การใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน

นางสาวณัฐกานต์ ทู้ไพเราะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 Graduate School.

Use of Agro-Industrial Waste as Nutrient Source for Oil Palm Tree

Miss Natthakarn Toopairoh

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน
โดย	นางสาวณัฐกานต์ ทู้ไพเราะ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……. ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

……... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ)

……. กรรมการ
(รองศาสตรจารย์ ดร. ปรีดา บุญ-หลง)

……. กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาจอง ประทัตสุนทรสาร)

……. กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. อุทัย เซ็นภักดี)

ณัฐกานต์ ทู้ไพเราะ:การใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน. (Use of Agro-Industrial Waste as Nutrient Source for Oil Palm) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ,158 หน้า.

การศึกษาการใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมันระยะโตเต็มที่ ที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ทำ 4 ซ้ำ มี 6 ตำรับทดลอง ประกอบด้วย ดินเดิมไม่เติมสิ่งทดลอง การเติมปุ๋ยเคมี และการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร (กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน) 4 อัตรา การศึกษาครั้งนี้มี 24 หน่วยทดลอง โดยหนึ่งหน่วยทดลอง คือต้นปาล์มน้ำมันพันธุ์ลูกผสมเทเนอรา อายุ 5 ปี จำนวน 9 ต้น

ผลการศึกษาพบว่าการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรส่งผลให้การเติบโต (พื้นที่ทางใบ ความยาวทางใบ พื้นที่หน้าตัดแกนทางใบ และจำนวนทางใบเพิ่ม) ของต้นปาล์มน้ำมันได้เท่าเทียมและดีกว่าการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.5$) ทั้งนี้การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น ส่งผลให้ดินเพิ่มความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณธาตุอาหาร (N, P, Mg และ Zn) มากกว่าการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณจุลธาตุสังกะสี (Zn) ที่พบเป็นประโยชน์ต่อต้น ปาล์มน้ำมันและอยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐานดิน อีกทั้งมีประสิทธิภาพการดูดดึงไนโตรเจนแตกต่างการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p \leq 0.1$) นอกจากนี้ การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรส่งผลให้ระดับโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันไม่แตกต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยเคมี และสามารถรักษาระดับแมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันให้สูงกว่าค่าวิกฤตได้

กล่าวได้ว่า ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรสามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมันได้ นับเป็นทางเลือกหนึ่งในการจัดการของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อใช้ประโยชน์กลับคืนสู่พื้นที่การเกษตรได้อย่างเหมาะสม ปลอดภัย และลดปัญหามลพิษทางดินและน้ำจากของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต.....

ปีการศึกษา 2554 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

5287154020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORDS: AGRO-INDUSTRIAL WASTE/ NUTRIENT SOURCE/ OIL PALM TREE

NATTHAKARN TOOPAIROH: USE OF AGRO-INDUSTRIAL WASTE AS NUTRIENT SOURCE FOR OIL PALM TREE. ADVISOR : ASSOC. PROF. ORAWAN SIRIRATPIRIYA, D.Sc.,158 pp.

Use of agro-industrial waste as nutrient source for mature oil palm tree (*Tenera*) was conducted at Suratthani Oil Palm Research Center. The experimental design was randomized complete block design (RCBD) with 4 replications and 6 treatments (para rubber sludge mixed with wastewater sludge, oil palm fiber press, oil palm ash, chemical fertilizer and control). One experimental unit was 9 young mature oil palm tree.

The results showed that application of agro-industrial waste affected on growth (leaf area, Leaf length, petiole cross section and leaf production rate) of oil palm tree better than or equal to that of chemical fertilizer significantly. Para rubber sludge, wastewater sludge, oil palm fiber press and oil palm ash (3:1:1:1) applied into the soil 15 kg/palm resulted in increased of pH, organic matter, nutrients (N, P, Mg, Zn) content higher than that of chemical fertilizer significantly. Moreover, Zinc content in the soils was within standard of soil quality for oil palm tree. Furthermore, recovery efficiency of nitrogen uptake was significant difference from another treatments of agro-industrial waste. In addition, applied with agro-industrial waste of all treatments increased potassium content and stabilized magnesium content within critical level in the leaf of oil palm tree significantly compared with chemical fertilizer application.

Thus, agro-industrial waste could be used as an alternative nutrient source for mature oil palm tree. This management not only return benefit back to agriculture but also reduced air, soil and water pollution from waste.

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

Academic Year : 2011 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนจาก “โครงการการจัดการของทิ้ง (waste) จากอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่การเกษตร (CC720A)” ซึ่งเป็นโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ โดยมีรองศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ เป็นหัวหน้าโครงการ และทุนอุดหนุนบางส่วนจากสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำความรู้และแนวคิดต่าง ๆ รวมทั้งให้เมตตาสั่งสอนและชี้แนะประสบการณ์อันเป็นประโยชน์ อีกทั้งขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงรองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา บุญ-หลง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร และ ดร.อุทัย เซ็นภักดี ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อเสนอแนะข้อคิดเห็นที่มีค่า ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ คุณอนุชิต จิโรจน์โชติชัย กรรมการผู้จัดการบริษัทอินเตอร์ รับเบอร์ ลาเท็คซ์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานีซึ่งเป็นผู้อนุเคราะห์สิ่งทดลอง อุปกรณ์ ที่พัก พื้นที่การวิจัย พื้นที่ทำงาน ตลอดจนความช่วยเหลือในระหว่างการปฏิบัติงานในพื้นที่วิจัย รวมทั้งขอขอบคุณ คุณจิรพงศ์ กรัณย์วิทยาการและพนักงานของบริษัทอินเตอร์ รับเบอร์ ลาเท็คซ์ จำกัดทุกท่าน ที่ให้การดูแลและอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการดำเนินงานเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณเกริกชัย ธนรักษ์ นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ คุณวิชิต โสพิกุล คุณอารีรักษ์ ทรัพย์มี และเจ้าหน้าที่ภาคสนาม เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเคมี ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมัน สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7 จังหวัดสุราษฎร์ธานี หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่วิจัย ห้องปฏิบัติการ และเอื้อเฟื้อคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ด้วยความอนุเคราะห์ คำชี้แนะและรอยยิ้มจากหลายท่าน คุณพ่อสงวน คุณแม่ดวงดาว และพี่นัฐพล ทู้ไพเราะ คือกำลังใจและเสียงหัวเราะเสมอ ประโยชน์สุขอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่แผ่นดินที่ผู้เขียนเกิดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

1 บทนำ..... 1

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 อุตสาหกรรมเกษตร..... 4

2.2 ปาล์มน้ำมัน..... 23

2.3 การเติบโตของปาล์มน้ำมัน..... 32

2.4 ธาตุอาหารสำหรับปาล์มน้ำมัน..... 34

2.5 ความต้องการธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน..... 42

3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 48

3.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย..... 48

3.2 การออกแบบการทดลอง..... 48

3.3 การเตรียมการทดลอง..... 49

3.4 การเก็บตัวอย่าง..... 52

3.5 การดำเนินการทดลอง..... 52

3.6 ประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน (Recovery Effeciency, RE) 55

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ..... 55

4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 58

4.1 ปริมาณธาตุอาหารของของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร..... 58

4.2 ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน..... 65

หน้า

4.3 ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต่อปริมาณธาตุอาหารในดิน..... 74
4.4 ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต่อปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน... 96
4.5 การดูดดึงธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน..... 103
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 125
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 125
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 129
รายการอ้างอิง..... 130
ภาคผนวก..... 144
ภาคผนวก ก..... 145
ภาคผนวก ข..... 153
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 158

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ผลการวิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากขี้แป้ง.....	9
2.2	องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน (เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง).....	21
2.3	เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสภาพพื้นที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน.....	30
2.4	การประเมินคุณสมบัติทางเคมีของดินเบื้องต้น.....	31
2.5	การให้ปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมันอายุต่าง ๆ.....	34
2.6	ปริมาณความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันในช่วงอายุต่าง ๆ.....	42
2.7	ธาตุอาหารใน 1 ตันทะลายปาล์มน้ำมันสด.....	43
2.8	ค่าวิกฤตของธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันที่ปลูกภายใต้สภาวะการขาดน้ำที่ต่างกัน.....	46
3.1	ตำรับทดลองในการศึกษาผลการเติมสิ่งทดลองต่อปริมาณธาตุอาหารและการเติบโตของปาล์มน้ำมัน.....	49
3.3	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีของดินและของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต่าง ๆ.....	51
3.3	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบพืช.....	53
4.1	สมบัติทางเคมีของของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร.....	59
4.2	ผลของการเติมสิ่งทดลองต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน.....	69
4.3	สมบัติทางเคมีของดินก่อนเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร.....	75
4.4	สมบัติทางเคมีของดินหลังเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร.....	77
4.5	ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร.....	83
4.6	ผลของการเติมสิ่งทดลองต่อระดับธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน.....	97
4.7	ปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารของดินแต่ละตำรับทดลอง.....	105
4.8	ปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมันแต่ละตำรับทดลอง.....	117
4.9	ประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหารของแต่ละตำรับทดลอง (ร้อยละ).....	123

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	กระบวนการผลิตน้ำยางข้น.....	7
2.2	กระบวนการผลิตยางแท่งมาตรฐาน.....	10
2.3	กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม.....	14
2.4	ระดับธาตุอาหารในพืช การเติบโตและผลผลิต.....	44
3.1	การสังเกตและนับทางใบปาล์มน้ำมัน.....	56
3.2	การวัดความยาวทางใบ พื้นที่ทางใบ พื้นที่หน้าตัดแกนทางใบปาล์มน้ำมัน.....	57
4.1	ค่าสัมพัทธ์การเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน หลังเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้การเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันก่อนเติมสิ่งทดลอง เท่ากับ 100.....	72
4.2	ปริมาณสัมพัทธ์ของสมบัติทางเคมีของดินหลังเติมสิ่งทดลองเมื่อกำหนดให้สมบัติทางเคมีของดินก่อนเติมสิ่งทดลองเท่ากับ 100.....	79
4.3	ปริมาณสัมพัทธ์ของไนโตรเจนในดินหลังเติมสิ่งทดลองเมื่อกำหนดให้ไนโตรเจนในดินก่อนเติมสิ่งทดลองเท่ากับ 100.....	91
4.4	ปริมาณสัมพัทธ์ของฟอสฟอรัสในดินหลังเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้ฟอสฟอรัสในดินก่อนเติมสิ่งทดลองเท่ากับ 100.....	92
4.5	ปริมาณสัมพัทธ์ของโพแทสเซียมในดินหลังเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้สมบัติโพแทสเซียมในดินของดินก่อนเติมสิ่งทดลองเท่ากับ 100.....	93
4.6	ปริมาณสัมพัทธ์ของแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินหลังเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ของดินก่อนเติมสิ่งทดลองเท่ากับ 100.....	94
4.7	ปริมาณสัมพัทธ์ของสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินของดินก่อนเติมสิ่งทดลองเท่ากับ 100...	94
4.8	เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหาร (ก)ไนโตรเจน,(ข)ฟอสฟอรัส,(ค)โพแทสเซียม,(ง) แมกนีเซียม,(จ) โบรอนในใบปาล์มน้ำมันก่อนและหลังเติมสิ่งทดลอง.....	102
4.9	ปริมาณสัมพัทธ์ของการดูดดึงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์จากดิน เมื่อกำหนดให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของดินก่อนเติมสิ่งทดลองทดลอง เท่ากับ 100.....	111
4.10	ปริมาณไนโตรเจนหลังเติมสิ่งทดลอง.....	112

4.11	ปริมาณฟอสฟอรัสหลังเติมสิ่งทดลอง.....	113
4.12	ปริมาณโพแทสเซียมหลังเติมสิ่งทดลอง.....	114
4.13	ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้หลังเติมสิ่งทดลอง.....	115
4.14	ปริมาณสังดะสีที่เป็นประโยชน์หลังเติมสิ่งทดลอง.....	115
4.15	ปริมาณสัมพัทธ์ของการดูดดึงธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน เมื่อกำหนดให้ธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันก่อนเติมสิ่งทดลอง เท่ากับ 100.....	120
4.16	ประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน.....	124

.

บทที่ 1
บทนำ

ปาล์มน้ำมัน (*Elaesis guineensis*) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่ปลูกได้ดีในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น จึงเหมาะสมกับภาคใต้ของประเทศไทย (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และคณะ, 2551) ผลผลิตปาล์มน้ำมันในปัจจุบันเพียงพอต่อความต้องการในประเทศ อีกทั้งรัฐบาลได้ตั้งยุทธศาสตร์พลังงานทดแทน โดยเพิ่มพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 2.5 ล้านไร่ภายในปี 2551-2555 โดยส่งเสริมให้เพิ่มผลผลิตของปาล์มน้ำมันจาก 2.7 ตัน/ไร่ เป็น 3.3 ตัน/ไร่ สำหรับเป้าหมายการผลิตไบโอดีเซล 100% หรือ B 100 ได้กำหนดความต้องการใช้ไบโอดีเซลในปี 2555 สูงถึง 3.14 ล้านลิตร/วัน ซึ่งเป้าหมายดังกล่าวต้องใช้น้ำมันปาล์มดิบสูงถึง 0.87 ล้านตัน/ปี รัฐบาลจึงมีนโยบายสนับสนุนกล้าปาล์มน้ำมันพันธุ์ดีและมีคุณภาพให้เกษตรกรขยายพื้นที่เพาะปลูก และลดต้นทุนการผลิต เพื่อเป็นผู้ผลิตและส่งออกน้ำมันปาล์ม และเป็นแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนของประเทศ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2550; ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2552; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) ดังนั้นการปลูกปาล์มน้ำมันไปจนถึงอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มที่เพิ่มขึ้น จึงมีปริมาณของทิ้ง เช่นเส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ปาล์มน้ำมันเป็นจัดเป็นพืช ยืนต้นที่ต้องการธาตุอาหารสูง โดยมีการประมาณการใช้ธาตุอาหารสะสมในช่วง 9 ปีของการเติบโตไว้ดังนี้ ไนโตรเจน (N) 196-275 กก./ไร่ ฟอสฟอรัส (P) 32-43 กก./ไร่ โพแทสเซียม (K) 296-398 กก./ไร่ แมกนีเซียม (Mg) 50-67 กก./ไร่ และแคลเซียม (Ca) 84-115 กก./ไร่ (Tan, 1976)ต้นทุนด้านการจัดการสวนปาล์มน้ำมันเป็นค่าปุ๋ยอาจสูงถึงร้อยละ 60 ของค่าใช้จ่ายทั้งหมดดังนั้นการลดค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยต่อต้นลงได้แม้เพียงเล็กน้อยก็จะสามารถลดต้นทุนการผลิตต่อพื้นที่ลงได้มาก (เกริกชัย ธนรักษ์, 2547)

ของทิ้งจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มอาจเป็นสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อม หากมีการจัดการไม่เหมาะสม เนื่องจากการแปรรูปปาล์มน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ แล้ว จะเหลือเป็นส่วนของทิ้งประมาณร้อยละ 78-82 ได้แก่ ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน เส้นใยปาล์มน้ำมัน กากตะกอนน้ำเสีย (สลัดจ์) รวมถึงน้ำที่อยู่ในทะลายปาล์ม โดยเส้นใยปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นคิดเป็นร้อยละ 11 หรือ 539,330 ตัน/ปี (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2548; ธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2551) เส้นใยที่เหลือเป็นส่วนของเปลือกผลชั้นกลาง (mesocarp or pulp) ประกอบด้วยเส้นใยที่มีน้ำมันปาล์มอยู่มากมาย มีรงควัตถุพวก carotene จึงทำให้เห็นเป็นสีเหลืองเข้ม ความหนาของผลชั้นกลางโดยเฉลี่ยอยู่ในระหว่างร้อยละ 35-96 ของส่วนประกอบทั้งผล (Corley และ Wood, 1976) โดยเส้นใยปาล์มน้ำมันจะนำมาใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล อย่างไรก็ตามเส้นใยปาล์มน้ำมันมีปริมาณธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน

ร้อยละ 4.53-18.28 ฟอสฟอรัส ร้อยละ 0.13 โพแทสเซียม ร้อยละ 0.5เป็นต้น (กุลวดี ตรองพาณิชย์ และคณะ, 2550; ธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2551; อัญชลี โฆษิตขจรเดช,2550) ส่วนชีวมวลที่เหลือจากการผลิตน้ำมันจะถูกนำมาใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อเป็นแหล่งพลังงานร่วมในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนในโรงงาน ทำให้เกิดขี้เถ้าปาล์มน้ำมันจำนวนมาก ดังเช่นในประเทศมาเลเซียเพียงแห่งเดียว มีขี้เถ้าปาล์มน้ำมันเกิดขึ้นถึงปีละ 4 ล้านตัน (Foo และ Hameed, 2009) จตุพล ตั้งปกาศิต และคณะ (2548) พบว่าในประเทศไทยมีขี้เถ้าปาล์มน้ำมันสูงถึง 107,000 ตันต่อปี ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีลักษณะเป็นผงฝุ่น น้ำหนักเบา สามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย มีการนำมาใช้ประโยชน์น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในเรื่องการกำจัดทิ้งตามมา Prasertsan และ Prasertsan (1996) กล่าวว่า ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันนี้ประกอบด้วยฟอสฟอรัสร้อยละ1.7-6.6, โพแทสเซียมร้อยละ17-25 และแคลเซียมร้อยละ 7

ในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยนอกจากปาล์มน้ำมันแล้ว ยังมีอุตสาหกรรมเกษตรที่สำคัญคืออุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางพารา ในปี 2554 ประเทศไทยส่งออกสู่ตลาดโลกเป็นอันดับหนึ่ง มีผลผลิตน้ำยางข้นจำนวน 552,841 ตันน้ำยางแห้ง จากพื้นที่ 17,223,129 ล้านไร่ (กรมวิชาการเกษตร, 2554; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552ก) ของทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นคือกากขี้แป้ง (กากตะกอนยางพารา) เกิดขึ้นประมาณ 0.7-500 ตัน/เดือน (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์, 2551) หรือเฉพาะกรณีบริษัทอินเตอร์รับเบอร์ ลาเท็คซ์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีปริมาณกากขี้แป้งเกิดขึ้น 50 ตัน/เดือน เมื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารพบว่า กากขี้แป้งมีธาตุไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส (ในรูปของ P_2O_5), โพแทสเซียม (ในรูปของ K_2O) และแมกนีเซียม มีปริมาณโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง0.84-3.04, 7.75-29.31, 0.33-1.01 และ 5.24-12.24 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งตามลำดับ (ปนัดดา คำรัตน์, 2545; วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543; วลัยพร ผ่อนผัน, 2547; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ, 2552) ในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากกากขี้แป้งทั้งทางตรงและทางอ้อมร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียเพื่อการเกษตร พบว่าการใช้ กากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานไก่สดแช่แข็งเป็นวัสดุบำรุงดิน นอกจากนี้แล้วกากขี้แป้งยังมีคุณสมบัติช่วยในการปรับสภาพดินและช่วยทำให้ดินมี pH เป็นกลาง (วลัยพร ผ่อนผัน, 2547) และใช้ร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งทดแทนปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการเพาะชำยางชำถุงได้อย่างทัดเทียมหรือดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (สัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู, 2551) รวมทั้งปริมาณโลหะหนักในกากขี้แป้งอยู่ในระดับที่ยอมรับให้มีได้โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมทั้งในประเทศและต่างประเทศ (อรวรรณ ศิริรัตนพิริยะ และคณะ, 2552)

ข้อมูลกรมโรงงานอุตสาหกรรม (2550) ระบุว่าประเทศไทยมีกากตะกอนน้ำเสียของอุตสาหกรรมที่ไม่มีสารอันตราย ประมาณ 210,000 ตัน กรณีโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐาน บริษัทยางไทยปักษ์ใต้ จังหวัดนครศรีธรรมราช ก่อให้เกิดกากตะกอนน้ำเสียน้ำเสียประมาณ10 ตัน/ปี (กรมวิชาการเกษตร, 2552) การจัดการกากตะกอนน้ำเสียที่นิยมใช้ เช่น การฝังกลบ การนำไปเผา การนำมาใช้ในพื้นที่การเกษตร ป่าไม้และพื้นที่ใช้ประโยชน์อื่นๆ (Dai et al., 2007; Walter, Martinez และ Cala, 2006) การนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์นับเป็นการลดของเสีย (waste minimization) ที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเนื่อง เช่น นำมาเป็นวัสดุในการหมักปุ๋ย (ศิรินทรา วันดี และธนิยา เกาศล, 2551) กากตะกอนน้ำเสียช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้โครงสร้างดินดีขึ้น อีกทั้งยังเป็นแหล่งอินทรียสารที่เป็นธาตุอาหารของพืชที่ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2552)

ดังนั้นของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กากขี้แป้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น กากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐาน เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมันที่มีอยู่เป็นจำนวนมากแต่การใช้ประโยชน์ต่อเนื่องยังมีน้อย จึงน่าจะเป็นทางเลือกด้วยการหมุนเวียนธาตุอาหารที่มีอยู่ในของทิ้งที่กล่าวมาแล้วนั้นมาจัดการอย่างถูกต้องเหมาะสมเพื่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันซึ่งต้องการธาตุอาหารสูง แทนการปล่อยให้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเหล่านี้เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดมลพิษทางดิน ทางน้ำและทางอากาศ อีกทั้งสามารถลดการนำเข้าปุ๋ยเคมีจากต่างประเทศ รวมทั้งเป็นทางเลือกให้แก่เกษตรกรอีกด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันเมื่อใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งธาตุอาหาร
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมันเมื่อใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งธาตุอาหาร

บทที่ 2
การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมเกษตร

อุตสาหกรรมเกษตรเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบทางการเกษตร นับได้ว่ามีบทบาทสำคัญอย่างมากในการพัฒนาประเทศ อุตสาหกรรมเกษตรขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญ มีการจัดเตรียมวัตถุดิบในปริมาณมาก และเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ กระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยเป็นหลัก คือ อุตสาหกรรมยางพาราและอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ดังนี้

2.1.1 อุตสาหกรรมยางพารา

ยางพารา (*Hevea brasiliensis, Mull*) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยและภูมิภาคอาเซียน ด้วยปริมาณการผลิต 3.16 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 40.75 ของปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของโลก พื้นที่ปลูกยางรวมทั้งสิ้นประมาณ 18 ล้านไร่ โดยภาคใต้มีพื้นที่ปลูกยางพารามากที่สุด รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกและภาคเหนือ ตามลำดับ ปัจจุบันแนวโน้มของปริมาณการผลิตยางจากปี 2551-2552 เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 7.73 และขยายตัวขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากการตั้งเป้าหมายพัฒนาประเทศไปสู่การเป็นดีทรอยด์แห่งเอเชีย ประเทศไทยส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดในโลก แต่เป็นการส่งออกในรูปวัตถุดิบถึงร้อยละ 86.15 ของปริมาณยางธรรมชาติที่ผลิตได้ทั้งหมด ดังนั้นนอกจากยางแผ่นรมควันที่มีปริมาณการใช้สูงสุดแล้ว อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นและยางแท่งมาตรฐานก็มีบทบาทสำคัญเช่นเดียวกัน (กรมวิชาการเกษตร, 2554)

2.1.1.1 อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ส่งออกให้กับประเทศไทยเป็นอันดับสอง รองจากข้าว ผลิตภัณฑ์แปรรูปยางพาราที่สำคัญ คือ อุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น เป็นการแปรรูปน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางข้นเพื่อเป็นวัตถุดิบต่อไป ผลิตได้ประมาณ 540,000 ตัน มูลค่าการส่งออกประมาณ 50,000 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) ตลาดส่งออกยางธรรมชาติที่สำคัญของไทย ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น มาเลเซีย สหรัฐอเมริกา เกาหลีและ EU ขณะเดียวกันแนวโน้มจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมยางรถยนต์ทั้งใน จีน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และรัสเซีย ส่งผลให้ยางธรรมชาติในตลาดโลกจะมีแนวโน้มความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยการผลิตของประเทศไทยยังคงเป็นผู้ส่งออกสำคัญของโลกและมีเป้าหมายพัฒนาให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางอุตสาหกรรมยางของภูมิภาค

น้ำยางสดมีลักษณะเป็นของเหลวขุ่นคล้ายน้ำนม มีอนุภาคขนาด 0.05-0.5 ไมครอน ส่วนประกอบต่าง ๆ ในน้ำยางสดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือส่วนที่เป็นเนื้อยางร้อยละ 35 และส่วนที่ไม่ใช่ยางร้อยละ 65 แบ่งเป็นส่วนที่เป็นน้ำร้อยละ 55 และส่วนของลูทอยด์และสารอื่นร้อยละ 10 (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2543) น้ำยางสดมีปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) ร้อยละ 25-45 จึงต้องนำมาแปรรูปให้อยู่ในรูปของน้ำยางข้นให้มีปริมาณเนื้อยางแห้งไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 เพื่อให้เหมาะสมต่อการเป็นวัตถุดิบและมีคุณภาพสม่ำเสมอกว่าน้ำยางสด วิธีการผลิตน้ำยางข้นในประเทศไทย ใช้วิธีปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง ขั้นตอนการผลิตดังภาพที่ 2.1 มีการเติมสารเคมีคือ แอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ของน้ำยางทั้งหมด และ TMTD/ZnO ร้อยละ 0.025 ของน้ำยางทั้งหมด เพื่อรักษาสภาพน้ำยางสดจากแบคทีเรียที่มีอยู่ในบรรยากาศหรือตาเปลือกของต้นยาง (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2543) และปรับสภาพด้วย diammonium hydrogen phosphate (DAP) เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสด ตกตะกอนเป็นตม (sludge) สีน้ำตาลและสีขาวแยกออกจากเนื้อยางดังสมการ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

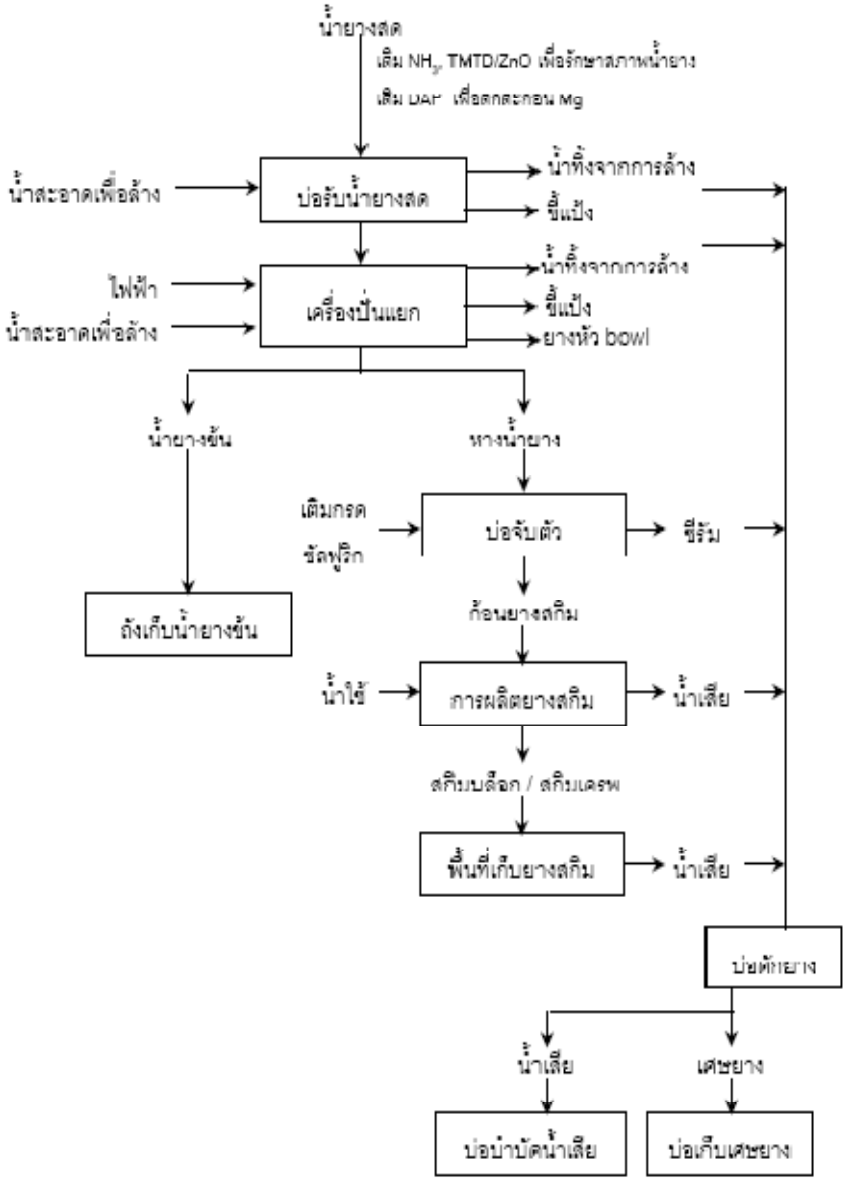
$$Mg^{2+} + NH_3 + HPO^{2-}_4 \longrightarrow MgNH_4PO_4$$

ปริมาณการใช้ DAP ขึ้นอยู่กับปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสด กระบวนการผลิตก่อให้เกิดน้ำเสีย ปัญหากลิ่นเหม็นจากระบบบำบัด กลิ่นแอมโมเนีย และของเสียของแข็งที่ไม่อยู่ในรูปเนื้อยาง หรือที่เรียกว่า กากขี้แป้งซึ่งเป็นของแข็งที่เป็นส่วนประกอบในน้ำยางสดเมื่อถูกทำให้แห้งจะมีลักษณะเป็นผงคล้ายผงแป้งจึงนิยมเรียกกันว่า “ขี้แป้ง” เกิดจากการตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางข้นมีลักษณะเป็นตม สีขาวหรือสีเหลืองอ่อน มีแมกนีเซียมและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ถือเป็นแห่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญในภาคใต้ของประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2548; สัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู, 2551)

แอมโมเนียเป็นสารเคมีสำคัญที่กีดขวางการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปะปนในน้ำยางสด พิจารณาสภาพน้ำยางได้จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนกรดไขมันระเหย (volatile fatty acid) ซึ่งจะบ่งชี้สภาวะการเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำยาง แต่การใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยในระยะยาวได้ ดังนั้นจึงต้องการสารเคมีซึ่งเป็น secondary preservative เช่น ZnO, tetra methyl thiuran disulphide (TMTD) เป็นต้น ร่วมกับแอมโมเนีย (กรมวิชาการเกษตร, 2531)

กากขี้แป้งที่เกาะรวมกันอยู่ที่ชั้นล่างสุดของเครื่องหมุนเหวี่ยง ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องลดลง จึงต้องหมั่นถอดล้างเอาตมกากขี้แป้งเหล่านี้ออกทุก ๆ 2-3 ชั่วโมง ทิ้งหรือกองสะสมไว้เป็นกากของเสียสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น เกิดขึ้นประมาณ 0.7-500 ตัน/เดือน หรือคิดเป็นอัตราการเกิดกากขี้แป้งต่อน้ำยางข้นที่ผลิตได้ในสัดส่วนระหว่าง 0.6-50 กิโลกรัมกากขี้แป้ง/ตันน้ำยางข้น ประเทศไทยมีกำลังการผลิตน้ำยางข้นสูงสุดเป็นอันดับหนึ่งของโลก ก่อให้เกิดกากขี้แป้งมากถึงประมาณ 10,000 ตัน/ปี (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554) โรงงานส่วนใหญ่มักกำจัดของเสียที่มีความชื้นสูงนี้โดยการนำไปทิ้ง เผา หรือนำไปถมที่ ไม่เพียงแต่เป็นการเพิ่มรายจ่ายในการจัดซื้อที่ดินมากขึ้นเรื่อย ๆ ยังส่งผลเสียต่อภาพลักษณ์ของโรงงานและเกิดปัญหาต่อบริเวณใกล้เคียง ในปัจจุบันได้มีบางโรงงานนำไปทำเป็นปุ๋ยสำหรับสวนปาล์มน้ำมัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2548; ปนัดดา คำรัตน์, 2545; มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2545)

สำหรับบริษัทอินเตอร์รับเบอร์ลาเท็กซ์ จำกัด ตั้งอยู่ที่อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีปริมาณกากขี้แป้งเกิดขึ้นโดยเฉลี่ย 5,678 กิโลกรัม/วัน จากกำลังการผลิตประมาณ1,667 ตัน/วัน เทียบได้เท่ากับ 3.34 กิโลกรัมกากขี้แป้ง/ตันน้ำยางข้น (กรมวิชาการเกษตร, 2552; ปนัดดา คำรัตน์, 2545) เมื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารพบว่า กากขี้แป้งมีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส (ในรูปของ P_2O_5) โพแทสเซียม (ในรูปของ K_2O) และแมกนีเซียมโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.84-3.04, 7.75-29.31, 0.33-1.01 และ 5.24-12.24 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งตามลำดับ (ปนัดดา คำรัตน์, 2545; วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543; วลัยพร ผ่อนผัน, 2547; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ, 2552)



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากกากขี้แป้งทั้งทางตรงและทางอ้อมร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียเพื่อการเกษตร พบว่า โดยใช้กากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาของโรงงานไก่สดแช่แข็งเป็นวัสดุบำรุงดิน นอกจากนี้แล้วกากขี้แป้งยังมีคุณสมบัติช่วยในการปรับสภาพดินและช่วยทำให้ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นกลาง (วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543; วลัยพร ผ่อนผัน, 2547) รวมทั้งสามารถใช้กากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานอาหารทะเลเพื่อทดแทนเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ได้อย่างเท่าเทียมและดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ และปลอดภัยจากโลหะหนัก (แคดเมียม นิกเกิล ตะกั่ว) รวมทั้งได้ประโยชน์จากโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุ

อาหาร (ทองแดง แมงกานีส เหล็ก สังกะสี) ซึ่งเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับการเติบโต (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ, 2552) สมบัติและองค์ประกอบของกากขี้แป้ง ดังแสดงในตารางที่ 2.1

