dolomitic lime rate and application method on substrate pH and creeping woodsorrel establishment. J. Environ 24 : 185-191.

Weerasuriya, S.M. and N. Yogatatnam. 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.

Xiao, J. X., Hu, C. Y., Chen, Y. Y., Yang, B. and Hua, J. 2014. Effects of low magnesium and an arbuscular mycorrhizal fungus on the growth, magnesium distribution and photosynthesis of two citruscultivars. Scientia Horticulturae 177 : 14-20.

Yogaratnam, N. and Weerasuriya, S. M. 1984. Fertilizer responses in mature hevea under Sri Lankan conditions. JI. Rubb. Res. Inst. Sri Lanka 62 : 19-39.

Yuchuan, D., Chunrong, C., Wen, L., Yanshou, W., Xiaoli, R., Ping, W. and Guohua, X. 2008. High potassium aggravates the oxidative stress induced by magnesium deficiency in rice leaves. Pedosphere 18 : 316-327.

Zheng, C. S., Lan, X., Tan, Q. L., Zhang, Y., Gui, H. P. and Hu , C. X. 2015. Soil application of calcium and magnesium fertilizer influences the fruit pulp mastication characteristics of Nanfeng tangerine (*Citrus reticulata Blanco* cv. Kinokuni). Scientia Horticulturae 191 : 121-126.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายธนพันธ์ พงษ์ไทย

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5710620009

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2556

ทุนการศึกษา

ทุนบัณฑิตศึกษาสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ธนพันธ์ พงษ์ไทย, จำเป็น อ่อนทอง และขวัญตา ขาวมี. 2560. ผลของแมกนีเซียมต่อความเข้มข้นของธาตุอาหารและการเจริญเติบโตของต้นยางเล็ก. วารสารวิจัยและส่งเสริมการเกษตร 34 : 1-12.