การใช้กากขี้แป้งเป็นแหล่งแมกนีเซียมสำหรับการเติบโตของปาล์มน้ำมัน
ระยะอนุบาลหลัก

นางสาวภิรมย์ขวัญ ชิณวงศ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

RUBBER LATEX SLUDGE AS MAGNESIUM SOURCE FOR GROWTH OF OIL PALM IN MAIN NURSERY STAGE

Miss Piromkwan Chinnawong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้กากขี้แป้งเป็นแหล่งแมกนีเซียมสำหรับการเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก
โดย	นางสาวภิรมย์ขวัญ ชิณวงศ์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์เกริกชัย ธนรักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์เกริกชัย ธนรักษ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิธร พ่วงปาน)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภิรมย์ขวัญ ชิณวงศ์ : การใช้กากขี้แป้งเป็นแหล่งแมกนีเซียมสำหรับการเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก. (RUBBER LATEX SLUDGE AS MAGNESIUM SOURCE FOR GROWTH OF OIL PALM IN MAIN NURSERY STAGE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ.เกริกชัย ธนรักษ์, 72 หน้า.

การศึกษาการใช้กากขี้แป้งเป็นแหล่งแมกนีเซียมสำหรับการเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก วิจัยแบบทดลองกับต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก (Main-nursery) ด้วยแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomize Complete Block Design) ทำ 4 ซ้ำ มี 7 ตำรับการทดลอง ที่ประกอบไปด้วย ดินชุดควบคุม ปุ๋ยคีเซอร์ไรต์ โดโลไมต์ และกากขี้แป้ง หนึ่งหน่วยการทดลองคือต้นปาล์มน้ำมัน 9 ต้น

ผลการศึกษาพบว่า สมบัติทางเคมีของดินภายหลังการเติมกากขี้แป้งในอัตรา 80 กรัมต่อต้น ช่วยเพิ่มความเป็นด่างให้แก่ดิน อีกทั้งเพิ่มปริมาณสังกะสี อินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ค่าการนำไฟฟ้าของดินอยู่ในช่วงที่ต้นปาล์มน้ำมันเติบโตได้ ตลอดจนปริมาณแมกนีเซียมในดินอยู่ในเกณฑ์ระดับที่มีปริมาณสูงเหมาะสมแก่การปลูกและเพียงพอต่อการเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับการเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก (จำนวนทางใบ ความยาวทางใบ ความสูง พื้นที่ใบ มวลชีวภาพ) พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ระหว่างการเติมกากขี้แป้ง กับการเติมปุ๋ยคีเซอร์ไรต์ ซึ่งเป็นแหล่งแมกนีเซียมที่เกษตรกรใช้อยู่ในปัจจุบัน อีกทั้งการเติมกากขี้แป้งยังส่งผลให้การดูดดึงแมกนีเซียมไปสะสมที่ใบได้สูงสุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับอื่นๆ

กล่าวได้ว่า กากขี้แป้งอัตรา 80 กรัมต่อต้น สามารถใช้เป็นแหล่งแมกนีเซียมสำหรับการเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักโดยทดแทนปุ๋ยคีเซอร์ไรต์ได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นกากขี้แป้งที่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่น ปัญหามลพิษทางดิน น้ำ และอากาศหากจัดการไม่เหมาะสมนั้น สามารถใช้เป็นแหล่งแมกนีเซียมที่เป็นทางเลือกต้นทุนต่ำให้กับเกษตรกรในการปลูกปาล์มน้ำมัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

5487193620 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORDS: RUBBER LATEX SLUDGE / MAGNESIUM / OIL PALM IN MAIN-NURSERY STAGE

PIROMKWAN CHINNAWONG: RUBBER LATEX SLUDGE AS MAGNESIUM SOURCE FOR GROWTH OF OIL PALM IN MAIN NURSERY STAGE. ADVISOR: ASSOC. PROF. DR.ORAWAN SIRIRATPIRIYA, CO-ADVISOR: KIRKCHAI DHANARAKS, 72 pp.

The study of rubber latex sludge as magnesium source for growth of oil palm in main nursery stage was randomized complete block (RCBD) design with 4 replication. The treatments consist of soil control, kieserite, dolomite and rubber latex sludge. One experimental unit was 9 oil palm in main nursery stage.

The results showed that application of rubber latex sludge 80 g/tree increased pH, zinc, organic matter and organic carbon significantly ($P \leq 0.05$). Electric conductivity was within growth of oil palm. Moreover, magnesium content in the soil was high and sufficient for growth of oil palm in main nursery stage. The growth of oil palm (a number of leaves per tree, rachis length, high, leaves area and biomass) applied with rubber latex sludge were increased but non significant ($P \leq 0.05$) difference from that of kieserite fertilizer which farmer had been use as a magnesium source nowaday. In addition, application of rubber latex sludge resulted in highest uptaked of magnesium in leaf significant difference ($P \leq 0.05$) from the another treatments.

That is to say, applied a rubber latex sludge 80 g/tree can be used as a magnesium source sufficient for growth of oil palm in main nursery stage, besides substitute kieserite fertilizer significantly. Hence, the rubber latex sludge as a waste caused problem to the environment such as odour, air pollution, soil pollution, water pollution can be managed and recycle back to plantation area as an alternative magnesium source at low cost for the farmer.

Field of Study: Environmental Science Student's Signature .....

Academic Year: 2013 Advisor's Signature .....

Co-Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของ “ โครงการการจัดการของทิ้ง (Waste) จากอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่การเกษตร (CC720A)” โครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมี รศ.ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ เป็นหัวหน้าโครงการ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ และทุนอุดหนุนบางส่วนจากสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ เกริกชัย ธนรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำความรู้และแนวคิดต่างๆ รวมทั้งให้ความเมตตา สั่งสอน ชี้แนะประสบการณ์อันเป็นประโยชน์ อีกทั้งกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร ที่กรุณาอนุเคราะห์เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศศิธร พ่วงปาน และ อาจารย์ วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อเสนอแนะข้อคิดที่มีค่า ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ คุณอนุชิต จิโรจน์โชติชัย กรรมการผู้จัดการบริษัทอินเตอร์รับเบอร์ลาแท็คซ์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นผู้อนุเคราะห์สิ่งทดลองในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณวิชาญ หนูแดง เจ้าหน้าที่ภาคสนาม คุณอารีรักษ์ ทรัพย์มี คุณราตรี เพชรคุ้ม และคุณอังคณา ทองกูล เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทดลอง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ทั้งที่เอ่ยนามและไม่เอ่ยนาม ที่กรุณาอำนวยความสะดวกทั้งที่พักยานพาหนะ ในการทดการทดลองครั้งนี้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จลงได้หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือและคำแนะนำจากบุคคลหลายท่าน แม้นผู้เขียนจะไม่ได้เอ่ยนาม แต่ขอขอบพระคุณยิ่งไว้ ณ ที่นี้ สุดท้ายขอขอบคุณกัลยาณมิตร ที่ร่วมทุกข์และสุขขณะปฏิบัติงานพื้นที่ภาคสนาม ตลอดจนการสนับสนุนและกำลังที่อบอุ่นของคุณพ่อจุฬา และคุณแม่สุวรรณา ชิณวงศ์ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี และคุณอันใดอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่แผ่นดินที่ผู้เขียนเกิดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

บทที่ 1 1

บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

บทที่ 2 3

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ธาตุแมกนีเซียม 3

2.1.1 แหล่งแมกนีเซียมในดิน 4

2.1.2 แหล่งแมกนีเซียมในการเกษตร 4

2.1.3 บทบาทของแมกนีเซียมต่อพืช 6

2.2 กากขี้แป้ง 7

2.2.1 การเกิดกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น 7

2.2.2 อัตราการเกิดกากขี้แป้ง 8

2.2.3 องค์ประกอบของกากขี้แป้ง 8

2.2.4 การใช้ประโยชน์จากกากขี้แป้ง 12

2.3 ปุ๋ย 13

2.3.1 ปุ๋ยเคมี 13

2.3.2 ปุ๋ยอินทรีย์ 13

2.3.3 การนำเข้าปุ๋ยของประเทศไทย 14

2.4 ต้นกล้าปาล์มน้ำมัน 15

2.4.1. ระยะอนุบาลแรก (Pre-nursery) 15

2.4.2 ระยะอนุบาลหลัก (Main-nursery) 16

2.4.3 บทบาทของธาตุอาหารในการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน 17

2.5 การเพาะกล้าปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก (Main-nursery) 20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.5.1 การเตรียมดิน 21
2.5.2 การดูแลต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก (Main-nursery) 22
บทที่ 3 25
วิธีดำเนินการวิจัย 25
3.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย 25
3.1.1 การรวบรวมข้อมูล 25
3.1.2 การสำรวจภาคสนามและกำหนดพื้นที่วิจัย 25
3.2 การวางแผนการวิจัย 25
3.3 การดำเนินการทดลอง 26
3.3.1 การเตรียมการทดลอง 26
3.3.2 ศึกษาศักยภาพของกากขี้แป้งในการทดแทนคีเซอร์ไรต์ 27
3.3.3 ศึกษาการดูดซึมแมกนีเซียมภายหลังการเติมกากขี้แป้งของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก 28
3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ 28
บทที่ 4 30
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 30
4.1 แหล่งแมกนีเซียม 30
4.2 ศักยภาพของกากขี้แป้งในการทดแทนคีเซอร์ไรต์ 31
4.2.1 สมบัติของกากขี้แป้ง 31
4.2.2 สมบัติทางเคมีดินก่อนการทดลอง 34
4.2.3 สมบัติทางเคมีดินภายหลังการเติมกากขี้แป้ง 35
4.2.4 ผลของการเติมกากขี้แป้งต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก 40
4.3 การดูดซึมแมกนีเซียมภายหลังการเติมกากขี้แป้งของปาล์มน้ำมัน ระยะอนุบาลหลัก 49
4.3.1 พื้นที่ใบ 50
4.3.2 การดูดซึมแมกนีเซียมในใบ 50
บทที่ 5 54
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 54
5.1 สรุปผลการทดลอง 54
5.1.2 ศักยภาพของกากขี้แป้งในการทดแทนคีเซอร์ไรต์ 54

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

5.1.3 การดูดซึมแมกนีเซียมภายหลังการเติมกากขี้แป้งของปาล์มน้ำมัน ระยะอนุบาลหลัก 55
5.2 ข้อเสนอแนะ 55
รายการอ้างอิง 56
1 วางแปลงระห่างต้น 70 เซนติเมตร 69
2 วางเป็นสามเหลี่ยมทแยงมุม 69
3 และ 4 รดน้ำให้ดินชุ่มชื้นแล้วทำการปลูกลงกระ 69
5 ลักษณะการปลูกและเรียงต้นปาล์มน้ำมัน 69
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตและส่งออกน้ำยางข้นสู่ตลาดโลกเป็นอันดับหนึ่ง น้ำยางข้นเป็นวัตถุดิบสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ เช่น ถุงมือ ลูกโป่ง ถุงยางอนามัย หัวนมยาง อุปกรณ์ทางการแพทย์ ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำ สายยางยืด ท่อยาง และกาว เป็นต้น ซึ่งในทางอุตสาหกรรมยางปริมาณแมกนีเซียมที่มากเกินไปในน้ำยางจะส่งผลต่อความเสถียรของน้ำยางและความสามารถในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ (พร้อมศักดิ์ สงวนธำมรงค์, 2551) โรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นจึงต้องมีการกำจัดแมกนีเซียมออกจากน้ำยางดิบก่อนที่จะนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยอาศัยกระบวนการเติมสารเคมีเช่น Diammonium Hydrogen Phosphate (DAHP) เพื่อให้แมกนีเซียมเกิดการตกตะกอนในอัตราส่วน Mg:DAHP เท่ากับ 1:5.5 (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2544, 2546) ทั้งนี้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำยางข้นธรรมชาติจะมีแมกนีเซียมได้ไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของของแข็งหรือเป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อขาย (กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) ของทิ้งที่เกิดจากกระบวนการตกตะกอนแมกนีเซียมออกจากน้ำยางเรียกว่า กากขี้แป้ง ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีกากขี้แป้งเกิดขึ้นประมาณ 1 %ของน้ำหนักน้ำยางสด ประเทศไทยผลิตและส่งออกน้ำยางข้นสู่ตลาดโลกเป็นอันดับหนึ่งกว่าปีละ 0.8 ล้านตัน (กรมศุลกากร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) กล่าวได้ว่าประเทศไทยจะมีกากขี้แป้งเกิดขึ้นประมาณ 8 พันตัน/ปี

การนำกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์พบว่ากากขี้แป้งยังมีองค์ประกอบของไนโตเจน ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม ที่เป็นแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญของพืช (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี et al., 2547) และจากการศึกษาการใช้ประโยชน์กากขี้แป้งเป็นแหล่งธาตุอาหารเพื่อการทดแทนปุ๋ยเคมีสำหรับการเพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลแรกของ คณาวุฒิ อินทร์แก้วand นฤมล ทิมทอง (2554) พบว่า กากขี้แป้งมีศักยภาพในการทดแทนปุ๋ยเคมีได้อย่างมีนัยสำคัญ และส่งผลให้การเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันในด้านจำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ ขนาดลำต้น และความสูง ที่ปรากฏผลเป็นปกติเทียบเท่าการเติมปุ๋ยเคมี อีกทั้งการศึกษาการทดแทนปุ๋ยด้วยกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเพื่อการเพาะชำต้นยางถุง พบว่า กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งสามารถทดแทนปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ได้อย่างเท่าเทียมหรือดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่งผลให้มีปริมาณอินทรียวัตถุ ธาตุอาหารหลัก (N, P, K) และ Mg ในต้นยางชำถุงเพียงพอต่อการเติบโต (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ et al., 2552)

แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์และการเคลื่อนย้ายไอออนภายในเซลล์ของพืชและยังเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นสำหรับเอนไซม์ที่กระตุ้นการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ร้อยละ 15-30 ของแมกนีเซียมในพืชอยู่ในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ (Merhaut, 2007) อีกทั้งแมกนีเซียมเกี่ยวข้องโดยตรงกับการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยกระตุ้นเอนไซม์คาร์บอกซิเลส (enyme carboxylase) นอกจากนี้ธาตุแมกนีเซียมมีความ

จำเป็นต่อต้นปาล์มน้ำมันเพื่อช่วยในการเสริมสร้างองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ที่ช่วยสร้างอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และยังเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตจากใบ (source) ไปสู่ทะลาย (sink) (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554c) ถ้าขาดธาตุแมกนีเซียมจะส่งผลให้ต้นปาล์มมีใบสีเหลือง หากขาดรุนแรงใบจะเหลืองทั้งใบ เนื้อใบจะแห้งตายเป็นหย่อมๆ (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ et al., 2546) ทางใบจะเป็นสีเหลืองและเกิดแถบสีเหลืองบริเวณรับแสงโดยตรง (RankineandFairhurst T.H., 1999) จึงจำเป็นต้องมีการเติมธาตุแมกนีเซียมในการปลูกปาล์มน้ำมันจากธาตุอาหารหลักเพิ่มเติม (ไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส) ความต้องการแมกนีเซียมของปาล์มน้ำมันโดยการให้คีเซอร์ไรต์ (Kieserite) 0.27 กิโลกรัมต่อต้น สามารถเพิ่มผลทะลายสดได้อย่างมีนัยสำคัญ (Kusnu M. et al., 1996) เพื่อการเติบโตที่สมบูรณ์ต่อความสม่ำเสมอของการออกผลผลิต เช่น การปลูกปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก มีความต้องการ 100 กรัมต่อต้น

แหล่งธาตุแมกนีเซียมที่นิยมใช้ในการปลูกปาล์มน้ำมันคือ คีเซอร์ไรต์ และโดโลไมต์ (Dolomite) แต่คีเซอร์ไรต์มีราคาแพง ส่วนโดโลไมต์แม้ว่าจะมีราคาถูกแต่มีข้อจำกัดจากรูปทางเคมีของแมกนีเซียม-คาร์บอเนต ที่ส่งผลต่อระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดิน ถ้าดินที่มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) สูงกว่า 6.5 จะทำให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน ดังนั้นแมกนีเซียมจึงส่งผลต่อต้นทุนในการลงทุนปลูกสร้างสวนปาล์มน้ำมัน

การปลูกปาล์มน้ำมันให้ได้รับผลผลิตที่ดีต้องมีการดูแลและการให้ธาตุอาหารที่เพียงพอกับความต้องการ โดยเฉพาะธาตุแมกนีเซียมที่จำเป็นต่อต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักเพื่อความแข็งแรงและทนทานต่อโรคพืชและมีการเจริญเติบโตที่ดีรวมทั้งความสม่ำเสมอของการให้ผลผลิต (Von UexküllandFairurst, 1999b) จึงน่าสนใจเป็นอย่างยิ่งที่จะศึกษาวิจัยถึงศักยภาพของกากขี้แป้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นในการเป็นแหล่งธาตุแมกนีเซียมเพื่อเป็นอีกทางเลือกในการลดปริมาณการใช้คีเซอร์ไรต์และโดโลไมต์ อีกทั้งลดปริมาณของทิ้งที่มีโอกาสเป็นปัญหาต่อสภาพแวดล้อมทั้งดิน น้ำ และอากาศ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

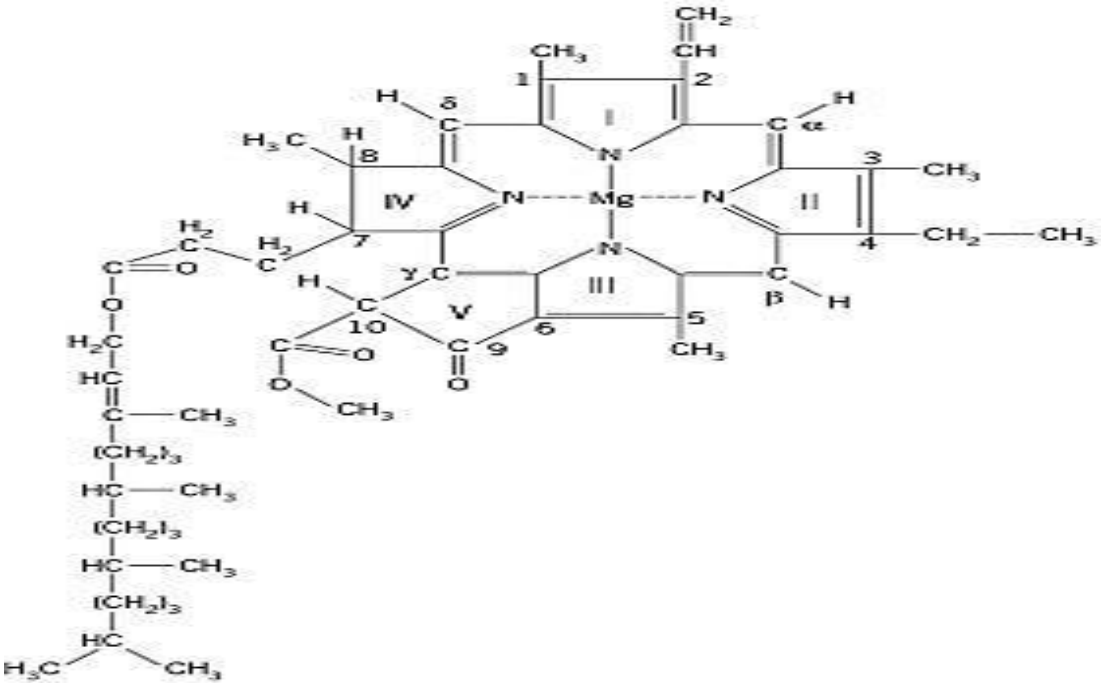
1 ศึกษาศักยภาพของกากขี้แป้งในการทดแทนคีเซอร์ไรต์
2 เพื่อศึกษาการดูดซึมแมกนีเซียมภายหลังการเติมกากขี้แป้งของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ธาตุแมกนีเซียม

แมกนีเซียมมีบทบาทสำคัญในพืชสีเขียวเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ เกี่ยวกับปฏิกิริยาของเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องในการดำรงชีวิตของพืช และมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับพลังงานในการใช้สารประกอบฟอสฟอรัสสัดส่วนของธาตุแมกนีเซียมก็ขึ้นกับปริมาณที่ได้รับ แต่ถ้าพืชขาดแมกนีเซียมต้องใช้ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ของที่มีในใบ โดยปกติใบพืชจะแบ่งสัดส่วนการใช้แมกนีเซียมที่มีอยู่ในดังนี้คือ 6-25 เปอร์เซ็นต์เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ 5-10 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของสารแพ็กเทตในผนังเซลล์และตกตะกอนเป็นเกลือที่ละลายยากในแวคิวโอล ที่เหลือประมาณ 60-90 เปอร์เซ็นต์ ละลายน้ำง่ายจึงสกัดได้ด้วยน้ำ หากแมกนีเซียมในใบเกินกว่า 20-25 เปอร์เซ็นต์ เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ พืชจะชะงักการเจริญเติบโตและแสดงในอาการขาดธาตุอาหาร (Scott. B.JandRobson. A.D, 1990)



รูปที่ 2.1 คลอโรฟิลล์เอมีแมกนีเซียมอยู่ใจกลางของโมเลกุลในพืช (McGraw-Hill 2002)

เซลล์พืชดูดแมกนีเซียมเข้าไปในรูปแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ละลายอยู่ในเซลล์พืชในรูปขององค์ประกอบของสารต่างๆและคงรูปของไอออน แมกนีเซียมในพืชทำหน้าที่หลายอย่าง ซึ่งมีความสามารถในการเคลื่อนย้ายภายในเซลล์ มีพันธะไอออนิก (ionic bond) กับสารนิวคลีโอฟิลิกลิแกนด์ (nucleophilic ligand) เช่น หมู่ฟอสฟอริล (phosphoril group) และทำหน้าที่เชื่อมโยงหรือทำปฏิกิริยาได้สารประกอบเชิงซ้อนหลายชนิดที่มีความเสถียรภาพแตกต่างกัน พันธะเคมีระหว่างแมกนีเซียมกับสารอื่นส่วนมากจะเป็นพันธะไอออนิกและพันธะโคเวเลนซ์ เช่นในโมเลกุลของคลอโลฟิลล์ แมกนีเซียมสามารถรวมกับเอนไซม์มีขนาดและรูปร่างอันเข้าได้ดีที่สุดกับซับสเทรต นอกจากนี้ Mg^{2+} ยังช่วยควบคุมสภาพกรดด่างในเซลล์ให้พอเหมาะอยู่เสมอ ซึ่งพืชต้องการธาตุแมกนีเซียมนี้ค่อนข้างมาก (ClarkandHason. J.B., 1980)

2.1.1 แหล่งแมกนีเซียมในดิน

แมกนีเซียม เป็นธาตุอาหารที่อยู่ในกลุ่มของธาตุอาหารรองเช่นเดียวกับธาตุแคลเซียม ซึ่งมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบสำคัญในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ เพื่อช่วยในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง กระบวนการหายใจ ช่วยในการทำงานของระบบเอนไซม์และช่วยในการดูดธาตุฟอสฟอรัส และช่วยในการเคลื่อนที่ของน้ำตาลในพืช รูปของแมกนีเซียมในดิน แมกนีเซียมที่อยู่ในดินแบ่งออกเป็น 2 รูปใหญ่ๆ (บุญแสน เตียวนุกูลธรรม, 2005) คือ

2.1.1.1 อินทรีย์แมกนีเซียม

อินทรีย์แมกนีเซียมเป็นแหล่งแมกนีเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไพติน (phytin) และ แมกนีเซียมเพคเตต (magnesium pectate) ถ้าพืชสามารถนำเอาไปใช้ประโยชน์ได้จะต้องถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเปลี่ยนจากอินทรีย์แมกนีเซียมไปเป็นอนินทรีย์แมกนีเซียมอยู่ในรูปของแมกนีเซียมไอออน

2.1.1.2 อนินทรีย์แมกนีเซียม

อนินทรีย์แมกนีเซียมประกอบด้วยแมกนีเซียมที่ละลายยากได้แก่ แมกนีเซียมที่มาจากหินและแร่ได้แก่ แร่ไบโอทิน [$K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10}(OH)_2$] เซอร์เพนทีน [$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$] และ โดโลไมต์ [$CaMg(CO_3)_2$] เมื่อแร่ผุพังสลายตัวจะให้ แมกนีเซียมไอออน ลงไปในดิน พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้คือแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แมกนีเซียมประเภทนี้จะถูกยึดติดบริเวณผิวของคอลลอยด์เมื่อแมกนีเซียมไอออนในสารละลายในดินสูญหายไปโดยพืชหรือจุลินทรีย์ แมกนีเซียมชนิดนี้จะถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อรักษาภาวะสมดุล และสารละลายแมกนีเซียมไอออนในดิน พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง

2.1.2 แหล่งแมกนีเซียมในการเกษตร

แหล่งแมกนีเซียมที่ใช้ในการเกษตรแหล่งที่มาส่วนใหญ่มักเป็นแหล่งแมกนีเซียมสังเคราะห์หรือเรียกว่าปุ๋ยเคมี หรือเป็นแหล่งธรรมชาติที่ได้จากองค์ประกอบของหินแร่ซึ่งแมกนีเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และเป็นที่นิยมไปใช้ในทางการเกษตร เช่น

2.1.2.1 โดโลไมต์ (Dolomite)

โดโลไมต์มีสูตรทางเคมี คือ (Ca, Mg) $(CO_3)_2$ มีความถ่วงจำเพาะ 2.9 ความแข็งตาม Mohs scale อยู่ที่ 3.5 - 4 เป็นแร่ที่เกิดขึ้นจากการผสมกันระหว่างหินปูน ($CaCO_3$) กับแมกนีไซท์ ($MgCO_3$) ในประเทศไทยมักเกิดอยู่ใกล้เคียงกับเขาหินปูน เกิดเป็นชั้นหินปูนโดโลไมต์ (Dolomitic limestone) หรือพบเกิดในสายแร่ตะกั่วหรือสายแร่สังกะสีที่ตัดผ่านหินปูน ส่วนประกอบของโดโลไมต์ ตามทฤษฎีนั้นจะมี $CaCO_3$ 54 % และ $MgCO_3$ 46 % หรือแมกนีเซียมออกไซด์ 21.7% แคลเซียมออกไซด์ 30.4% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 47.9% นั่นคือส่วนมากจะประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่า ส่วนแร่ตัวอื่น ๆ นั้นประกอบด้วย $MgSO_4$ ปนอยู่เล็กน้อย รวมทั้ง Fe_2O_3 ด้วย โดโลไมต์เป็นแร่ที่พบได้ทั่วไปบนผืนโลก ซึ่งสัดส่วนของ CaO และ MgO จะแตกต่างกันไปตามแหล่งต่างๆ พบมากในประเทศอิตาลี ฝรั่งเศส จีน อินเดีย และสหรัฐอเมริกา ในประเทศไทยพบได้มากที่จังหวัดกาญจนบุรีอยู่บริเวณเขตติดต่อระหว่างอำเภอเมืองและอำเภอท่าม่วง อำเภอดอนสัก จังหวัด สุราษฎร์ธานี และอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่อื่น ๆ ได้แก่ จังหวัดแพร่ ราชบุรี ชลบุรี จันทบุรีและสงขลา (คชินท์ สายอินทวงศ์, 2550)