จากตารางที่ 2.1 กากขี้แป้งมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงมากเมื่อเทียบกับเกณฑ์ของกองจำแนกดินกรมพัฒนาที่ดิน และมีปริมาณธาตุอาหารหลักอยู่ในระดับสูง รวมทั้งไม่มีความกังวลเรื่องการปนเปื้อนโลหะหนักในกากขี้แป้งเมื่อเทียบกับปริมาณที่ยอมรับได้ในประเทศต่างๆ (สัตตะพงศ์ ซอบกตัญญู, 2551; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ,2552) แต่กากขี้แป้งที่เกิดขึ้นเป็นของเสียที่มีความชื้นสูง แม้ในทางปฏิบัติ บางโรงงานจะนำไปเป็นปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมันเนื่องจากกากขี้แป้งมีองค์ประกอบเป็นธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ปนัดดา คำรัตน์, 2545; วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543) อย่างไรก็ตามในกากขี้แป้งมีสังกะสีปนเปื้อนอยู่และมีเนื้อยางปนเปื้อนอยู่เป็นจำนวนมาก เนื้อยางในกากขี้แป้งอาจทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงได้ในระยะยาว เพราะเนื้อยางย่อยสลายได้ค่อนข้างยากและอาจเกิดการอุดตันบนผิวดินหรือระหว่างดิน ทำให้การดูดซับน้ำของดินน้อยลงได้ (วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543) ในปัจจุบันพบว่าสามารถแยกเนื้อยางออกจากกากขี้แป้งเพื่อสร้างรายได้เพิ่มเติมแก่โรงงานและลดภาระในการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ากากขี้แป้งมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับพืช เนื่องจากมีปริมาณอินทรียวัตถุ และไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูง เมื่อผ่านกระบวนการแยกเนื้อยางออกก็สามารถนำกากขี้แป้งไปใช้ได้ง่ายขึ้น รวมทั้งลดปริมาณกากขี้แป้งเกิดขึ้นทุกวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นทางเลือกหนึ่งในการลดค่าใช้จ่ายให้กับเกษตรกรและจัดการของทิ้งให้เกิดประโยชน์

ตารางที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากขี้แป้ง

สมบัติทางเคมี		กากขี้แป้ง						
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]
ความเป็นกรดเป็นด่าง (กากขี้แป้ง :น้ำ = 1:10)		N/A	N/A	7.89	7.38-7.74	8.31	8.56	6.46 (1:1)
อินทรียวัตถุ (%)		N/A	10.85	21.64	N/A	23.76	N/A	2.2
คาร์บอน (%)		N/A	33.67	N/A	N/A	11.83	N/A	1.28
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)		N/A	N/A	N/A	N/A	10.03:1	N/A	0.47
ธาตุอาหารหลัก	ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	2.14-2.06	3.04	2.81	3.31	1.18	2.31	4.3
	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5: mg/kg)	21,600 -19,600	77,500	1,785.09	10,100	15,702.13	19,410	100,000
	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O: mg/kg)	21,000 -18,000	1,600	30,400.8	14,690	1,398.00	1,510	7,000
ธาตุอาหารรอง (mg/kg)	แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	7,560-5,310	N/A	N/A	12,240	0.20 me/100g	5,240	89,000
โลหะหนักที่เป็นธาตุจำเป็น (mg/kg)*	ทองแดง (Cu)	N/A	N/A	N/A	N/A	1.08(1.30)	N/A	N/A
	แมงกานีส (Mn)	N/A	N/A	N/A	N/A	1.40(2.63)	N/A	N/A
	เหล็ก (Fe)	N/A	N/A	N/A	N/A	13.10(45.75)	N/A	N/A
	สังกะสี (Zn)	N/A	0.001	84.00	0.63	120(150)	1.05	113.1
โลหะหนักที่เป็นธาตุพิษ (mg/kg)*	แคดเมียม (Cd)	N/A	N/A	N/A	N/A	<0.10	N/A	N/A
	ตะกั่ว (Pb)	N/A	N/A	N/A	N/A	0.25(0.50)	N/A	N/A
	นิกเกิล(Ni)	N/A	N/A	N/A	N/A	0.50(1.00)	N/A	N/A

หมายเหตุ < 0.10 หมายถึง Detection limit ของเครื่อง Atomic absorption Spectrophotometer สำหรับวิเคราะห์ Cd = 0.10 ppm

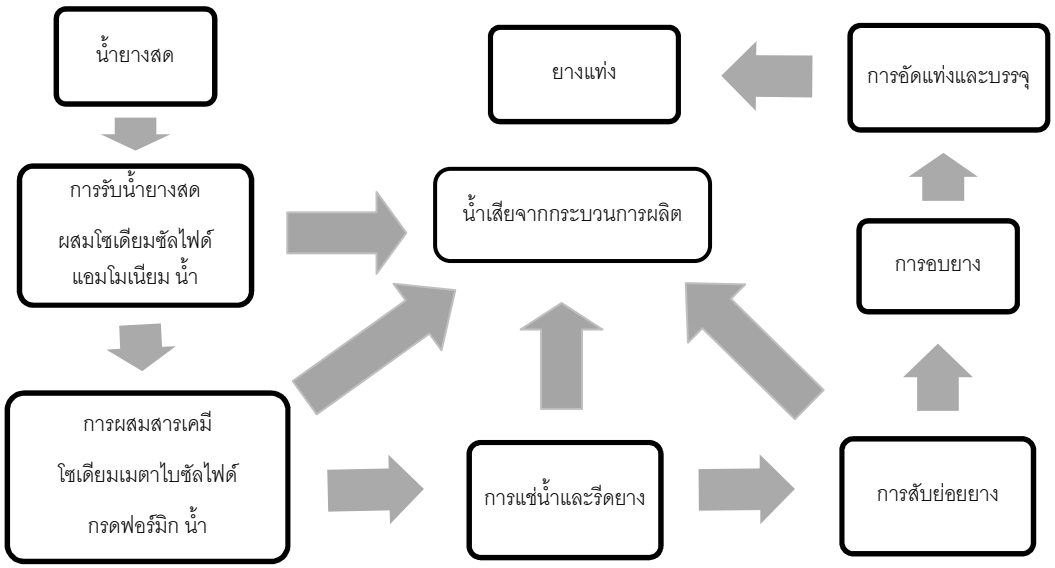
N/A หมายถึง ไม่รายงานตัวเลข

*ปริมาณโลหะหนักที่พืชดูดดึงได้ และปริมาณโลหะหนักทั้งหมด แสดงค่าตัวเลขในวงเล็บ

ที่มา; [1]วราศรี เถกประสิทธิ์ (2543), [2]ปนัดดา คำรัตน์ (2545), [3]วลัยพร ผ่อนผัน (2547), [4]เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี และคณะ (2547), [5]สมทิพย์ ด่านธีรทิพย์ (2551), [6]อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ , สุธน ช่วยเกิด และสัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู (2552), [7]คณาวุฒิ อินทร์แก้ว (2552)

2.1.1.2 **อุตสาหกรรมผลิตยางแท่งมาตรฐาน**(STR, Standard Thailand Rubber **หรือ** Block Rubber)

อุตสาหกรรมผลิตยางแท่งมาตรฐาน (Standard Thai Rubber หรือ Block Rubber) เป็นอุตสาหกรรมแปรรูปยางพาราที่สำคัญเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ยางต่อไป ยางแท่งมาตรฐานเป็นการแปรรูปน้ำยางสดเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานและการขนส่ง จากสถิติการส่งออกยางแท่งมาตรฐานปี 2553 ส่งออกได้ประมาณ 930,000 ล้านตัน มีมูลค่าประมาณ 96,600 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) ยางแท่งมาตรฐานเป็นที่ต้องการเนื่องจากมีคุณภาพสม่ำเสมอกว่ายางแผ่นรมควัน ผ่านการรับรองและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ กระบวนการผลิตยางแท่งมาตรฐานในประเทศไทยยังใช้วิธีดั้งเดิม คืออบยางให้แห้งด้วยเตาอบความร้อน (hot air) วัตถุดิบที่ใช้ผลิตยางแท่งมาตรฐานใช้ได้ทั้งน้ำยางสดที่ต้องทำให้จับตัวก่อนและยางแห้งที่จับตัวแล้ว เช่น ยางแผ่นดิบยางก้อน ยางถ้วย เศษยางก้นถ้วยและเศษยางอื่น ๆ ขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตคือตัดย่อยยางดิบให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ อย่างรวดเร็ว ล้าง อบให้แห้งและอัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาด 33.3 กิโลกรัม กระบวนการการผลิตยางแท่งมาตรฐานแสดงไว้ในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กระบวนการผลิตยางแท่งมาตรฐาน (สถาบันวิจัยยาง, 2553)

แนวโน้มการผลิตมีปริมาณเพิ่มขึ้นโดยตลอด ทำให้มีน้ำเสียจากกระบวนการผลิต การล้างทำความสะอาด ฯลฯ ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาซึ่งเกิดกากตะกอนน้ำเสีย (sludge) เป็นจำนวนมากและจะต้องทำการบำบัดก่อนที่จะนำไปกำจัดต่อไป การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาเป็นกระบวนการ

ที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายประเภท ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนน้ำเสียอยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ หากยังอยู่ในรูปที่ไม่คงตัวจะมีกลิ่นเหม็น เกิดก๊าซและความร้อนจากการย่อยสลายกากตะกอนน้ำเสียของจุลินทรีย์ สำหรับองค์ประกอบทางเคมีจะขึ้นอยู่กับประเภทของโรงงาน ความซับซ้อนของกระบวนการผลิต กระบวนการบำบัดน้ำเสียและกระบวนการบำบัดตะกอน (ดาวรุ่ง สังข์ทอง, 2539; EC, 2000)

ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมคือการระบบบำบัดแบบเติมอากาศและไร้อากาศ แต่ในปัจจุบันวิธีการบำบัดเน้นการประยุกต์เพื่อลดปริมาณน้ำและความเป็นพิษ (EC, 2000) ผลการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐานด้วยกระบวนการชีวภาพโดยใช้ระบบเติมอากาศและระบบบ่อธรรมชาติ พบว่าน้ำเสียจากบ่อบำบัดอากาศมีภาระ BOD_5 ของบ่อบำบัดสูงถึง 206 กก./1,000 ตร.ม.ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD_5 ร้อยละ 55.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอยร้อยละ 25.2 และแอมโมเนียมไนโตรเจนร้อยละ 25.1 น้ำเสียจากบ่อบำบัดสุดท้ายอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำเสีย และต้องทำการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด (ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล และคณะ, 2545)

ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ระบบบำบัดรับเข้ามา เหมาะสมต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ทำให้ได้ตะกอนซึ่งประกอบด้วยตะกอนจุลชีพกับตะกอนอินทรียสาร การบำบัดกากตะกอนน้ำเสียสามารถทำได้หลายวิธีเพื่อลดปริมาณ กลิ่นและเชื้อโรค ในปัจจุบันนิยมใช้กระบวนการทำให้แห้งด้วยความร้อนด้วยวิธีการอบแห้ง (sludge thermal-drying) เป็นวิธีหนึ่งที่ลดปริมาณน้ำและจุลินทรีย์ก่อโรคได้ดี ดังนั้นจึงช่วยลดค่าขนส่งและมั่นใจได้ว่าปลอดภัยจากความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อโรคสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งง่ายต่อการนำไปปรับประยุกต์ใช้ (ชัชชาย แจ่มใส และจักรกฤษณ์ หอมจันทร์, 2554; Dai et al., 2007; Ramirez et al., 2008; Walter et al., 2006)

ประเทศไทยมีกากตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ไม่มีสารอันตรายประมาณ 210,000 ตัน/ปี (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) กรณีโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐาน บริษัทยางไทยปักษ์ใต้ จังหวัดนครศรีธรรมราช มีกำลังการผลิต 3,000 ตัน/เดือน ก่อให้เกิดกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียประมาณ 10 ตัน/เดือน (กรมวิชาการเกษตร, 2552) และมีแนวโน้มเพิ่มปริมาณมากขึ้น จึงได้มีการหาทางเลือกใหม่ในการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียให้ได้มากที่สุด วิธีที่มีความยืดหยุ่นสูงในทางปฏิบัติคือ นำมาทดแทนปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ หรือเป็นวัสดุปรับปรุงดิน กากตะกอนน้ำเสียของโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐานมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างเฉลี่ย 6.7 ขนาดของกากตะกอนน้ำเสียอยู่ในช่วง 0.3-0.5 มม. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 270:1-390:1

(ศิรินทรา วันดี และธนิยา เกาศล, 2551) เห็นได้ว่ากากตะกอนน้ำเสียของโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐานมีปริมาณคาร์บอนสูง จำเป็นต้องเติมปุ๋ยไนโตรเจนหรือหมักกับเศษพืชก่อนนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

ปัจจุบันกากตะกอนน้ำเสียประมาณร้อยละ 50 ถูกนำมาใช้เป็นปุ๋ย อีกร้อยละ 25 นำไปฝังกลบและที่เหลือจะนำไปเผาทิ้ง แต่แนวทางการกำจัดด้วยวิธีการเผาทิ้ง การนำไปฝังกลบนั้น อาจก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ การเปลี่ยนทัศนคติของคนส่วนใหญ่และการเข้มงวดกฎระเบียบทำให้การฝังกลบและเตาเผาลดความนิยมลง (EC, 2000; Ramirez et al., 2008) โดยทั่วไปเมื่อปรับสภาพกากตะกอนน้ำเสียแล้ว สามารถนำมาใช้ถมที่ปรับปรุงดินหรือทำปุ๋ยใช้ประโยชน์ได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม กากตะกอนน้ำเสียที่จะนำไปใช้เป็นปุ๋ยบำรุงดินจะต้องคงตัว (stable) ก่อนนำไปใช้เพื่อป้องกันการเกิดสภาพมลภาวะ กลิ่นไม่พึงประสงค์หรือความเสี่ยงจากจุลินทรีย์ ดังนั้นการนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร (land application) จึงเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง (Dai et al., 2007; EC, 2000; Ramirez et al., 2008)

2.1.2 อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน

ในปี 2553 ประเทศไทยมีผลผลิตปาล์มน้ำมัน ประมาณ 8,220,000 ตัน คิดเป็น 2.3 ตัน/ไร่ โดยประเทศไทยมีสัดส่วนเพื่อการบริโภค 0.87 ล้านตัน และเพื่อการผลิตไบโอดีเซล 0.38 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร,2553) ดังนั้นหลังจากการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันและขนส่งเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม จะมีกระบวนการสกัด 2 แบบคือ แบบมาตรฐาน (หีบแยก) และแบบหีบน้ำมันผสม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วโรงงานที่มีกำลังผลิตสูงประมาณ 30-80 ตัน/ชั่วโมง จะใช้วิธีแบบมาตรฐานเพื่อให้ได้น้ำมันปาล์มคุณภาพสูง ส่วนโรงงานที่มีกำลังผลิตค่อนข้างต่ำจะใช้วิธีแบบหีบน้ำมันผสม ทำให้ได้น้ำมันปาล์มผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ดังนั้นวิธีการสกัดที่นิยมคือแบบมาตรฐาน ประกอบด้วย 4 กระบวนการหลักคือ

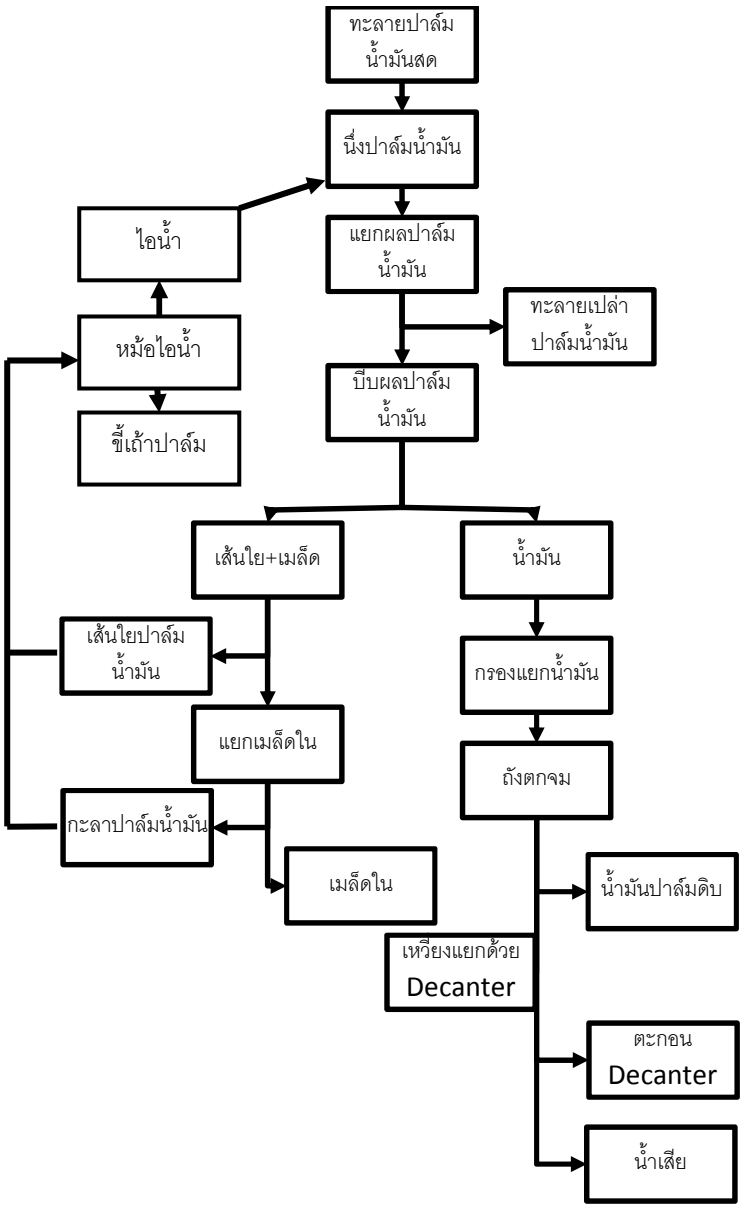
1) การอบทะลายปาล์มน้ำมันด้วยไอน้ำ (sterilization) เพื่อช่วยหยุดปฏิกิริยาไลโปไลซิสซึ่งทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมัน และช่วยให้ผลปาล์มน้ำมันอ่อนนุ่ม หลุดจากขั้วได้ง่าย โดยอบที่อุณหภูมิ 130-135 ^{o}C ความดัน 2.5-3 bars นาน 50-75 นาที