โดโลไมต์เป็นปูนทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงดินที่มีความเป็นกรด (pH ต่ำ) และยังสามารถให้แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์แก่ต้นปาล์มน้ำมันได้ (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554b) หินโดโลไมต์ เป็นแร่ธาตุตามธรรมชาติที่มีองค์ประกอบเป็น $CaMg(Co_3)_2$ โดโลไมต์ มี Mg เป็นองค์ประกอบ 11.7 – 13.1 % (นิวัติ อนงค์รักษ์, 2548) อย่างไรก็ตามโดโลไมต์ตามธรรมชาติที่ถูกนำมาใช้ในการเกษตรมี $CaMg(Co_3)_2$ 54% หรือช่วงประมาณ 35-45% หรือ MgO 17-22 % (กรมพัฒนาที่ดิน, 2555) สามารถเป็นแหล่งธาตุแมกนีเซียมที่มีราคาถูก และสามารถหาได้ตามแหล่งธรรมชาติ ซึ่งการใช้โดโลไมต์ในการเป็นแหล่งธาตุแมกนีเซียมควรมีการวิเคราะห์ดินก่อน ซึ่งในการวิเคราะห์ดินโดยทั่วไปจะต้องมีการวิเคราะห์ถึงความต้องการปูนทางการเกษตรของดินด้วย การนำโดโลไมต์มาเป็นแหล่งแมกนีเซียมให้ต้นปาล์มน้ำมัน ควรที่จะหว่านในระหว่างแถวของต้นปาล์มน้ำมัน ใส่บริเวณโคนต้นที่กำจัดวัชพืชแล้ว ทำให้อัตราการปลดปล่อยแมกนีเซียมให้เป็นประโยชน์กับปาล์มน้ำมันสูงขึ้นแต่ไม่ควรใส่ปุ๋ยยูเรียทันที หลังจากหว่านโดโลไมต์ เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียไนโตรเจนมากขึ้น (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554b)

2.1.2.2 แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide)

แมกนีเซียมออกไซด์มีทั้งชนิดผงและชนิดเม็ด ชนิดผงจะละลายน้ำได้ช้าอยู่แล้ว ชนิดเม็ดยิ่งละลายไม่ดี ถ้าจะใช้เม็ดผงคุณภาพก็จะเทียบกับโดโลไมต์

2.1.2.3 โพแทสเซียมแมกนีเซียมซัลเฟต

โพแทสเซียมแมกนีเซียมซัลเฟตเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมใช้ชนิดหนึ่ง การละลายตัวดีปานกลาง แต่ดีกว่าแมกนีเซียมออกไซด์ หรือโดโลไมต์ เมื่อผสมรวมเป็นปุ๋ยอันเดียวกันกับปุ๋ย N-P-Kในรูปเม็ด การละลายตัวของมันจะสูญเสียไปมากเนื่องจากผลิตภัณฑ์ในรูปของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ถ้าใช้กับรูปของปุ๋ย N-P-K ชนิดน้ำจะมีการตกตะกอนให้เห็น เมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ย N-P-Kจะไม่มีปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้น ผลิตภัณฑ์จะให้แมกนีเซียมออกมามากที่สุดในปีแรกของการใช้ ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ยังจะให้กำมะถันซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งกับพืชอีกด้วย การใช้ผลิตภัณฑ์ในรูปนี้ใช้ร่วมกับ

ปุ๋ย N-P-K โดยไม่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นก็ตาม แต่มีปัญหามีโพแทสเซียมเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย โพแทสเซียมจะเป็นตัวปัญหาของแมกนีเซียม คือกีดกันการดูดซับของแมกนีเซียมของพืชที่บริเวณราก ขน เราจึงได้ข้อคิดว่าไม่ควรใส่โพแทสเซียมและแมกนีเซียมร่วมกัน ถ้าจะให้แมกนีเซียมดูดซับเข้าพืช ได้มากที่สุด (เลื่อนศักดิ์ วัฒนกุล, 2012)

2.1.2.4 คีเซอร์ไรต์ (Kieserite)

คีเซอร์ไรต์เป็นแหล่งธาตุแมกนีเซียมสังเคราะห์ที่มีชื่อเรียกว่า แมกนีเซียมซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($MgSO_4 \cdot H_2O$) ซึ่งมี 18 % และ 27% (Mortvedt. J.J. et al., 1999) จากการศึกษาความต้องการแหล่งแมกนีเซียมในต้นข้าวโพดต่อความสามารถในการนำธาตุแมกนีเซียมไปใช้ ของ Härdter R. et al. (2004) พบว่า คีเซอร์ไรต์ มีความสามารถในการละลายน้ำอย่างช้าๆและสามารถให้แหล่งธาตุแมกนีเซียมได้สูงในต้นพืช เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งแมกนีเซียมอย่างแคลซีนแมกนีไซต์ (Mg-Oxide)

Goh.K.J. et al. (1988) ได้ทำการศึกษาแหล่งแมกนีเซียมจากแหล่งหินปูนต่อการเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันบนดินทราย ในประเทศมาเลเซีย ต่อความสัมพันธ์ของแมกนีเซียม และโปแทสเซียม โดยใช้หินปูน (Ground magnesium limestone:GML) เป็นแหล่งแมกนีเซียมและโพแทสเซียมคลอไรด์ (Muriate of potash: MOP) เป็นแหล่งโพแทสเซียม และชุดการทดลองควบคุมจะประกอบด้วยคีเซอร์ไรต์และMOP มาทำการเปรียบเทียบพบว่า ผลของขาดแมกนีเซียมเห็นได้ชัดเจนในแปลงที่ปราศจากแมกนีเซียม โดยแปลงที่เติม GML และคีซอร์ไรต์ไม่พบการขาดแคลนแมกนีเซียมและยังมีส่วนในการเพิ่มผลผลิตทะลายปาล์ม (FFB) ร้อยละ 11มากกว่า 5 ปี ความสัมพันธ์ต่อภาวะปฏิปักษ์ของ GML เปรียบเทียบกับ คีเซอร์ไรต์ ร้อยละ83 ที่บ่งบอกว่าการละลายแมกนีเซียมในรูปแมกนีเซียมซัลเฟตมีประสิทธิภาพสูงแต่ในเชิงความคุ้มทุนกลับพบว่า GML มีราคาถูกและให้ความคุ้มทุนสูงคีเซอร์ไรต์ถึง 1.5 เท่า

ปัจจุบันการแก้ไขอาการขาดแมกนีเซียมในปาล์มน้ำมันนิยมใช้คีเซอร์ไรต์ในปริมาณ 2-5 กิโลกรัมต่อต้นต่อปีในต้นที่มีอาการขาดแมกนีเซียมรุนแรง และใส่ 0.5-1.5 กิโลกรัมต่อปีในการดูแลรักษาและเพิ่มธาตุอาหารในลักษณะทั่วไป โดยแบ่งใส่ 2 ครั้งต่อปี (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554a) โดยคำแนะนำของ ศักดิ์ศิลป์ โชดิสกุล et al. (2553) อาการการขาดธาตุแมกนีเซียมของปาล์มน้ำมันใบย่อยด้านล่างของใบ ซึ่งได้รับแสงมากจะมีสีเหลืองอมส้ม ในขณะที่ใบย่อยซึ่งอยู่ด้านล่างยังคงมีสีเขียวแนะนำให้ใส่คีเซอร์ไรต์ (27%Mg) ในอัตรา 2-3 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี

2.1.3 บทบาทของแมกนีเซียมต่อพืช

แมกนีเซียมซึ่งเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ยังเกี่ยวข้องกับการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในปฏิกิริยาแสง (light reaction) ของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และการสังเคราะห์โปรตีน แมกนีเซียมมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน 3 ขั้นตอนด้วยกันคือ เป็นธาตุที่ช่วยเชื่อมหน่วยย่อยของไรโบโซมให้เกาะกลุ่มกันเป็นโคแฟกเตอร์ของ RNA polymerases ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสร้าง RNA ในนิวเคลียส

และ ช่วยให้สายเชื้อดีเอ็นเออยู่ในสภาพที่ทำงานได้ดี สุดท้ายแล้วยังเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ ซึ่งมีเอนไซม์หลายชนิดที่ใช้ Mg^{2+} เป็นโคแฟกเตอร์ เอนไซม์เหล่านั้นส่วนมากมีบทบาทในการถ่ายโอนฟอสเฟต หรือหมู่คาร์บอกซิล เช่น เอนไซม์กลูโคคิเนส ซึ่งเร่งปฏิกิริยาการเพิ่มหมู่ฟอสเฟตให้กลูโคสดังสมการ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552)

$$\text{glucose} + \text{ATP} \longrightarrow \text{glucose-6-P}$$

และประมาณ 90% ของ ATP ในไซโทพลาสซึมจับอยู่กับแมกนีเซียม โดยเอนไซม์ ATPase ในเยื่อหุ้มเซลล์ของรากใช้ Mg.ATP เป็นซับสเทรต ดังนั้นแมกนีเซียมจึงช่วยให้เอนไซม์ ATPase ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในเซลล์พืช

ตลอดการเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักต้องใช้ปุ๋ยคีเซอร์ไรต์ในการเป็นแหล่งธาตุแมกนีเซียมถึง 100 กรัมต่อต้น ซึ่งจะช่วยให้พืชอย่างปาล์มน้ำมันที่มีความตอบสนองต่อธาตุแมกนีเซียมสูง เพื่อเพิ่มความทนทานต่อสภาพอากาศที่ไม่เหมาะสมและโรคพืชรวมทั้งอิทธิพลต่อความสม่ำเสมอของการเพิ่มผลผลิตของทลาย (Von UexküllandFairurst, 1999a) จากการทดลองในดิน Typic Paleudult . ในสุมาตรา ซึ่งขาดแมกนีเซียม และโพแทสเซียม (Exchangeable Mg 0.12 cmol/ kg. soil, Exchangeable K 0.12 cmol/kg. soil) การตอบสนองต่อแมกนีเซียมในปาล์มน้ำมันที่ให้ผลผลิตแล้ว ต้องใช้เวลาถึง 2 ปี หลังจากการให้ปุ๋ยแมกนีเซียมไปแล้วในระหว่างปีที่ 3 และ 4 การให้ปุ๋ยแมกนีเซียมในรูปของคีเซอร์ไรต์ 0.27 กิโลกรัม /ต้น สามารถเพิ่มผลผลิตทะลายสดได้อย่างมีนัยสำคัญ และยังช่วยเพิ่มจำนวนทะลายด้วย (Kusnu M. et al., 1996)

2.2 กากขี้แป้ง

2.2.1 การเกิดกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

กากขี้แป้งเป็นของทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มีปริมาณ 1-2 % โดยน้ำหนักของน้ำยางสดที่นำมาผลิต มีสิ่งเจือปนของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ได้แก่ อนุภาคยางที่จับตัว สารพวกแป้ง ฝุ่นไขมัน โปรตีน สารประกอบไนโตรเจน อนุมูลของโลหะ เป็นต้น โดยกากขี้แป้งส่วนใหญ่เกิดจากการเติมสารเคมีคือ ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Diammonium hydrogen phosphate, DAHP) ที่ทำให้โลหะแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางเกิดปฏิกิริยากลายเป็นแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต (Magnesium ammonium phosphate, MgNH4PO4) (Blackley, 1997)รูปภาพ 2.2 แสดงกระบวนการผลิตน้ำยางข้นตลอดจนการเกิดเป็นกากขี้แป้ง

จากกระบวนการตกตะกอนแมกนีเซียม โดยน้ำยางจะต้องเติม ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟส (Diammonium hydrogen phosphate: DAHP) เพื่อให้แมกนีเซียมที่ปนอยู่ในน้ำยางตกตะกอนเป็นกากขี้แป้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548b) โดยการตกตะกอนแมกนีเซียมออกจากน้ำยางใช้เวลาอย่างน้อย 1 วัน (วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2536) ซึ่งการเกิดกากขี้แป้งนั่นจะมีปริมาณมากหรือน้อยก็ขึ้นกับกระบวนการบรรจุน้ำยางและเครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยเช่นกัน

2.2.2 อัตราการเกิดกากขี้แป้ง

กากขี้แป้งถือได้ว่าเป็นของทิ้งที่เกิดจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ใช้สารเคมีอย่าง DAP ในการตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยาง โดยปริมาณการใช้ DAHP นั่นก็ขึ้นกับปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสด คือ ถ้ามีปริมาณแมกนีเซียมมากจะต้องใช้ DAHP มาก โดยน้ำยางสดที่นำมาปั่นควรมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm ในของแข็งทั้งหมด และปริมาณการใช้ DAHP ต่อปริมาณแมกนีเซียม คือ Mg : DAHP = 1 : 5 (กรมควบคุมมลพิษ, 2548a) จากรายงานการศึกษาของ วันชัย แก้วยอด (2540) พบว่า ปริมาณของกากขี้แป้งของเหลือทิ้งจากที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมีปริมาณ 0.39-1.58 ตันต่อวัน และในหนึ่งเดือน พบว่า มีปริมาณกากขี้แป้งเกิดขึ้นประมาณ 0.7 – 500 ตันต่อเดือน หรือ คิดเป็นอัตราการเกิดกากขี้แป้งต่อตันน้ำยางข้นที่ผลิตได้ในสัดส่วนระหว่า 0.6 – 50 กิโลกรัมกากขี้แป้งต่อตันน้ำยางข้น (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์, 2545) ขณะที่ วิภาพรรณ อุบล (2550) ปริมาณของกากขี้แป้งของเหลือทิ้งจากที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นเกิดขึ้นร้อยละ 1 ของปริมาณน้ำยางสดที่นำมาผลิต (% w/w) และจากการรายงานของ กรมศุลกากร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2556) สถิติตลอดช่วงปี 2546- 2556 ประเทศไทยผลิตและส่งออกน้ำยางข้นสู่ตลาดโลกเป็นอันดับหนึ่งเฉลี่ยกว่าปีละ 0.8 ล้านตัน กล่าวได้ว่าประเทศไทยจะมีกากขี้แป้งเกิดขึ้นประมาณ 8 พันตัน/ปี

2.2.3 องค์ประกอบของกากขี้แป้ง

กากขี้แป้งเป็นของทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น มีสิ่งเจือปนของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ได้แก่ อนุภาคยางที่จับตัว สารพวกแป้ง ฝุ่นไขมัน โปรตีน สารประกอบไนโตรเจน อนุมูลของโลหะ เป็นต้น กากขี้แป้งมีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่สำคัญของพืช คือ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม ซึ่งเป็นธาตุที่สำคัญนำมาใช้ในด้านการเกษตร โดยการกำจัดกากขี้แป้งส่วนใหญ่นั่นจะถูกนำไปเผาทิ้งหรือถมที่ ซึ่งมีความไม่เหมาะสม และก่อให้เกิดมลพิษ (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี et al., 2547) จากการศึกษาของเสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี et al. (2553) พบว่าคุณสมบัติของกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นในเขตพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย ค่าพีเอช 7.3 – 9.4 ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.02 – 1.26 g/ml ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) และความชื้น (MC) มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 43.23 – 80.40 และ 19.60 – 56.77 ตามลำดับ อีกทั้งลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากขี้แป้งแสดงดังตารางที่ 2.1 ของกากขี้แป้งตามรายงานของ กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2546) พบว่า ปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืช สามารถนำไปทำปุ๋ย หรือวัสดุปรับปรุงดินให้มีพีเอช (pH) เป็นกลางได้

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากขี้แป้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548b)

ลักษณะ	กากขี้แป้ง	
	ถังพักน้ำยาง	เครื่องปั่นยาง
ความชื้น	63.72	58.40
ของแข็งระเหยได้ (% น้ำหนักแห้ง)	51.11	57.09
ไนโตรเจน (N % น้ำหนักแห้ง)	1.91	2.30
ฟอสฟอรัส (P_2O_5 % น้ำหนักแห้ง)	19.50	21.69
โปแตสเซียม (K_2O % น้ำหนักแห้ง)	1.89	2.11
แมกนีเซียม (Mg % น้ำหนักแห้ง)	6.69	6.18
สังกะสี (Zn % น้ำหนักแห้ง)	0.71	0.81

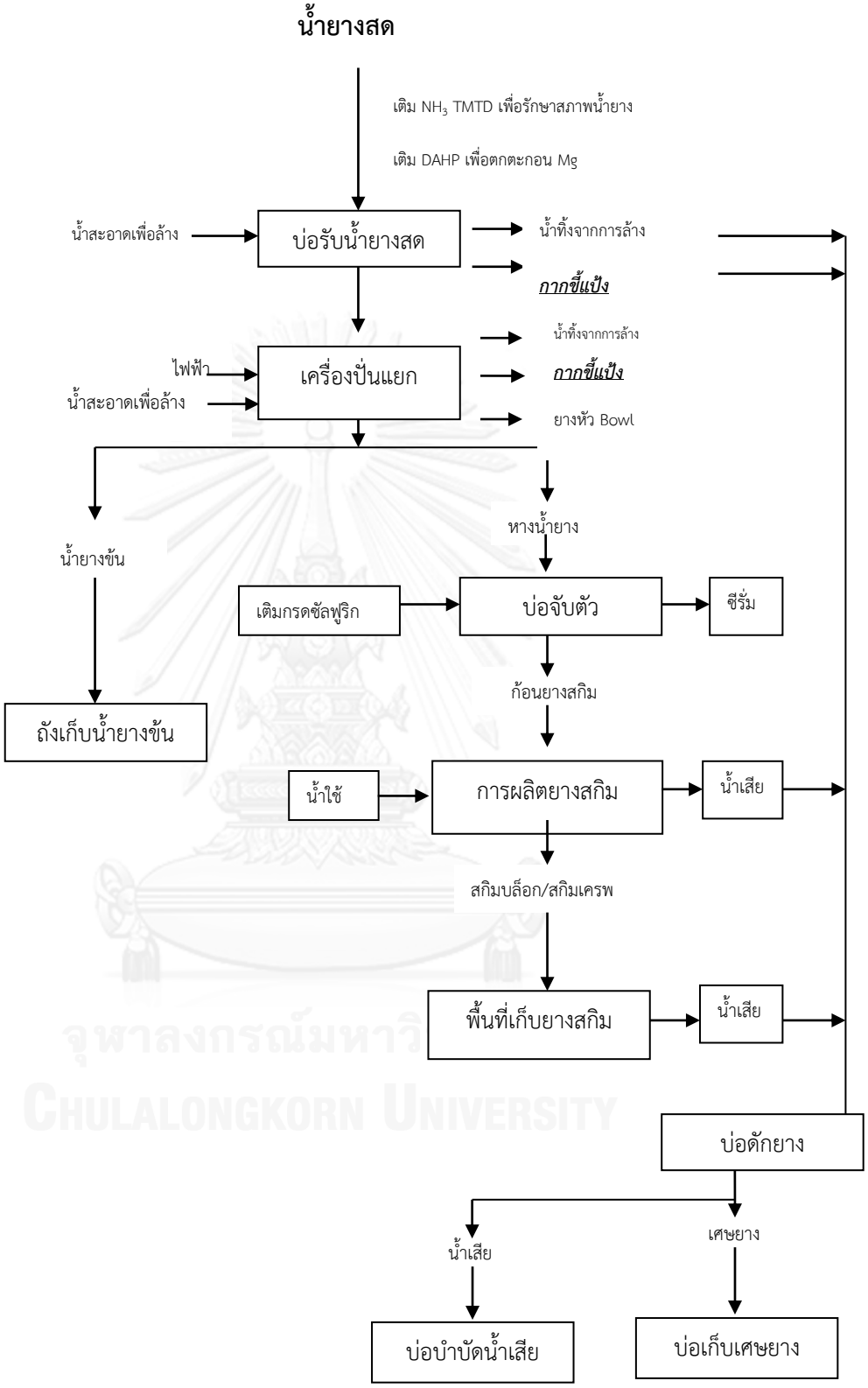
นอกจากนี้การศึกษาสมบัติทางเคมีบางประการของกากขี้แป้งช่วงอายุ 1-2 ปี ของศิราณี วงศ์กระจ่าง (2554) เพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของชุดดินบ้านทอนเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของกากขี้แป้งผสมกับดินเพื่อการปลูกข้าวโพดหวาน พบว่า กากขี้แป้งที่นำมาใช้ในการศึกษามีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.65 และมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืชสะสมอยู่ดังตารางที่ 2.2 ขณะที่การศึกษาปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช ทั้งปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด และโพแทสเซียมทั้งหมด ในกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น พบปริมาณของธาตุอาหารหลักทั้งสามชนิด คิดเป็นร้อยละ 1.02-2.53, 22.15-48.19 และ 0.39-0.60 น้ำหนักแห้ง โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ (วิภาพรรณ อุบล et al., 2551)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางเคมีบางประการของกากขี้แป้งช่วงอายุ 1-2 ปี (ศิราณี วงศ์กระจ่าง, 2554)

สมบัติทางเคมี	ปริมาณ
ปฏิกิริยาดิน (1:5, ดิน : น้ำ)	7.65
ค่าการนำไฟฟ้าที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (1:5, ดิน : น้ำ) (dSm-1)	13.96
ไนโตรเจนทั้งหมด (gkg^{-1})	89.10
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (gkg^{-1})	91.00
โพแทสเซียมทั้งหมด (gkg^{-1})	0.90
แคลเซียมทั้งหมด (gkg^{-1})	4.00
แมกนีเซียมทั้งหมด (gkg^{-1})	71.00
กำมะถันทั้งหมด (gkg^{-1})	0.17
เหล็กทั้งหมด (gkg^{-1})	229.00
แมงกานีสทั้งหมด (gkg^{-1})	57.70
สังกะสีทั้งหมด (gkg^{-1})	4,4470

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการผลิตน้ำยางข้นและการเกิดกากขี้แป้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548b)

2.2.4 การใช้ประโยชน์จากกากขี้แป้ง

กากขี้แป้งเป็นของทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นโดยกระบวนการกำจัดกากขี้แป้งนั้นจะถูกนำไปเผา หรือฝังกลบเพื่อทำลาย อันก่อให้เกิดมลพิษไม่ว่าจะทางดิน น้ำ และอากาศ จึงมีการศึกษาการนำกากขี้แป้งมาใช้ประโยชน์ จากคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของกากขี้แป้ง มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยการทำเป็นสารปรับปรุงดินหรือทำปุ๋ย เพราะมีธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืชได้แก่ N, P, K, Mg และ Zn โดยทำการทดสอบศักยภาพของกากขี้แป้งกับการปลูกหญ้านวลน้อย ยังพบว่า ต้นหญ้าสามารถเติบโตได้ดี และกากขี้แป้งยังช่วยปรับสภาพ pH เป็นกลาง (วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543) จากการศึกษาของ เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี et al. (2553) ได้นำกากขี้แป้งน้ำจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นมาแปรสภาพเป็นสารบำรุงดิน โดยใช้สัดส่วนของกากขี้แป้ง กากอินทรีย์ ผสม (มูลไก่: รำข้าว: ขี้เลื่อย = 1:1:1) และ EM ขยายส่วน เท่ากับ 4:3:1 หมักในระบบเปิดเป็นเวลา 24 วัน พบว่าปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียม และ สังกะสีมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนธาตุไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าลดลง กากขี้แป้งที่แปรสภาพนำมาผสมดินสัดส่วนเท่ากับ 1:3 โดยปริมาตร พบว่าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ปลูกพืชทางการเกษตร เช่น ปลูกต้นทานตะวัน (*Heliaths annus* L., Sunsmile) ได้เหมาะสมที่สุด อีกทั้งอัตราส่วนผสมระหว่างดิน กากขี้แป้ง: และกากตะกอนในอัตราส่วน 1:3:1 ในการทำเป็นวัสดุบำรุงดินในการทดลองปลูกผักกาดหอม มะเขือเทศ และข้าว พบว่า การเติบโตของพืชทดลองไม่มีอาการขาดธาตุอาหารพืชแต่อย่างใดและผลผลิตที่ได้จากพืชมีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมี (วลัยพร ผ่อนผัน, 2547a) ขณะที่กากขี้แป้งผสมกับแกลบในการปลูกข้าวโพดในชุดดินบ้านทอน ส่งผลให้ข้าวโพดเติบโตได้ดีที่สุดเมื่อใช้กากขี้แป้ง 0.3 % และใช้แกลบดิบ 8 % (ประวิทย์ โตวัฒนะ et al., 2550)

การเติมกากขี้แป้งสามารถใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารเพื่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลแรกได้ในอัตราเติม 10 กรัมต่อกิโลกรัมดินในต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลแรกพบว่า ต้นกล้าปาล์มน้ำมันมีการเติบโตไม่ต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยเคมีด้านจำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของต้น (คณาวุฒิ อินทร์แก้ว, 2552) ขณะที่การศึกษาของ ณัฐกานต์ ทู้ไพเราะ (2554) ศึกษาการใช้ของทิ้งจากอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับปาล์มน้ำมันระยะโตเต็มที่ พบว่า การเติมกากขี้แป้งร่วมกับตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์ม (3:1:1:1) .ในอัตรา 15 กิโลกรัม/ต้น ส่งผลให้ดินเพิ่มความเป็นกรดด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณธาตุอาหาร (N, P, Mg และ Zn) มากกว่าการเติมปุ๋ยเคมี ตลอดจนเพิ่มการดูดดึงธาตุไนโตรเจนในดิน

นอกจากนั้นยังพบว่า กากขี้แป้งยังถูกนำมาใช้ในการศึกษาการใช้ประโยชน์และศักยภาพการทดแทนปุ๋ยของกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเพื่อการปลูกยางพาราตั้งแต่ระยะต้นกล้ายางจนถึงระยะต้นยางชำถุงของ อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ et al. (2552) พบว่า กากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งสามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งอินทรียวัตถุ ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) และธาตุแมกนีเซียม สำหรับการปลูกและเติบโตของต้นกล้ายางและต้นยางชำถุง รวมทั้งไม่ต้องใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต และช่วยลดต้นทุนจากการใช้ปุ๋ยได้ประมาณ 3-8 เท่า

2.3 ปุ๋ย

ปุ๋ยตามพระราชบัญญัติปุ๋ย ฉบับที่ 2 พ.ศ.2550 หมายความว่า สารอินทรีย์ อินทรีย์สังเคราะห์ อนินทรีย์ หรือ จุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตาม สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารพืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืช ซึ่งปุ๋ยถูกนำมาใช้ในการเกษตรและพืชสวนเพื่อให้ธาตุอาหารที่จำเป็นแก่พืชและดิน โดยธรรมชาติดินจะมีส่วนประกอบของธาตุอาหารพืชอยู่แล้ว แต่มีความผันแปรค่อนข้างมากต่อความสมบูรณ์และการเติบโตของพืชที่ต่ำ การสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดินมีผลทำให้ดินเกิดการเสื่อมลงของธาตุอาหารพืช ซึ่งปุ๋ยสามารถใช้ทดแทนการขาดธาตุอาหารในดินและเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชเพื่อการเติบโตและออกผลผลิต

ปุ๋ย หมายถึง สารหรือสิ่งที่เราใส่ลงไปในดิน เพื่อวัตถุประสงค์ให้ปลดปล่อยธาตุอาหารพืชโดยเฉพาะพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่พืชยังขาดอยู่ให้พืชได้รับอย่างเพียงพอ พืชสามารถเจริญเติบโตงอกงามดีและให้ผลิตผลสูงขึ้น (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, 2554)

จากการรายงานของ สุรพรชัย มั่งมีสิทธิ์ (2554) ปุ๋ย คือ สารอินทรีย์อินทรียสังเคราะห์อนินทรีย์ หรือจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตามสำหรับใช้เป็นธาตุอาหารพืชได้ไม่ว่าโดยวิธีใดหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพในดินเพื่อบำรุงความเติบโตแก่พืชปุ๋ยเป็นสิ่งจำเป็นที่เกษตรกรจะต้องใช้เพื่อให้พืชเจริญเติบโตเกิดผลผลิต

การเติบโตของพืชเพื่อการออกผลผลิตนั้นล้วนมีความต้องการธาตุอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งปุ๋ยก็เป็นอีกแหล่งธาตุอาหารสำคัญที่สามารถเพิ่มให้เพียงพอต่อความต้องการของพืชแต่ละชนิด ซึ่งแหล่งธาตุอาหารของพืชอาจมาจาก ปุ๋ยเคมี หรือปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น

2.3.1 ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยเคมี หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้จากสารอนินนทรีหรืออินทรียสังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม ปุ๋ยเชิงประกอบและปุ๋ยอินทรีย์เคมี แต่ไม่รวมถึง ปูนขาว ดินมาร์ล ปูนปลาสเตอร์ ยิปซัม โดโลไมต์ หรือสารอื่นที่รัฐมนตรีกำหนด โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา และสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือทำขึ้นก็ตามที่มุ่งหมาย สำหรับใช้ในการอุตสาหกรรมหรือกิจการอื่นตามที่รัฐมนตรีประกาศในราชกิจจานุเบกษา (สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา, 2550)

ปุ๋ยเคมี คือสารประกอบอนินทรีย์ที่ให้ธาตุอาหารพืช เป็นสารประกอบที่ผ่านกระบวนการผลิตทางเคมี เมื่อใส่ลงไปในดินที่มีความชื้นที่เหมาะสม ปุ๋ยเคมีจะละลายให้พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้อย่างรวดเร็ว (สุรพรชัย มั่งมีสิทธิ์, 2554)

2.3.2 ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ ตามพระราชบัญญัติปุ๋ยแห่งชาติ 2518 ความหมายว่า ปุ๋ยที่ได้จากอินทรียวัตถุซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ บด หมัก ร่อน หรือวิธีการอื่นที่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมี

ปุ๋ยอินทรีย์ ตามพระราชบัญญัติปุ๋ยแห่งชาติ 2550 หมายความว่า ปุ๋ยที่ได้หรือทำมาจากวัสดุอินทรีย์ ซึ่งผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ หมัก บด ร่อน สกัด หรือ ด้วยวิธีการอื่น และวัสดุอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายสมบูรณ์ด้วยจุลลินทรีย์แต่ไม่ใช่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยชีวภาพ

ปุ๋ยอินทรีย์ คือสารประกอบที่ได้จากสิ่งที่มีชีวิต ได้แก่ พืช สัตว์ และจุลินทรีย์ผ่านกระบวนการผลิตทางธรรมชาติ ปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย ระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี รากพืชจึงชอนไชไปหาธาตุอาหารได้ง่ายขึ้น ปุ๋ยอินทรีย์ มีปริมาณธาตุอาหารอยู่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี และธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น ไนโตรเจนอยู่ในสารประกอบจำพวกโปรตีน เมื่อใส่ลงไปในดินพืชจะไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันที แต่ต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดินแล้วปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นออกมา ในรูปสารประกอบอินทรีย์เช่นเดียวกันกับปุ๋ยเคมีจากนั้นพืชจึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ (สุรพรชัย มั่งมีสิทธิ์, 2554)

ปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่ได้จากการแหล่งอินทรียสาร เช่น ได้จากเศษซากพืช ที่กองหมักจนสลายจนหมดเรียกว่า “ปุ๋ยหมัก” ถ้าได้จากมูลสัตว์ต่างๆเรียกว่า “ปุ๋ยคอก” หรือได้จากการไถกลบของพืชตระกูลถั่วบำรุงดินเรียกว่า “ปุ๋ยพืชสด” ซึ่งปุ๋ยเหล่านี้เรียกรวมๆว่า “ปุ๋ยอินทรีย์” ตัวอย่างองค์ประกอบของธาตุอาหารต่างๆเช่น ฟางข้าว แกลบ ขี้เลื่อย ฯลฯ อินทรียสารแต่ละชนิดมีปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วพืชตระกูลถั่วและมูลสัตว์จะมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าวัสดุอื่นๆ สัดส่วนของอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C:N) เป็นปัจจัยบ่งชี้อย่างหนึ่งของกระบวนการย่อยสลายของวัตถุอินทรีย์ โดยสัดส่วนอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20 แสดงถึงการย่อยสลายตัวง่ายของวัสดุอินทรีย์ สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอยู่ในรูปอนินทรีย์ที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ จะเห็นได้ว่าปุ๋ยอินทรีย์ทั่วไปมีปริมาณธาตุอาหารพืชต่ำมาก และธาตุอาหารที่มีอยู่เหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ก็ต่อเมื่อมีการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอยู่ในรูปอนินทรีย์สารพืชจึงนำไปใช้ได้ (ชัยรัตน์ นิลนนท์andธีรพงศ์ จันทรนิยม, 2553b)

2.3.3 การนำเข้าปุ๋ยของประเทศไทย

การนำเข้าปุ๋ยของประเทศไทยที่มีพื้นที่ถือครองทางการเกษตรเฉพาะที่นา ที่พืชไร่ ที่ไม้ผลและไม้ยืนต้น ที่สวนผักและไม้ดอกประมาณ 143 ล้านไร่ ในแต่ละปีแต่สถิติการใช้ปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตรกลับมีปริมาณสูงขึ้นอย่างมาก ข้อมูลปี 2549 พบว่าประเทศไทยมีการนำเข้าปุ๋ยและสารเคมีการเกษตร3.6 ล้านตัน เมื่อเข้าสู่แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 10 พ.ศ.2550-2554 มีการกำหนดเป้าหมายที่จะลดการนำเข้าปุ๋ยและสารเคมีการเกษตรให้ไม่เกินปีละ 3.5 ล้านตัน แต่กลับปรากฏว่าในปีแรกของแผนพัฒนาฯ มีการนำเข้าเพิ่มขึ้นเป็น 4.5 ล้านตัน และเมื่อสิ้นสุดแผนพัฒนาฯ ในปี 2554 มีการนำเข้าปุ๋ยและสารเคมีการเกษตรรวม 6.3 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 93,844 ล้านบาท เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการนำเข้าปุ๋ยและสารเคมีกับผลผลิตต่อไร่ของสินค้าเกษตรที่สำคัญและมีเนื้อที่เพาะปลูกมาก อาทิเช่น ข้าวยางพารา มันสำปะหลัง และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยผลผลิตต่อไร่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการนำเข้าปุ๋ยและสารเคมีกลับเพิ่มมากขึ้น โดยในปี 2554 เพิ่มขึ้นถึง

ร้อยละ 74มีมูลค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 102 ข้อมูลดังกล่าวอาจบ่งบอกถึงปริมาณความต้องการใช้ปุ๋ยและสารเคมีการเกษตรที่มีมากขึ้น หมายถึงต้นทุนการผลิตที่เกษตรกรต้องจ่ายเพิ่มขึ้นแต่ผลตอบแทนกลับไม่ได้สูงตาม (สำนักงานสถิติแห่งชาติ ศูนย์สารสนเทศยุทธศาสตร์ภาครัฐ, 2555)

จากการศึกษาของ พรรพิมล ฉัตราคม (2555) พบว่า ประเทศไทยยังไม่มีแหล่งวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตปุ๋ยเคมีในเชิงพาณิชย์ได้จึงทำให้ต้องนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศเป็นหลัก โดยในช่วงปี 2537-2546 มีปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีปีละประมาณ 3.18-3.84 ล้านตัน มูลค่า 13,049-25,747 ล้านบาท และปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีได้เพิ่มขึ้นจาก 3.39 ล้านตันในปี 2537 เป็น 3.95 ล้านตันในปี 2546 ส่วนปุ๋ยอินทรีย์นั้นในประเทศไทยมีวัตถุดิบเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการผลิต รวมทั้งเกษตรกรสามารถผลิตขึ้นใช้เองได้โดยใช้วัตถุดิบในไร่นา ดังนั้นในภาวะปัจจุบันที่ปุ๋ยเคมีมีราคาแพงและกระแสการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในปัจจุบันจึงทำให้ปริมาณการใช้ปุ๋ยอินทรีย์มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

ถึงแม้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศอันดับต้นของโลกที่มีการส่งออกผลผลิตทางการเกษตร แต่มีความเสี่ยงกับความปลอดภัยของอาหารและความมั่นคงของภาคการเกษตรอันเป็นผลมาจากการใช้ปุ๋ยและสารเคมีทางการเกษตรที่เพิ่มขึ้นทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

2.4 ต้นกล้าปาล์มน้ำมัน

การเติบโตและการพัฒนาของต้นกล้าปาล์มน้ำมันจะมีการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆของสรีระของต้นกล้าปาล์มน้ำมันเช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดของใบและต้น การเปลี่ยนแปลงลักษณะของใบและการสร้างใบใหม่ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่การปลูกเมล็ดงอกลงถุงเพาะ จนถึงระยะที่ย้ายต้นกล้าลงปลูกในแปลง ซึ่งการเจริญเติบโตและการพัฒนาการนี้จะเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการดูแลรักษาต้นกล้า เช่นการให้ปุ๋ย ให้น้ำ และการจัดการด้านอื่นๆ ให้เหมาะสมกับระยะของการพัฒนาของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน โดยรูปแบบการเพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมันที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดคือการเพาะต้นกล้าแบบอนุบาลสองครั้ง (Double stage nursery) ดังกล่าว 2 รูปแบบ มีการจัดการแปลงเพาะให้มีผลกระทบต่อต้นกล้าน้อยที่สุด และมีผลการเจริญเติบโตของต้นกล้าดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเพาะต้นกล้าแบบอื่นๆ การจัดรูปแบบที่เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในประเทศมาเลเซีย โดยมีการปฏิบัติดูแลรักษาต้นกล้าปาล์มน้ำมัน 2 ระยะคือระยะอนุบาลแรกและระยะอนุบาลหลัก (Hertalet L.R.andDuckett J.E., 1983) คือ

2.4.1. ระยะอนุบาลแรก (Pre-nursery)

ปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลนี้จะมีการดูแลประมาณ 12-14 สัปดาห์ ซึ่งเริ่มจากการนำเมล็ดมาเพาะในถุงพลาสติกสีดำขนาดเล็ก 13 x 18 หรือ 15 x 23 เซนติเมตร (5 x 7 หรือ 6 x 9 นิ้ว) หนา 0.06 มิลลิเมตร ในแปลงเพาะมีวัสดุพรางแสง 60 เปอร์เซ็นต์ ถุงพลาสติกเมื่อบรรจุดินแล้วมีน้ำหนักประมาณ 1.20-1.50 กิโลกรัม เมื่อระยะต้นกล้าสร้างใบได้จำนวน 3-5 ใบ จึงย้ายต้นกล้าลงในถุงปลูกพลาสติกขนาดใหญ่

2.4.1.1 การเพาะปลูก

เป็นการดูแลรักษาต้นกล้าประมาณสามเดือนแรก ในเรือนเพาะชำที่ถาวรหรือชั่วคราว ที่มีอายุคงทนไม่ต่ำกว่า 1 ปี ปลูกโดยการบรรจุดินในถุงพลาสติกสีดำขนาด 6x9 นิ้ว หนาอย่างน้อย 250 เกจ ก่อนการบรรจุดินควรกลับข้างเอาด้านในออก เพื่อให้ตั้งถุงอย่างมั่นคง กล้าบรรจุเสร็จแล้วทำการรดน้ำ หลังจากดินในถุงยุบตัวลงเพิ่มดินระดับเท่าเดิม ก่อนที่จะวางถุงบนพื้นเรือนเพาะชำ ควรราดพื้นด้วยยาฆ่าแมลง เพื่อทำลายพวกจิ้งหรีดและไส้เดือน การปลูกเมล็ดงอกลงถุงเพาะชำ ถุงเพาะชำที่บรรจุดินเรียบร้อยแล้ว ควรทำหลุมให้ลึกประมาณ 2 เซนติเมตร โดยใช้ปลายนิ้วกด แล้วนำเมล็ดงอกลงปลูกทันที การปลูกให้สังเกตให้ถูกต้องคือให้ส่วนยอดสีขาวและปลายสีน้ำตาลคือรากลงด้านล่าง การจัดวางต้นกล้า ควรวางให้เป็นระเบียบ ต้นกล้าอายุ 10-14 เดือน โดยจะว่างเป็นกลุ่มๆ ตามอายุต้นกล้าไม่ปะปนกัน มีป้ายบอกชื่อพันธุ์ วัน/เดือน/ปี ที่เริ่มเพาะจำนวนต้นกล้าแต่ละอายุ เพื่อสะดวกแก่ผู้ขายและผู้ซื้อ

2.4.1.2 การดูแล

การให้น้ำควรรดน้ำวันละ 2 ครั้งเพื่อให้เพียงพอทั่วถึงถ้าน้ำไม่เพียงพอปาล์มน้ำมันจะเติบโตช้า มีรูปร่างผิดปกติและอ่อนแอต่อโรค การให้ปุ๋ยควรให้ปุ๋ยทางใบปาล์มน้ำมันทุกอาทิตย์ ควรมีการให้น้ำ การให้ปุ๋ยยูเรียเพิ่มเติมขึ้นอยู่กับลักษณะของต้นกล้า ต้องมีการกำจัดวัชพืช ควรกำจัดวัชพืชออกจากถุงเพาะโดยใช้มือถอน สำหรับในเรือนเพาะชำใหญ่ สามารถใช้สารกำจัดวัชพืชระหว่างแถวได้ ควรตรวจสอบหาต้นราก การคลุมดิน ควรตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้แน่ใจในระบบรากของต้นกล้าจะไม่ลอย รากของต้นกล้าที่ลอยควรคลุมด้วยดินและต้นกล้าทุกต้นในเรือนเพาะชำควรมีการคลุมดินด้วยแกลบหรือขุยมะพร้าว

การตรวจสอบต้นกล้าเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะต้นกล้าที่ผิดปกติเหล่านี้หากนำไปปลูก จะเป็นต้นที่ให้ผลผลิตเลวหรือไม่ให้ผลผลิตเลย

2.4.2 ระยะอนุบาลหลัก (Main-nursery)

เริ่มจากการย้ายต้นกล้าจากอนุบาลแรกอายุ 12 -14 สัปดาห์ ลงในถุงปลูกใหญ่ขนาด 38 x 45 เซนติเมตร (15 x 18 นิ้ว) หนา 0.12 มิลลิเมตร ระยะนี้จะใช้เวลาดูแลต้นกล้าจนมีอายุ 10-14 เดือน จากนั่นสามารถย้ายต้นกล้าที่สมบูรณ์ย้ายลงแปลงจริงได้

2.4.2.1 การเพาะปลูก

เป็นการดูแลรักษาต้นกล้าตั้งแต่อายุสามเดือนจนถึงนำไปปลูกในแปลงจริง ซึ่งมีอายุต้นกล้า 10-14 เดือน โดยเพาะชำต้นกล้าในถุงพลาสติกสีดำขนาดไม่ต่ำกว่า 6x8 นิ้ว หนาอย่างน้อย 0.12 มิลลิเมตร สำหรับการเพาะกล้าแบบอนุบาลครั้งเดียวจะใช้ถุงพลาสติกขนาดไม่ต่ำกว่า 16x18 นิ้ว หนาอย่างน้อย 0.12 มิลลิเมตร ตั้งแต่ระยะเริ่มเพาะกล้าจนกระทั้งปาล์มน้ำมันมีอายุ 10-14 เดือน

การเลือกและการเตรียมพื้นที่ปลูก Main-nursery ควรอยู่ใกล้แปลง Pre-nursery เพราะสะดวกในการย้ายต้นกล้าและควรอยู่ใกล้แหล่งน้ำ ไม่ควรเลือกพื้นที่ลาดเอียงและไม่สม่ำเสมอ ควรทำการระบายน้ำให้เหมาะสมกับพื้นที่ไว้ด้วย Main-nursery ควรอยู่ใกล้แหล่งปลูก

เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนย้ายต้นกล้าลงแปลง การวางถุงเพาะชำ เลี้ยงต้นกล้าในระยะ Main-nursery นานถึง 1 ปี จึงควรวางถุงเพาะชำเป็นรูปสามเหลี่ยมห่างกัน 75 เซนติเมตร และถุงเพาะชำสำหรับปลูกซ่อมควรวางห่างกัน 1 เมตร การบรรจุดินลงถุง วิธีที่ง่ายที่สุดในการบรรจุดินลงถุงชำใหญ่ คือ ใช้กรวย ข้อดีคือ กรวยจะช่วยไม่ให้ถุงล้มและเพิ่มความเร็วในการบรรจุดิน ก่อนการบรรจุดินในถุงพลาสติกลงบนกรวย โดยการกลับเอาด้านในออกหลังจากบรรจุเสร็จ ควรนำไปวางบนตำแหน่งที่ถูกต้องเลย การบรรจุดินควรทำอย่างน้อย 1 สัปดาห์ในก่อนปลูก เพื่อให้ดินยุบตัวลงอย่างเต็มที่ การจัดผังแปลงเพาะชำ Main-Nursery ควรจัดเป็นบล็อก มีทางเดินสำหรับรดน้ำหรือวางระบบสปิงเกอร์

การย้ายต้นกล้าจากถุงเพาะชำเล็ก ลงถุงเพาะชำใหญ่ การย้ายต้นกล้า Pre-nursery ไปยัง Main-nursery ให้ใช้รถเข็นหรือกะบะไม้ หรือกระสอบปุ๋ยนำมาดัดแปลง ให้สามารถขนย้ายต้นกล้าได้สะดวกและต้อง แล้ววางถุงเล็กไว้ข้างถุงใหญ่ หลังจากนั้นใช้พลั่วมือขุดหลุมลงปลูกปลูกในถุงเพาะชำใหญ่ ใช้มีดกรีดถุงพลาสติกออกจากต้นกล้าแล้วค่อยวางต้นกล้า ซึ่งยังมีดินอยู่ลงในหลุมปลูกในหลุมที่เตรียมไว้อย่างระมัดระวัง หลังปลูกเสร็จควรรดน้ำการให้น้ำควรให้วันละครั้งอย่างเพียงพอ โดยใช้ระบบสปริงเกอร์

2.4.2.2 การดูแล

ในระยะนี้จะต้องมีการคลุมดินถุงเพาะใหญ่โดยใช้ขุยมะพร้าว แกลบ หรือหญ้าคาสับ เพื่อป้องกันวัชพืชและป้องกันไม่ให้เม็ดปุ๋ยที่ให้ถูกน้ำชะล้างไป การให้ปุ๋ยควรให้ห่างจากโคลนต้น 5-8 เซนติเมตร และระวังอย่าให้ถูกมือ เพราะจะทำให้ไหม้ได้ และควรให้ปุ๋ยแก่ปาล์มน้ำมันทุกเดือน ส่วนการกำจัดวัชพืช ควรทำทุกเดือน โดยการถอนด้วยมือและควรเพิ่มดินลงในถุงที่ยุบ ซึ่งความผิดปกติของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก เอาต้นกล้าที่ผิดปกติออกจากแปลงทุกๆ 3 เดือน ความผิดปกติของต้นกล้าไม่ได้เกิดจากพันธุกรรมอย่างเดียว แต่เกิดจากการขาดปุ๋ยหรือความผิพลาดในการปลูกก็ได้ การใช้วัสดุปลูกกล้าปาล์มน้ำมันในช่วงระยะอนุบาลหลัก พบว่า การใช้ดินผสมขุยมะพร้าวอัตราส่วน 3:1 และ 2:1 จะให้ผลดีที่สุด โดยทำให้ถุงปลูกมีน้ำหนักเบาลง ต้นกล้าปาล์มเจริญเติบโตได้ดี ช่วยให้สามารถนำวัสดุเหลือใช้มาเป็นประโยชน์ (เอกชัย พฤกษ์อำไพ, 2548)

2.4.3 บทบาทของธาตุอาหารในการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน

ธาตุอาหารพืช (essential nutrient element) คือ ธาตุที่ต้องการเพื่อดำรงชีวิต หากขาดแคลนถึงระดับหนึ่งพืชจะมีอาการผิดปกติ อันเป็นอาการที่มีลักษณะเฉพาะ ซึ่งอาจแก้ไขได้โดยการให้ธาตุนั้นในรูปที่พืชไปใช้ประโยชน์ได้ และมีบทบาทโดยตรงต่อเมทตาบอลิซึมของพืช ดังนั้นเมื่อพืชได้รับอาหารครบทุกธาตุแต่ละธาตุเพียงพอและสมดุลกันรวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ที่จำเป็นอย่างเหมาะสม ย่อมเติบโตตามปกติและให้ผลผลิตสูงตามศักยภาพ สำหรับพืชทั่วไปต้องการธาตุอาหาร 17 ธาตุ ซึ่งจำแนกตามปริมาณความต้องการของพืชคือ มหาธาตุ (macronutrient element) ซึ่งพืชต้องการใช้ในปริมาณสูงมาก (สูงกว่า 500 mg/kg) จึงจะเพียงพอแก่การเติบโตซึ่งมี 9 ธาตุ คือ คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน โดยสามธาตุแรกพืชได้จากอากาศและน้ำ ส่วน6ธาตุหลังพืชได้รับจากดิน ซึ่งแบ่ง 6 ธาตุนี้

แบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ ธาตุหลัก (primary nutrient element) อันได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และ ธาตุรอง (secondary nutrient element) อันได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ธาตุที่มีความต้องการของพืชอีกกลุ่มคือ จุลธาตุ (micronutrient element) เป็นธาตุที่พืชต้องการใช้ในปริมาณน้อย (ต่ำกว่า 100 mg/kg) มีอยู่ 8 ธาตุอันได้แก่ โบรอน คลอรีน ทองแดง แมงกานีส โมลิบนัม สังกะสี ซึ่งดินที่ใช้ในการเกษตรโดยทั่วไปมักขาดแคลนธาตุใดธาตุหนึ่ง (ยงยุทธ โอสถสภา, 2546)

ปัจจัยการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันนอกจาก การให้น้ำ แสงแดด และการให้ปุ๋ยในอัตราส่วนต่างๆ ซึ่งการให้ปุ๋ยมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันอย่างยิ่ง โดยเฉพาะธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับปาล์มน้ำมันที่ต้องการใช้ในปริมาณมาก หรือค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่น ได้แก่ ไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโบรอน ซึ่งธาตุอาหารดังกล่าวมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันและมีอิทธิพลต่อขบวนการต่างๆ ซึ่งส่งผลให้มีการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันเบื้องต้น ตลอดจนการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน

2.4.3.1 ไนโตรเจน (N)

ไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบสำคัญของสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะมิโน โปรตีน และเอนไซม์เป็นต้น ถือได้ว่ามีหน้าที่ที่สำคัญในเกือบทุกขบวนการทางสรีรวิทยาของปาล์มน้ำมัน ซึ่งการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแก่ปาล์มน้ำมันจะช่วยเพิ่มพื้นที่ใบ จำนวนใบ และอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ ในปาล์มเล็กการให้ปุ๋ยไนโตรเจนจะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันและเปลี่ยนเป็นมวลชีวภาพในที่สุด การขาดไนโตรเจนมีผลกระทบต่อการพัฒนา และการทำงานของคลอโรพลาสต์ ในใบที่ขาดไนโตรเจนนั้นโปรตีนจะถูกสลายพันธะด้วยน้ำ (Hydrolyzed) กลายเป็นกรดอะมิโน ซึ่งจะกระจายย้อนกลับไปที่ใบอ่อนดั้งนั่นผลของการขาดไนโตรเจนทำให้ปาล์มน้ำมันมีการเจริญเติบโตที่ลดลง ต้นปาล์มน้ำมันชะงักการเจริญเติบโตใบแก่มีสีเขียวซีด ต่อมาก็จะซีดลดลง จากนั้นจะมีสีเหลือง (Chlororis) ถ้าเป็นมากๆทางใบปาล์มน้ำมันจะมีอาการใบแห้ง (Necrosis) โดยเริ่มจากปลายใบ ถึงหนามโคนทางแกนทาง และทางก้านใบย่อยมีสีเหลืองส้ม หนามที่โคนทางจะแคบและม้วนงอ อาการเหล่านี้จะเกิดและกระจายไปทั่วทั้งทางใบ โดยเกิดกับใบแก่ก่อน

การให้ปุ๋ยไนโตรเจนควรใส่ก่อน 3-4 เดือนก่อนเข้าฤดูแล้งในปีถัดไป ในการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในแต่ละครั้งไม่ควรเกิน 0.5 กิโลกรัม N /ต้น/ครั้ง (ยูเรีย หรือ ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 ไม่เกิน 1 กิโลกรัม /ต้น/ครั้ง) และไม่ควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในช่วงฝนตกชุกมากๆ หรือช่วงน้ำหลากเพื่อลดความสูญเสียจากการซึมผ่านราก (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554c) เพื่อให้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีประสิทธิภาพมากขึ้น ควรมีข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เช่น ปริมาณน้ำฝน (มม./วัน) จำนวนวันที่ฝนตก เพื่อใช้ในการตัดสินใจ อีกทั้งการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนไม่ควรใส่เป็นแถวๆ หรือแนวแคบๆเพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียสูงขึ้นและทำลายระบบรากของปาล์มน้ำมัน

2.4.3.2 ฟอสฟอรัส (P)

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่เกี่ยวข้องกับการเก็บสะสมและการเคลื่อนย้ายข้อมูลทางพันธุกรรม และยังเป็นส่วนประกอบอยู่ใน phospholipid compounds ในผนังเซลล์ และเป็น