2) การแยกผล (stripping) เป็นการแยกผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลายปาล์มน้ำมัน ทะลายเปล่าจะถูกแยกออกไป ส่วนผลปาล์มน้ำมันจะถูกย่อยด้วยเครื่องย่อย เพื่อให้ส่วนเปลือกแยกออกจากเมล็ด

3) การสกัดน้ำมัน (oil extraction) เป็นการแยกน้ำมันปาล์มดิบออกจากเปลือกปาล์มน้ำมัน โดยการอบเปลือกปาล์มน้ำมันที่อุณหภูมิ 90-100 °C นาน 20-30 นาที แล้วผ่านเข้าเครื่องหีบแบบเกลียวคู่ องค์ประกอบน้ำมันปาล์มที่ได้คือ น้ำมันปาล์มประมาณร้อยละ 66 น้ำร้อยละ 24 และของแข็งร้อยละ 10

4) การทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (clarification) เป็นการแยกน้ำและของแข็งออกจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ถังกรอง แล้วส่งเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อไล่น้ำและทำความสะอาดอีกครั้ง และเก็บน้ำมันปาล์มดิบที่ได้เพื่อรอการกลั่นหรือจำหน่ายต่อไป ลักษณะของน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนบน มีสีส้มแดง (crude palm oli) ประมาณร้อยละ 30-50 และส่วนล่างมีเหลืองส้ม (crude palm oil stearin) ประมาณร้อยละ 50-70

ส่วนกากผลปาล์มน้ำมันจะถูกแยกเส้นใยปาล์มน้ำมันออกจากเมล็ด แล้วนำเมล็ดที่ได้มาอบแห้งเพื่อนำเข้าเครื่องกะเทาะแยกกะลาปาล์มน้ำมัน (shell) ออก จากนั้นอบแห้งเมล็ดใน (kernel) ให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 เพื่อรอจำหน่ายหรือหีบน้ำมันต่อไป



ภาพที่ 2.3 กระบวนการสกัดน้ำมัน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554)

นอกจากจะสามารถแปรรูปปาล์มน้ำมันโดยผ่านกระบวนการโอลิโอเคมีคอล (oleochemical) จนได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสารประกอบทางเคมีชนิดต่าง ๆ มากมายและนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนั้นไปใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ ทั้งด้านอุปโภคบริโภค เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เภสัชกรรม น้ำมันหล่อลื่น ไบโอดีเซล เป็นต้น

2.1.3 การใช้ประโยชน์ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ในปัจจุบันทิศทางของอุตสาหกรรมเกษตรมีลักษณะเชิงระบบครบวงจร ทำให้มีของทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร (residue or waste) ซึ่งเป็นส่วนของวัตถุดิบ (raw material) อยู่ในรูปของแข็งและของเหลว มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและหลากหลายตามกำลังผลิต ของทิ้งเหล่านี้เป็นแหล่งทรัพยากรที่มีมูลค่าเนื่องจากยังมีสารอินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมากแต่ไม่คุ้มทุนที่จะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ (product) อาจก่อให้เกิดปัญหามลพิษหากไม่มีการจัดการที่ดี การนำไปใช้ประโยชน์อาจต้องใช้ระยะเวลาในการรอผลสำเร็จ เนื่องจากส่วนที่ดีที่สุดและใช้ประโยชน์ได้ง่ายและมากที่สุดถูกนำไปใช้ประโยชน์ก่อนหน้านี้แล้ว (นิธิยา รัตนาปนนท์ และไพโรจน์ วิริยจารี, 2547; อำพิน กันธิยะ, 2552)

กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเกษตร จะได้ผลจากอุตสาหกรรมเกษตร ดังนี้

- ผลิตภัณฑ์ (product) เป็นจุดประสงค์หลักของการผลิต
- ผลพลอยได้ (by-product) คือสิ่งที่ได้จากการแปรรูปวัตถุดิบ สามารถนำไปแปรรูปเพื่อเพิ่มราคาได้ แม้ว่าจะไม่ได้ดำเนินการต่อไปก็สามารถขายได้ เช่น กากน้ำตาล กากถั่วลิสง ปลายข้าว รำ ฟาง แกลบ ชานอ้อย เศษกุ้ง เศษปลา เศษยาง เป็นต้น
- ของทิ้ง (waste) คือวัสดุเหลือใช้ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอีกอย่างหนึ่ง เช่น กากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสีย เปลือกข้าวโพด เปลือกสับปะรด ยอดอ้อย ใบมันสำปะหลัง เป็นต้น

กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเกษตร มีวัตถุดิบหลักคือผลผลิตทางการเกษตร สิ่งที่เกิดขึ้นนอกจากผลิตภัณฑ์คือผลพลอยได้และของทิ้ง แต่ละโรงงานพยายามลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดและป้องกันมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมตามข้อบังคับของกฎหมาย ทำให้ต้องหาทางใช้ประโยชน์ก่อนกำจัดทิ้ง เพื่อลดปริมาณของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม และเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด เป็นการเพิ่มรายได้และลดต้นทุนในการกำจัดของทิ้งเหล่านั้นอีกทางหนึ่ง ตัวอย่างการนำของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรมาใช้ประโยชน์ที่เห็นได้ทั่วไป เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงหรือเปลี่ยนให้เป็นก๊าซหรือเชื้อเพลิงเหลว ใช้เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง ใช้ทำปุ๋ยอินทรีย์ ผลิตสารสกัดหรือน้ำมันหอมระเหย ผลิตกระดาษ วัสดุทดแทนไม้ โฟมย่อยสลายได้ วัสดุกันกระแทก วัสดุเพาะชำพืช เป็นต้น

2.1.3.1 การใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมยางพาราเพื่อการเกษตร

การใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อการเกษตร (land application) ได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาการจัดการของเสียได้ดี กระบวนการผลิตยางแท่งมาตรฐานย่อมเกิดกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสีย และเกิดกากขี้แป้งซึ่งเป็นกากตะกอนน้ำยางธรรมชาติจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักในการใช้กากตะกอนน้ำเสียทางการเกษตร มีดังนี้

- ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวภาพของดิน

กากตะกอนน้ำเสียมีปริมาณอินทรียวัตถุที่ช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของดินอยู่เป็นจำนวนมาก อินทรียวัตถุจะช่วยเพิ่มรูพรุนขนาดใหญ่ตั้งแต่ 50-500 μm พบว่ามีความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างขนาดรูพรุนของดินกับกิจกรรมของเอมไซม์ในดิน เพิ่มความชื้นและเพิ่มกระบวนการ mineralization โดยมีกิจกรรมจุลินทรีย์มากขึ้น (ดวงสมร ตุลาพิทักษ์, เทพฤทธิ์ ตุลาพิทักษ์ และแก้วใจ อ้อชัยภูมิ, 2551; สัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู, 2551; Ojeda et al., 2006; Ramirez et al., 2008)

กากตะกอนน้ำเสียช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้ความหนาแน่นโดยรวมของดินลดลง เพิ่มความเสถียรของการเกิดเม็ดดินและรักษาเนื้อดินให้คงอยู่ เพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (สัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู, 2551; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ, 2552; Loveland และ Webb, 2003)

- เพิ่มธาตุอาหารในดิน

กากตะกอนน้ำเสียเป็นแหล่งธาตุอาหารที่ดีของพืชโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียลงดิน กระบวนการ mineralization จะเปลี่ยนอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนอย่างต่อเนื่องจากกระบวนการของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นผลดีต่อพืชที่ปลูก โดยพืชสามารถนำไนโตรเจนจากกากตะกอนน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ได้ประมาณร้อยละ 60 (Warman, 1986) กากตะกอนน้ำเสียจะมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงเมื่อเทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสในดินตามธรรมชาติ ดังนั้นแม้ว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียลงดินจะช่วยเพิ่มธาตุอาหาร แต่ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มากเกินไปอาจลดความเป็นประโยชน์ของทองแดง เหล็กและสังกะสีในดิน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับอัตราการใส่กากตะกอนน้ำเสียให้เหมาะสม หากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของกากตะกอนน้ำเสียต่ำกว่า 10:1 จุลินทรีย์จะสามารถเปลี่ยนอินทรียสารเป็นอนินทรียสาร

ได้ดี หากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงกว่า 30:1 อัตราการสลายอินทรียวัตถุจะเกิดขึ้นช้าหรือเกิดการดึงดูดไนโตรเจนในดินขึ้นมาใช้ (immobilization) เป็นเวลาชั่วคราว ทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (ธวิโรจน์ ตันนุกิจ, 2545; ประพิศ แสงทอง และสุรสิทธิ์ อรรถาจารุสิทธิ์, 2544; ศิราณี ศิริสุโขดม, 2535; Martinez et al., 2003; Ramirez et al., 2008;)

อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของสารโลหะหนักนั้นเป็นปัจจัยที่ต้องคำนึง (Walter et al., 2006) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด หากการบำบัดต่ำกว่ามาตรฐานหรือลักษณะการรวบรวมน้ำเสียไม่เหมาะสมก็ไม่ควรนำกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ในพื้นที่เกษตรกรรม การศึกษาการใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศแคนาดา พบว่าเมื่อย่อยสลายกากตะกอนน้ำเสียด้วยระบบเติมอากาศแล้วปรับเสถียรทางเคมี กากตะกอนจะมีฟอสฟอรัสเข้มข้นขึ้นและโลหะหนักลดความเข้มข้นลง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่เกษตรกรรมได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านวิธีการย่อยสลายแบบไร้อากาศเพียงอย่างเดียว (Viraraghavan และ Lonescu, 2002) ทว่าการศึกษาของ Wang (1997) พบว่าการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียของประเทศจีนยังเป็นปัญหา เนื่องจากกระบวนการการบำบัดและการกำจัดกากตะกอนน้ำเสียยังมีราคาสูงและไม่เหมาะสม จึงเกิดการปนเปื้อนโลหะหนักสารอินทรีย์ที่เป็นพิษและเชื้อโรคสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย ดังนั้นการศึกษาหาองค์ประกอบของธาตุอาหารที่มีอยู่ในกากตะกอนน้ำเสียจึงมีความจำเป็น เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลังการใช้ก็จะสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้

ปริมาณกากตะกอนน้ำเสียที่จะใช้เพื่อการเกษตร มักกำหนดตามหลักเศรษฐศาสตร์การเกษตร (agronomic rate) คือคำนวณจากปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสในกากตะกอนน้ำเสียไม่เกินอัตราปุ๋ยที่แนะนำในแต่ละปีของพืชนั้น ๆ เนื่องจากจะไม่เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำใต้ดิน หรือเกิดผลกระทบไม่แตกต่างจากปุ๋ยทั่วไป หากกากตะกอนน้ำเสียมีปริมาณโลหะหนักมากกว่ากำหนด (ตารางที่ ผ.6 และ ผ.9) จะถือว่าเป็นกากตะกอนน้ำเสียคุณภาพต่ำไม่ควรใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร อีกทั้งการเพิ่มธาตุอาหารในดินขึ้นอยู่กับอัตราการใส่กากตะกอนน้ำเสียมากกว่าชนิดของกากตะกอนน้ำเสียที่ใส่ลงดิน ผลผลิตพืชจะสูงขึ้นตามอัตราการใส่กากตะกอนน้ำเสียในระดับหนึ่ง แต่ผลผลิตจะลดลงเมื่ออัตราการใส่กากตะกอนน้ำเสียสูงเกินไป เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีบางอย่างของกากตะกอนน้ำเสียมีความเข้มข้นสูงจนเป็นพิษต่อพืช (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ และคณะ, 2552; Dolar, Boyle และ Keeney, 1972; EC, 2000; U.S.EPA., 1994)

ชนัญญา หาวารี (2549) ประเมินศักยภาพของกากตะกอนน้ำเสียจากนิคมอุตสาหกรรม 3 แห่ง ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเฟส 1-2 เฟส 1-3 และนิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาคร พบว่า มีปริมาณโลหะหนัก (ทองแดง, เหล็ก, สังกะสี และแมงกานีส) ไม่เกินมาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) มีค่าอินทรียวัตถุร้อยละ 6.1-30.1 จัดอยู่ในเกณฑ์สูง มีปริมาณฟอสฟอรัส (46-921 mg/kg) และโพแทสเซียม (550-1,600 mg/kg) จัดอยู่ในระดับสูงมาก ดังนั้นกากตะกอนน้ำเสียของนิคมอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่งดังกล่าวจึงไม่จัดเป็นของเสียอันตราย และสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยต่อไปได้

เมื่อศึกษาการใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสียเพื่อการเกษตรในประเทศไทย พบว่าผลการเติมกากตะกอนน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนสี่พระยา อัตรา 20 กก.N/ไร่ ทดลองปลูกข้าวโพดในแปลงทดลองซ้ำเดิมเป็นเวลา 7 ปี ให้ผลไม่แตกต่างจากการเติมแอมโมเนียมซัลเฟต อัตรา 10 กก.N/ไร่ ปริมาณไนโตรเจนในดินเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาและอัตราเติมกากตะกอนน้ำเสีย ส่วนปริมาณโลหะหนัก (สังกะสี, ตะกั่ว, แคดเมียม, นิกเกิล, โครเมียม, แมงกานีส และทองแดง) ในต้นและเมล็ดข้าวโพดไม่มีความแตกต่างกันระหว่างแปลงทดลองที่เติมและไม่เติมกากตะกอนน้ำเสีย แม้หลังการทดลองเป็นเวลานานจะพบปริมาณทองแดงและสังกะสีสะสมในดินเพิ่มมากขึ้น แต่ก็ยังอยู่ในระดับมาตรฐานและไม่เป็นอันตรายต่อพืช รวมทั้งไม่มีผลต่อค่าเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (C.E.C) ของดิน แต่ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุ ปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินได้ดีกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียว (จริยา ประศาสน์ศรีสุภาพ และคณะ, 2547)

ดังนั้นจึงเห็นได้ว่า แม้มีความกังวลว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียลงดินติดต่อกันเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดการสะสมโลหะหนักในดิน ส่งผลไปสู่ห่วงโซ่อาหาร แต่ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนน้ำเสียทั้งของนิคมอุตสาหกรรมและของชุมชนนั้นอยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐานสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ ดังนั้นเมื่อพิจารณากระบวนการผลิต สารเคมีที่เกี่ยวข้องกับการผลิต กระบวนการบำบัดน้ำเสีย คุณภาพน้ำเสีย กระบวนการบำบัด กากตะกอนน้ำเสีย จึงมีความน่าสนใจที่จะนำกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมยางพาราเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารในพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลผลิตปาล์มน้ำมันและลดปริมาณของเสียที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง

2.1.3.2 แนวทางการใช้ของทิ้งจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเพื่อการเกษตร

เมื่อพิจารณาจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม พบว่าเกิดผลพลอยได้และของทิ้งที่มีความหลากหลายและปริมาณสูง กรมวิชาการเกษตร (2548) รายงานว่า ปริมาณวัสดุอินทรีย์จากพืชในประเทศในปี พ.ศ. 2547 มีรวมทั้งสิ้น 691.49 ล้านตัน โดยมากอยู่ในภาคกลาง รองลงมาคือภาคใต้ คิดเป็นร้อยละ 54.09 และ 30.97ของทั้งหมดตามลำดับ สำหรับปริมาณวัสดุอินทรีย์จากพืชสวน พบว่ามีกระจายอยู่ในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้ ประมาณ 8.60, 3.17, 3.02 และ 81.23 ล้านตันตามลำดับ โดยร้อยละ 88.30 ของวัสดุอินทรีย์นี้ได้มาจากปาล์มน้ำมัน (84.79 ล้านตัน) หากสามารถนำของทิ้งจากสวนปาล์มน้ำมันและกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าและลดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างมาก (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

- **ทางใบปาล์มน้ำมัน และทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน**

ทางใบปาล์มน้ำมันจะถูกตัดแต่งในระหว่างการปลูกประมาณ 1-3 รอบ/ปี ซึ่งในปาล์มน้ำมันที่โตเต็มที่แล้วจะมีทางใบที่ถูกตัดแต่งประมาณ 20-30 ทางใบ/ปี หรือประมาณ 62.5 ตันน้ำหนักแห้ง/ไร่ คิดเป็นปริมาณปุ๋ยยูเรีย 362.5 กิโลกรัม/ไร่ ปุ๋ยหินฟอสเฟต 187.5 กิโลกรัม/ไร่ ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ 750 กิโลกรัม/ไร่ และปุ๋ยคีเซอไรต์ 437.5 กิโลกรัม/ไร่ (Redshaw, 2004; Wood, 1976) ดังนั้นจึงควรกระจายทางใบที่ตัดแล้วให้ปกคลุมพื้นที่ทั่วระหว่างแถวต้นปาล์มน้ำมัน เพื่อช่วยรักษาความชื้นในดิน ลดการชะล้างหน้าดิน เมื่อย่อยสลายจะให้ธาตุอาหารสู่ดิน ทำให้มีการหมุนเวียนและกระจายธาตุอาหารพืชอย่างทั่วถึง

ส่วนทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันนั้น สามารถใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชได้ โดยพบว่า1 ตันของทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันคิดเป็นปริมาณธาตุอาหารปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต 17.6 กิโลกรัม ปุ๋ยหินฟอสเฟต 2.9 กิโลกรัม ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ 18.3 กิโลกรัม และคีเซอไรต์ 4.7 กิโลกรัม อีกทั้งการคลุมโคนต้นโดยใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันยังช่วยลดการสูญเสียเนื่องจากการไหลบ่า และกษัยการของดินบน เพิ่มอินทรียวัตถุและธาตุอาหารแก่ดิน ส่งผลให้ดินมีคุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้น ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดิน ช่วยรักษาความชุ่มชื้นและอุณหภูมิที่ผิวหน้าดินดังนั้นจึงมีการนำทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันมาใช้คลุมดินในสวนปาล์มน้ำมันเพื่อช่วยหมุนเวียนธาตุอาหารกลับคืนสู่ดิน แต่ควรแบ่งใส่ครั้งละน้อย ๆ เพื่อป้องกันการเป็นที่อยู่อาศัยหรือวางไข่ของด้วง โดยใส่ 5

ปี/ครั้ง อัตราประมาณ 4.8 ตัน/ไร่ (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์และคณะ, 2548; สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ, 2539; von Uexkull และ Fairhurst, 1991)

- **เส้นใยปาล์มน้ำมัน**

เมื่อแปรรูปปาล์มน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ แล้วก็จะเหลือเส้นใยปาล์มน้ำมัน (palm press fiber) เป็นผลพลอยได้คิดเป็นร้อยละ 11-13.9 ของทั้งทะลายปาล์มน้ำมันในประเทศมาเลเซียมีเส้นใยปาล์มน้ำมันเกิดจำนวนมากถึง 9.6 ล้านตัน/ปี ส่วนประเทศไทยมีเส้นใยปาล์มน้ำมันเกิดขึ้น 539,330 ตัน/ปี (จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, 2548; ธีระ เอกสมทราเมษฐ์และคณะ, 2548; Ervan, 2005; FAO, 1988; Sumathi et al., 2008) เส้นใยปาล์มน้ำมันที่เหลือเป็นส่วนของเปลือกผลชั้นกลาง (mesocarp or pulp) ประกอบด้วยเส้นใยที่มีน้ำมันปาล์มอยู่มากมาย มีรงควัตถุพวก carotene จึงทำให้เห็นเป็นสีเหลืองเข้ม น้ำมันส่วนใหญ่จะสกัดได้จากส่วนนี้ความหนาของผลชั้นกลางโดยเฉลี่ยอยู่ในระหว่างร้อยละ 35-96 ของส่วนประกอบทั้งผล แตกต่างกันออกไปแล้วแต่พันธุ์และความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Corley และ Wood, 1976) เส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งเชื้อเพลิงร่วมในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนในโรงงานเพราะมีราคาถูกและเป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้ โดยปกติโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะใช้เส้นใยและกะลาปาล์มน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อผลิตไอน้ำ (boiler) เพื่อนำไอน้ำไปนึ่งทะลายและผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงาน การปล่อยก๊าซ SO_x, NO_xและ CO ที่เกิดจากกระบวนการเผาชีวมวลปาล์มน้ำมันเหลือทิ้ง ได้แก่ เส้นใยและกะลาปาล์มน้ำมัน ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงหนัก (Harimi et al., 2005) ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจที่จะนำไปพัฒนาเป็นพลังงานสะอาดราคาถูกต่อไป อย่างไรก็ตามเส้นใยปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้ประโยชน์เพียงร้อยละ 30 เท่านั้น ดังนั้นอีกกว่าร้อยละ 70 ที่เหลือจะถูกทิ้งให้เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อม (ธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2551; Prasertsan และ Prasertsan,1996)

ในปัจจุบันจึงมีความพยายามที่จะนำส่วนเหลือทิ้งดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ทำปุ๋ยหมัก ถ่านสำหรับหุงต้ม วัสดุเพาะปลูก ถมผิวถนนในสวนปาล์มน้ำมัน ใช้เป็นแหล่งอาหารเยื่อใยสำหรับสัตว์กระเพาะรวม เป็นต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2547; ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, 2546; ธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2551; Sumathi et al. 2008; Thambirajah และ Kuthubutheen, 1989) ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมันแสดงในตารางที่ 2.2 อีกทั้งพบว่าสามารถสกัด natural carotenes และ vitamin E จากเส้นใยปาล์มน้ำมันโดยวิธี supercritical-CO_2 ทำให้สามารถนำสารกลับคืนมาได้ถึงร้อยละ 90 (Lik Nang Lau et al., 2008) แต่ก็จำเป็นต้องคำนวณถึงต้นทุนและความคุ้มทุนในการสกัดสารที่มีประโยชน์เหล่านี้ออกมา ฉะนั้นการใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรจึงน่าจะให้ผลดีกว่า

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน (เปอร์เซนต์วัตถุแห้ง)

องค์ประกอบ	เส้นใยปาล์มน้ำมัน			
	[1]	[2]	[3]	[4]
ความชื้น	36.40	-	28.01	18.57-22.98
โปรตีน	-	-	6.17	5.91-16.16
เถ้า	5.34	1.3-6.04	5.18	4.49-7.48
เยื่อใย	-	17.1-33.5	36.81	45.61-59.61
ไขมัน	-	-	8.33	-
ลิกนิน	-	13.2-25.31	-	19.52-26.48
คาร์บอน	30.02	-	-	-
ไฮโดรเจน	3.81	-	-	-
ไนโตรเจน	0.89	-	-	1.59-4.53
ซัลเฟอร์	0.19	-	-	-
แคลเซียม	-	2.8 g/g	152.80 mg/100g	-
ฟอสฟอรัส	-	-	156.48 mg/100g	-
แมกนีเซียม	-	-	72.39 mg/100g	-
ออกซิเจน	23.35	-	-	-
B-carotene	-	-	6,203.64 µg/100g	-
Vitamin E	-	-	5.66 mg/100g	-

หมายเหตุ[1]Harimi et al. (2005), [2]Shinoj et al. (2011), [3]กุลวดี ตรองพาณิชย์ และคณะ (2550),[4]ดวงสมร สินเจิมศิริ และคณะ (2549)

เส้นใยปาล์มน้ำมันมีโพแทสเซียมประมาณร้อยละ 0.5 จึงสามารถนำไปเป็นวัสดุในการผลิตปุ๋ยหมักหรือใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินได้ดี (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ,2548; ธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2551) เมื่อหมักปุ๋ยเส้นใยปาล์มน้ำมันผสมมูลไก่และยูเรีย พบว่าหลังการหมัก 3 สัปดาห์ เซลลูโลสลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 50 เป็นผลมาจากการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ในทางตรงกันข้ามปริมาณไนโตรเจน, ลิกนิน และเถ้าเพิ่มปริมาณขึ้นหลังการหมัก (Thambirajah และ Kuthubutheen, 1989) เส้นใยปาล์มน้ำมันจะสลายตัวปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ให้พืชได้อย่างช้า ๆ แม้ว่าพืชจะสามารถดึงดูดธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายกว่า แต่การใช้ปุ๋ยเคมีต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานมีข้อจำกัด ส่งผลให้คุณสมบัติต่าง ๆ ของดินเสื่อมลง

- **ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน**

ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรและสหกรณ์ (2553) ระบุว่าในปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกที่ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันประมาณ 3,200,000 ไร่ มีผลผลิตเป็นอันดับ 4 ของโลกคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 2 หรือประมาณ 8,200,00 ตัน/ปี ผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ได้จะนำไปสกัดเป็นน้ำมันเพียงร้อยละ 10 ส่วนที่เหลือกว่าร้อยละ 90 นั้นจะกลายเป็นชีวมวลต่อไป (Foo และ Hameed, 2009) ดังนั้นจึงประมาณการณ์ได้ว่าประเทศไทยจะมีชีวมวลปาล์มน้ำมันเกิดขึ้นประมาณ 7,350,000 ตัน/ปี วิธีการเผาเป็นวิธีง่ายที่สุดในการกำจัด และหลังจากการเผาพบว่าขี้เถ้าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมีปริมาณสูงมากถึง 107,000 ตัน/ปี ส่วนประเทศมาเลเซียเพียงแห่งเดียวมีขี้เถ้าปาล์มน้ำมันเกิดขึ้นถึงปีละ 4 ล้านตัน (จตุพล ตั้งปกาศิต และคณะ, 2548; Foo และ Hameed, 2009; Redshaw, 2004) ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีลักษณะเป็นผงฝุ่นน้ำหนักเบา สามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าปาล์มน้ำมันพบว่าสามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดีและมีศักยภาพสูงในการนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนได้ (จตุพล ตั้งปกาศิต และคณะ, 2548) อย่างไรก็ตามขี้เถ้าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นมีการนำมาใช้ประโยชน์น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ในปัจจุบันส่วนใหญ่ต้องนำไปทิ้ง ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการกำจัดตามมา เช่น ปัญหาทางด้านมลพิษทางดิน ทางน้ำและทางอากาศ

เมื่อพิจารณาด้านธาตุอาหารแล้ว ขี้เถ้าจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากโรงงานสกัด โดยทั่วไปแล้วผลผลิต 4 ตัน/ไร่ของทะลายปาล์มสด จะให้เถ้า 24 กิโลกรัมหลังจากการหีบน้ำมันและการเผา มีธาตุอาหารดังนี้ K_2O ร้อยละ 32-34 ,P_2O_5 ร้อยละ 4 และ MgO ร้อยละ 5 ทั้งยังช่วยปรับ pH ของดินให้สูงขึ้นอีกด้วย (นคร สาระคุณ และคณะ, 2541; Redshaw, 2004) ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันจะมีลักษณะอิ่มตัวด้วยน้ำสูง เพราะมีคุณสมบัติดูดความชื้น ดังนั้นปริมาณธาตุอาหารเมื่อเทียบโดยน้ำหนักสดจะลดลงอย่างมากเมื่อเก็บขี้เถ้าปาล์มน้ำมันไว้เป็นเวลานาน โดยโพแทสเซียมจะลดลงร้อยละ 15-20 หลังจากขี้เถ้าปาล์มน้ำมันสะสมความชื้น (ฉกรรจ์ สังข์ทอง,2542; ชัยรัตน์ นิลนนท์ และจำเป็น อ่อนทอง, 2538; Redshaw ,2004)

ภายในปี 2551-2555 ภาครัฐได้ตั้งยุทธศาสตร์พลังงานทดแทน โดยเพิ่มพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 2.5 ล้านไร่ ส่งเสริมให้เพิ่มอัตราผลผลิตของปาล์มน้ำมันจาก 2.7 เป็น 3.3 ตัน/ไร่ เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาด ดังนั้นจะมีผลพลอยได้จากสวนปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น

ทั้งนี้ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis Jacq.*) จัดเป็นพืชน้ำมันเศรษฐกิจหนึ่งในสี่ของโลก (ถั่วเหลือง, ปาล์มน้ำมัน, เรพสีดและทานตะวัน) ดังนั้นในช่วงระยะทศวรรษที่ผ่านมาจึงมีการเพิ่มเนื้อที่ปลูกมากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการ จึงเริ่มเกิดความสนใจที่จะนำผลพลอยได้และของทิ้งที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มกลับมาใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์หลัก 2 ข้อคือ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจแก่ปาล์มน้ำมัน (Sumathi et al., 2008) เนื่องจากราคาปาล์มทะลายจะใช้ราคาน้ำมันปาล์มดิบเป็นตัวกำหนด หากปาล์มทะลายมีน้ำมันร้อยละ 20 ราคาปาล์มทะลายก็จะเท่ากับร้อยละ 20 ของราคาน้ำมันปาล์มดิบ เช่น ราคาน้ำมันปาล์มดิบราคา 20 บาท/ กก. ราคาปาล์มทะลายก็จะไม่เกิน 4 บาท/กก. เป็นต้น หากสามารถนำของทิ้งจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มมาเพิ่มมูลค่าด้วยการหมุนเวียนธาตุอาหารกลับมาใช้ประโยชน์ในสวนปาล์มน้ำมัน ก็จะช่วยให้การกำหนดราคาปาล์มทะลายสูงขึ้น (ธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2551) เมื่อทราบอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับปาล์มน้ำมันแล้ว เกษตรกรสามารถทำกำไรเพิ่มขึ้นด้วยการลดต้นทุนเกี่ยวกับปุ๋ย ในขณะที่ยังคงได้รับธาตุอาหารเท่าเทียมหรือใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมี ทำได้โดยการเลือกใช้แหล่งปุ๋ยที่มีราคาถูกจากของทิ้งทางการเกษตรอื่น ๆ ในพื้นเดียวกัน เช่น ของทิ้งจากอุตสาหกรรมยางพารา เช่น กากขี้แป้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น กากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐาน เป็นต้น เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชอีกทางเลือกหนึ่ง และช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และคณะ, 2544)

2.2 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน (*Elaies guineensis Jacq* .) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกาแถบตะวันตก (สุรกิตติ ศรีกุล, 2554ก) ถือเป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น มีศักยภาพในการแข่งขันสูงทั้งด้านการผลิตและการตลาด รวมทั้งไม่มีปัญหาเรื่องตลาดรองรับเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตและราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชอื่น เพราะให้ผลผลิตน้ำมันพืชต่อหน่วยพื้นที่ที่ปลูกเท่ากันได้สูงกว่าพืชน้ำมันอื่นทุกชนิด (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2548; อรรัตน์ วงศ์ศรี และคณะ, 2550) รวมทั้งมีต้นทุนน้ำมันดิบต่อกิโลกรัมต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ (กล้าณรงค์ ศรีรอดและคณะ, 2546; สุรกิตติ ศรีกุล, 2554ก) ด้วยสาเหตุที่ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นซึ่งมีความทนทานต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติต่าง ๆ เมื่อเทียบกับพืชอายุสั้นอื่น ๆ รวมทั้งการลงทุนครั้งเดียวสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นาน ทั้งยังเป็นน้ำมันพืชที่นำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายทั้งที่เป็นอาหาร (food) และมิใช่อาหาร (non food) เช่น ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอีนทำอาหารในครัวเรือน หรือใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ที่ต้องมีการทอด ทำเนยเทียม ไอศกรีม ครีมเทียม ขนมขบเคี้ยว ลูกกวาด สบู่ ผงซักฟอก และอุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคอล (oleochemical) รวมถึงการผลิตเชื้อเพลิงเมทานอลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์

เป็นต้น ทำให้มีอัตราความต้องการใช้ภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น (อรรัตน์ วงศ์ศรี และคณะ, 2550) จากศักยภาพดังกล่าว ทำให้ทั่วโลกขยายพื้นที่ปลูกอย่างรวดเร็ว

พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันแหล่งใหญ่ของโลกอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ประเทศผู้ผลิตน้ำมันปาล์มรายใหญ่ของโลกคืออินโดนีเซียและมาเลเซีย ทั้งสองประเทศผลิตน้ำมันปาล์มได้ร้อยละ 86.90 ของผลผลิตน้ำมันปาล์มโลก เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.30 ต่อปี (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2552ก) สำหรับประเทศไทยผลิตได้ 1.20 ล้านตัน คิดเป็นเพียงร้อยละ 2.82 ของผลผลิตน้ำมันปาล์มโลกและเป็นการผลิตเพื่อสนองความต้องการของตลาดภายในประเทศเป็นหลัก ยิ่งกว่านั้นบางช่วงก็มีการนำเข้าจากต่างประเทศเพื่อทดแทนช่วงที่ปริมาณน้ำมันปาล์มไม่เพียงพอต่อการใช้ทั้งอุปโภคและบริโภคอีกด้วย

ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันสดของโลกเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วนอกจากเกิดจากการเพิ่มพื้นที่ปลูกแล้ว การเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ก็มีความก้าวหน้ามาอย่างต่อเนื่องและมีศักยภาพสูงกว่าพืชน้ำมันอื่น สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552ข) รายงานว่า จังหวัดที่มีการปลูกมากที่สุดได้แก่ กระบี่ สุราษฎร์ธานี และชุมพร และมีการขยายตัวของพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นที่มีอายุเก็บเกี่ยวผลผลิตยาวนานกว่า 25 ปี พื้นที่การเพาะปลูกของประเทศไทยจึงเพิ่มขึ้นแบบสะสม ส่งผลให้ผลผลิตในแต่ละปีเพิ่มขึ้นตลอดเวลาพื้นที่ให้ผลและผลผลิตปาล์มน้ำมันในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (ปี 2548-2552) เพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 11.65 และร้อยละ 15.12 ต่อปีตามลำดับ โดยปี 2552 พื้นที่ให้ผล 3.20 ล้านไร่ ผลผลิต 8.61 ล้านตัน ผลผลิต 2,694 กิโลกรัม/ไร่ (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2548; สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร ,2552ก)

ในปัจจุบัน รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ที่มีศักยภาพเพื่อทดแทนพลังงานอย่างต่อเนื่อง (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร ,2552ข) จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าผลผลิตของไทยยังอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับประเทศส่งออกรายใหญ่ ดังนั้นการจัดการด้านปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพก็เป็นสิ่งสำคัญไม่แพ้การขยายพื้นที่ปลูก เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารสูงและแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงอายุ การใส่ปุ๋ยหรือการเติมปริมาณธาตุอาหารเข้าไปในดิน (external nutrient input) ในระบบการเกษตรทั่วไปนั้นจำเป็นต้องมีความสมดุลกับปริมาณธาตุอาหารที่นำออกไปจากดิน (nutrient removal) ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันนำไปใช้สร้างผลผลิตและถูกเก็บเกี่ยวออกไป (Murtert et al.,1999) นอกจากนี้ Teo et al. (1998) รายงานว่ามีการสูญเสียปริมาณธาตุอาหารไปกับสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย เช่น ถูกชะล้างไปกับน้ำฝน และการเกิดกษัยการ ดังนั้นจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยให้เพียงพอเพื่อชดเชยปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไป (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และ