ส่วนสำคัญในการรักษากระบวนการทางสรีรวิทยาที่สำคัญหลายอย่างในเซลล์พืชซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของ nucleic acid (Deoxyribonucleic; DNA และ Ribonucleic acid ;RNA) นั้นการขาดฟอสฟอรัสจึงเป็นสาเหตุไปรบกวนการเจริญเติบโตการทำงานต่างๆของพืช เช่น การคลี่ของใบ, พื้นที่ของใบ, และจำนวนใบ เป็นผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของต้นปาล์มน้ำมันที่ขาดฟอสฟอรัสต่ำลง ปริมาณคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อที่ขาดฟอสฟอรัสจะสูงขึ้นทำให้ใบปาล์มน้ำมันสีเขียวเข้ม

2.4.3.3 โพแทสเซียม (K)

ธาตุอาหารชนิดอื่นๆ ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อเจริญทั่วๆไปของปาล์มน้ำมันจะมีความเข้มข้นลดลง เมื่อปาล์มน้ำมันมีอายุมากขึ้น แต่ปริมาณของโพแทสเซียมโดยน้ำหนักแห้งของเนื้อเยื่อเจริญค่อนข้างคงที่ตลอดอายุของปาล์มน้ำมันตั้งแต่ในเรือนเพาะชำ จนกระทั่งปาล์มให้ผลผลิตแล้ว (ในทะลายสดมีส่วนประกอบของโพแทสเซียมประมาณ 0.65% และโพแทสเซียมยังเป็นธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันต้องการมากที่สุด) ซึ่งธาตุโพแทสเซียมสามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างรวดเร็วในต้นปาล์มน้ำมัน ดังนั้นความเข้มข้นส่วนใหญ่จึงอยู่ในใบอ่อนมากกว่าใบแก่ โพแทสเซียมมีส่วนในกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิดที่ช่วยเร่งปฏิกริยาชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงโปรตีนและไขมันที่ยังเป็นที่ต้องการในขบวนการสังเคราะห์โปรตีน นอกจากนี้ยังสนับสนุนการทำงานของ Phytohomone ที่สำคัญโพแทสเซียมยังแสดงบทบาทในการเปลี่ยนแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานชีวเคมีในขบวนการสังเคราะห์แสงและต้องการโพแทสเซียมในตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ควบคุมการซึมผ่านของเหลวในเนื้อเยื่อต่างๆของพืช เช่นการขยายตัวของเซลล์ การควบคุมการเปิดปิดปากใบ และยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทนความเครียดจากการขาดน้ำ ซึ่งตัวโพแทสเซียมนั่นช่วยเพิ่มความต้านทานในการทนทานต่อความแห้งแล้ง และโรคในปาล์มน้ำมัน เพิ่มขนาดและจำนวนทะลายปาล์มน้ำมันด้วย ในดินบางชนิด เช่น ดินทราย ดินพรุ การขาดโพแทสเซียมเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อการผลิตโดยตรง

การขาดโพแทสเซียมจะไม่แสดงให้เห็นในทันที แต่จะมีตัวชี้นำอยู่หลายอย่างเช่น การเจริญเติบโตลดลง ใบเหี่ยวไม่เต่งตึง ไม่ทนทานต่อความแห้งแล้ง ซึ่งการให้โพแทสเซียมสามารถให้ได้ตลอดทั้งปี แม้ในสภาพแห้งแล้งหรือชุ่มชื้น อย่างไรก็ตามควรหลีกเหลี่ยงการให้ปุ๋ยโพแทสเซียมในช่วงฝนตกหนัก หรือน้ำหลาก ที่จะทำให้โพแทสเซียมสูญเสียไปกับการไหลบ่าและการซึมผ่านไปกับน้ำ บริเวณที่ให้ปุ๋ยต้องเป็นจุดที่ปุ๋ยโพแทสเซียมสัมผัสกับรากปาล์มน้ำมันได้ง่ายที่สุด และควรให้บริเวณทรงพุ่มของปาล์มน้ำมันที่มีการกำจัดวัชพืชแล้ว (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554c)

2.4.3.4 แมกนีเซียม (Mg)

แมกนีเซียมมีหน้าที่มากมายในขบวนการเมตาบอลิซึมของปาล์มน้ำมัน บทบาทสำคัญที่สุดคือ แมกนีเซียมคือเป็นองค์ประกอบคลอโรฟิลล์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานแสง มาเป็นพลังงานชีวเคมี ในระหว่างขบวนการสังเคราะห์แสง ปริมาณแมกนีเซียม 10-35 % ของปาล์มน้ำมันอยู่ในคลอโรฟิลล์ แมกนีเซียมเกี่ยวข้องโดยตรงกับการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ ในขบวนการสังเคราะห์แสง โดยกระตุ้น enzyme carboxylase ปริมาณแมกนีเซียม 5- 10 % ของ

ทั้งหมดในพืชรวมอยู่ใน pactate ที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ ดังนั้นแมกนีเซียมจึงมีบทบาทที่สำคัญในการรักษาความแข็งแรงของเซลล์ต่างๆในขบวนการทางสรีรวิทยา และเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตจากใบ (source) ไปสู่ทะลาย (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554b)

การขาดแมกนีเซียมจะไปรบกวนการสังเคราะห์โปรตีน และเป็นผลให้การสะสมสารประกอบไนโตรเจนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของโปรตีน (เช่น nitrate nitrite amide and amino acid) สิ่งที่สำคัญคือความสมดุลระหว่างแมกนีเซียมและโพแทสเซียมถ้าให้ปุ๋ยโพแทสเซียมมาก แมกนีเซียมก็เข้าสู่พืชได้ลดลง ทำให้ต้นปาล์มน้ำมันหยุดขบวนการสร้างโปรตีนและการสร้างน้ำมันก็ลดลง ถ้ามีการขาดแมกนีเซียมอย่างรุนแรงจะทำให้น้ำหนักแห้งทางใบ พื้นที่ใบ การเพิ่มทางใบ และผลผลิตลดลง

2.4.3.5 โบรอน (B)

โบรอนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับการยืดตัวของราก (Cell elongation) การสังเคราะห์กรดนิวคลีอิค การสร้างผนังเซลล์ Phenol metabolism ความแข็งแรงของผนังเซลล์ การสร้างคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน การงอกของละอองเกสรตัวผู้ (Pollen germination) หรือการเจริญของหลอดเกสรตัวผู้ อาการขาดธาตุโบรอนพบเห็นได้อย่างกว้างขวางในปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพพื้นที่ที่มีฝนตกหนัก ในดินทราย หรือดินพรุ ซึ่งง่ายต่อการชะล้างโบรอน ซึ่งการขาดธาตุโบรอนมักพบในดินที่มี pH ต่ำกว่า 4.5 หรือสูงกว่า 7.5 สวนปาล์มน้ำมันที่มีการใช้ไนโตรเจน และโพแทสเซียมสูง ซึ่งทำให้สูญเสียโบรอนไปกับการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตที่สูงขึ้น

ปุ๋ยโบรอนโดยทั่วไปอยู่ในรูปโบเรท (Borate ; $Na_2B4O_2 \bullet 5H_2O$; 14% B) หรือโบแร็กซ์ (Borax ; $Na_2B4O_2 \bullet 10H_2O$; 11%B) การใช้ปุ๋ยโบรอนโดยทั่วไปมักอยู่ในรูปโซเดียมโบเรท (Sodium borate) การดูดซึมเป็นไปอย่างรวดเร็วเมื่อใส่ในซอกใบ (Leaf axils) (Rajaratanam J.A., 1972) แต่อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยแบบนี้ในปริมาณมากๆถ้าการกระจายตัวไม่ดี อาจทำให้เกิดปัญหาพิษโบรอนได้ ดั้งนั้นการใช้ปุ๋ยโบรอนที่ดีที่สุดคือบริเวณใกล้โคนต้นปาล์มน้ำมันที่กำจัดวัชพืชแล้ว

2.5 การเพาะกล้าปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก (Main-nursery)

การเพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมันเป็นอีกขั้นตอนที่ต้องมีการดูแลอย่างระมัดระวังเพื่อมีการลดระยะเวลาของการออกผลผลิตในอนาคต โดยเฉพาะการจัดการแปลงเพาะที่มีความเหมาะสมจะช่วยให้การต้นกล้ามีความแข็งแรงสมบูรณ์พร้อมที่จะเจริญเติบโตให้ผลผลิตที่งอกงามและได้ผลผลิตที่เร็วยิ่งขึ้น ดั้งนั่นการจัดรูปแบบของแปลงเพาะกล้าปาล์มน้ำมันก็ก็สามารถทำได้ตามรูปแบบแปลงเพาะแบบอนุบาลสองครั้ง (Double stage nursery) (สุรกิตติ ศรีกุล, 2554) ซึ่งครั้งที่สองคือระยะอนุบาลหลักที่เป็นการเพาะกล้าอย่างต่อเนื่องจากอนุบาลแรกโดยมีการเตรียมการดังนี้

2.5.1 การเตรียมดิน

สภาพดินที่เหมาะสมแก่การปลูกคือดินที่เป็นดินร่วนถึงดินเหนียว มีความเป็นกรดอ่อน (4.0- 6.0) (วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน et al., 2554) เป็นดินที่มีการระบายน้ำได้ดี ร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 1 เซนติเมตร เพื่อแยกเศษหินและเศษวัสดุอื่นๆออก สมบัติดินที่เหมาะสมแก่การเพาะกล้าปาล์มน้ำมันดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติดินที่เหมาะสมเพื่อใช้เพาะกล้าปาล์มน้ำมัน (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ et al., 2546)

สมบัติดิน	ค่าที่เหมาะสม
pH in water	>4.5
Sand content (%)	30-60
Clay content (%)	25-45
Organic matter (%)	2-3
Total N (%)	0.15-0.20
Total P Bray I (mg/kg)	>25
Exchangeable K	>78
Exchangeable Mg	>48

2.5.1.1 การเตรียมแปลงพื้นที่

ที่การเตรียมแปลงเพาะควรมีขนาดที่พอที่จะรองรับจำนวนต้นกล้าที่จะเพาะ ซึ่งลักษณะของแปลงเพาะควรอยู่ในพื้นที่โล่งและควรเป็นพื้นที่ราบหรือพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยกว่า 12 องศา ตั้งอยู่บนที่สูงน้ำท่วมไม่ถึง มีการระบายน้ำดีและข้อสำคัญแปลงเพาะควรอยู่ใกล้กับแหล่งดินที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการเพาะต้นกล้า

2.5.1.2 การวางผังแปลง

การวางผังแปลงควรมีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งขนาดของแปลงเพาะขึ้นอยู่กับจำนวนต้นกล้าและระยะห่างของการวางถุง โดยเพิ่มขนาดพื้นที่ไว้สำหรับการคมนาคมและระบบการระบายน้ำ การวางถุงนิยมวางแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า ทั้งนี้เพื่อให้ได้จำนวนถุงมากกว่า การใช้แบบสามเหลี่ยมต้นกล้าสามารถรับแสงได้มากกว่าแบบสี่เหลี่ยม ระยะห่างของการวางถุงขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่จะวางไว้ล่วงหน้าว่าจะดูแลนานเป็นระยะเวลานานเท่าไหร่รวมทั้งขึ้นอยู่กับขนาดความยาวของทางใบของต้นกล้าเพื่อหลีกเหลี่ยงการทับซ้อนและบังแสงมากเกินไป ซึ่ง จากการทดลองของ Chinchilla C.M. et al. (1998) พบว่าการศึกษาความยาวทางใบของต้นกล้าในอายุที่ต่างกัน ซึ่งให้ความยาวทางใบเป็นตัวกำหนดระยะการวางถุง เนื่องจากระยะการวางถุงมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลของปาล์มน้ำมันในระยะยาว สำหรับทิศทางการวางถุงควรอยู่ตามแนวทิศตะวันออก-ตก เพื่อให้ต้นกล้ารับแสงมากที่สุด

2.5.1.3 -ขนาดถุงและการบรรจุดิน

ขนาดของถุงที่ใช้ในแปลงอนุบาลหลักมีหลายขนาด ซึ่งขึ้นอยู่กับอายุของต้นกล้าที่จะทำการย้ายปลูก ซึ่งมีข้อแนะนำในการพิจารณาดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 อายุของต้นกล้าที่จะทำการย้ายปลูกในแปลงจริง และขนาดของถุงที่ใช้ในระยะอนุบาลหลัก (สุรกิตติ ศรีกุล, 2554)

อายุต้นกล้าที่ย้ายปลูก (เดือน)	ขนาดถุง	
	เซนติเมตร	นิ้ว
8-10	35.6-43.2	14x17
11-13	38.1-45.7	15x18
14-16	38.1x50.8	15x20
17-18	40.6x53.3	16x21

ถุงที่ใช้เพาะปลูกต้องเป็นถุงที่มีคุณภาพดี มีอายุการใช้งานกลางแจ้งนานเท่ากับการปลูกต้นกล้าในแปลง ถุงควรมีความหนา 0.12 มิลลิเมตร และมีรูระบายน้ำด้านข้างและด้านใต้ถุง โดยมีรูขนาด 4 มิลลิเมตร และเจาะรูตั้งแต่กึ่งกลางถุงลงไปประมาณ 15-20 รู ซึ่งการบรรจุดินข้อควรระวังคือดินที่ใช้ต้องไม่เปียกมากเกินไป ถ้าใช้ดินเปียก เมื่อดินแห้งจะจับตัวกันเป็นก้อนแข็งไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของต้นกล้า ในการขนย้ายต้นกล้าลงไปยังแปลงอนุบาลหลักอาจทำให้เกิดการกระทบกระเทือนต่อต้นกล้า จึงควรผสมดินปลูกด้วนวัสดุต่างๆ ในถุงเพาะต้นกล้าอนุบาลหลัก ซึ่งพบว่าการใช้แกลบ หรือ ขุยมะพร้าว ผสมในอัตราส่วน 1:1 ทำให้มีน้ำหนักถุงปลูก 8.5 และ 9.4 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยการเจริญเติบโตของต้นกล้าไม่แตกต่างกันกับใช้ดินปลูกอย่างเดียว (ชูจิต มามีวัฒนะ et al., 2536)

2.5.1.4 การย้ายต้นกล้าลงในแปลงอนุบาลหลัก

ก่อนทำการย้ายต้นกล้าควรให้น้ำในถุงใหญ่ก่อน 1 วัน เพื่อให้ดินมีความชื้นพอเหมาะและสะดวกในการย้ายปลูกต้นกล้าและทำการขุดหลุมดินในถุงต้นกล้าขนาดใหญ่ให้มีความกว้างและลึกพอเหมาะกับขนาดถุงเล็กเพื่อสะดวกในการนำต้นกล้าลงปลูกสำหรับในขั้นตอนการปลูกควรมีความระมัดระวังพิเศษ โดยใช้มีดกรีดตามแนวยาวของถุงพลาสติกและนำต้นกล้าออกจากถุงโดยพยุงดินที่ติดกับรากของต้นกล้าให้ดีอย่าให้แตกออกแล้ววางลงในหลุม โดยให้ระดับของโคนต้นกล้าอยู่ในระดับเดียวกันกับระดับดินถุงใหญ่ตามด้วยดินกลบในถุงไม่ให้มีช่องว่าง

2.5.2 การดูแลต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก (Main-nursery)

การเจริญเติบโต และการพัฒนาของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน เป็นการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆของต้นปาล์มน้ำมัน เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดของใบและต้น การเปลี่ยนแปลงลักษณะของใบและการสร้างใบใหม่ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ปลูกเมล็ดงอกเพาะลงถุง จนถึงระยะที่ย้ายต้นกล้าลงปลูก

ในแปลง ซึ่งการเจริญเติบโตและพัฒนาการนี้จะเป็นส่วนสำคัญต่อการให้ปุ๋ยให้น้ำ ที่เกิดความเหมาะสมต่อการพัฒนาการของต้นปาล์มน้ำมันประกอบด้วยปัจจัยดังนี้

2.5.2.1 การให้น้ำ

น้ำถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อต้นกล้าปาล์มน้ำมัน เนื่องจากมีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา (Physiology processes) ของต้นกล้า ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโต สำหรับในระยะอนุบาลหลัก ต้นกล้ามีความต้องการน้ำ 12.5 มิลลิเมตรต่อวัน 2,000 ลิตรต่อไร่ต่อวัน ซึ่งเมื่อคำนวณแล้วต้นกล้าจะได้รับน้ำ 2-3 ลิตรต่อต้นต่อวัน ในระบบการให้น้ำแบบสปริงเกอร์ (TurnerandGillgank, 1982) และ 4-5 ลิตรต่อต้นต่อวัน ในระบบการให้น้ำแบบ น้ำหยด (Drip irrigation) ควรแบ่งให้น้ำเป็น 2 ครั้งต่อวัน ในช่วงเช้าและเย็น (Huan L.K.andYee H.C., 1991)

2.5.2.2 การให้ปุ๋ย

การให้ปุ๋ยในระยะอนุบาลหลักควรให้ปุ๋ยทุกๆ 2 สัปดาห์ จนกระทั่งอายุครบ 48 สัปดาห์ หลังจากนั่นจึงใส่ทุกๆ 3 สัปดาห์และถ้าหากดินที่ใช้ในการเพาะต้นกล้านั้นมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำหรือเป็นดินชั้นล่างควรใส่ปุ๋ยคีเซอร์ไรต์ ทุกๆ 6-8 สัปดาห์ เพื่อจะให้ธาตุแมกนีเซียม การใส่ปุ๋ยควรระมัดระวังเพราะถ้าถ้าใส่ปุ๋ยถูกใบอ่อนของต้นกล้าจะทำให้เกิดรอยไหม้ วิธีใส่ควรโรยปุ๋ยให้สูงจากดินไม่เกิน 5 เซนติเมตร และโรยรอบๆโดคลต้นเป็นวงแหวนประมาณ 5-7 เซนติเมตร สำหรับอัตราการใส่ปุ๋ยเคมีในระยะอนุบาลหลักแสดงดังตารางที่ 2.4

2.5.2.3 พลังงานแสง

ต้นปาล์มน้ำมันต้องการแสงแดดอย่างน้อย 5 ชั่วโมงต่อวันหรือประมาณ 18,00 ชั่วโมงต่อปี หากมีการปลูกปาล์มในสภาพที่มีร่มเงา หรือปลูกชิดกันมากเกินไปหรือปลูกผิดทิศทางก็จะทำให้ปาล์มน้ำมันเกิดการบังแสง หรือได้รับแสงน้อยเกินไป ส่งผลให้การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตลดลงไปด้วย (วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน et al., 2554)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.5 ชนิดและอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีในแปลงอนุบาลหลักตามอายุของต้นปาล์ม (สุรกิตติ ศรีกุล, 2554)

อายุต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (สัปดาห์)	ชนิดปุ๋ย	อัตราการใช้ (กรัม)
12	18/46/0	7
14	13/13/21	7
16	15/15/15/1.2	7
18	13/13/21	7
20	15/15/15+คีเซอร์ไรต์ (27เปอร์เซ็นต์)	10+10
22	13/13/21	10
24	15/15/15+1.2 โบแร็กซ์ (47เปอร์เซ็นต์)	10+0.50
26	13/13/21+คีเซอร์ไรต์	10+10
28	15/15/15/1.2	10
30	13/13/21	10
32	15/15/15/1.2	15
34	13/13/21+คีเซอร์ไรต์	15+10
36	15/15/15/1.2	20
38	13/13/21+โบแร็กซ์	20+0.50
40	15/15/15/1.2	20
42	13/13/21+คีเซอร์ไรต์	20+15
44	15/15/15/1.2	20
46	โบแร็กซ์	0.50
48	13/13/21+คีเซอร์ไรต์	25+20
51	15/15/15/1.2	25
54	15/15/15/1.2	30
57	โบแร็กซ์	0.50
60	13/13/21+คีเซอร์ไรต์	30+25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาแหล่งแมกนีเซียมสำหรับการเติบโตต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักภายหลังการเติมกากขี้แป้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นครั้งนี้ เป็นการศึกษาวิจัยแบบทดลอง (Experimental research) ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการศึกษาดังนี้

3.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย

3.1.1 การรวบรวมข้อมูล

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการเกิดกากขี้แป้งจากการผลิตน้ำยางข้น อัตราการเกิดกากขี้แป้ง องค์ประกอบของกากขี้แป้งและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับต้นปาล์มน้ำมันต่อความต้องการธาตุแมกนีเซียมในแต่ละช่วงอายุตลอดจนบทบาทของธาตุแมกนีเซียมในพืช การเตรียมการในการปลูกต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาล แหล่งธาตุอาหาร วัสดุที่ใช้ในการย้ายต้นกล้า ตลอดจนแหล่งธาตุอาหารในการปลูกปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก โดยข้อมูลการศึกษาวิจัยทั้งในและต่างประเทศ

3.1.2 การสำรวจภาคสนามและกำหนดพื้นที่วิจัย

สำรวจภาคสนามที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกต้นปาล์มน้ำมันเป็นอันดับหนึ่งของประเทศและมีโรงงานผลิตน้ำยางข้นเป็นอันดับหนึ่งของประเทศ โดยกำหนดพื้นที่ศึกษาวิจัยคือ ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชพลังงานทดแทน อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นพื้นที่ในการทดลองครั้งนี้

3.2 การวางแผนการวิจัย

วางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomize Complete Block Design) ทำ 4 ซ้ำ มี 7 ตำรับการทดลอง รวม 28 หน่วยการทดลอง 1 หน่วยการทดลองคือ ต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก 9 ต้น ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก 9 x 28 = 252 ต้น ตำรับการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตำรับการทดลอง

ตำรับการทดลอง	สิ่งทดลอง
1	ดินเดิม
2	ดินเดิม + คีเซอร์ไรต์
3	ดินเดิม + กากขี้แป้ง
4	ดินเดิม + โดโลไมต์
5	ดินเดิม + ปุ๋ย + คีเซอร์ไรต์
6	ดินเดิม + ปุ๋ย + กากขี้แป้ง
7	ดินเดิม + ปุ๋ย + โดโลไมต์

3.3 การดำเนินการทดลอง

3.3.1 การเตรียมการทดลอง

3.3.1.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

- **อุปกรณ์**

Volumetric flask, Erlenmeyer flask, Cylinder, Burette, Kjeldahl digestion apparatus Kjeldahl distillation apparatus, Kjeldahl flask, Digestion tube, Pipette, pH meter,Conductivity meter, Atomic Absorbtion Spectrophotometer (AAS), กระดาษกรอง เบอร์.1,ครกบดดิน, ตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร, เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

- **สารเคมี**

potassium chloride (KCl), nitric acid (HNO_3), hydrochoric acid (HCl), strontium chloride hexahydrate ($Srcl_26H_2O$), Mg standard, Zn Standard, potassium dichromate (K_2Cr_2O7), barium diphenylamine sulfonate (BDS), ferrous ammonium sulfate (FAS), dihydrogenphosphate (H_2PO_4), sodium fluoride (NaF), sodium hydroxide (NaOH), boric acid (H_3BO_3), kjeltabs, bromocresol green ($C_{12}H_{14}Br_4O_5S$), methyl red, ethyl alcohol, sulfuric acid (H_2SO_4), ammonium acetate (NH_4OAc), sodium chloride (NaCl), barium diphenylamine sulfonate indicator (BDS), phosphoric acid (H_3PO_4), triethanilamine (TEA), ammonium fluoride (NH_4F), ammonium molybdate [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}4H_2O$], calcium chloride ($Cacl_2$), ascorbic acid ($C_6H_8O_6$), calcium carbonate ($CaCO_3$), diethylenetriaminepenta-acetic acid (DTPA),

3.3.1.2 เตรียมพื้นที่ปลูก

การเตรียมพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก โดยที่ตั้งเป็นพื้นที่โล่ง มีการระบายน้ำได้ดี แสงส่องอย่างทั่วถึงและทำการกำจัดวัชพืชออก โดยเตรียมการวางต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักเป็นสามเหลี่ยมด้านเท่า มีระยะห่างระหว่างต้น 70 เซนติเมตร

3.3.1.3 การเตรียมสิ่งทดลอง

สิ่งทดลองประกอบไปด้วย ดิน กากขี้แป้ง โดโลไมต์ (Dolomite) และคีเซอร์ไรต์ (Kieserite) โดยดินและกากขี้แป้ง (latex sludge) ต้องนำมาผึ่งแดดให้แห้งและทุบ ร่อนให้ได้ขนาด 2 มิลลิเมตร ส่วนโดโลไมต์เตรียมโดยการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลิเมตร รวมทั้งเตรียมถุงเพาะต้นกล้าขนาด 12 x 14 นิ้ว จำนวน 252 ใบ

เตรียมดินสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักโดยชั่งดิน 8 กิโลกรัมคลุกเคล้ากากขี้แป้ง 80 กรัมใช้สำหรับหนึ่งต้น โดโลไมต์ 50 กรัมคลุกเคล้ากับดิน 8 กิโลกรัมใช้สำหรับหนึ่งต้น ส่วนคีเซอร์ไรต์จะใส่ภายหลังการปลูก 20 กรัมต่อต้น (โดยแบ่งใช้ 2 ครั้ง ครั้งละ 10 กรัม)

3.3.1.4 การเก็บตัวอย่างสิ่งทดลอง

ตัวอย่างของสิ่งทดลอง (ดิน กากขี้แป้ง โดโลไมต์) โดยสุ่มเก็บโดยจากกองดิน กองกากขี้แป้ง และโดโลไมต์ แล้วนำตัวอย่างสิ่งทดลองมาทำการ composite sample และนำมาทุบ ร่อน ผ่านตะแกรง 2 มิลลิเมตร นำมาสมบัติพารามิเตอร์ตามตาราง 3.2 เพื่อประเมินอัตราการเติมตามความต้องการของธาตุแมกนีเซียมตลอดระยะ 3 เดือนที่ทำการทดลอง

3.3.1.5 วางแผนช่วงเวลาการวัดการเติบโต

การวัดการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก โดยเก็บข้อมูลเป็น 3 ช่วงเวลา คือ ต้นกล้าตั้งตัว ต้นกล้าเจริญเติบโตเต็มที่ ต้นกล้าพร้อมลงหลุมปลูก

3.3.2 ศึกษาศักยภาพของกากขี้แป้งในการทดแทนคีเซอร์ไรต์

3.3.2.1 ดินปลูกต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก โดยชั่งดิน 8 กิโลกรัม/ถุงและนำมาคลุกเคล้ากับกากขี้แป้ง และโดโลไมต์ ตามตำรับทดลอง (ตารางที่ 3.1) ส่วนคีเซอร์ไรต์ (20 กรัมต่อต้น) ใส่หลังจากทำการปลูกต้นกล้าปาล์มโดยแบ่งเป็น 2 ครั้ง ครั้งละ 10 กรัมในเดือนที่1 และเดือนที่ 2

3.3.2.2 การย้ายต้นกล้าระยะอนุบาลแรกต้องรดน้ำถุงใหญ่ก่อน 1 วัน เพื่อให้ดินมีความชื้นพอเหมาะและสะดวกในการนำต้นกล้าลงปลูกใส่ถุงเพาะขนาด 12x14 นิ้ว ในดินที่เตรียมไว้ตามข้อ3.3.1