คณะ, 2552) หากมีการให้ธาตุอาหารแก่ปาล์มน้ำมันอย่างเหมาะสมก็จะสามารถลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.1 ข้อมูลทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว อยู่ในวงศ์ปาล์ม *(Arecacae)* มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Elaies guineensis Jacq.* ระบบรากเป็นแบบรากฝอยสานกันอย่างหนาแน่น อยู่บริเวณผิวดินระดับความลึก 30-50 ซม. ลำต้นตั้งตรง ไม่มีกิ่งแขนง ที่ลำต้นจะปรากฏมีฐานใบติดอยู่ รอยแผลที่ฐานใบติดกับลำต้นคือข้อของลำต้น ใบเกิดจากการพัฒนาของเนื้อเยื่อเจริญปลายยอดลำต้น ทำให้เกิดการเวียนของทางใบ 2 แบบคือ เวียนทางซ้ายและเวียนทางขวา ปาล์มน้ำมันที่มีอายุ 5-6 ปี ผลิตทางใบทุก ๆ 12 วัน หรือประมาณ 30-40 ทางใบต่อปี หลังจากนั้นจะลดลงเป็น 20-25 ทางใบต่อปี เมื่อต้นปาล์มน้ำมันโตเต็มที่ ทางใบอาจยาวมากกว่า 9 เมตร ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม จุดกำเนิดช่อดอกคือบริเวณมุมใบของต้นที่มีอายุ 2 ปีขึ้นไป ใบที่สร้างขึ้นมานี้เป็นตัวกำหนดศักยภาพการผลิตทะลาย ปัจจัยใด ๆ ที่มีผลต่อการสร้างใบจะมีผลต่อการสร้างทะลาย จากการผ่าต้นที่มีอายุแล้วพบว่าที่มุมใบของทุกทางใบมีช่อดอกเกิดขึ้น ระยะเวลาตั้งแต่เกิดตาดอก จนถึงระยะเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันจะใช้เวลา 31-34 เดือน ขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพแวดล้อม เนื่องจากปาล์มน้ำมันต้องการสภาพแวดล้อมที่ค่อนข้างสมบูรณ์ ปาล์มน้ำมันเป็นพวก monoecious plant คือมีทั้งช่อดอกตัวผู้ (male inflorescences) และช่อดอกตัวเมีย (female inflorescences) อยู่บนต้นเดียวกัน แต่ช่วงเวลาออกดอกไม่พร้อมกัน จำนวนช่อดอกที่สร้างในแต่ละช่วงมี 8-10 ช่อ โดยมีสหสัมพันธ์ทางลบกับน้ำหนักทะลาย มีเปอร์เซ็นต์การติดผลร้อยละ 60-65 (กรมวิชาการเกษตร, 2547; เววัติ เลิศฤทัยโยธิน, 2544; สุรกิตติ ศรีกุล, 2554ข; Hartley, 2534)

2.2.2 พันธุ์ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันชนิด *E. guineensis* คำว่า Elaeis มีความหมายตรงกับคำว่า elaion ซึ่งแปลว่า น้ำมัน ส่วนคำว่า guineensis มีความหมายว่า แหล่งรวบรวมอยู่ที่ประเทศ Guinea แอฟริกาตะวันตก เป็นปาล์มน้ำมันชนิดที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นการค้า มีการจำแนกต้นตามความแตกต่างของลักษณะผล (fruit type) เนื่องมาจากการแสดงออกของยีนควบคุมความหนาของกะลา (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2548) การพัฒนาการปรับปรุงพันธุ์ได้เริ่มเปลี่ยนแปลงเมื่อ Beirnaert และ Vanderweyen (1941) อ้างถึงในกรมวิชาการเกษตร (2547) พบว่าความหนาของกะลามีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้และควบคุมโดยยีน 1 คู่ (single gene) โดยแบ่งลักษณะได้ 3 แบบ (อรรัตน์ วงศ์ศรี และคณะ, 2550) ดังนี้

-ลักษณะดูรา (Dura) มีกะลาหนา 2-8 มิลลิเมตร และไม่มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา มีชั้นเปลือกนอกบางร้อยละ 35-60 ของน้ำหนักผล มียีนควบคุมเป็นลักษณะเด่น (dominant, Sh+Sh+)

-ลักษณะเทเนอรา (Tenera) มีกะลาบางตั้งแต่ 0.5-4 มิลลิเมตร มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา มีชั้นเปลือกนอกมากร้อยละ 60-90ของน้ำหนักผลลักษณะเทเนอรา(Sh+Sh-)เป็น heterozygous เกิดจากการผสมระหว่างลักษณะดูราและพิสิเฟอรา

-ลักษณะพิสิเฟอรา (pisifera) ยีนควบคุมลักษณะผลเป็นลักษณะด้อย (recessive, Sh-Sh-) ลักษณะผลไม่มีกะลาหรือกะลาบาง มีข้อเสียคือ ช่อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน (abortion) ทำให้ผลฝ่อลีบ ทะลายเล็กเนื่องจากผลไม่พัฒนา ผลผลิตจึงต่ำ ไม่ใช้ปลูกทางการค้า

การผสมระหว่างต้นดูรา (กะลาหนา) กับต้นพิสิเฟอรา (ไม่มีกะลา) จะให้ลูกผสมเทเนอรา ร้อยละ 100 ซึ่งมีลักษณะกะลาบาง เปลือกนอกต่อผลและเปอร์เซ็นต์น้ำมัน/ทะลายสูงกว่าดูรา ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นที่สามารถให้ผลผลิตทะลายสดได้ตลอดปี เริ่มจากปาล์มน้ำมันที่มีอายุประมาณสองปีครึ่งหลังจากปลูก โดยเฉลี่ยแต่ละต้นจะให้ทะลายได้อย่างน้อยหนึ่งทะลาย/ต้น/เดือน และผลิตทางใบประมาณ 30-40 ทางใบ/ปี (กรมวิชาการเกษตร, 2547) ในสภาพปกติแล้วต้นปาล์มน้ำมันจะมีการพัฒนาและสร้างใบในอัตราคงที่ และที่ฐานของแต่ละใบจะมีช่อดอกเกิดขึ้นหนึ่งช่อ (Hartley, 2534)

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโต

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชอายุยาว สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้จนถึงอายุประมาณ 25 ปี ปาล์มน้ำมันมีความสามารถสูงในการเปลี่ยนพลังงานแสงแดดให้เป็นน้ำมันพืชเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น รวมทั้งให้ผลผลิตตลอดทั้งปีโดยไม่มีระยะพักตัว เพื่อความสะดวกจึงใช้ส่วนของใบ ลำต้นและทะลายปาล์มน้ำมันในการศึกษาการเติบโต ซึ่งอวัยวะดังกล่าวนี้นับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญคิดเป็นร้อยละ 96 ของน้ำหนักแห้งที่ผลิตได้ในแต่ปี (Hartley, 2534, 2003; สุรกิตติ ศรีกุล และคณะ, 2547) อย่างไรก็ตามเพื่อที่จะเพิ่มผลผลิตและปาล์มน้ำมันเติบโตอย่างเต็มที่ จำเป็นจะต้องทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตดังต่อไปนี้

2.2.3.1 **ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ**

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่เจริญได้ดีในเขตร้อน พื้นที่ปลูกปาล์มส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 90) อยู่ที่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 10 องศาเหนือและเส้นละติจูดที่ 10 องศาใต้ ส่วนปาล์มน้ำมันที่ปลูกนอกเหนือละติจูดดังกล่าวจะมีการเติบโตและให้ผลผลิตไม่เต็มที่ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศไม่เหมาะสม ภูมิอากาศที่เป็นปัจจัยจำกัดที่มีผลต่อการเติบโตและให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน แสงแดด อุณหภูมิ (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2548)

- **ปริมาณน้ำฝน**

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นที่มีการเติบโตและให้ผลผลิตต่อเนื่องตลอดทั้งปี ไม่มีระยะพักตัวเหมือนพืชอื่น สำหรับปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศ น้ำมีบทบาทที่สำคัญที่สุดในการผลิตทะลายปาล์มน้ำมัน ซึ่งพบว่าการเจริญเติบโต การพัฒนาการและการให้ผลผลิตจะลดลงเมื่อมีสภาพการขาดน้ำ (Hartley,2003) ดังนั้นการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันจึงผันแปรอยู่กับสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนไป ปาล์มน้ำมันต้องการน้ำฝนเฉลี่ยมากกว่า 2,000 มม./ปี และมีการกระจายตัวสม่ำเสมอตลอดทั้งปี (ไม่น้อยกว่า 120 มม./เดือน) หรือมีสภาพขาดน้ำ (water deficit) ต่ำกว่า 200 มม./ปี ในพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันบริเวณฝั่งตะวันออกของประเทศมาเลเซียที่มีปริมาณน้ำฝนเท่ากัน พบว่าในบริเวณพื้นที่ที่มีสภาพแห้งแล้งนาน 3-4 เดือน ปาล์มน้ำมันจะให้ผลผลิตทะลายสดต่ำกว่าพื้นที่ปลูกที่ไม่มีสภาพแล้ง ชี้ให้เห็นว่าน้ำเป็นปัจจัยจำกัดที่สำคัญในการให้ผลผลิต (สุรกิตติ ศรีกุล และคณะ, 2544) เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ Tittinutchanon et al. (2000) พบว่า การให้น้ำทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.4 เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ให้น้ำ มีผลต่อจำนวนทะลายมากกว่าน้ำหนักทะลาย ทั้งนี้เนื่องจากสภาพแล้งส่งผลให้เพิ่มอัตราการฝ่อของช่อดอกเพศเมีย ส่งผลให้ผลผลิตลดลง (Corley, 1976; Hong และ Corley, 1976)

หากการกระจายตัวของน้ำฝนในพื้นที่ไม่ดี หรือมีสภาพแล้งนานเกิน 3 เดือน จะทำให้เกิดภาวะขาดน้ำในปาล์มน้ำมันซึ่งจะทำให้ผลผลิตลดลง โดยจะลดลงมากน้อยขึ้นอยู่กับระยะเวลาและความรุนแรงของการขาดน้ำ เนื่องจากน้ำเกี่ยวข้องกับการเปิดปิดของปากใบและการให้อิเลกตรอน เมื่อเกิดสภาวะขาดแคลนน้ำ พืชจะคายน้ำได้เร็วกว่าดูดน้ำและลำเลียงน้ำของราก ทำให้พืชสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว และการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ผิดปกติ ต่อมาปากใบจะปิด การขาดแคลนน้ำในปริมาณน้อยอาจไม่มีผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงมากนัก แต่ถ้าการเกิดสภาวะขาดแคลนมากขึ้นอาจทำให้ปากใบปิดและไม่มีการสังเคราะห์ด้วยแสง เนื่องจากรับคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้ (วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน และคณะ, 2554)

ในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศแบบไม่มีฤดูกาล ใบต้นปาล์มน้ำมันจะแผ่ออกหรือเปิดอย่างสม่ำเสมอในอัตราประมาณ 2 ใบต่อเดือน แต่มีรายงานว่าการพัฒนาจะเร็วกว่านี้ในต้นปาล์มน้ำมันที่เริ่มติดทะลายและสภาพอากาศเหมาะสม (OPGL, 1968-1972) ส่วนในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศแบบมีฤดูกาล การเปิดหรือแผ่ของใบจะชะงักในช่วงฤดูแล้งซึ่งทำให้การสร้างใบลดลงมาก ดังนั้นการจัดการเพื่อลดข้อจำกัดของปัจจัยเหล่านี้จะทำให้ปาล์มน้ำมันแสดงศักยภาพได้สูงสุด (สุรกิตติ ศรีกุล และคณะ, 2547)

จากการศึกษาการให้น้ำปาล์มน้ำมันที่ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี ในดินร่วนปนทราย ชุดดินคอหงส์ ตั้งแต่ พ.ศ. 2530-2542 พบว่าในพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมีการขาดน้ำเกิดขึ้นทุกปี โดยมีค่าการขาดน้ำเฉลี่ย -254 มม./ปี มีจำนวนเดือนที่ขาดน้ำตั้งแต่ 1-6 เดือน/ปี และมีระยะเวลาการขาดน้ำติดต่อกันประมาณ 2-4 เดือน ส่วนมากการขาดน้ำจะเกิดขึ้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนซึ่งเป็นฤดูแล้ง ถือว่าเป็นสภาพปัจจัยจำกัดในกระบวนการสรีรวิทยา จึงควรมีการให้น้ำในหน้าแล้งเพื่อรักษาระดับการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน (สุรกิตติ ศรีกุล และคณะ, 2544)

- **แสง**

โดยทั่วไปปาล์มน้ำมันต้องการแสงแดดอย่างน้อย 5 ชั่วโมง หรือประมาณ 1,800 ชั่วโมง/ปี พลังงานแสง (global radiation) ในรอบปีมีค่าค่อนข้างแตกต่างกัน คือพลังงานแสงจะสูงสุดในเดือนเมษายน และต่ำสุดในเดือนพฤศจิกายน โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีเท่ากับ 18.0 MJ $M^{-2}d^{-1}$ ในขณะที่มาเลเซียมีพลังงานแสงเฉลี่ยสูงกว่าคือ 19.6 MJ $M^{-2}d^{-1}$ ส่วนที่ไอวอรี่โคสต์เท่ากับ 14.2 MJ $M^{-2}d^{-1}$ พบว่ามาเลเซียมีผลผลิตสูงกว่าไอวอรี่โคสต์1.2 ตัน/ไร่/ปี ดังนั้นหากปลูกปาล์มน้ำมันในสภาพที่มีร่มเงาหรือปลูกชิดเกินไป หรือปลูกผิดทิศทาง จะทำให้มีการบังแสงหรือได้รับแสงน้อยเกินไป การเพิ่มจำนวนทางใบและการผลิตช่อดอกตัวเมียลดลง ส่งผลให้การเติบโตและการให้ผลผลิตลดต่ำลงด้วยจากการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของปาล์มน้ำมันต่อสภาพอากาศของประเทศไทย พบว่าศักยภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงขึ้นเมื่อต้นปาล์มน้ำมันอายุมากขึ้นและค่อนข้างใกล้เคียงกันทั้งในฤดูและแล้งและฤดูฝน โดยปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิสูงสุดเมื่อเทียบกับภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน และคณะ, 2554; สุรกิตติ ศรีกุล และคณะ, 2547)

- **อุณหภูมิ**

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง สภาพที่มีอุณหภูมิต่ำ สภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากอุณหภูมิมีผลในการเร่งการทำงานของเอนไซม์ ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มถึงช่วงที่เหมาะสม ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเกิดขึ้นเร็วมากจนกระทั่งเมื่อถึงค่าอุณหภูมิระดับหนึ่ง อัตราการสังเคราะห์แสงจะไม่เพิ่มอีกต่อไปและเริ่มลดลงเนื่องจากการเสื่อมสภาพของเอนไซม์ RUBP carboxylase ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญในการสังเคราะห์ด้วยแสง

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับปาล์มน้ำมันอยู่ในช่วง 25-28°C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในรอบปีไม่น้อยกว่าร้อยละ 7 ซึ่งภายใต้สภาพแห้งแล้ง ปาล์มน้ำมันจะไม่เหี่ยว ใบต้นปาล์มน้ำมันมีเนื้อเยื่อที่เป็นส่วนไม้เนื้อแข็งสูง เซลล์ผิวชั้นนอกมีเคลือบผิว (cuticle) หนาและผิวใบด้านบนมากกว่า มีปากใบอยู่ที่ผิวใบด้านล่าง เซลล์คุมของปากใบมีผนังหนาและมีขอบหนาตลอดความยาวเซลล์ ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงมีโครงสร้างของใบที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพขาดน้ำเป็นเวลานานได้ อีกทั้งลำต้นปาล์มน้ำมันสามารถเก็บรักษาน้ำไว้ได้ปริมาณมาก และเมื่อใบมีสภาพขาดน้ำอย่างรุนแรง จะมีการดูดน้ำจากลำต้นมาเก็บไว้ที่ใบเพื่อรักษาสมดุลของน้ำในใบ ดังนั้นเมื่อศึกษาผลกระทบของการให้น้ำต่อกระบวนการสรีรวิทยาของปาล์มน้ำมัน จึงไม่พบการตอบสนองของค่าศักย์ของน้ำในใบ (วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน และคณะ, 2554; สุรกิตติ ศรีกุล และคณะ, 2544; Lancher, 1980)

2.2.3.2 ปัจจัยด้านสภาพภูมิประเทศ

พื้นที่ที่ปลูกเป็นปัจจัยสำคัญในการจัดการสวนปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ ต้องคำนึงถึงสภาพภูมิประเทศและคุณสมบัติของดินที่ปลูกปาล์มน้ำมัน (ธีระพงศ์ จันทรนิยมและคณะ, มปป) สภาพภูมิประเทศที่เหมาะสมสำหรับปาล์มน้ำมัน ควรเป็นพื้นที่ราบ มีความลาดชันเพียงเล็กน้อย หรือไม่ควรเกิน 20 องศาเพื่อความสะดวกในการระบายน้ำ ในกรณีที่เป็นพื้นที่ราบหรือที่ลุ่มซึ่งมีการท่วมขัง จำเป็นต้องมีการขุดร่องระบายน้ำ สภาพดินที่เหมาะสมคือดินร่วนถึงดินเหนียว มีการระบายน้ำได้ดี มีความลึกของชั้นหน้าดินมากกว่า 75 เซนติเมตร สามารถอุ้มน้ำได้ดี มีปริมาณธาตุอาหารสูง ความหนาของชั้นอินทรีย์ 0-60 เซนติเมตร มีความเป็นกรดอ่อน (pH 4.0-6.0) รวมทั้งสูงกว่าระดับน้ำทะเลไม่เกิน 500 เมตร ความลาดชันไม่เกิน 12 องศา (กรมวิชาการเกษตร, 2547; วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน และคณะ, 2554) เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสภาพพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน แสดงดังตารางที่ 2.3