3.3.2.3 การดูแลตลอดระยะการปลูก จะมีการให้น้ำ 3 ลิตร/ต้น/วัน (12.5 มิลลิเมตรต่อวัน) (สุรกิตติ ศรีกุล, 2554) แบ่งให้เป็น 2 ครั้งต่อวัน ในช่วงเช้าและเย็น

3.3.2.4 วัดการเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก โดยวัดความยาวทางใบ จำนวนทางใบ พื้นที่ใบ มวลชีวภาพ โดยความยาวทางใบใช้ตลับเมตรวัดจากฐานใบถึงปลายใบและนับจำนวนทางใบทั้งหมดของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก และภายหลังจากการปลูกที่ 90 วัน หามวลชีวภาพ โดยนำต้นปาล์มน้ำมันแยกออกจากดิน ล้างดินออกจากราก ชั่งน้ำหนักสด หลังจากนั้นจึงตัดเฉพาะใบให้เพื่อนำมาวัดพื้นที่ใบ โดยพื้นที่ใบใช้การวัดโดยเครื่อง Leaf Area Meter จึงอบที่70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักแห้ง

3.3.3 ศึกษาการดูดซึมแมกนีเซียมภายหลังการเติมกากขี้แป้งของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก

3.3.3.1 สุ่มเก็บตัวอย่างดินหลังการทดลองแต่ละหน่วยการทดลอง ทำตัวอย่างดินรวม (composite sample) นำดินไปผึ่งลม (air dry) ให้แห้ง ทุบร่อนผ่านตะแกรง 2 มิลลิเมตรเพื่อทำการตามพารามิเตอร์ตามตาราง 3.2

3.3.3.2 เก็บตัวอย่างใบต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักมาทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส บดแล้วนำไปวิเคราะห์หาแมกนีเซียมโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) หากพบว่าพารามิเตอร์ใดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan ‘s New Multiple Range Test (DMRT)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ศึกษาวิจัยและวิธีการวิเคราะห์สมบัติดินและกากขี้แป้ง

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ดิน	กากขี้แป้ง	โดโลไมต์
pH	pH meter	+	+	+
EC	Conductivity meter	+	+	-
อินทรีย์คาร์บอน	Walkley and Black Method	+	+	-
แมกนีเซียม(Mg)	Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)	+	+	+
แคลเซียม (Ca)	Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)	+	+	+
สังกะสี (Zn)	HNO_3 • $HClO_4$ • H_2SO_4 (5:1:2)	+	+	-
C:N ratio	Walkley and Black Method/ Macro-Kjeldahl Method (Total)	+	+	-

หมายเหตุ: + หมายถึงทำการวิเคราะห์ - หมายถึง ไม่ทำการวิเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษากากขี้แป้งเป็นแหล่งแมกนีเซียมเพื่อการเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก โดยใช้แผนการทดลอง หน่วยการทดลอง 1 หน่วยการทดลองคือ ต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก 9 ต้น ทดลอง ณ พื้นที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ สิ่งทดลองครั้งนี้ได้นำกากขี้แป้งที่เป็นของทิ้งจากกระบวนการตกตะกอนแมกนีเซียมของโรงงานผลิตน้ำยางข้น คีเซอร์ไรต์ และโดโลไมต์ ซึ่งเป็นแหล่งแมกนีเซียมที่นิยมใช้ในการปลูกปาล์มน้ำมัน โดยนำสิ่งทดลองมาคลุกเคล้ากับดินแล้วนำไปปลูกปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก

4.1 แหล่งแมกนีเซียม

แหล่งแมกนีเซียมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ อินทรีย์แมกนีเซียม และอนินนทรีย์แมกนีเซียม แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรองที่พืชต้องนำไปใช้ในการเติบโต โดยเฉพาะปาล์มน้ำมันที่มีความต้องการของแหล่งธาตุแมกนีเซียมสูงเพื่อการเติบโตและการสร้างผลผลิตทะลายของปาล์มน้ำมัน ซึ่งแหล่งแมกนีเซียมที่นิยมใช้ในการปลูกปาล์มส่วนใหญ่แล้วมักจะใช้แหล่งแมกนีเซียมจากคีเซอร์ไรต์ และโดโลไมต์ที่มาจากแร่ธรรมชาติ กากขี้แป้งที่ได้จากการตกตะกอนแมกนีเซียมของอุตสาหกรรมน้ำยางข้น โดยในการทดลองครั้งนี้ใช้แหล่งแมกนีเซียมจากคีเซอร์ไรต์ โดโลไมต์และกากขี้แป้งเป็นแหล่งแมกนีเซียม โดยคีเซอร์ไรต์มีแมกนีเซียมร้อยละ 27 โดโลไมต์ร้อยละ 12.9 ในขณะที่กากขี้แป้งมีปริมาณแมกนีเซียมร้อยละ 8.5 อย่างไรก็ตามเกษตรกรในปัจจุบันส่วนใหญ่นิยมใช้คีเซอร์ไรต์และโดโลไมต์ในการเป็นแหล่งแมกนีเซียม แต่คีเซอร์ไรต์มีข้อจำกัดเรื่องของราคา และโดโลไมต์มีข้อจำจักของปริมาณแคลเซียมที่อาจส่งผลต่อระดับความเป็นกรดด่างของดิน ต่อการชะงักการเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก จึงเป็นที่น่าสนใจในการนำกากขี้แป้งที่มาจากกระบวนการตกตะกอนแมกนีเซียมในกระบวนการผลิตน้ำยางสดมาเป็นแหล่งแมกนีเซียม

ในด้านของการเป็นแหล่งแมกนีเซียมของกากขี้แป้งนั้น สมบัติของกากขี้แป้งของ วราศรี เถกประสิทธ์ (2543) พบว่า กากขี้แป้งที่นำมาใช้ในการเป็นวัสดุบำรุงดินมีปริมาณของแมกนีเซียม ร้อยละ 5.1 และการศึกษาของ คณาวุฒิ อินทร์แก้ว (2552) ในการใช้ประโยชน์ของกากขี้แป้งในการปลูกปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลแรก พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมในกากขี้แป้งร้อยละ 8.9 อีกทั้งพบปริมาณแมกนีเซียมในกากขี้แป้งร้อยละ 0.13 (วลัยพร ผ่อนผัน, 2547b) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแมกนีเซียมกากขี้แป้งที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีปริมาณแมกนีเซียมที่ 85,219 mg/kg หรือ ร้อยละ 8.5 ซึ่งจัดได้ว่ามีปริมาณที่สูงใกล้เคียงกับการศึกษาของคุณคณาวุฒิ และมีปริมาณที่สูงกว่ากากขี้แป้งที่ใช้ในการศึกษาของ วราศรี เถกประสิทธิ์ และ วลัยพร ผ่อนผัน

ตารางที่ 4.1 สมบัติแหล่งแมกนีเซียม

แหล่งแมกนีเซียม	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	แคลเซียม (Ca)	แมกนีเซียม (Mg)	Ca:Mg ratio
กากขี้แป้ง	5.46	299.05 mg/kg	8.5 %	0.004
โดโลไมต์	7.93	1284.75 mg/kg	12.9 %	0.011
คีเซอร์ไรต์	-	-	27 %	-

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่ทำการวิเคราะห์

คีเซอร์ไรต์ ซึ่งเป็นปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยสังเคราะห์เพื่อให้ธาตุแมกนีเซียมที่นิยมใช้เป็นแหล่งแมกนีเซียมให้แก่ปาล์มน้ำมันทุกช่วงอายุ โดยคีเซอร์ไรต์ที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นปุ๋ยคีเซอร์ไรต์ร้อยละ 27 :ซึ่งโดโลไมต์เป็นแร่ตามธรรมชาติที่ได้จากภูเขาหินปูน โดยโดโลไมต์ที่นำมาเป็นสิ่งทดลองครั้งนี้ นำมาจากพื้นที่ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นเนื้อละเอียดแล้ว แต่นำมาร่อนผ่านตะแกรง 2 มิลลิเมตรอีกครั้งก่อนไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และคลุกเคล้ากับดินตามตำรับทดลอง จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีพบว่า ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.93 มีปริมาณของแมกนีเซียม (Mg) เป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 12.9 หรือ 129,000 mg/kg และมีปริมาณของแคลเซียม (Ca) 1,284.75 mg/kg หรือร้อยละ 0.13 (ตารางที่ 4.1) เมื่อพิจารณาความเป็นกรดด่างของโดโลไมต์ พบว่า โดโลไมต์ มีระดับด่างปานกลาง ตามเกณฑ์ระดับความเป็นกรด-ด่างของดินของกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ภาคผนวก 1) อาจเนื่องจากโครงสร้างของโดโลไมต์ คือแมกนีเซียมกับแคลเซียม (Ca, Mg) อาจกล่าวได้ว่า โดโลไมต์ที่นำมาทดลองมีแหล่งแมกนีเซียมสูง แต่ด้วยโครงสร้างทางเคมีของโดโลไมต์อาจมีผลต่อระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน ในการปลดปล่อยและการดูดดึงธาตุอาหารของพืช ในขณะที่ซึ่งการให้แหล่งแมกนีเซียมในรูปของโดโลไมต์อาจส่งผลต่อปฏิกิริยาความขัดแย้ง (Antagronism) ระหว่างแมกนีเซียม แคลเซียม และโพแทสเซียม อีกทั้งอัตราส่วนของ Ca:Mg ในดินไม่ควรต่ำกว่า 4 (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2540) หรือไม่ควรต่ำกว่า 5:1 (ธีรพงษ์ จันทร์นิยม, 2553) เพื่อรักษาสมดุลของความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน

4.2 ศักยภาพของกากขี้แป้งในการทดแทนคีเซอร์ไรต์

ศักยภาพของกากขี้แป้งในการทดแทนคีเซอร์ไรต์ พิจราณาได้จากสมบัติทางเคมีของกากขี้แป้ง และผลของการเติมกากขี้แป้งต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก

4.2.1 สมบัติของกากขี้แป้ง

กากขี้แป้งคือ ของทิ้งจากกระบวนการตกตะกอนแมกนีเซียมของกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ก่อนการนำมาคลุกเคล้าในดิน ต้องนำไปตากแดดจนแห้งจึงนำมาบดร่อนผ่านตะแกรง

ขนาด 2 มิลลิเมตร กากขี้แป้งที่ใช้ทดลองในครั้งนี้กากขี้แป้งเป็นกากขี้แป้งของบริษัท อินเตอร์รับเบอร์ลาเท็กซ์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี จึงนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีก่อนนำไปผสมในอัตราส่วนตามตำรับทดลอง จากข้อ 4.1 ข้องต้นพบแล้วว่ากากขี้แป้งที่นำมาใช้เพื่อการทดลองครั้งนี้มีปริมาณของแมกนีเซียมกว่า 85,219 mg/kg โดยสมบัติทางเคมีของกากขี้แป้งตาม ตารางที่ 4.2 พบว่า ความเป็นกรด-ด่าง (pH) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) มีค่าเท่ากับ 5.46และ 0.35 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) มีค่าเท่ากับ 7.96 ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) อินทรีย์คาร์บอน (OC) ที่พบมีค่าเท่ากับ 6.74 และ 3.91 เปอร์เซ็นต์ ตลอดจนธาตุอาหารอย่าง แคลเซียม (Ca) และสังกะสี (Zn) มีค่าเท่ากับ 299.05 และ 3.12 mg/kg ตามลำดับ

ค่าความเป็นกรดด่างของกากขี้แป้งก่อนการเติมลงไปในดินมีระดับความเป็นกรดด่างที่ค่า 5.46 นั้น จัดได้ว่ามีค่าความเป็น กรดจัดมาก (ตารางภาคผนวกที่ 1) และค่าการนำไฟฟ้าที่แสดงถึงความเค็มของกากขี้แป้งจัดได้ว่ากากขี้แป้งมีความเค็มปานกลาง (ตารางภาคผนวกที่ 3) ปริมาณอินทรียวัตถุของกากขี้แป้งพบว่า กากขี้แป้งมีปริมาณอินทรียวัตถุที่มากกว่า 4.5 ตามมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดินซึ่งถือได้ว่ามีค่าที่สูงมาก (ตารางภาคผนวกที่ 2) และปริมาณสังกะสีที่พบอยู่ในเกณฑ์ที่สูง (ตารางภาคผนวกที่ 5) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของกากขี้แป้งมีค่าเท่ากับ 0.35 นั้นโดยวัตถุอินทรีย์ทั่วไปจะสามารถย่อยสลายได้ดีเมื่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของกากขี้แป้งก่อนเติมลงดิน

สมบัติทางเคมีดินของกากขี้แป้ง									
พารามิเตอร์	กรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/cm)	แคลเซียม (mg/kg)	แมกนีเซียม (mg/kg)	Ca:Mg ratio	อินทรียวัตถุ (%)	อินทรีย์คาร์บอน (%)	ไนโตรเจนทั้งหมด	C:N ratio
กากขี้แป้ง	5.46	7.96	299.05	85,219	0.004	6.74	3.91	11.20	0.35
ดินก่อนการทดลอง	5.45	0.06	348.38	46.48	0.133	0.37	0.21	0.16	1.31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ที่ 10:1 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548) และสัดส่วนของอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจน ต่ำกว่า 20 แสดงถึงการย่อยสลายตัวง่ายของวัสดุอินทรีย์ สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอยู่ในรูปอนินทรีย์ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ชัยรัตน์ นิลนนท์andธีรพงศ์ จันทรนิยม, 2553a) อาจกล่าวได้ว่ากากขี้แป้งเป็นวัตถุอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ดีและไม่มีผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่ปาล์มน้ำมัน

4.2.2 สมบัติทางเคมีดินก่อนการทดลอง

ดินเป็นแหล่งธาตุอาหารส่วนใหญ่ที่พืชใช้ในการเติบโต ตลอดจนสมบัติบางประการของดินที่มีผลต่อประโยชน์และธาตุอาหารของพืช มีความสำคัญในการบ่งบอกศักยภาพในการเติบโตและออกผลผลิตของพืช ซึ่งปาล์มน้ำมันต้องอาศัยธาตุอาหารในดินและสมบัติดินที่เหมาะสมต่อการเติบโตเพื่อออกดอกเพิ่มผลผลิต ซึ่งการวิเคราะห์สมบัติของดินเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่สามารถทำให้รู้สมบัติ หรือองค์ประกอบของแหล่งอาหารพืชว่าเพียงพอต่อการที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์ ในขณะเดียวกันพบว่าปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารสูงในการรักษาระดับผลผลิตที่สูง (Goh et al., 2003) การวิเคราะห์ดินก็เพื่อให้ทราบปริมาณธาตุอาหารที่มีในดินเดิม เพื่อพิจารณาความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันในการนำไปใช้เพื่อการเติบโตและเพิ่มผลผลิต

สมบัติทางเคมีของดินก่อนการปลูกต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักพบว่าจากตารางที่ 4.2 สมบัติทางเคมีของดินก่อนการเติมสิ่งทดลองพบว่า มีค่าความกรด-ด่าง (pH) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) เท่ากับ 5.45 และ 1.31 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดิน มีค่าเท่ากับ 0.06 dS/cm ตลอดจนเปอร์เซ็นต์ของอินทรียวัตถุ (OM) และอินทรีย์คาร์บอน (OC) มีค่าเท่ากับ 0.37และ 0.21 เปอร์เซ็นต์ และธาตุอาหารอย่างแมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) สังกะสี (Zn) มีค่าเท่ากับ 46.48, 348.38 และ 0.01 mg/kg ตามลำดับ

จากการรายงานของศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราฎร์ธานี (2553) กำหนดค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมแก่การปลูกปาล์มน้ำมัน คือช่วงระหว่าง 4.0-6.0 อีกทั้ง ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ et al. (2546) พบว่า ดินที่เหมาะสมเพื่อการใช้ปลูกปาล์มน้ำมันจะมีค่าความเป็นกรดด่าง มากกว่า 4.5 และช่วง 4.20-5.50 (เอกชัย พฤกษ์อำไพ, 2548) กล่าวได้ว่าค่าความเป็นกรดด่างของดินสามารถปลูกต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักสอดคล้องกับการรายงานข้างต้น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเติบโตซึ่งพบว่า ดินก่อนการปลูกต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักมีค่าดัชนีชี้วัดการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์อยู่ในอัตราส่วนที่สอดคล้อง คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2548) โดยวัตถุอินทรีย์ทั่วไปจะสามารถย่อยสลายได้ดีเมื่อค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ที่ 10:1 ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าของดินก่อนการปลูกปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักไม่ส่งผลต่อความเค็มและการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันตามการ

รายงานของกรมพัฒนาที่ดิน (ดังตารางภาคที่ 3) ตลอดจนปริมาณอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนมีปริมาณที่ต่ำกว่าช่วงร้อยละ 2-3 (เอกชัย พฤกษ์อำไพ, 2548)

ปริมาณแมกนีเซียมในดินก่อนการปลูกต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักพบว่ามีแมกนีเซียม 46.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สมบัติของปริมาณแมกนีเซียมในดินดินที่เพียงพอต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันคือ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Goh et al., 1997) อาจกล่าวได้ว่าดินก่อนการปลูกปาล์มน้ำมันมีปริมาณแมกนีเซียมต่ำไม่เพียงพอต่อการเติบโตของปาล์มน้ำมันตามการรายงานข้างต้น อีกทั้งปริมาณของแคลเซียมและสังกะสีพบว่ามีปริมาณต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542)

4.2.3 สมบัติทางเคมีดินภายหลังการเติมกากขี้แป้ง

จากการนำดินมาคลุกเคล้ากับกากขี้แป้งในอัตรา 80 กรัมต่อต้น หรือ 10 กรัมต่อกิโลกรัมดิน และโดโลไมต์ 50 กรัมต่อต้น โดยคีเซอร์ไรต์ ภายหลังการปลูกไปแล้ว 30 วัน แบ่งใส่เป็นสองครั้ง ครั้งละ 10 กรัมต่อต้น จากการทดลองผ่านไป 90 วัน นำดินที่ได้ภายหลังการปลูกโดยการสุ่มเก็บตัวอย่างดินของแต่ละตำรับการทดลองแล้วนำมาผสม (Composite sample) ผึ่งลมให้แห้งหลังจากนั่นนำมาทุบร่อนผ่านตะแกรง ทำการวิเคราะห์ได้ผลดังตารางที่ 4.3

4.2.3.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

สภาพกรด-ด่างของดินมีความสำคัญอย่างมากต่อการเติบโตตามปกติของพืชและสภาพการละลายของธาตุอาหารในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ซึ่งมีอิทธิพลต่อการควบคุมการเติบโตของพืช(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548) จากตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาความเป็นกรด-ด่าง ของแต่ตำรับการทดลองพบว่า ตำรับการทดลองที่มีระดับค่าความเป็นกรด-ด่าง เมื่อเปรียบเทียบตามเกณฑ์ระดับความเป็นกรด-ด่างของดินของกรมพัฒนาที่ดิน (ตามตารางที่ภาคผนวก1) พบว่า ตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย และตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย มีค่าความเป็นกรดจัด ตำรับการเติมโดโลไมต์และปุ๋ย มีความเป็นกรดเล็กน้อย ตำรับการเติมเพียงคีเซอร์ไรต์ และตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้ง มีค่าเป็นกลาง และตำรับชุดควบคุม (ดินเดิม) และตำรับการเติมเพียงโดโลไมต์ มีค่าเป็นด่างเล็กน้อย ซึ่งพบว่าทุกตำรับการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-Value = 542.11*) และมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นจากดินเดิมที่นำมาปลูก มีเพียงสองตำรับการทดลอง คือ ตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย และตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย ที่ยังมีระดับความกรดจัด ไม่ต่างจากความเป็นกรด-ด่าง ของดินเดิมที่ 5.45 (ตารางที่ 4.1) มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับ 1 หรือตำรับชุดควบคุมที่ไม่ได้เติมสิ่งทดลองกลับมีระดับความเป็นกรด-ด่างที่สูงขึ้นหรือเป็นกลาง จากการศึกษาของ คณาวุฒิ อินทร์แก้ว (2552) ในตำรับการทดลองที่เติมเพียงแค่ปุ๋ย เพิ่มความเป็นกรดให้แก่ดินที่ปลูกต้นปาล์มน้ำมันในระยะอนุบาลแรก

นั่นอาจกล่าวได้ว่าปุ๋ยเคมีมีผลโดยตรงต่อระดับค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นหรือค่าที่ต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาข้างต้น ถึงแม้ว่าตำรับการเติมโดโลไมต์และปุ๋ย ยังมีระดับความเป็นกรด-ด่างที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆที่มีการเติมปุ๋ยเคมีเนื่องมาจากโดโลไมต์ ที่มีโครงสร้างทางเคมีที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มระดับความเป็นด่างให้แก่ดิน โดยการเติมเพียงแค่กากขี้แป้งทำให้ระดับความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางที่สอดคล้องกับ

การรายงานของ ชูชาติ สันธทรัพย์ (2556) ในดินทั่วๆไปที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืช ช่วงความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมนั้นอยู่ระหว่าง 6.0-7.0 เพียงแค่เติมกากขี้แป้งช่วยเพิ่มความเป็นด่างให้แก่ดิน และเป็นช่วงที่เหมาะสมไม่ส่งผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารแก่พืช

4.2.3.2 ค่าการนำไฟฟ้า (EC)

ค่าการนำไฟฟ้าได้จากการอิ่มตัวด้วยน้ำของดิน โดยมีความสัมพันธ์ค่าความเข้มข้นของเกลือในดิน ส่งผลต่อการเติบโตของปาล์มน้ำเป็นปกติหรือไม่ จากตารางที่ 4.3 พบว่า ทุกตำรับการทดลองมีค่าการนำไฟฟ้า น้อยกว่า 2 การจัดเกณฑ์ระดับความเค็มของกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ภาคผนวก 3) มีค่าไม่มีผลต่อการเติบโตและผลผลิตพืช เมื่อพิจารณาจากค่าทางสถิติพบว่าทุกตำรับทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-Value = 4633.74*) แต่พบว่ามีเพียงตำรับการทดลองชุดควบคุม (ดินเดิม) และตำรับการเติมเพียงโดโลไมต์ ไม่มีความแตกต่างทาสถิติที่ 95% (กลุ่มอักษร a เดียวกัน) ซึ่งปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ทนเค็มได้ระดับปานกลาง (กรมวิชาการเกษตร, 2554) อาจกล่าวได้ว่ากากขี้แป้งไม่ส่งผลต่อความเค็มของดินและไม่ส่งผลต่อการเติบโตในการปลูกปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก

4.2.3.3 แคลเซียม (Ca)

สมบัติของแคลเซียมเกี่ยวข้องกับบทบาทในเมแทบอลิซึม ส่วนของการแยกเก็บแคลเซียมก็เพื่อช่วยให้การทำหน้าที่ของพืชมีประสิทธิภาพ ซึ่งแคลเซียมนั่นเป็นธาตุที่ไม่เป็นพิษต่อพืชและพืชทั่วไปสามารถปรับตัวได้ให้สอดคล้องกับปริมาณที่ได้รับ แม้ว่าเมื่อพืชได้รับธาตุนี้มากเกินไปจะมีผลต่อการเติบโตช้าลง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548)จากตารางที่ 4.3 ปริมาณแคลเซียมที่พบภายหลังการเติมสิ่งทดลองพบว่า ตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้งมีปริมาณแคลเซียมเพียง 492.83 mg/kg และตำรับการเติมโดโลไมต์และปุ๋ย มีปริมาณแคลเซียมสูงสุด 984.25 mg/kg เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับชุดควบคุม เมื่อพิจารณาความแตกต่างทางสถิติพบว่า ทุกตำรับการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-Value = 98601.95*) ซึ่งการให้แหล่งแมกนีเซียมในรูปของโดโลไมต์อาจส่งผลต่อปฏิกิริยาความขัดแย้ง (Antogronism) ระหว่างแมกนีเซียม แคลเซียม และโพแทสเซียม อีกทั้งอัตราส่วนของ Ca:Mg ในดินไม่ควรต่ำกว่า 4 เพื่อรักษาสมดุลของความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2540)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบสมบัติทางเคมีดินภายหลังการเติมสิ่งทดลอง (กากขี้แป้ง คีเซอร์ไรต์ โดโลไมต์)

สมบัติทางเคมีดินภายหลังการเติมสิ่งทดลอง										
ตำรับการทดลอง	กรด-ด่าง	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/cm)	แคลเซียม (mg/kg)	แมกนีเซียม (mg/kg)	Ca:Mg ratio	สังกะสี (mg/kg)	อินทรียวัตถุ (%)	อินทรีย์คาร์บอน (%)	ไนโตรเจนทั้งหมด	C:N ratio
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	7.30^{f}	0.16^{a}	745.25^{e}	136.10^{a}	5.48	0.0086^{a}	1.19^{b}	0.69^{a}	0.32^{a}	2.17
ดินเดิม+คีเซอร์ไรต์	6.91^{d}	0.58^{c}	583.00^{c}	159.18^{d}	3.66	0.0091^{a}	1.11^{a}	0.65^{a}	0.38^{a}	1.69
ดินเดิม+กากขี้แป้ง	7.04^{e}	0.28^{b}	492.83^{a}	167.88^{g}	2.94	0.8629^{c}	1.83^{f}	1.06^{d}	0.35^{a}	3.04
ดินเดิม+โดโลไมต์	7.68^{g}	0.18^{a}	844.25^{f}	146.15^{b}	5.78	0.009^{a}	1.39^{c}	0.81^{b}	0.37^{a}	2.19
ดินเดิม+ปุ๋ย+คีเซอร์ไรต์	5.49^{b}	1.78^{f}	716.00^{d}	162.13^{e}	4.42	0.0218^{a}	1.47^{d}	0.85^{b}	0.62^{bc}	1.37
ดินเดิม+ปุ๋ย+กากขี้แป้ง	5.18^{a}	1.72^{e}	526.03^{b}	163.55^{f}	3.22	0.7584^{b}	1.59^{e}	0.90^{c}	0.67^{c}	1.35
ดินเดิม+ปุ๋ย+โดโลไมต์	6.27^{c}	1.61^{d}	984.25^{g}	156.25^{c}	6.30	0.0092^{a}	1.49^{d}	0.87^{c}	0.56^{b}	1.55
%CV	13.75	17.61	5.28	6.82	-	13.73	3.67	15.70	16.50	-
F-value	542.11*	4633.74*	98601.95*	1238.40*	-	6259.97*	341.67*	157.36*	45.591	-

หมายตุ -อักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันของตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %ตามวิธีการของ DMRT

-อักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการของ DMRT

-* หมายถึง มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.3.4 แมกนีเซียม (Mg)