ดินในแหล่งปลูกปาล์มน้ำมันที่สำคัญในภาคใต้ของประเทศไทย ส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มดิน Paleudlts ซึ่งเป็นกลุ่มดินที่พบมากในภาคใต้และพบในที่ดอน ดินในกลุ่มนี้เป็นดินที่มีการชะล้างสูง มีความอิ่มตัวด้วยด่างน้อยกว่าร้อยละ 35 มีชั้นสะสมดินเหนียว (argillic horizon) ในชั้นดินล่างเป็นดินที่มีการระบายน้ำดี มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง ดินค่อนข้างเป็นกรด (นครสาระคุณ และคณะ, 2541)

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสภาพพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน (กรมวิชาการเกษตร, 2547; ธีระพงศ์ จันทรนิยม และคณะ, มปป)

สมบัติ	สภาพพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน		
	เหมาะสม	ค่อนข้างเหมาะสม	ไม่เหมาะสม
ภูมิประเทศความลาดชัน(องศา)	<12	12-20	>20
ความลึกของดินถึงชั้นดินดานหรือระดับน้ำใต้ดิน (cm)	>75	40-75	<40
เนื้อดิน	ดินร่วนถึงเหนียว	ดินร่วนปนทราย	ดินร่วนปนร่วนถึงดินทราย
โครงสร้างและการยึดตัวของดิน	โครงสร้างดินพัฒนาดี มีการยึดเกาะตัวปานกลาง	โครงสร้างดินพัฒนาปานกลาง	โครงสร้างดินพัฒนาน้อยหรือไม่มีโครงสร้างดินเกาะยึดตัวกันแน่นมาก
pH	4.0-6.0	3.2-4.0	<3.2
ความหนาของชั้นดินอินทรีย์ (m)	0-0.6	0.6-1.5	>1.5
ความสามารถในการซึมน้ำของดิน	ปานกลาง	เร็วหรือช้า	เร็วมาก หรือช้ามาก

คุณสมบัติทางเคมีของดินมีความสำคัญต่อการปลูกปาล์มน้ำมันเช่นกัน เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีความต้องการธาตุอาหารในปริมาณมาก ดังนั้นจึงต้องให้ธาตุอาหารแก่ปาล์มน้ำมันในอัตราที่สูงเพื่อรักษาระดับปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอต่อการเติบโตและให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การประเมินคุณสมบัติทางเคมีของดินเบื้องต้น (Rankine และ Fairhurst ,1998)

สมบัติทางเคมี	ระดับความเหมาะสมที่ใช้ในการประเมิน			
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)(1:5, ดิน:น้ำ)	<3.5	4.0	4.2	5.5
อินทรียวัตถุ (%)	<0.8	1.2	1.5	2.5
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N;%)	<0.08	0.12	0.15	0.25
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm)	<0.8	15.0	20.0	25.0
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (ppm)	<120	200	250	400
โพแทสเซียม(ppm)	<32.0	80.0	100.0	120.0
โพแทสเซียม(cmol/kg)	<0.08	0.20	0.25	0.30
แมกนีเซียม (ppm)	<20.0	50.0	75.0	100
แมกนีเซียม (cmol/kg)	<0.08	0.20	0.25	0.30
ทองแดงที่เป็นประโยชน์ (ppm)	<4.0	<5.0	5.0	>6.0
C.E.C (meq/100g)	<6.0	12.0	15.0	18.0

2.2.3.3 ปัจจัยด้านพันธุ์ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชผสมข้ามต้นระหว่างต้นแม่ (Dura) และพ่อ (Pisifera) เพื่อให้ได้ลูกผสม (Tenera) ร้อยละ 100 ที่มีลักษณะกะลาบางจึงทำให้เปลือกนอกต่อผลและเปอร์เซนต์น้ำมันสูงกว่าดูรา จึงมีการนำเมล็ดของต้นเทเนอราซึ่งให้ทะลายดกไปเพาะเมล็ดแล้วนำไปปลูกโดยมีความเข้าใจว่าน่าจะให้ผลผลิตสูงเช่นเดียวกับต้นเดิม แต่เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นลูกผสมจะมีความแปรปรวนของลักษณะทางการเกษตรสูง ทำให้มีลักษณะผลปาล์มในแปลงปลูกทั้ง 3 สายพันธุ์คือ ดูรา เทเนอรา และฟิสิเฟอรา ผลจากการที่นำเมล็ดพันธุ์ปาล์มน้ำมันไม่ตรงตามพันธุ์ หรือได้จากแหล่งผลิตพันธุ์ที่ไม่น่าเชื่อถือ จะทำให้ผลผลิตทะลายสดลดลงร้อยละ15-35 และเปอร์เซนต์น้ำมันปาล์มดิบลดลงร้อยละ 35-55 (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

2.2.3.4 ปัจจัยด้านการจัดการสวนปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีช่วงการให้ผลผลิตยาวนาน ปกติจะเริ่มให้ผลผลิตตั้งแต่อายุประมาณ 2.5-3 ปี เมื่ออายุมากขึ้นผลผลิตจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับหนึ่งผลผลิตจะคงที่และรักษาระดับไว้ เมื่อปาล์มน้ำมันอายุมากขึ้นผลผลิตก็จะค่อย ๆ ลดลง ดังนั้นในการสร้างสวนปาล์มน้ำมันให้ประสบความสำเร็จนั้น สภาพแวดล้อมและความสมบูรณ์ของต้นปาล์มน้ำมันจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ตาดอกพัฒนาเป็นดอกตัวผู้หรือดอกตัวเมีย (ธีระพงศ์ จันทรนิยมและคณะ, มปป)

หากเกษตรกรสามารถจัดการสวนโดยเริ่มตั้งแต่การเตรียมพื้นที่ปลูก การจัดหาพันธุ์ การปลูกซ่อม การจัดการปุ๋ยอย่างถูกต้อง การกำจัดวัชพืช การแต่งทางใบ การอนุรักษ์ความชื้น การเก็บเกี่ยวและการบันทึกข้อมูลการให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันก็จะสามารถให้ผลผลิตได้สูงสุดตามศักยภาพของพันธุ์

2.3 การเติบโตของปาล์มน้ำมัน

ตลอดระยะเวลาปลูกสามารถแบ่งระยะต่างๆของปาล์มน้ำมันได้ตามความต้องการธาตุอาหารที่แตกต่าง (von Uexkull และ Fairhurst, 1991) ดังนี้

2.3.1 ระยะต้นกล้า (nursery-phase)

เริ่มนับจากเมล็ดงอกแล้วจนเป็นต้นกล้าที่พร้อมจะนำไปปลูกได้ ใช้ระยะเวลาประมาณ 10-18 เดือน เมื่อใบแรกของต้นกล้าพัฒนาเต็มที่หรือประมาณสัปดาห์ที่ 4 หลังปลูก ควรเริ่มใส่ปุ๋ย และให้ปุ๋ยทุกสัปดาห์จนกว่าจะย้ายต้นกล้าไปปลูกในระยะอนุบาลหลัก โดยวิธีให้ปุ๋ยในรูปสารละลายหรือปุ๋ยทางใบ (ฉกรรจ์ สังข์ทอง ,2542; ชัยรัตน์ นิลนนท์ และจำเป็น อ่อนทอง, 2538) ความต้องการปุ๋ยในระยะต้นกล้า แตกต่างจากความต้องการปุ๋ยในแปลงปลูกมาก ในระยะนี้จำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเพื่อให้ต้นกล้าแข็งแรงและสมบูรณ์ดี จะทำให้ลดปัญหาชะงักการเติบโตหลังการย้ายกล้า ต้นปาล์มน้ำมันจะฟื้นตัวเร็วขึ้นเพื่อจะเจริญต่อไป

2.3.2 ระยะปาล์มน้ำมันเล็ก (young immature phase)

เริ่มนับจากย้ายต้นกล้าปลูกลงพื้นที่จนถึงปีที่สาม (0-3 ปี) ในระหว่าง 6 เดือนแรกหลังจากการย้ายลงปลูกในแปลงนั้น ความต้องการปุ๋ยจะน้อยเพราะการเติบโตจะหยุดชะงักลงชั่วคราวและต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งจึงจะมีระบบรากที่ดี ซึ่งเมื่อผ่านพ้นระยะแรกไปแล้ว ปาล์มน้ำมันจะเติบโตอย่างรวดเร็วและต้องการธาตุอาหารมากขึ้น โดยที่ระยะ 2-4 ปีจะตอบสนองต่อปุ๋ยมากที่สุด ซึ่งในปีที่สองนี้มีการสร้างทางใบอาจถึง 48 ทางใบต่อปี ดังนั้น การจัดการเรื่องจำนวนต้นต่อพื้นที่ให้เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อไม่ให้เกิดการแน่นทึบ (Breure, 2010) ปาล์มน้ำมันจะเริ่มสร้างและพัฒนาช่อดอกให้พร้อมที่จะให้ผลผลิตต่อไป แต่เกษตรกรส่วนใหญ่มักเพิ่มอัตราปุ๋ยเมื่อปาล์มน้ำมันเริ่มให้ผลผลิตในปีที่ 3 และ 4 จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสร้างดอกที่จะให้ผลผลิตชุดแรกลดลงไปหนึ่งปี (นคร สาระคุณ, 2539; von Uexkull และ Fairhurst, 1991)

ในช่วง 36 เดือนแรกนั้น ควรใช้ปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายน้ำง่ายและจำเป็นต้องดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี การกำจัดวัชพืชต้องระมัดระวังมิให้เป็นอันตรายกับทางใบล่าง การตัดช่อดอกควรทำในพื้นที่ที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำหรือในพื้นที่แห้งแล้ง การใส่ปุ๋ยก็ควรหว่านออกจากต้นไปไม่เกินความยาว

ทางใบที่อยู่กลาง ๆ การใส่ปุ๋ยเคมีจะต้องคำนึงถึงชนิดดินที่ปลูกปาล์มน้ำมันด้วย เนื่องจากดินในแต่ละพื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกัน (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554ก) ปริมาณปุ๋ยโดยประมาณที่ปาล์มน้ำมันต้องการจะแตกต่างกันตามอายุ แสดงตามตารางที่ 2.5

2.3.3 **ระยะปาล์มน้ำมันที่โตเต็มที่** (young mature phase)

เริ่มนับจากปีที่สามหลังปลูกในพื้นที่จนกระทั่งถึงปีที่ 9-10 โดยในระยะ 4-9 ปีหลังปลูกนี้จัดเป็นระยะให้ผลผลิตสูงสุด ปาล์มน้ำมันที่ได้รับการดูแลอย่างดีในระยะต้นกล้าและนำไปปลูกอย่างถูกต้องเมื่ออายุเหมาะสม ตลอดจนมีการให้ปุ๋ยอย่างถูกต้องนั้น ในปีแรกอาจให้ผลผลิตสูงถึง 2.4-3.2 ตัน/ไร่ (นคร สาระคุณ, 2539) และในระยะแรก ๆ ที่ปาล์มน้ำมันโตเต็มที่นั้น การสร้างทางใบจะลดลงประมาณ 36 ทางใบ/ปีเป็น 24 ทางใบ/ปี ในขณะที่ความยาวทางใบยังคงเพิ่มขึ้น สำหรับปาล์มน้ำมันอายุ 4-6 ปีควรจะไว้ทางใบ 6-7 รอบ (48-56 ทางใบ/ต้น) เนื่องจากการตัดทางใบออกมากเกินไปจะทำให้สูญเสียทะลายที่กำลังพัฒนา และปาล์มน้ำมันอาจไม่สามารถสร้างอาหารได้เพียงพอจนทำให้ช่อดอกพัฒนาเป็นเพศผู้หรือเกิดช่วงพักตัวได้ ส่วนต้นปาล์มน้ำมันอายุมากกว่า7 ปีอาจมีปัญหาเรื่องการแข่งขันระหว่างต้น ดังนั้นจึงควรไว้ทางใบจำนวนเพียง 5-5.5 รอบ (40-44 ทางใบ/ต้น) หากตัดแต่งมากเกินไปก็จะทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงและทำให้ต้นปาล์มน้ำมันสูงเร็วขึ้น เป็นอุปสรรคในการเก็บเกี่ยว ถ้ามีต้นเป็นหมันหรือไม่ให้ผลผลิตก็ควรรื้อออกไป (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2551; von Uexkull และ Fairhurst, 1991)

2.3.4 **ระยะปาล์มน้ำมันแก่** (mature phase)

เริ่มนับจากปีที่ 9 หลังปลูกเป็นต้นไป อัตราผลผลิตจะค่อย ๆ ลดลงหลังจากให้ผลผลิตสูงสุดในช่วงปี 5-8 แล้ว และอัตราการเกิดใบก็จะคงที่ประมาณ 18-24 ทาง/ปี เมื่อปาล์มน้ำมันมีอายุมากขึ้นจะมีการแข่งขันระหว่างต้นมากขึ้น ทั้งในด้านปัจจัยแสงและการชิดของทรงพุ่ม ดังนั้นการแต่งทางใบในช่วงนี้จะเก็บไว้เฉพาะทางใบรองรับทะลายเท่านั้นและลดจำนวนประชากรโดยทำลายต้นที่ให้ผลผลิตต่ำเพื่อลดค่าใช้จ่ายปุ๋ย โดยในปาล์มน้ำมันที่มีอายุมากก็ต้องการธาตุอาหารเพื่อสร้างผลผลิตลดลง ดังนั้นการให้ปุ๋ยในช่วงนี้มากเกินไปก็จะทำให้เติบโตทางลำต้นมาก อาจจะมีปัญหาทำให้ทางใบใหญ่และมีน้ำหนักมากอาจทำให้ทางใบหักในช่วงฤดูแล้ง ส่งผลต่อการพัฒนาของทะลายที่ทางใบนั้นรองรับอยู่ จึงควรมีการวิเคราะห์ดินและตัวอย่างใบเพื่อกำหนดปริมาณปุ๋ยอย่างเหมาะสม (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2551; von Uexkull และ Fairhurst, 1991)

ตารางที่ 2.5 การใส่ปุ๋ยสำหรับปาล์มน้ำมันอายุต่าง ๆ (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

อายุ (ปี)	เดือนที่ใส่ปุ๋ย	แอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0)	ร็อคฟอสเฟต (0-3-0)	โพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)	คีเซอไรด์ (27%MgO)	โบเรท (กรัม/ต้น)
		(กก./ต้น)				
1	รองก้นหลุม	-	0.5	-	-	-
	1	0.1	-	-	-	-
	3	0.2	-	-	0.1	-
	6	0.2	-	0.1	-	-
	9	0.3	0.8	0.2	-	30
	12	0.4	-	0.2	-	-
รวมทั้งหมดปีที่ 1		1.2	1.3	0.5	0.1	30
2	15	0.5	-	-	0.3	-
	18	0.5	1.5	0.5	-	60
	21	1.0	-	1.0	0.3	-
	24	1.5	1.5	1.0	-	-
รวมทั้งหมดปีที่ 2		3.5	3.0	2.5	0.6	60
3	27	1.5	-	1.0	0.5	-
	31	1.5	3.0	1.0	-	90
	36	2.0	-	1.0	0.5	-
รวมทั้งหมดปีที่ 3		5.0	3.0	3.0	1.0	90
4	40	2.5	1.5	1.5	0.5	100
	46	2.5	1.5	1.5	0.5	-
รวมทั้งหมดปีที่ 4		5.0	3.0	3.0	1.0	100
5	52	2.5	1.5	2.0	0.5	80
	58	2.5	1.5	2.0	0.5	-
รวมทั้งหมดปีที่ 5		5.0	3.0	4.0	1.0	80
6 ปีขึ้นไป	ครั้งที่ 1	2.5	1.5	2.0	0.5	80
	ครั้งที่ 2	2.5	1.5	2.0	0.5	-
รวมทั้งหมดปีที่ 6		5.0	3.0	4.0	1.0	80

2.4 ธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน

การจัดการธาตุอาหารในดินนั้นมีความสำคัญทั้งในทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการที่พืชแต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหารแต่ละชนิดในปริมาณค่อนข้างจะแน่นอนเพื่อใช้ในการรักษาความสมบูรณ์ของต้นไว้ในช่วงเวลาที่พืชสร้างผลผลิตนั้นถือว่าเป็นช่วงที่มีความสำคัญในการจัดการให้ธาตุอาหารมีเพียงพอในดินเพื่อให้เกิดผลิตภาพ (productivity) และมี

ความเป็นประโยชน์สูงสุดการจัดการธาตุอาหารในดินนั้นจึงมีความสำคัญปริมาณธาตุอาหารที่ใช้เป็นต้นทุนสำรองสำหรับความต้องการของพืช มีการเปรียบเทียบกันระหว่างปริมาณธาตุอาหารทั้งหมดที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ที่เหลืออยู่จากฤดูปลูกที่ผ่านมากับปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการและส่วนที่จำเป็นต้องใส่ให้เพิ่มเติมให้ ซึ่งปริมาณธาตุอาหารทั้ง 2 ส่วนนี้อาจจะได้มาจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ปริมาณธาตุอาหารที่ตกค้างมาจากฤดูปลูกที่ผ่านมา ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ ซากวัสดุอินทรีย์ที่เหลือทิ้งไว้ในแปลงปลูก น้ำชลประทานที่ให้ ปริมาณธาตุอาหารเหล่านี้จะนำไปพิจารณาประกอบร่วมกันเพื่อนำไปสู่การใส่ปุ๋ยในฤดูการปลูกต่อไป นอกจากปริมาณธาตุอาหารที่มีค้างอยู่แล้วปาล์มน้ำมันต้องการธาตุอาหารที่จำเป็นเหมือนกับพืชชนิดอื่น ๆ ดังนี้