ต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักมีความต้องการของธาตุอาหารหลักอย่างไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส ในปริมาณมาก แล้วยังต้องการธาตุแมกนีเซียมสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ ธาตุแมกนีเซียมมีความจำเป็นต่อต้นปาล์มน้ำมันเพื่อช่วยในการเสริมสร้างองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ที่ช่วยสร้างอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และยังเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรตจากใบ (source) ไปสู่ทะลาย (sink) (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554a) ภายหลังการเติมแหล่งแมกนีเซียมที่ใช้ในการทดลองทั้ง คีเซอร์ไรต์ โดโลไมต์และกากขี้แป้งนั้น พบว่า ทุกตำรับการทดลองมีปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมสิ่งทดลอง โดยเฉพาะตำรับการทดลองที่เติมเพียงกากขี้แป้ง มีค่าแมกนีเซียมในดินสูงสุด ที่ 167.88 mg/kg เมื่อพิจารณาความแตกต่างทางสถิติพบว่าทุกตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-Value = 1238.40*) ปริมาณแมกนีเซียมในดินที่เหมาะสมแก่การปลูกและเติบโตของปาล์มน้ำมัน จะมีแมกนีเซียมมากกว่า 100 mg/kg มีความเหมาะสมสูงและเพียงพอต่อการเติบโต (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554) อาจกล่าวได้ว่าการเติมเพียงกากขี้แป้งช่วยเพิ่มปริมาณของธาตุแมกนีเซียมได้อย่างเพียงพอในดินดีกว่าการเติมโดโลไมต์และคีเซอร์ไรต์ที่เป็นแหล่งแมกนีเซียมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

4.2.3.5 สังกะสี (Zn)

สังกะสีในดินส่วนมากจะอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ รากพืชดูดในรูปของการเป็นประโยชน์ ซึ่งมีพียงเล็กน้อยด้วยโปรตีนการขนส่งที่เยื่อหุ้มเซลล์ แล้วลำเลียงไปยังส่วนต่างๆ เพื่อใช้ในการเติบโต (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548) จากตารางที่ 4.3 ปริมาณสังกะสีที่พบในดินภายหลังการทดลองเป็นเวลา 90 วัน พบว่า ตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้ง มีปริมาณสังกะสีในดิน 0.8629 mg/kg และตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย พบปริมาณสังกะสี 0.7584 mg/kg ซึ่งมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับชุดควบคุม อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความแตกต่างทางสถิติ พบว่า ตำรับการทดลองชุดควบคุม (ดินเดิม) ตำรับการเติมเพียงคีเซอร์ไรต์ ตำรับการเติมเพียงโดโลไมต์ ตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย และตำรับการเติมโดโลไมต์และปุ๋ย ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางกลับกันพบว่าตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้งและตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-Value = 6259.97*) ซึ่งเป็นไปได้ว่าตำรับการทดลองที่เติมกากขี้แป้งมีผลต่อการเพิ่มปริมาณสังกะสีในดิน อันเนื่องมาจากกระบวนการรักษาน้ำยางสดจะต้องเติม HN_3 ร่วมกับ TMTD/ZnO เพื่อไม่ให้น้ำยางพาราจับตัวกันเป็นก้อน (กรมควบคุมมลพิษ, 2548a) ปาล์มน้ำมันได้รับธาตุสังกะสีมากจะเป็นพิษรากหยุดการยืดตัว ใบอ่อนจะมีสีเหลืองซีด (BoardmanandMcGurre, 1990) และสังกะสีกับแมกนีเซียมยังมีภาวะปฏิปักษ์ (Antogonism) ต่อกันในกลไกลต่อการดูดของรากพืช (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552)

เมื่อจัดระดับความเป็นประโยชน์ของสังกะสีต่อพืช (ตารางที่ภาคผนวก 5) พบว่า ทุกตำรับมีปริมาณสังกะสีน้อยกว่า 0.5 mg/kg จัดได้ว่า มีปริมาณสังกะสีระดับต่ำมาก ยกเว้น

ตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้ง และตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย ที่มีปริมาณสังกะสีในระดับต่ำ (Zn ช่วง >0.5-1.0 mg/kg) การเติมกากขี้แป้งช่วยเพิ่มปริมาณสังกะสีในดินแต่ไม่เกินมาตรฐานปริมาณสูงสุดที่ยอมรับได้ของโลหะหนักในของทิ้งที่นำมาใช้ในพื้นที่การเกษตร ที่ 2,500 mg/kg (EU legislation 86/278/EEC, 1986)

4.2.3.6 อินทรียวัตถุ (OM)

อินทรียวัตถุในดินมีผลโดยทางอ้อมของการเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช เมื่อถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทำให้ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์เหล่านี้ถูกปลดปล่อยให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548) ร้อยละของอินทรียวัตถุของดินภายหลังการปลูกต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก โดยแต่ละตำรับการทดลองจากตารางที่ 4.3 ภายหลังการเติมกากขี้แป้ง โดโลไมต์ และคีเซอร์ไรต์ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับตำรับชุดควบคุมพบว่า ตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้งมีอินทรียวัตถุสูงที่สุดและรองลงมาคือตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย กรมพัฒนาที่ดินจัดระดับอินทรียวัตถุที่ใช้เป็นมาตรฐาน (ตารางที่ภาคผนวก 2) พบว่า ตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้ง และ ตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย มีระดับอินทรียวัตถุ ปานกลาง ส่วนตำรับการทดลองอื่นๆพบว่าอยู่ในช่าง 1-1.5 ซึ่งอยู่ในระดับอินทรียวัตถุ ต่ำปานกลาง เมื่อพิจารณาความแตกต่างทางสถิติพบว่า ทุกตำรับการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-Value = 341.67*) มีเพียงตำรับที่เติมเพียงคีเซอร์ไรต์ที่มีระดับอินทรียวัตถุต่ำกว่ากว่าตำรับชุดควบคุม การเติมกากขี้แป้งมีส่วนเพิ่มระดับอินทรียวัตถุให้แก่ดิน สอดคล้องกับการศึกษาของณัฐกานต์ ทู้ไพเราะ (2554)

4.2.3.7 อินทรีย์คาร์บอน (OC)

อินทรีย์คาร์บอนคือ ปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ พบว่า ร้อยละของอินทรีย์คาร์บอนของดินภายหลังการปลูกต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก (ตารางที่ 4.3) ตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้งมีเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับชุดควบคุม เมื่อพิจารณาความแตกต่างทางสถิติ พบว่าการเติมเพียงกากขี้แป้งนั้นเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกับตำรับการทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-Value=157.36*) และพบว่าตำรับการเติมเพียงคีเซอร์ไรต์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับการทดลองชุดควบคุม (กลุ่มอักษร a เดียวกัน) ตำรับการเติมเพียงโดโลไมต์และตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้ง ตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย กับตำรับการเติมโดโลไมต์และปุ๋ย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับการประเมินระดับความสมบูรณ์ของดินสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมันพบว่า ระดับอินทรีย์คาร์บอน ที่ช่วง 0.81-1.2 จัดได้ว่ามีระดับอินทรีย์คาร์บอนในดินต่ำ (Mutert, 1999) จากการศึกษาของ

Paramananthan (2003).ได้ประเมินระดับอินทรีย์คาร์บอนในดินที่เหมาะสมกับการปลูกปาล์มน้ำมันมากที่สุดคือ อินทรีย์คาร์บอนที่ช่วงร้อยละ 1.5-2.0 และในช่วง ถ้าต่ำกว่าร้อยละ 1.5 ยังสามารถปลูกปาล์มน้ำมันได้ จากผลการทดลองระดับอินทรีย์คาร์บอนในดินทุกตำรับการทดลองถึงแม้จะไม่ได้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมแต่ยังคงสามารถปลูกปาล์มน้ำมันและเติบโตได้ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Paramananthan โดยเฉพาะตำรับที่เติมเฉพาะกากขี้แป้งมีระดับอินทรีย์คาร์บอนถึงร้อยละ 1.06 นั้นอาจกล่าวได้ว่ากากขี้แป้งมีผลต่อการเพิ่มปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและเหมาะสมแก่เติมลงดินเพื่อการปลูกปาล์มน้ำมัน

4.2.3.8 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)

สัดส่วนของอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนทั้งหมด (C:N) เป็นปัจจัยบ่งชี้อย่างหนึ่งของกระบวนการย่อยสลายของวัตถุอินทรีย์ โดยสัดส่วนอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่า 20 แสดงถึงการย่อยสลายตัวง่ายของวัสดุอินทรีย์ สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอยู่ในรูปอินทรีย์ที่พืชสามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ (ชัยรัตน์ นิลนนท์andธีรพงศ์ จันทรนิยม, 2553a) อินทรียวัตถุในกลุ่มที่มีการแปรรูปเฉื่อย เป็นส่วนที่ผ่านการย่อยสลายมามาก จนมีปริมาณธาตุอาหารพืชเหลืออยู่น้อย มีจุลินทรีย์น้อยชนิดที่ยังสามารถย่อยสลายดึงสารอาหารจากอินทรียวัตถุส่วนนี้ (ฮิวมัส) ได้ มีระดับ C:N ต่ำมากเหลือประมาณไม่เกิน 10 ประโยชน์ของฮิวมัสเป็นในด้านเคมีของดินคือเป็นสารเพิ่มความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนของดิน (สุนทรีย์ ยิ่งชัชวาล, 2554) จากการวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนภายหลังการปลูกต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก พบว่า ทุกตำรับการทดลองอยู่ในช่วงของอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับการศึกษาข้างต้น และตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้ง มีสัดส่วนของอินทรีย์คาร์บอนต่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นดัชนีชี้วัดการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยวัตถุอินทรีย์ทั่วไปจะสามารถย่อยสลายได้ดีเมื่อค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ที่ 10:1 (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548) จากตารางที่ 4.3 อาจกล่าวได้ว่ากากขี้แป้งไม่มีปัญหาในการย่อยสลาย และปลดปล่อยธาตุอาหาร

4.2.4 ผลของการเติมกากขี้แป้งต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก

การเติบโตและพัฒนาของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก เป็นการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงทั้งการสร้างจำนวนใบใหม่ ความยาวทางใบ ความสูง เป็นต้น ซึ่งการเติบโตของปาล์มน้ำมันมีปัจจัยใจประกอบหลายด้านเช่น น้ำ ธาตุอาหาร แสง เป็นต้น และธาตุอาหารรองอย่างแมกนีเซียมก็เป็นอีกปัจจัยสำคัญต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก จาก

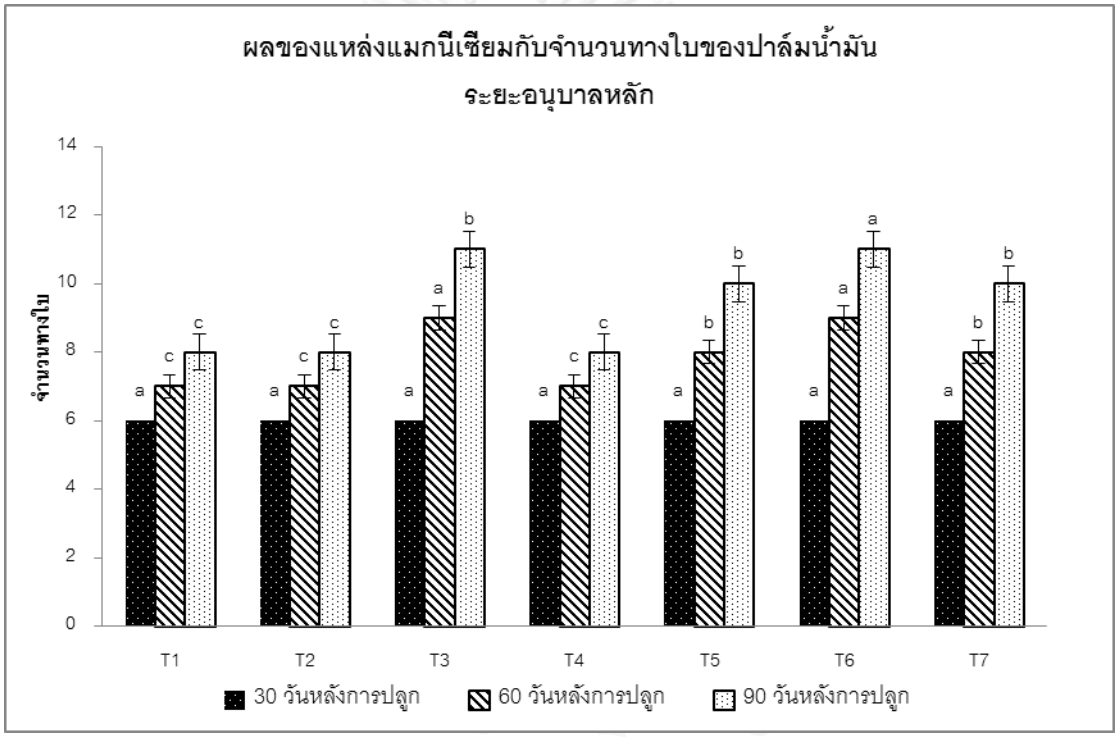
การทดลองภายหลังการเติม คีเซอร์ไรต์ โดโลไมต์ และกากขี้แป้ง เพื่อเป็นแหล่งแมกนีเซียมเพื่อการเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักดังนี้

4.2.4.1 จำนวนทางใบ

การเปลี่ยนแปลงทางการเติบโตของปาล์มน้ำมัน สังเกตชัดเจนที่สุดคือจำนวนการสร้างใบใหม่ ลักษณะของใบและความยาวทางใบใหม่ที่เพิ่มขึ้น (อรรัตน์ วงศ์ศรี et al., 2554b) ภายหลังการเติมสิ่งทดลองที่ระยะต้นกล้าตั้งตัว (30 วัน) ทำการนับจำนวนทางใบครั้งที่ 1 พบว่า จำนวนทางใบของแต่ละตำรับการทดลองเฉลี่ยที่ 6 ทางใบ เมื่อพิจารณาความแตกต่างทางสถิติไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (F-Value = 1.286) ดังรูปที่ 4.1อาจเนื่องมาจากการปรับสภาพของต้นปาล์มหลังการย้ายต้นกล้าลงในกระถางของแต่ละตำรับการทดลอง ภายหลังการเติมสิ่งทดลอง ทำการนับจำนวนทางใบครั้งที่ 2 ระยะต้นกล้าเติบโตเต็มที่ (60 วัน) พบว่า จำนวนทางใบของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักมีจำนวนใบที่เพิ่มขึ้น โดยตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้ง และตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ยนั้นมีจำนวนทางใบเฉลี่ย 9 ทางใบ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ตำรับทดลองที่เติมโดโลไมต์และปุ๋ยมีจำนวนทางใบเท่ากับตำรับที่เติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ยเฉลี่ย 8 ทางใบ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนตำรับทดลองที่มีทางใบเฉลี่ย 7 ทางใบ คือตำรับการทดลองชุดควบคุม ตำรับการทดลองที่เติมเพียงโดโลไมต์ และตำรับที่เติมเพียงคีเซอร์ไรต์ ดังรูปที่ 4.1

เมื่อครบกำหนดที่ระยะต้นกล้าพร้อมลงหลุม (90 วัน) ทำการนับจำนวนทางใบ พบว่า จำนวนทางใบของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักมีจำนวนใบที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนทางใบที่ระยะ 60 วัน โดยตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้ง และตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ยนั้น มีจำนวนทางใบเฉลี่ย 11 ทางใบ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ตำรับที่เติมโดโลไมต์และปุ๋ยมีจำนวนทางใบเท่ากับตำรับที่เติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย เฉลี่ย 10 ทางใบ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และตำรับที่มีทางใบเฉลี่ยที่เท่ากัน 8 ทางใบ คือ ตำรับควบคุม ตำรับการเติมเพียงโดโลไมต์ และตำรับเติมเพียงคีเซอร์ไรต์ ที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเติมกากขี้แป้งและปุ๋ยเคมี ส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนทางใบแตกต่างจากการเติมเพียงกากขี้แป้ง คีเซอร์ไรต์และปุ๋ย โดโลไมต์และปุ๋ย ในขณะที่การเติมเพียงกากขี้แป้งส่งผลต่อการเพิ่มจำนวนทางใบได้มากกว่าการเติมเพียงคีเซอร์ไรต์ และการเติมเพียงโดโลไมต์ และไม่แตกต่างจากการเติมเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย หรือโดโลไมต์และปุ๋ย ที่นิยมใช้เป็นแหล่งแมกนีเซียมในปัจจุบัน เมื่อพิจารณาจำนวนทางใบที่เพิ่มขึ้นของทั้งสามช่วงเวลาพบว่า จำนวนทางใบที่ระยะเวลา 90 วัน (วัดครั้งที่3) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของจำนวนทางใบทั้ง 30 และ 60 วัน การเติมกากขี้แป้งช่วยให้การเติบโตของการเพิ่มจำนวนทางใบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของระยะการทดลอง 60 วัน (F-Value = 8.250) และระยะการทดลอง 90 วัน (F-Value = 23.877)

การสร้างจำนวนทางใบเพิ่มจะส่งผลโดยตรงต่อการเกิดจำนวนทะลาย จากการศึกษาของ ณัฐกานต์ ทู้ไพเราะ (2554) การเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันทางใบหนึ่งทางหมายถึงการสร้างช่อดอกหนึ่งช่อดอก ซึ่งในอนาคตอาจจะฝ่อ หรือเปลี่ยนเพศเป็นช่อดอกตัวผู้หรือช่อดอกตัวเมีย ซึ่งจำนวนทางใบเพิ่มขึ้นเป็นแนวโน้มให้เห็นช่อดอก ส่งผลให้มีผลผลิตสูง อาจกล่าวได้ว่าการเพียงเติมกากขี้แป้งมีการเพิ่มจำนวนทางใบไม่มีความแตกต่างจากการเติมคีเซอร์และปุ๋ย และการเติมโดโลไมต์และปุ๋ย ที่เป็นแหล่งแมกนีเซียมที่เกษตรกรสวนปาล์มใช้ในปัจจุบัน อาจหมายถึงการเติมกากขี้แป้งสามารถให้ธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเติบโตต่อการเพิ่มจำนวนทางใบให้แก่ปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก



- อักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน (a, b, c) หมายถึง มีความแตกต่างกันของตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตามวิธีการของ DMRT

- อักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกัน (a, b, c) หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการของ DMRT

หมายเหตุ T1 = ดินเดิม
T2 = ดินเดิม+คีเซอร์ไรต์ 20 กรัมต่อต้น
T3 = ดินเดิม+กากขี้แป้ง 80 กรัมต่อต้น
T4 = ดินเดิม+โดโลไมต์ 50 กรัมต่อต้น
T5 = ดินเดิม+ปุ๋ย+คีเซอร์ไรต์ 20กรัมต่อต้น
T6 = ดินเดิม+ปุ๋ย+กากขี้แป้ง 80 กรัมต่อต้น
T7 = ดินเดิม+ปุ๋ย+โดโลไมต์ 50 กรัมต่อต้น

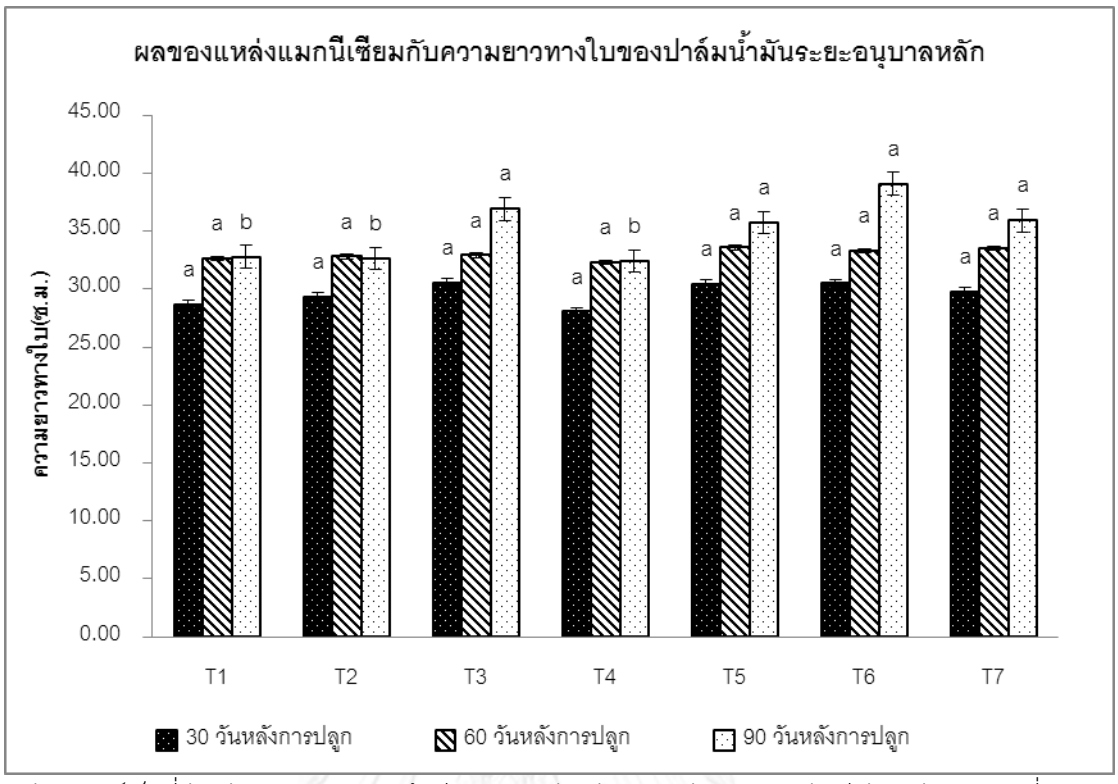
รูปที่ 4.1: การเปรียบเทียบผลของแหล่งแมกนีเซียมต่อจำนวนทางใบของปาล์มน้ำมัน ระยะอนุบาลหลักภายหลังการปลูก 30, 60 และ 90 วัน

4.2.4.2 ความยาวทางใบ

การวัดความยาวทางใบ วัดจากฐานใบถึงตำแหน่งปลายสุดของทางใบ ทำการวัดความยาวทางใบ พบว่า ความยาวทางใบของระยะต้นกล้าตั้งตัว (30 วัน)ภายหลังการปลูก มีความยาวเฉลี่ย 29.60 เซนติเมตร จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าความยาวทางใบที่ระยะ 30 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 1.286) ทำการวัดครั้งที่ 2 ที่ระยะต้นกล้าโตเต็มที่ พบว่า มีความยาวทางใบเฉลี่ย 33.01 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาความแตกต่างทางสถิติพบว่าความยาวทางใบไม่มีความแตกต่างของตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังรูปที่ 4.2 (F-value = 0.462) และในระยะเวลาภายหลังการปลูกที่ระยะต้นกล้าพร้อมลงหลุม (90 วัน)พบว่า มีความยาวทางใบเฉลี่ย 34.65 เซนติเมตร โดยตำรับการทดลองที่มีการเติมเพียงคีเซอร์ไรต์ โดโลไมต์ ไม่มีความแตกต่างจากตำรับชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กลุ่มอักษร bเดียวกัน) ซึ่งตำรับการทดลองการเติมกากขี้แป้งไม่พบความแตกต่าง กับตำรับการทดลองที่เติมกากขี้แป้งและปุ๋ย คีเซอร์ไรต์และปุ๋ย หรือโดโลไมต์และปุ๋ย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 5.765)

เมื่อพิจาณาแต่ละตำรับการทดลอง (รูปที่ 4.2) ตำรับการเติมเพียงคีเซอร์ไรต์ ตำรับการเติมเพียงโดโลไมต์ และตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์กับปุ๋ย พบว่า ความยาวทางใบไม่มีความแตกต่างของช่วงระยะเวลาที่ 60 และ 90 วัน กับตำรับชุดควบคุม แต่พบว่าตำรับการทดลองที่เติมเพียงกากขี้แป้ง ตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย ตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย และตำรับการเติมโดโลไมต์กับปุ๋ย พบว่า มีความยาวทางใบที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบทั้งสามครั้งของการวัดในแต่ละตำรับ ซึ่งปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักเป็นจัดอยู่ในช่วงแรกของการเติบโต (1-6 ปี) ซึ่งจะมีการเพิ่มความยาวทางใบ อย่างรวดเร็ว และอัตราการเพิ่มความยาวทางใบเริ่มชะลอตัวลงเมื่อปาล์มน้ำมันมีอายุมากขึ้นเมื่อเข้าสู่ระยะ mature stage (สุรกิตติ ศรีกุล et al., 2544)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



- อักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน (a, b, c) หมายถึง มีความแตกต่างกันของตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 %ตามวิธีการของ DMRT
- อักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกัน (a, b, c) หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตาม วิธีการของ DMRT

หมายเหตุ T1 = ดินเดิม
T2 = ดินเดิม+คีเซอร์ไรต์ 20 กรัมต่อต้น
T3 = ดินเดิม+กากขี้แป้ง 80 กรัมต่อต้น
T4 = ดินเดิม+โดโลไมต์ 50 กรัมต่อต้น
T5 = ดินเดิม+ปุ๋ย+คีเซอร์ไรต์ 20กรัมต่อต้น
T6 = ดินเดิม+ปุ๋ย+กากขี้แป้ง 80 กรัมต่อต้น
T7 = ดินเดิม+ปุ๋ย+โดโลไมต์ 50 กรัมต่อต้น

รูปที่ 4.2 : การเปรียบเทียบผลของแหล่งแมกนีเซียมต่อความยาวทางใบของปาล์มน้ำมัน ระยะอนุบาลหลักภายหลังการปลูก 30, 60 และ 90 วัน

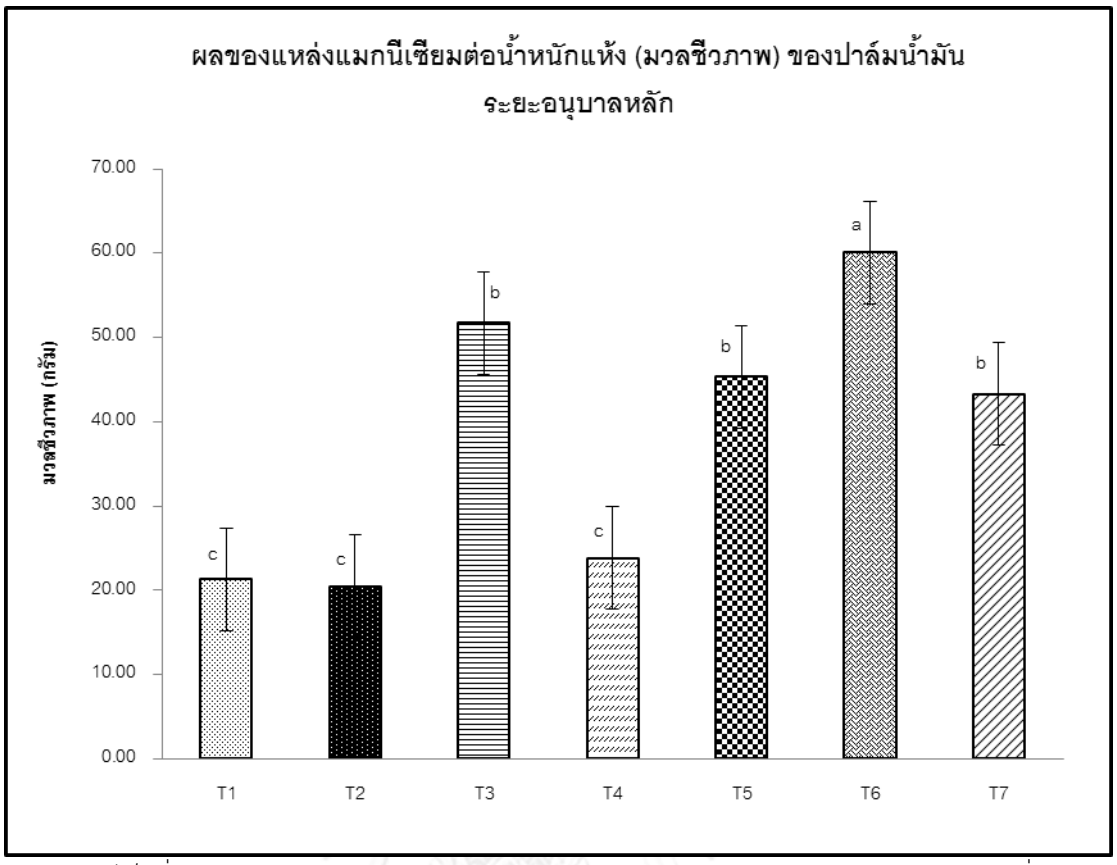
Chulalongkorn University

4.2.4.3 น้ำหนักแห้ง (มวลชีวภาพ)

ปาล์มน้ำมันดูดธาตุอาหารต่างๆมาจากดินและสะสมไว้ในแต่ละส่วนด้วยปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไป โดยอาศัยรากดูดดึงธาตุอาหารมาหล่อเลี้ยงและเคลื่อนย้ายไปสะสมในส่วนต่างๆของต้น การหามวลชีวภาพนั้นนำต้นปาล์มน้ำมันไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า ตำรับชุดควบคุม ตำรับการเติมเพียงคีเซอร์ไรต์ ตำรับการเติมกากขี้แป้งตำรับการเติมโดโลไมต์ ตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย ตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย และตำรับการเติมโดโลไมต์และปุ๋ย มีมวลชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 21.31, 20.47, 51.70, 23.81, 45.34, 60.08 และ 43.30 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.3 ตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย มีการสะสมมวลชีวภาพสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 20.365) ตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้ง ตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย และตำรับการเติมโดโลไมต์และปุ๋ย มีมวลชีวภาพไม่มีความแตกต่างของตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งตำรับการเติมเพียงคีเซอร์ไรต์และโดโลไมต์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับตำรับชุดควบคุม

โดยค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพ พบว่า ร้อยละ10 ของมวลน้ำหนักแห้งของปาล์มน้ำมันจะถูกนำไปใช้เพื่อการผลิตน้ำมัน (Basiron, 2005) ปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งมวลชีวภาพที่สามารถนำมาใช้ในการเป็นแหล่งธาตุอาหารให้แก่การเพิ่มผลผลิตปาล์มได้อีกครั้งเช่น กากใยปาล์มที่ได้จากทะลายที่ทำการสกัดน้ำมัน 70-75 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำกลับมาเป็นแหล่งเพิ่มอินทรียวัตถุแก่พื้นที่การปลูกปาล์มได้ (Bharat, 2013) อาจกล่าวได้ว่า การเติมเพียงกากขี้แป้งมีผลต่อการมวลชีวภาพให้แก่ต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักได้ไม่แตกต่างจากการเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย หรือโดโลไมต์และปุ๋ย ที่ส่งผลต่อการผลิตทะลายปาล์มในต้นปาล์มน้ำมันในอนาคต และกากขี้แป้งมีศักยภาพทดแทนแหล่งแมกนีเซียมที่เกษตรกรสวนปาล์มใช้ในปัจจุบัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



-อักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน (a, b, c) หมายถึง มีความแตกต่างกันของตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่95 % ตามวิธีการของ DMRT

-อักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกัน (a, b, c) หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตามวิธีการของ DMRT

หมายเหตุ T1 = ดินเดิม
T2 = ดินเดิม+คีเซอร์ไรต์ 20 กรัมต่อต้น
T3 = ดินเดิม+กากขี้แป้ง 80 กรัมต่อต้น
T4 = ดินเดิม+โดโลไมต์ 50 กรัมต่อต้น
T5 = ดินเดิม+ปุ๋ย+คีเซอร์ไรต์ 20กรัมต่อต้น
T6 = ดินเดิม+ปุ๋ย+กากขี้แป้ง 80 กรัมต่อต้น
T7 = ดินเดิม+ปุ๋ย+โดโลไมต์ 50 กรัมต่อต้น

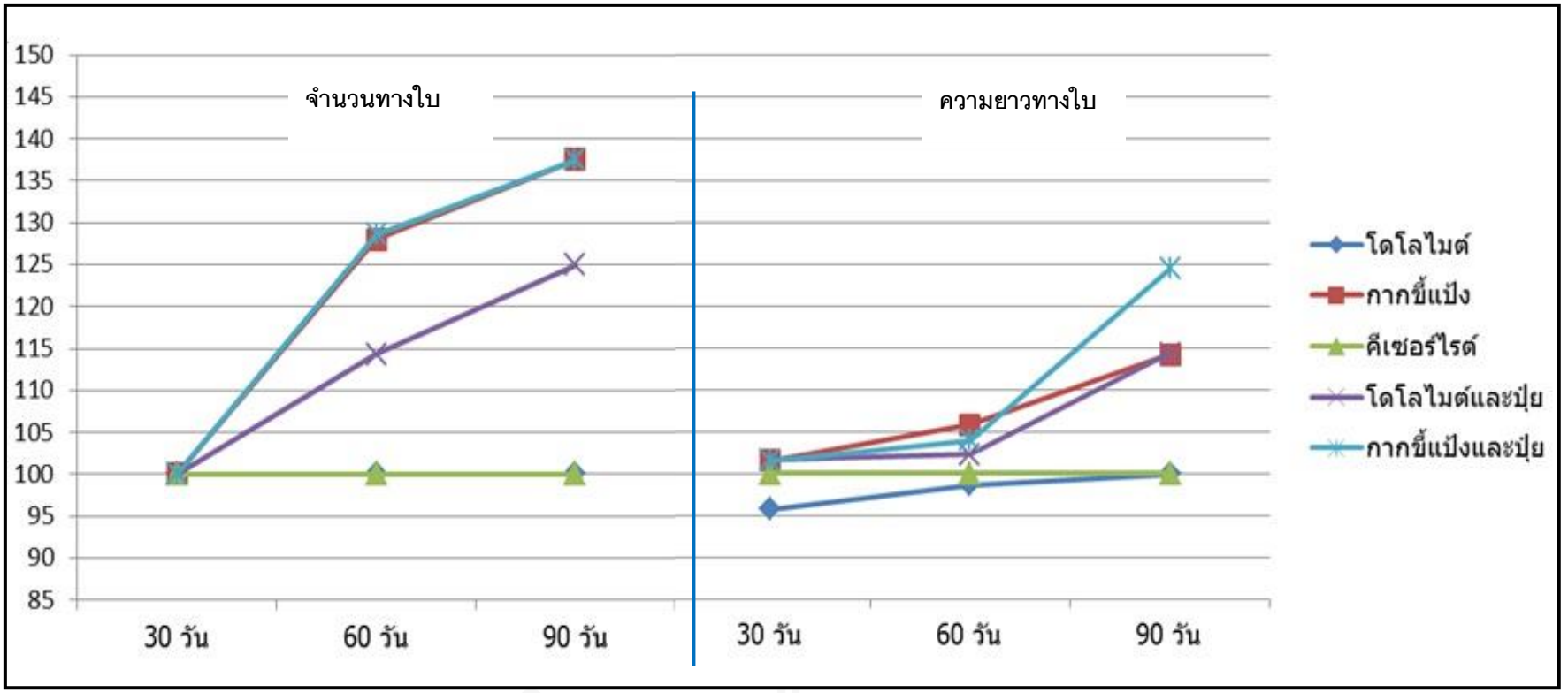
รูปที่ 4.3 : ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งแมกนีเซียมกับมวลชีวภาพของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาหลัก

การเติบโตและพัฒนาของต้นปาล์มน้ำมันนั้น เป็นการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆของต้นปาล์มน้ำมันเช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดของใบและลำต้น การเปลี่ยนแปลงลักษณะของใบ การสร้างใบใหม่ ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่การปลูกเมล็ดงอกลงถุงเพาะจนถึงระยะต้นกล้าลงปลูกในแปลง การเปลี่ยนแปลงทางการเติบโตและพัฒนาการของต้นปาล์มน้ำมันนั้น สังเกตชัดเจนที่สุดคือ การสร้างใบใหม่ ลักษณะของใบ ความยาวของทางใบที่เพิ่มขึ้น พบว่าการสร้างใบในระยะเริ่มต้น (เดือน 1-4) และการเพิ่มขึ้นของความยาวทางใบมีลักษณะคล้ายคลึงกับอัตราการสร้างใบ (อรรัตน์ วงศ์ศรี et al., 2554a) การเติบโตของปาล์มน้ำมันนั้นมีความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ซึ่งปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักจัดได้ว่า เป็นปาล์มน้ำมันระยะที่ยังไม่ให้ผลผลิต การศึกษาของ ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ (2553) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่างๆ ทางลำต้นของปาล์มน้ำมันในระยะที่ยังไม่ให้ผลผลิต ได้แก่ จำนวนทางใบ ความยาวใบ พื้นที่ใบ ขนาดเส้นรอบวงโคนต้น และความสูงลำต้น มีค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ในทางบวกซึ่งกันและกันสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.2.4.4 ค่าสัมพัทธ์การเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก

เมื่อเปรียบเทียบจากค่าสัมพัทธ์ของจำนวนทางใบปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักภายหลังการเติมกากขี้แป้งพบว่า การเติมกากขี้แป้งที่ระยะต้นกล้าตั้งตัว (30วัน) จำนวนทางใบไม่มีความแตกต่างของการเติมคีเซอร์ไรต์ ซึ่งระยะต้นกล้าโตเต็มที่ 60 วัน มีค่าสัมพัทธ์ของการเพิ่มจำนวนทางใบเพิ่มขึ้นกว่าการเติมปุ๋ยคีเซอร์ไรต์กว่า 28 และที่ระยะต้นกล้าพร้อมลงหลุม (90 วัน) การเติมกากขี้แป้ง 80 กรัมต่อต้น เพิ่มจำนวนทางใบสูงกว่าการเติมคีเซอร์ไรต์ถึง 37.5 ในขณะที่การเติมโดโลไมต์ที่ 50 กรัมต่อต้น ให้ผลของการเพิ่มจำนวนทางใบเทียบเท่าการเติมคีเซอร์ไรต์ ที่100 ดังรูปที่ 4.4

เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบค่าสัมพัทธ์ของความยาวทางใบของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก ภายหลังการเติมกากขี้แป้ง 80 กรัม พบว่า ที่ระยะต้นกล้าตั้งตัว (30 วัน) จำนวนทางใบไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยคีเซอร์ไรต์ 1.5 ระยะต้นกล้าโตเต็มที่ (60 วัน) 5.8 และที่ระยะต้นกล้าพร้อมลงหลุม (90 วัน) การเติมกากขี้แป้งส่งผลต่อความยาวทางใบสูงกว่าการเติมคีเซอร์ไรต์ 14.2 ในขณะที่การเติมโดโลไมต์ที่ 50 กรัมต่อต้น ไม่ส่งผลให้ของความยาวทางใบเพิ่มขึ้นเทียบกับการเติมคีเซอร์ไรต์ ที่100 (รูปที่ 4.4)

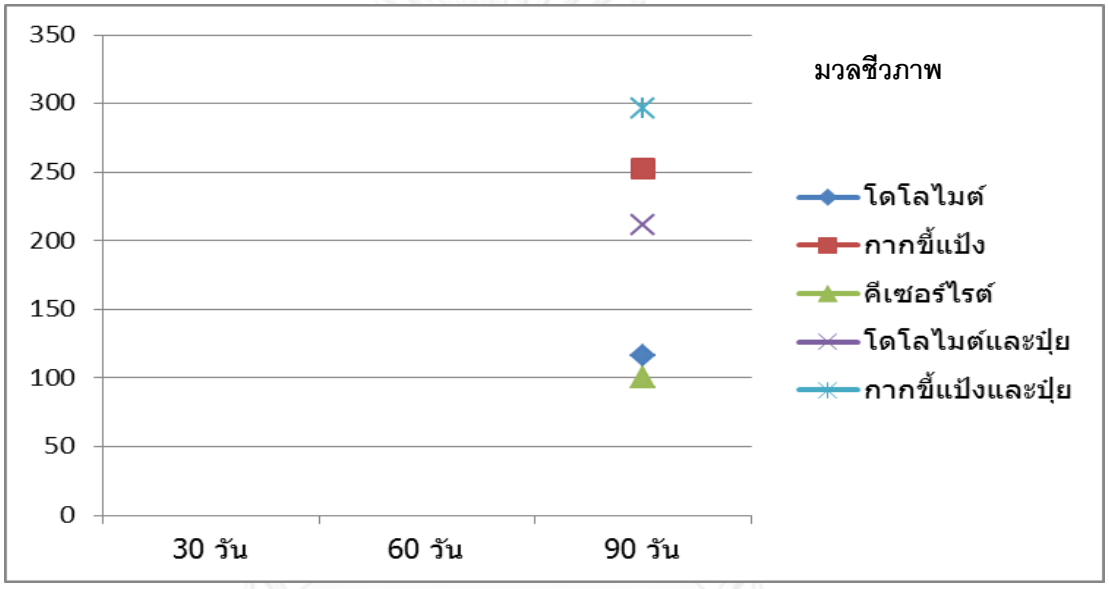


Chulalongkorn University

รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าสัมพัทธ์จำนวนทางใบและความยาวทางใบของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักภายหลังการเติมกากขี้แป้ง คีเซอร์ไรต์ โดโลไมต์

-เปรียบเทียบค่าสัมพัทธ์จำนวนทางใบและความยาวทางใบเทียบเท่าคีเซอร์ไรต์ (กำหนดให้คีเซอร์ไรต์เท่ากับ100)

เมื่อพิจารณาจากค่าสัมพัทธ์ของมวลชีวภาพของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก (รูปที่ 4.5) ภายหลังการเติมกากขี้แป้งที่ระยะ 90 วัน (ระยะต้นกล้าพร้อมลงหลุม) พบว่าค่าสัมพัทธ์ของมวลชีวภาพของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักมีมวลชีวภาพมากกว่าการเติมปุ๋ยคีเซอร์ไรต์ 153 ในขณะที่การเติมโดโลไมต์ 50 กรัมต่อต้น ส่งผลให้มวลชีวภาพของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก 16 เมื่อเปรียบเทียบกับคีเซอร์ไรต์ 100 นั่นอาจกล่าวได้การเติมกากขี้แป้ง 80 กรัมต่อต้น ค่าสัมพัทธ์ของจำนวนทางใบและความยาวทางใบสูงกว่าการเติมเพียงแค่คีเซอร์ไรต์และโดโลไมต์



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าสัมพัทธ์มวลชีวภาพของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักภายหลังการเติมกากขี้แป้ง คีเซอร์ไรต์ และโดโลไมต์

4.3 การดูดซึมแมกนีเซียมภายหลังการเติมกากขี้แป้งของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก

ปรากฏการณ์ที่ไอออนเข้าสู่เซลล์เรียกว่า การดูดซึม (ศัพท์บัญญัติของราชบัณฑิตยสถาน) หรือการดูดไอออน (ion absorbtion หรือ ion uptake) หรือการขนส่งไอออน (ion transportation) ซึ่งมีความหมายเหมือนกันคือ ดารดูดไอออน (ion absorbtion) คือการที่สารหนึ่งดูดเข้ามา (uptake) ไว้ในตัวหรือการที่ไอออนเคลื่อนที่ผ่านเยื่อของสิ่งมีชีวิต การขนส่งไอออนของเซลล์พืช เริ่มเมื่อไอออนในสารละลายในดินหรือสารละลายธาตุอาหาร (nutrient solution) (ยงยุทธ โอสถสภา, 2552) ปาล์มน้ำมันจะใช้ดินเป็นแหล่งธาตุอาหารหลักในการดูดซึมขึ้นไปใช้ในการเติบโตเพื่อผลผลิตของ จำนวนทางใบ ความยาวทางใบ ความสูง ตลอดจนมวลชีวภาพของต้นปาล์มน้ำมัน แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรองที่มีความสำคัญต่อปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลเพื่อการเติบโต เสริมสร้างความแข็งแรงของต้นเพื่อความทนทานต่อโรคพืชตลอดจนการสะสมแหล่งธาตุอาหารเพื่อการผลิตทะลายปาล์ม อีกทั้ง

แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างคลอโรฟิลล์ในใบพืชใช้ในการสร้างอาหารด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ดังนั้นการศึกษาปริมาณแมกนีเซียมในใบ จึงเป็นอีกแนวทางในการประเมินความต้องการของปาล์มน้ำมันในการนำแมกนีเซียมไปใช้ในการเติบโต

4.3.1 พื้นที่ใบ

การวัดพื้นที่ใบเพื่อการประเมินความจุของการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการเติบโตของพืช (บัณฑิต จริโมภาส et al., 2549) พื้นที่ใบภายหลังการปลูกที่ระยะต้นกล้าพร้อมลงหลุม (90 วัน) ทำการวัดพื้นที่ใบของแต่ละตำรับการทดลองโดยใช้ Leaf Area Meter พบว่า พื้นที่ใบเฉลี่ยของตำรับชุดควบคุม ตำรับการเติมเพียงคีเซอร์ไรต์ ตำรับการเติมกากขี้แป้งตำรับการเติมโดโลไมต์ ตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย ตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย และตำรับการเติมโดโลไมต์และปุ๋ย เท่ากับ 747.94, 669.53, 1585.94, 692.56, 1635.50, 2166.94 และ 1440.81 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาพบว่า ตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ยมีพื้นที่ใบสูงสุดมีความแตกต่างกันของตำรับการทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value =31.082) ส่วนตำรับการเติมกากขี้แป้งพบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย และตำรับการเติมโดโลไมต์และปุ๋ย โดยตำรับการทดลองที่เติมเพียงคีเซอร์ไรต์และตำรับการเติมพียงโดโลไมต์เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับชุดควบคุม พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.3.2 การดูดซึมแมกนีเซียมในใบ

แมกนีเซียมในใบของปาล์มน้ำมันวิเคราะห์ภายหลังการนำใบปาล์มน้ำมันไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง หลังจากนั่นก็นำไปสกัดเพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบภายหลังการปลูก พบว่า โดยตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้งมีการดูดซึมแมกนีเซียมไปไว้ในใบสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value= 57.07) เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับการทดลองชุดอื่นๆ ดังตารางที่ 4.4

เมื่อพิจารณาความแตกต่างทางสถิติพบว่า การเติมเพียงกากขี้แป้ง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับการเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย (F-value = 54.335) ตำรับการเติมเพียงคีเซอร์ไรต์ กับ ตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตำรับการเติมเพียงโดโลไมต์ กับ ตำรับการเติมโดโลไมต์และปุ๋ย ทั้งสองตำรับไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับชุดควบคุมพบว่า ทุกตำรับการทดลองมีการดูดซึมแมกนีเซียมที่สะสมในใบสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.4 ปริมาณการดูดซึมแมกนีเซียมและพื้นที่ใบของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก

ตำรับการทดลอง	ปริมาณแมกนีเซียมในใบ (Mg) (mg/kg)	พื้นที่ใบ (cm^3)
ดินเดิม (ชุดควบคุม)	2.62^{a}	747.94^{a}
ดินเดิม+คีเซอร์ไรต์	2.75^{bc}	669.53^{a}
ดินเดิม+กากขี้แป้ง	3.13^{d}	1585.94^{b}
ดินเดิม+โดโลไมต์	2.67^{ab}	692.56^{a}
ดินเดิม+ปุ๋ย+คีเซอร์ไรต์	2.82^{c}	1635.50^{b}
ดินเดิม+ปุ๋ย+กากขี้แป้ง	3.10^{d}	2166.94^{a}
ดินเดิม+ปุ๋ย+โดโลไมต์	2.68^{ab}	1440.81^{b}
%CV	7.16	19.31
F-Value	57.07	31.082

หมายตุ - อักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันของตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95 % ตาม วิธีการของ DMRT

- อักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95% ตาม วิธีการของ DMRT

-* หมายถึง มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

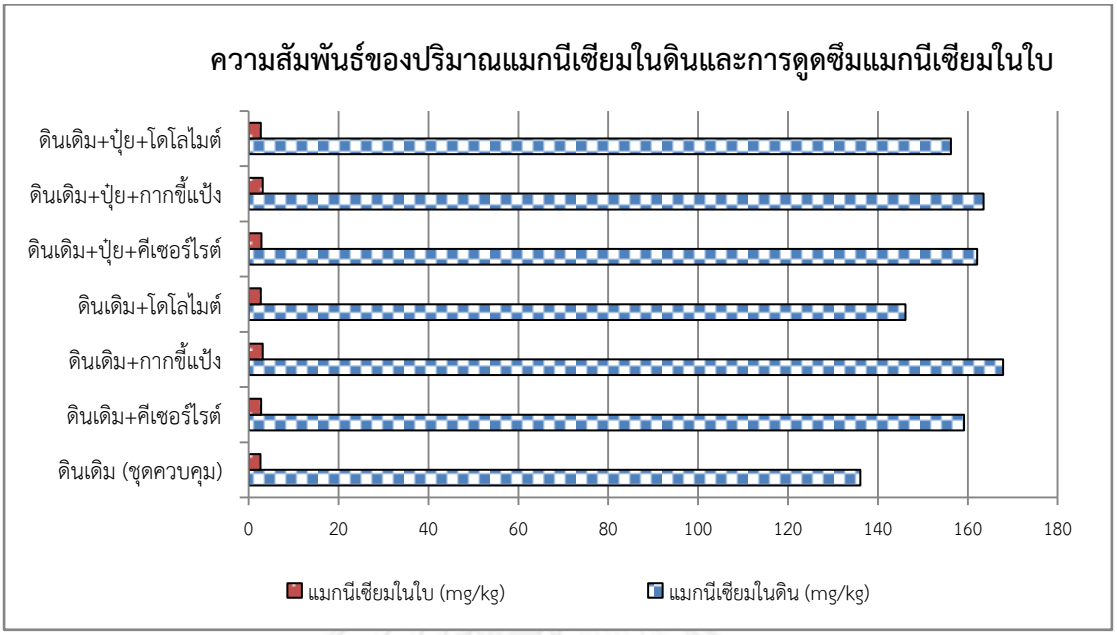
ในการศึกษาการขาดธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันจะใช้วิเคราะห์ใบเพื่อประเมินความต้องการธาตุอาหาร ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันที่จัดว่าเพียงพอ โดยวิเคราะห์จากทางใบที่ 17 พบว่า ปริมาณแมกนีเซียมที่เพียงพอของปาล์มน้ำมันต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 0.3-0.35 (ReuterandRobison, 1997) และจากการศึกษาของ I. R. Rankineand Fairhurst (1998) ได้แสดงค่าวิเคราะห์ใบปาล์มน้ำมันในระดับที่ขาดธาตุแมกนีเซียม เหมาะสม และมีมากเกินไป คือ ถ้าแมกนีเซียมที่ได้จากการวิเคราะห์ใบมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 0.20 จัดได้ว่าขาดธาตุแมกนีเซียม และอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 0.30 – 0.45 มีปริมาณแมกนีเซียมเหมาะสม และถ้ามากกว่าร้อยละ 0.70 จัดได้ว่าเกินความจำเป็น จากการทดลองพบว่า ปริมาณธาตุแมกนีเซียมในใบย่อยของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักภายหลังการเติมสิ่งทดลองของตำรับชุดควบคุม ตำรับการเติมเพียงคีเซอร์ไรต์ ตำรับการเติมเพียงกากขี้แป้ง ตำรับการเติมเพียงโดโลไมต์ ตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย ตำรับการเติมกากขี้แงและปุ๋ย และตำรับการเติมโดโลไมต์และปุ๋ย มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 0.31, 0.33, 0.37, 0.32, 0.33, 0.36 และ 0.32 ตามลำดับ ปริมาณแมกนีเซียมในใบที่ได้จากการวิเคราะห์ทางใบของต้นปาล์มน้ำมันในปาล์มเล็ก (อายุต่ำกว่า 6 ปี) ของ Foster et al. (1998) พบว่า ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบที่เหมาะสมของปาล์มน้ำมันในระยะที่ยังไม่ให้ผลผลิตคือ ช่วงร้อยละ 0.30-0.45

จะเห็นได้ว่าตำรับการทดลองที่เติมเพียงกากขี้แป้งมีปริมาณของธาตุแมกนีเซียมในใบสูงที่สุดคือร้อยละ 0.37 สอดคล้องกับการศึกษาของ Reuter and Robison, Foster et al, Rankine, I.R.and Fairhurst, T.H. และ Foster et al จากการรายงานข้างต้น ซึ่งการแนะนำของ IRHO (1985) พบว่าช่วงระดับความต้องการธาตุแมกนีเซียมของปาล์มน้ำมัน หลังทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของธาตุแมกนีเซียมในใบถ้าต่ำกว่าร้อยละ 0.24 แสดงว่าปาล์มน้ำมันขาดธาตุแมกนีเซียม ซึ่งในพืชที่เติบโตปกติจะพบแมกนีเซียมร้อยละ 0.2-0.4 (Huner NormanandWilliam Hopkins, 2013)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณแมกนีเซียมในดินและการดูดซึมแมกนีเซียมในใบภายหลังการเติมกากขี้แป้งของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก การดูดซึมธาตุอาหารพืชในรูปของการใช้ประโยชน์ได้ แล้วเคลื่อนที่ผ่านของเหลวภายในเซลล์ไปสะสมยังส่วนต่างๆของใบปาล์มน้ำมันนั้น จากรูปที่ 4.6 พบว่า ความสัมพันธ์ของแมกนีเซียมในดินภายหลังการปลูกต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักมีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก ถ้าในดินมีปริมาณแมกนีเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ได้อยู่มากปริมาณการดูดซึมแมกนีเซียมในใบก็มีเพิ่มมากตามมา

จากการวัดพื้นที่ใบและการวิเคราะห์การดูดซึมแมกนีเซียมในใบนั้น พื้นที่ใบที่เป็นส่วนของพื้นที่ความจุของการสังเคราะห์ด้วยแสง ในขณะที่ธาตุแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างคลอโรฟิลล์ใบ การเติมกากขี้แป้งในอัตรา 80 กรัมต่อต้น ในปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักให้พื้นที่ใบมากกว่าการเติมเติมเพียงแค่คีเซอร์ไรต์ และการเติมโดโลไมต์ และปริมาณของการดูดซึมแมกนีเซียมที่สะสมในใบได้สูงสุดไม่ต่างจากการเติมปุ๋ยเคมี อาจกล่าวได้ว่ากากขี้แป้งสามารถเป็นแหล่งแมกนีเซียม ต่อการเพิ่มพื้นที่ใบและการดูดซึมแมกนีเซียมในใบได้ดีกว่าการเติมคีเซอร์ไรต์ หรือโดโลไมต์ ซึ่งสามารถทดแทนแหล่งแมกนีเซียมให้แก่ผู้เพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของปริมาณแมกนีเซียมในดินและการดูดซึมแมกนีเซียมในใบภายหลังการเติมกากขี้แป้งของต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการใช้กากขี้แป้งเป็นแหล่งแมกนีเซียมสำหรับการเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก เป็นการวิจัยแบบทดลอง 7 ตำรับการทดลอง โดยหนึ่งหน่วยการทดลองคือต้นปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก 9 ต้น ศึกษาวิจัย ณ พื้นที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี โดยใช้คีเซอร์ไรต์ โดโลไมต์ และกากขี้แป้ง เป็นแหล่งแมกนีเซียมในการทดลอง

5.1.1 สมบัติของแหล่งแมกนีเซียม

สมบัติทางเคมีของกากขี้แป้งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 5.46 และ 0.35 ค่าการนำไฟฟ้า 7.96 dS/cm ปริมาณอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนของกากขี้แป้งมีค่าเท่ากับ 6.74 และ 3.91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบปริมาณของธาตุอาหารอย่าง แมกนีเซียม แคลเซียม และสังกะสี มีปริมาณ 85,219, 299 และ 3.12 mg/kg โดโลไมต์มีค่าความเป็นกรดด่าง 7.93 ปริมาณแมกนีเซียมและแคลเซียม มีค่าเท่ากับ 129,000 และ 1284.75 mg/kg

5.1.2 ศักยภาพของกากขี้แป้งในการทดแทนคีเซอร์ไรต์

5.1.2.1 สมบัติทางเคมีดินภายหลังการเติมกากขี้แป้ง

ภายหลังการเติมกากขี้แป้งอัตรา 80 กรัมต่อต้น ที่ระยะผ่านไป 90 วัน พบว่า สมบัติทางเคมีดิน ของดินมีค่าความเป็นกรดด่าง และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 7.04 และ 3.04 ค่าการนำไฟฟ้า 0.28 dS/cm ปริมาณอินทรียวัตถุและอินทรีย์คาร์บอนภายหลังการเติมกากขี้แป้งมี ค่าเท่ากับ 1.83 และ 1.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อีกทั้งปริมาณของธาตุอาหารอย่าง แมกนีเซียม แคลเซียม และสังกะสี พบว่ามี 167.88, 492.83 และ 0.86 mg/kg

5.1.2.2 การเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักภายหลังการเติมกากขี้แป้ง

จำนวนทางใบที่ระยะต้นกล้าตั้งตัว ระยะต้นกล้าเติบโตเต็มที่ และระยะต้นกล้าพร้อมลงหลุม พบว่า มีจำนวนทางใบเฉลี่ย 6, 9 และ 11 ทางใบ ความยาวทางใบพบว่า ทางใบยาวเฉลี่ย 30.55, 32.91 และ 36.90 เซนติเมตร ตามลำดับ ภายหลังการเติมกากขี้แป้ง 90 วัน พบว่าต้นปาล์มน้ำมันที่เติมกากขี้แป้งมีความสูงเฉลี่ย 54.36 เซนติเมตร พื้นที่ใบ 1585.90 ตารางเซนติเมตร มวลชีวภาพ 51.70 กรัม

5.1.3 การดูดซึมแมกนีเซียมภายหลังการเติมกากขี้แป้งของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก

จากการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมในใบของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลักภายหลังการเติมเพียงกากขี้แป้งที่ระยะต้นกล้าพร้อมลงหลุม (90 วัน) ตำรับชุดควบคุม ตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์ ตำรับการเติมกากขี้แป้ง ตำรับการเติมโดโลไมต์ ตำรับการเติมคีเซอร์ไรต์และปุ๋ย ตำรับหารเติมกากขี้แป้งและปุ๋ย และตำรับการเติมโดโลไมต์และปุ๋ย พบว่า มีปริมาณของแมกนีเซียมเท่ากับ 2.62, 2.75, 3.13, 2.67, 2.82, 2.68 และ 3.10 mg/kg ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาวิจัยการทดแทนของคีเซอร์ไรต์ในปาล์มน้ำมันระยะอื่นๆ ของปาล์มน้ำมัน

5.2.2 ควรมีการศึกษาสมบัติทางเคมีแหล่งของกากขี้แป้งที่นำมาใช้เพื่อลดการเป็นปฏิปักษ์ของการนำไปใช้ประโยชน์ของธาตุอาหารพืช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Basiron, Y. (2005). Biofuel: an alternative fuel in the Malasian scenario. Malaysia: Malaysain palm oil board.

Bharat, P. B. (2013). Biofuel Crop Sustainability: Sustainable Oil Crops Production. U.S.A: Wiley Blackwell pubishing.

Blackley, D.C. (1997). Polymer Latices. London: Chapman & Hall.

Boardman, R.andMcGurre, D.O. (1990). The rule of zinc in forestry. Zinc in forest environmental ecosystem and tree nutrition., Forest Ecology and mannagement 37, 167-250.

Chinchilla C.M., Bulgarelli.J., Castillo.G.andSalas.A. (1998). vegetative growth and yield *Advance soil palm planting material* (pp. 17-19): ADS Oil Palm Papers.

Clark, D.T.andHason. J.B. (1980). The mtineral nurient of higher plant (Vol. 31): Plant physiol.

EU legislation 86/278/EEC. (1986). Council Directive on protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture., from FAO http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e08.htm

Foster, H. L., Hj Dolmat, M. T.andSiingh, G. (1998, 23-26 June 1987). The effect of fertilizers on oil palm bunch components in Peninsular Malaysia. Paper presented at the International Oil Palm / Palm Oil Conferences: Progress and Prospects. Conference I: Agriculture, Kuala Lumpur Malaysia.

Goh, K.J., Chew, P.S., Heng, Y.C., Tey, S.H.andGan, H.H. (1997). Developing decision support systems for plantations *A new role for agronomists* (Vol. 73, pp. 787-693): The Planter.

Goh, K.J., Hardter, R.andFairhurst, T. (2003). Fertilizing for maximum return *Oil Palm Management for Large and Sustainable Yeild*. Sigapore.: Potash and Phosphate Intitute (East and South east Asia Programs).

Goh.K.J., Chew.P.S.andTeoh.K.C. (1988). Ground mangnesium limestone as a source of magnesium for mature oil palm on sandy soil in Malaysia. Paper presented at the In 1988 International Oil Palm Conferrence, Bali Indonesia.

Härdter R., Rex M.andOrlovius K. (2004). Effect of different Mg fertilizer source on the magnesium availability in soil. Nutrient Cycling in Agoecosystems 70, 70.

Hertalet L.R.andDuckett J.E. (1983). Oil Palm Nurseries. Kuala Lumpur, Malaysia: The Incorporated Society of Plant.

Huan L.K.andYee H.C. (1991). Irrigation tial in oil plam nurseries. Paper presented at the In 1991 PORIM Intl Palm Oil Conf

Huner Norman, P. A.andWilliam Hopkins. (2013). InTroduction to Plant Physiology (4th ed.).

IRHO. (1985). Plant irriguee de Ouidah (Benin) sur plamier a huile et cocotier *Report de synthese* (Vol. IRHO Doc. 1985): Aspect economiques.

Kusnu M., Siahaan M.M.andPoeloengan Z. (1996). Effect of N, P, K, and Mg fertilizer on the growth and yield of oil palm on typic Paleaudult. In Sustainability of Oil Palm Plantation, 14.

McGraw-Hill (2002). McGraw-Hill Concise Encyclopedia of Bioscience: The McGraw-Hill Companies, Inc.

Merhaut, D.J. (2007). Magnesium. In Handbook of plant Nutrition. New York, USA: Tayor and Francis Group

Mortvedt. J.J., Murphy L.S.andFollett R.H. (1999). Fertilizer Technology and application. Ohio, USA: Meister Publishing Co.

Mutert, E. (1999). Suitability of soils for oil palm in Southeast Asia. Paper presented at the Better Crops International.

Paramananthan, S. (2003). Land Selection for Oil Palm. *Oil Plam Management for Large and Sustainable Yields*. Sigapore: Potash and Phosphate Intitute, East and South east Asia Programs.

Rajaratanam J.A. (1972). Boron deficiency symtoms of the oil palm *Hook leaf and fish-tail leaf* (Vol. 48, pp. 120): Planter.

RankineandFairhurst T.H. (1999). Management of Phosphorus, Potassium and Magnesium in Mature Oil Palm. Better Corps International, 13.

Rankine, I.R.andFairhurst, T.H. (1998). Oil Palm Series (Mature) *Field Handbook* (pp. 111). Sigapore: Potash and Phosphate Intitute and Potash and Phosphate Intitute of Canada.Oxford Graphic Printer Pte. Ltd.

Reuter, D.J.andRobison, J. B. (1997). Plant Analysis : an interpretation Manual. Australia: CSIRO Publishing.

Scott. B.JandRobson. A.D. (1990). Distribution of magnesium in subterranean clover in relation to suppy. Austtralian Journal of Agricultural Research 41, 41.

Turner, P. D.andGillgank, R. A. (1982). Oil Palm Culvative and Management. Malaysai: The Incor porated Society of Planter.

Von Uexküll, H.R.andFairurst, T.H. (1999a). Fertilizing for High Yield and Quality "The Oil Palm" Songkhla: Songkhla University.

Von Uexküll, H.R.andFairurst, T.H. (1999b). Fertilizing for High Yield and Quality “The Oil Palm".

กรมควบคุมมลพิษ. (2548a). แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษ อุตสาหกรรมน้ำยางข้น. กรุงเทพมหานคร: ส่วนน้ำเสียอุตสาหกรรม สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. (2548b). แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษ อุตสาหกรรมน้ำยางข้น. กรุงเทพมหานคร: ส่วนน้ำเสียอุตสาหกรรม สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2542). ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช. Retrieved 25 ตุลาคม 2556, from http://www.ldd.go.th/

กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). คู่มือปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2555). การใช้วัสดุปูนเพื่อการเษตร(Agricultural Lime) ในการปรับปรุงดิน. http://www.ldd.go.th/web_ord/km/%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%84%E0%B9%8C%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B8%AA%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B8%99%E0%B8%94%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B9%89%E0%B8%A2%E0%B8%A7.pdf

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2544). หลักปฏิบัติเพื่อป้องกันมลพิษ (เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขา. กรุงเทพมหานคร: อุตสาหกรรมยาง กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2546). คู่มือการจัดการาสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมน้ำยางข้นและน้ำยางแท่ง STR: กรุงเทพมหานคร.

กรมวิชาการเกษตร. (2554). การจัดการสวนปาล์มน้ำมันเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำมันปาล์ม: ผลเสียจากการใส่เกลือแกงในสวนปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมศุลกากร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2556). สถิติการส่งออกน้ำยางข้น. from สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,

กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2552). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม: น้ำยางข้นธรรมชาติ (Vol. มอก.980-2552, pp. 8). กรุงเทพมหานคร: สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

เกริกชัย ธนรักษ์. (2554a). การจัดการสวนปาล์มน้ำมันเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำมันปาล์ม. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เกริกชัย ธนรักษ์. (2554b). การใช้ปุ๋ยเคมีในสวนปาล์มน้ำมันอายุ 1-3 ปี หลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตปาล์มน้ำมันแบบครบวงจร, 263.

เกริกชัย ธนรักษ์. (2554c). การใช้ปุ๋ยเคมีในสวนปาล์มน้ำมันอายุ 1-3 ปี. หลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตปาล์มน้ำมันแบบครบวงจร, 61.

เกริกชัย ธนรักษ์. (2554). การจัดการสวนปาล์มน้ำมันเพื่อเพิ่มผลผลิตปาล์มน้ำมัน: การปลูกและดูแลรักษาปาล์มน้ำมัน. (pp. 33). กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

คชินท์ สายอินทวงศ์. (2550). วัตถุดิบสำหรับเนื้อดินและสีเคลือบ โดโลไมท์และวอลลาสโตไนท์. from ศูนย์กลางความรู้ผลิตเซรามิกส์ไทย

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2548). ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณาวุฒิ อินทร์แก้ว. (2552). การใช้ประโยชน์กากขี้แป้งเป็นแหล่งธาตุอาหารเพื่อการปลูกต้นกล้าปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลแรก. (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

คณาวุฒิ อินทร์แก้ว. (2552). การใช้ประโยชน์กากขี้แป้งเป็นแหล่งธาตุอาหารเพื่อการปลูกต้นกล้าปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลแรก. (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

คณาวุฒิ อินทร์แก้วandนฤมล ทิมทอง. (2554). การทกแทนปุ๋ยเคมีด้วยกากขี้แป้งเพื่อการเพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลแรก. วารสาร วิชาการ และ วิจัย ม ทร. พระนคร, 5, 10.

ชัยรัตน์ นิลนนท์andธีรพงศ์ จันทรนิยม. (2553a). การจัดสวนปาล์มน้ำมันและการให้ปุ๋ย ชุดหนังสือความรู้ เล่ม *2/2553* การปรับปรุงขยายพันธุ์ การปลูกและการจัดสวน. สงขลา: สถาบันวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ และสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชัยรัตน์ นิลนนท์andธีรพงศ์ จันทรนิยม. (2553b). การจัดสวนปาล์มน้ำมันและการให้ปุ๋ย. ชุดหนังสือความรู้ เล่ม 2/2553 การปรับปรุงขยายพันธุ์ การปลูกและการจัดสวน (Vol. 2/2553). สงขลา: สถาบันวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ และสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชูจิต มามีวัฒนะ, วัชรี บุญช่วยandชาย โฆรวิส. (2536). ศึกษาการเจริญเติบโตของกล้าปาล์มน้ำมันเทเนอร่า ที่ได้รับปุ๋ยอัตราและระยะเวลาที่เท่ากัน. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2536 ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

ชูชาติ สันธทรัพย์. (2556). การจัการดินสำหรับการเพาะปลูกพืช. from คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ http://mis.agri.cmu.ac.th/download/publication/2940_file.pdf

ณัฐกานต์ ทู้ไพเราะ. (2554). การใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน. (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

ณัฐกานต์ ทู้ไพเราะ. (2554). การใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน. (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

ธีรพงษ์ จันทร์นิยม. (2553). การใช้ปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Fertilizer Mannagement) (Vol. ฉบับเกษตรกร). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. (2553). การปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมัน. ชุดหนังสือความรู้ เล่ม *2/2553* การปรับปรุงขยายพันธุ์ การปลูกและการจัดสวน. สงขลา: สถาบันวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ และสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำandเลี้ยววาริณ, และวรรณา. (2546). คู่มือปาล์มน้ำมัน และการจัดการสวน. สงขลา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน ฝ่ายวิจัยและบริการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นิวัติ อนงค์รักษ์. (2548, 5 ตุลาคม 2555). ปูนและการใช้ปูน ใน สื่อการเรียนการสอน ปฐพีศาสตร์เบื้องต้น. from mis.agri.cmu.ac.th/course/course_lecture_download.asp?...CID

บัณฑิต จริโมภาส, ณัฐกรณ์ ชื่นขำandศุภมาศ ปั้นปัญญา. (2549). การเปรียบเทียบการวัดหาพื้นที่ผิวผลไม้. ว.วิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่37 ฉบับที่ 5 (พิเศษ) กันยายน-ตุลาคม 2549, 260-263.

บุญแสน เตียวนุกูลธรรม. (2005). แมกนีเซียมในดิน. คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ประวิทย์ โตวัฒนะ, นงนภัส สันตกิจandศิราณี วงศ์กระจ่าง. (2550). การศึกษาการใช้ประโยชน์กากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้นเพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงดิน. from http://202.29.92.39/drupal-ir/node/41161

พรรพิมล ฉัตราคม. (2555). ความต้องการปุ๋ยในการเกษตรของประเทศไทย. . from http://203.150.224.248/capture/pdf.php?url=http://www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/oae_web/ewt_news.php?nid=684&filename=index.

พร้อมศักดิ์ สงวนธำมรงค์. (2551). การวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางธรรมชาติ หลักการ ความเข้าใจ และการพัฒนาวิธีการทดสอบมาตรฐาน. วารสารเพื่อการพัฒนาของอุตสาหกรรมยางไทย, 2, 18.

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2540). ปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมัน และการสุ่มเก็บตัวอย่างใบปาล์ม เพื่อการวิเคราะห์ใบปาล์มน้ำมัน การใช้ปุ๋ยและการจัดการสวนปาล์มน้ำมัน. สงขลา: ฝ่ายวิจัยปาล์มน้ำมัน สำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2546). บทบาทของธาตุอาหารรองและจุลธาตุในการผลิตพืช ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2552). ธาตุอาหารพืช (3 Ed.). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2552). การขนส่งไอออนผ่านเยื่อ ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เลื่อนศักดิ์ วัฒนกุล. (2012). ธาตุอาหารที่สำคัญแมกนีเซียม. บทความเชิงวิชาการเกษตร, 8 มีนาคม 2012.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. (2536). อุตสาหกรรมการผลิตยางดิบ. เอกสารวิชาการเรื่องยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วราศรี เถกประสิทธ์. (2543). การใช้กากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อทำวัสดุบำรุงดิน. (ปริญามหาบัญฑิต), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วราศรี เถกประสิทธิ์. (2543). การนำกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำวัสดุบำรุงดิน. (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

วลัยพร ผ่อนผัน. (2547a). การใช้ประโยชน์กากขี้แป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในรูปสารบำรุงดิน. (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

วลัยพร ผ่อนผัน. (2547b). การใช้ประโยชน์กากขี้แป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในรูปสารบำรุงดิน. . (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

วันชัย แก้วยอด. (2540). การตรวจสอบการจัดการน้ำเสียโรงงานยาง: กรณีศึกษาในจังหวัดสงขลา. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม

วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน, สุจิตรา พรหมเชื้อandเพ็ญศิริ จำรัสฉาย. (2554). การจัดการน้ำและสรีระปาล์มน้ำมัน หลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตปาล์มน้ำมันแบบครบวงจร.

วิภาพรรณ อุบล. (2550). การใช้ประโยชน์กากอินทรีย์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น แปรรูปสัตว์น้ำและน้ำมันปาล์มในการเตรียมวัสดุปลูกหญ้าสนาม. (ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต วิทยานิพนธ์), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, ปัตตานี. Retrieved from http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/6167

วิภาพรรณ อุบล, วิไลรัตน์ ชีวะเศรษฐธรรมandสมพร ประเสริฐ ส่งสกุล. (2551, 22 ธันวาคม 2551). การใช้ประโยชน์กากอินทรีย์จากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น แปรรูปสัตว์น้ำ และน้ำมันปาล์ม ในการเตรียมวัสดุปลูกหญ้าสนาม. from http://onknow.blogspot.com/2007/02/blog-post_7548.html

ศักดิ์ศิลป์ โชติสกุล, ธีรพงศ์ จันทรนิยม, สุรกิตติ ศรีกุล, ไพบูรณ์ เปรียบยิ่งandเกริชัย ธนรักษ์. (2553). การใช้ปุ๋ยในสวนปาล์มน้ำมัน. Oil Palm Fertilizer Management, 48.

ศิราณี วงศ์กระจ่าง. (2554). ผลของการใช้กากขี้แป้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันยางข้น เพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของชุดดินบ้านทอน. (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา. Retrieved from http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/7491

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราฎร์ธานี. (2553). การปลูกปาล์มน้ำมัน. from www2.suratthani.go.th/moacsurat/images/stories/goods/.../5-48-71.pdf

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์. (2545). โครงการวิจัยเรื่องการจัดการของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้น. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน. (2554). สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 18. from http://guru.sanook.com/search/knowledge_search.php?qID=&wi=&hnl=&ob=&asc=&q=%BB%D8%EB%C2%E0%A4%C1%D5&select=1

สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา. (2550). พระราชบัญญัติปุ๋ย สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา

สำนักงานสถิติแห่งชาติ ศูนย์สารสนเทศยุทธศาสตร์ภาครัฐ. (2555). ปุ๋ยและสารเคมีการเกษตร. Retrieved from http://services.nic.go.th/gsic/uploadfile/Chemical.pdf

สุนทรีย์ ยิ่งชัชวาล. (2554). ใช้อินทรียวัตถุให้ถูกประเภท. www.cab.ku.ac.th /suntaree/pdf/54OrganiMatterExplain.pdf

สุรกิตติ ศรีกุล. (2554). หลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตปาล์มน้ำมันแบบครบวงจร การจัดการแปลงเพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน (pp. 15). สุราษำร์ธานี: ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี.

สุรกิตติ ศรีกุล, ภิญโญ มีเดช, สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, ชาย โฆรวิสandคะนอง คลอดเพ็ง. (2544). ศึกษาผลกระทบของการให้น้ำต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา และการให้ผลผลิตและน้ำมันของปาล์มน้ำมัน รายงานผลการวิจัยประจำปี *2542-2543* (pp. 127-154). กรุงเทพมหานคร.

สุรพรชัย มั่งมีสิทธิ์. (2554). ปุ๋ยอินทรีย์เคมีที่ชุมชนควรรู้. from http://www.surdi.su.ac.th/paper_public/Fertilizer-new.pdf

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, ยุพดี ชัยสุขสันต์, สมพร ประเสริฐส่งสกุลandสะเราะ นิยมเดชา. (2553). การนำกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์. เอกสารและบทความวิชาการยางพารา, 2553, 9.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, วิไลรัตน์ ชีวะเศรษฐธรรม, ธนธรณ์ นวลปานandและคณะ. (2547). การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเตรียมปุ๋ยเหลวจากกากขี้แป้งน้ำยางข้น. ชุดโครงการพัฒนาอุตสาหกรรมยางพารา.

อรรัตน์ วงศ์ศรี, เตือนจิตร เพ็ชรรุณandชญาดา ดวงวิเชียร. (2554a). การจัดการแปลงเพาะชำต้นกล้าปาล์มน้ำมัน. กรุวเทพมหานคร: สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อรรัตน์ วงศ์ศรี, เตือนจิตร เพ็ชรรุณandชญาดา ดวงวิเชียร. (2554b). พันธุ์และการคัดเลือกต้นกล้าปาล์มน้ำมัน การจัดการสวนปาล์มน้ำมันเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำมันปาล์ม. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, สุธน ช่วยเกิดandสัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู. (2552). การทดแทนปุ๋ยด้วยกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเพื่อการเพาะชำต้นยางชำถุง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 47, 361.

เอกชัย พฤกษ์อำไพ. (2548). คู่มือปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์เทพพิทักษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ภาคผนวก 1: เกณฑ์ระดับความเป็นกรด-ด่างของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

ระดับ	ค่าความเป็นกรดด่าง
กรดรุนแรงมากที่สุด	<3.5
กรดรุนแรงมาก	3.5-4.5
กรดจัดมาก	4.6-5.0
กรดจัด	5.1-5.5
กรดปานกลาง	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย	6.1-6.5
เป็นกลาง	6.6-7.3
ด่างเล็กน้อย	7.4-7.8
ด่างปานกลาง	7.9-8.4
ด่างจัด	8.5-9.0
ด่างจัดมาก	>9.0

ตารางที่ภาคผนวก 2: ระดับอินทรียวัตถุที่ใช้เป็นมาตรฐาน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

ระดับ	อินทรียวัตถุ (%)
ต่ำมาก	<0.5
ต่ำ	>0.5-1.0
ต่ำปานกลาง	>1.0-1.5
ปานกลาง	>1.5-2.5
สูงปานกลาง	>2.5-3.5
สูง	>3.5-4.5
สูงมาก	>4.5

ตารางที่ภาคผนวก 3: ค่าการนำไฟฟ้าและระดับความเค็มของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

ระดับความเค็ม	ค่าการนำไฟฟ้า
ไม่เค็ม	<2
เค็มเล็กน้อย	2-4
เค็มปานกลาง	4-8
เค็มมาก	8-16
เค็มจัด	>16

ตารางที่ภาคผนวก 4 แคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

ระดับ	แคลเซียม (mg/kg)	แมกนีเซียม (mg/kg)
ต่ำมาก	<400	<36
ต่ำ	400-1000	36-120
ปานกลาง	1000-2000	120-360
สูง	2000-4000	360-960
สูงมาก	>4000	>960

ตารางที่ภาคผนวก 5: ชั้นมาตรฐานสังกะสีในดินที่เป็นประโยชน์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

ระดับ	ปริมาณสังกะสี (mg/kg)
ต่ำมาก	<0.5
ต่ำ	0.5-1.0
ปานกลาง	1.1-3.0
สูง	3.1-6.0
สูงมาก	>6.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคนวก ข
ภาพงานวิทยานิพนธ์บางส่วน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1 และ 2 การนำกากขี้แป้งมาตากให้แห้ง

3 และ4 บดร่อนกากขี้แป้ง

5 และ 6 กาขี้แป้งที่ทำการร่อนแล้ว นำมาชั่ง

รูปที่ ผ 1 : การเตรียมกากขี้แป้ง

1 และ 2 ดินที่ผึ่งและนำมาชั่งน้ำหนัก

3 และ4 ดินถุงละ 8 กิโลกรัม และเตรียมสิ่งทดลอง

5 และ 6 คลุกเคล้าสิ่งทดลองแลนำใส่ถุงแยกตามตำรับ

รูปที่ ผ 2 : การเตรียมดิน

1 วางแปลงระห่างต้น 70 เซนติเมตร

2 วางเป็นสามเหลี่ยมทแยงมุม

3 และ 4 รดน้ำให้ดินชุ่มชื้นแล้วทำการปลูกลงกระ

5 ลักษณะการปลูกและเรียงต้นปาล์มน้ำมัน

รูปที่ ผ 3 : การเตรียมพื้นที่ปลูก

1 2
3 4
5 6

1 และ 2 วัดความยาวทางใบและจำนวนทางใบ

3 และ4 วัดความสูงและการวัดพื้นที่ใบ

5 และ 6 วัดน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง

รูปที่ ผ 4 : การวัดการเติบโต

1	1 การเติบโตระยะ 30 วัน
2	2 การเติบโตระยะ 60 วัน
3	3 การเติบโตระยะ 90 วัน

รูปที่ ผ 5 : ระยะการเติบโตของปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลหลัก

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภิรมย์ขวัญ ชิณวงศ์ เกิดวันที่ 6 ตุลาคม 2531 ที่จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาระดับประถมโรงเรียนอนุบาลบ้านม่วง จังหวัดสกลนคร ในปี พ.ศ.2547 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมต้น โรงเรียนสิรินธรราชวิทยาลัย ในพระราชูปถัมภ์ จังหวัดนครปฐม ต่อมาในปี พ.ศ. 2550 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลาย โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดสกลนคร และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปี พ.ศ. 2554

ในปี พ.ศ.2554 ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University