2.4.1 ธาตุอาหาร

ผลการวิเคราะห์พืชทางเคมีพบว่ามีธาตุต่าง ๆ ไม่น้อยกว่า 60 ธาตุ แต่ก็มิได้จำเป็นต่อการดำรงชีพของพืชเสียทั้งหมด ธาตุอาหารของพืชชั้นสูงที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ (1) ธาตุอาหารมหัพภาคหรือมหธาตุ (macronutrients หรือ major elements) หมายถึง ธาตุที่พืชต้องการปริมาณมากและสะสมในเนื้อเยื่อพืชเมื่อโตเต็มวัยในความเข้มข้นสูงกว่า 500 mg/kg (พืชแห้ง) มี 9 ธาตุ ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ กำมะถัน (2) ธาตุอาหารจุลธาตุหรือจุลธาตุอาหารหรือธาตุอาหารเสริม (micronutrients หรือ minor elements หรือ trace elements) หมายถึง ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อยและสะสมในเนื้อเยื่อพืชเมื่อโตเต็มวัยในความเข้มข้นต่ำกว่า 50 mg/kg (พืชแห้ง) ได้แก่ เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี โบรอน โมลิบดีนัม คลอรีนและนิกเกิล (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

การปลูกพืชเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงต้องอาศัยการจัดการธาตุอาหารพืชอย่างมีประสิทธิภาพ โดยจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลสถานะและความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดินที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตพืชที่ต้องการ (พิชิต พงษ์กุล และสุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์, 2549) ธาตุอาหารพืชแต่ละชนิดทั้งหมดจะมีส่วนร่วมเกี่ยวข้องในกระบวนการสรีระต่าง ๆ การเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ซึ่งธาตุอาหารที่สำคัญต่อปาล์มน้ำมันดังนี้

2.4.1.1 มหธาตุ (macronutrients หรือ major elements)

- **ไนโตรเจน**

ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีนและนิวคลีโอโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่อยู่ในโครโมโซม มีความสำคัญต่อกระบวนการเจริญเติบโตของพืช ไนโตรเจนมีหน้าที่สำคัญ

เกือบทุกกระบวนการทางสรีรวิทยาของปาล์มน้ำมัน ปาล์มน้ำมันในช่วง main nursery และ immature stage จะตอบสนองต่อธาตุไนโตรเจนมากกว่าต้นขนาดใหญ่ ไนโตรเจนมีผลกระทบต่อพื้นที่ใบ สีใบ อัตราการเกิดใบใหม่และการดูดซึมธาตุอาหาร ดังนั้นการขาดไนโตรเจนจึงมีผลกระทบต่อการพัฒนาและการทำงานของคลอโรพลาสต์ ในใบที่ขาดไนโตรเจน โปรตีนจะถูกสลายด้วยพันธะน้ำ (hydrolyzed) กลายเป็นกรดอะมิโน กระจายย้อนกลับไปในที่ใบอ่อน ดังนั้นการขาดไนโตรเจนจึงทำให้ปาล์มน้ำมันมีการเติบโตต่ำลง ชะงักการเติบโต ใบแก่มีสีเขียวซีดและต่อมาจะซีดลงอีก จากนั้นมีสีเหลือง (chlorosis) ถ้าเป็นมาก ใบปาล์มน้ำมันจะมีอาการใบแห้ง (necrosis) อาการขาดไนโตรเจนจะพบมากในต้นปาล์มน้ำมันเล็กที่ปลูกในดินทรายตื้น ๆ หรือดินที่มีการระบายน้ำเลว หรือพื้นที่ปลูกมีวัชพืชขึ้นหนาแน่น รวมทั้งหน้าดินมีการ ชะล้างพังทลาย (กรมวิชาการเกษตร, 2547; เกริกชัย ธนรักษ์, 2554ก; ชัยรัตน์ นิลนนท์ และจำเป็น อ่อนทอง, 2538)

นอกจากนี้การมีธาตุไนโตรเจนมากเกินไปจะมีผลกระทบต่อธาตุอื่น กล่าวคือ ชักนำให้เกิดการขาดโบรอน และอาการแถบขาวเนื่องจากความไม่สมดุลระหว่างไนโตรเจนกับโพแทสเซียม นอกจากนี้ยังทำให้ปาล์มน้ำมันอ่อนแอต่อการถูกทำลายจากโรคและแมลงเพิ่มขึ้น (von Uexkull และ Fairhurst, 1991) จากรายงานของสุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ (2544) พบว่าอัตราการปุ๋ยไนโตรเจน (0.263 กก.N/ต้น/ปี) ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 9-12 เทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย และปฏิสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนกับโพแทสเซียมในอัตราที่เหมาะสมมีผลให้ปริมาณผลผลิตทะลายสดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ von Uexkull และ Fairhurst (1991) หากปาล์มน้ำมันได้รับโพแทสเซียมไม่เพียงพอแล้ว การเพิ่มการให้ปุ๋ยไนโตรเจนก็จะมีแนวโน้มทำให้อัตราส่วนน้ำมันต่อทะลายลดลงแทน หรือในทำนองเดียวกัน การให้โพแทสเซียมเพิ่มขึ้นก็ไม่มีผลทำให้อัตราส่วนน้ำมันต่อทะลายเพิ่มขึ้น ดังนั้นการให้ไนโตรเจนที่เพียงพอต่อการเติบโตเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับปาล์มน้ำมันตั้งแต่เริ่มปลูกจนมีอายุ 5-6 ปี (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และจำเป็น อ่อนทอง, 2538)

แหล่งไนโตรเจนที่ใช้ในสวนปาล์มน้ำมันคือแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) และยูเรีย (46-0-0) ในการใส่แอมโมเนียมซัลเฟตจะมีแนวโน้มทำให้ดินเป็นกรดเนื่องจากเกิดกระบวนการ nitrification เปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนเตรท และยังเป็นปฏิปักษ์ (antangonism) กับแมกนีเซียม ส่งผลให้ผิวดินเกิดการขาดแมกนีเซียมได้ ส่วนการใช้ยูเรียก็มีแนวโน้มเกิดปฏิกิริยา hydrolysis ไปเป็นแอมโมเนียมคาร์บอเนต และจะเกิดการสูญเสียไนโตรเจนจากการ volatilization การศึกษาเปรียบเทียบการใช้ปุ๋ยยูเรียและแอมโมเนียมซัลเฟต พบว่าการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันสูงกว่าการใช้ปุ๋ยยูเรียร้อยละ 3.17 เนื่องจากยูเรียสูญเสียโดยการระเหิด ดังนั้นจึงไม่ควรใส่ยูเรียในขณะดิน

แห้ง และไม่ควรใส่ในช่วงฝนตกชุกมาก ๆ หรือช่วงน้ำหลากเพื่อลดความสูญเสียจากการซึมผ่านราก (leaching) หรือไหลบ่าไปกับน้ำผิวดิน (surface runoff) (กรมวิชาการเกษตร, 2547; เกริกชัย ธนรักษ์, 2554ก; ชัยรัตน์ นิลนนท์ และจำเป็น อ่อนทอง, 2538; Hartley, 2003)

- **ฟอสฟอรัส**

ฟอสฟอรัส (P) มีบทบาทสำคัญในการสร้างองค์ประกอบของเซลล์ การแบ่งเซลล์ และการสืบพันธุ์ ทำหน้าที่เป็นตัวรับและถ่ายทอดพลังงานระหว่างสารต่าง ๆ ในกระบวนการที่สำคัญ เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสง การหายใจ เป็นต้น ดินทั่วไปมีฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 0.05 ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบออร์โทฟอสเฟต (orthophosphate) ซึ่งฟอสเฟตไอออนในสารละลายเป็นส่วนที่พืชดูดไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายแต่มีไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช อีกทั้งฟอสเฟตส่วนที่ไม่เป็นประโยชน์ในดินมีการปลดปล่อยยากและช้า อาการขาดธาตุฟอสฟอรัสในปาล์มน้ำมันมักจะไม่แสดงออกมาชัดเจน แต่อาจสังเกตได้จากการที่ปาล์มน้ำมันมีอัตราการเติบโตต่ำ ทางใบสั้นลง ลำต้นและขนาดทะลายเล็กลง หรือสังเกตได้จากอาการขาดฟอสฟอรัสของพืชใกล้เคียง โดยปลายใบและก้านใบจะมีสีม่วง ถ้าขาดเป็นเวลานาน ทรงพุ่มของปาล์มน้ำมันจะมีลักษณะคล้ายพิระมิด อย่างไรก็รากพืชมักมีเชื้อราไมโคไรซา (mycorrhizae) อาศัยอยู่ ซึ่งสามารถช่วยดูดธาตุฟอสฟอรัสจากดินได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535; ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551; สุรกิตติ ศรีกุล และคณะ, 2547)

ฟอสฟอรัสจึงถือได้ว่าเป็นธาตุอาหารหลักที่เป็นปัจจัยจำกัดต่อการเติบโต และให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันธาตุหนึ่ง ปริมาณความต้องการธาตุฟอสฟอรัสของปาล์มน้ำมันเพื่อการเติบโตตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงอายุ 9 ปี มีปริมาณสะสมเท่ากับ 32-43 กก./ไร่ (Tan, 1976) โดย von Uexkull และ Fairhurst (1991) แนะนำว่าแหล่งของธาตุฟอสฟอรัสสำหรับต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุถึง 3 ปี ควรใช้ปุ๋ยที่ละลายน้ำได้ดี เช่น ทริปเปิลซุปเปอร์ฟอสเฟต (TSP) หรือ ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) หรือหินฟอตเฟต (0-3-0) ที่มีคุณภาพดีละลายได้สูง และเมื่อปาล์มน้ำมันโตขึ้น (อายุ 4-9 ปีหลังปลูก) หรือกรณีที่ดินมีค่า pH ต่ำกว่า 5 สามารถใช้หินฟอสเฟตซึ่งอาจมีความเหมาะสมทั้งด้านการจัดการดินและด้านเศรษฐกิจ

อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสมากเกินไปจะเป็นผลให้รากปาล์มน้ำมันมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูง ซึ่งจะไปกดหรือลดการเติบโตและยับยั้งการเคลื่อนย้ายจุลธาตุ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสที่ละลายง่ายในปริมาณที่มากเกินไปจะชักนำให้เกิดการขาดธาตุสังกะสีและทองแดง (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554ก)

ปริมาณความต้องการฟอสฟอรัสของปาล์มน้ำมันในช่วงตั้งตัวหลังปลูกจะน้อย และจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่ปีที่ 2 จนสูงสุดในปีที่ 6 หลังจากนั้นปริมาณธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันต้องการจะคงที่ ความต้องการฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก (early immaturity) จะส่งผลกระทบต่อการเติบโตในระยะยาว การศึกษาชนิดและอัตราปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมสำหรับปาล์มน้ำมันที่ปลูกในดินร่วนปนทรายของภิญโญ มีเดช และคณะ (2544) ทดลองในแปลงปาล์มน้ำมันอายุ 8 ปี จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่า ธาตุฟอสฟอรัสมีผลต่อการเพิ่มผลผลิตทะลายสด Rankine และ Fairhurst (1999) ได้รายงานว่าอาการขาดธาตุฟอสฟอรัสจะเกิดในสภาพดินเป็นกรด ส่งผลให้ฟอสฟอรัสทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียม (Al) และเหล็ก (Fe) กลายเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำซึ่งไม่มีประโยชน์ นอกจากนี้ฮิวมัสในดินและแคตไอออนอาจเกิดสารประกอบ chelate กับฟอสฟอรัส ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ต่อพืชลดลง (อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง, 2551) Ng (1986) ศึกษาการตอบสนองต่อปุ๋ยหินฟอสเฟตในดิน acid sulphate (Typic Sulfaquept) ซึ่งเป็นดินที่มีความเข้มข้นของอลูมิเนียมในสารละลายดินสูง ทำให้การดูดธาตุฟอสฟอรัสทำได้น้อยลง พบว่าผลผลิตทะลายสดจะตอบสนองต่ออัตราปุ๋ยหินฟอสเฟตที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเพื่อให้ปาล์มน้ำมันคงความสามารถในการสร้างผลผลิตอย่างต่อเนื่อง จึงต้องมีการให้ธาตุฟอสฟอรัสอย่างเพียงพอ

- **โพแทสเซียม**

โพแทสเซียมเป็น enzyme activator เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ กระบวนการสร้างแป้งและน้ำตาล ตลอดจนการเคลื่อนย้ายแป้งและน้ำตาลในพืช ช่วยให้น้ำในพืชมีความสมดุลและควบคุมการเปิดปิดปากใบในเซลล์พืช ดังนั้นปาล์มน้ำมันที่ได้รับโพแทสเซียมเพียงพอจะทนทานต่อความแห้งแล้งและโรค และทำให้ทะลายปาล์มน้ำมันมีขนาดใหญ่และจำนวนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ โพแทสเซียมยังมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของจำนวนทะลายและน้ำหนักทะลายปาล์มน้ำมัน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535; สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ, 2544ก; สุรกิตติ ศรีกุล และคณะ, 2547; vonUexkull และ Fairhurst ,1991)

แหล่งโพแทสเซียมที่สำคัญคือ โพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) และขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน ซึ่งใช้แทนโพแทสเซียมคลอไรด์ได้ในอัตรา 3:2 ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันยังปรับปรุงดินกรดได้เพราะมีคุณสมบัติเป็นด่าง ควรใส่ในขณะที่ยังสดอยู่เพราะปริมาณธาตุอาหารเมื่อเปรียบเทียบโดยน้ำหนักจะลดลงอย่างมากเมื่อเก็บขี้เถ้าปาล์มน้ำมันไว้เป็นเวลานาน (ฉกรรจ์ สังข์ทอง, 2542; ชัยรัตน์ นิลนนท์ และจำเป็น อ่อนทอง, 2538; Hartley, 2534) ปาล์มน้ำมันต้องการธาตุโพแทสเซียมสูง แต่ดินในพื้นที่ปลูกมักมีโพแทสเซียมไม่เพียงพอ ผลของการขาดธาตุโพแทสเซียมจะทำให้ปาล์มน้ำมันมีผลผลิต

ลดลง ใบมีอาการผิดปกติ (กรมวิชาการเกษตร, 2547; สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ, 2544ก) ในปาล์มน้ำมันโตเต็มวัยอาจมีลักษณะอาการที่เกี่ยวข้องกับการขาดโพแทสเซียมหลายรูปแบบอาจเกิดจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมหรือปัจจัยทางพันธุกรรม (Hartley, 2534) ลักษณะอาการขาดโพแทสเซียมโดยทั่ว ๆ ไปมี 4 ลักษณะคือ ลักษณะเป็นจุดสีส้มตามใบหรือเป็นจุดสีเหลืองถึงเหลืองซีด ลักษณะใบเหลืองกลางทรงพุ่ม ลักษณะจุดสีส้ม และลักษณะแถบใบขาว ลักษณะสุดท้ายเป็นอาการที่ไม่ได้ขาดโพแทสเซียมโดยตรงแต่เกิดจากความไม่สมดุลของธาตุอาหาร คือได้รับไนโตรเจนมากเกินไป หรือเกิดจากการขาดโบรอน (Rankine และ Fairhurst, 1998; von Uexkull และ Fairhurst,1991) ในทำนองเดียวกัน ปาล์มน้ำมันที่ได้รับโพแทสเซียมมากเกินไป จะมีผลให้ลดการดูดใช้แมกนีเซียมและโบรอน อาจทำให้ผลผลิตและปริมาณน้ำมันในผลลดลงด้วย (Teo et al, 1998; von Uexkull และ Fairhurst, 1991)

- **แมกนีเซียม**

แมกนีเซียมมีบทบาทสำคัญในพืชคือเป็น enzyme activator ที่กระตุ้นการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ นอกจากนี้แมกนีเซียมยังมีหน้าที่เชื่อมโยงระหว่าง ribosome subunits กับการสังเคราะห์โปรตีน รวมทั้งมีบทบาทในการสังเคราะห์กรดไขมัน ซึ่งแมกนีเซียมปริมาณร้อยละ10-35 ของปาล์มน้ำมันอยู่ในคลอโรฟิลล์ขึ้นอยู่กับสภาพการสำรองคลอโรฟิลล์ของปาล์มน้ำมัน การขาดแมกนีเซียมจึงรบกวนการสังเคราะห์โปรตีน เป็นผลให้มีการสะสมสารประกอบไนโตรเจนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งเป็นสารตั้งต้นของโปรตีน (กรมวิชาการเกษตร, 2547; เกริกชัย ธนรักษ์, 2554ก; von Uexkull และ Fairhurst, 1991) อาการขาดแมกนีเซียมจะแสดงให้เห็นคือ ทางใบจะเป็นสีเหลืองและเกิดแถบสีเหลืองบริเวณที่รับแสงโดยตรง (Rankine และ Fairhurst, 1998)

แหล่งแมกนีเซียมที่สำคัญคือ คีเซอไรด์ ($MgSO_4.H_2O$; 26%MgO, 23%S) ซึ่งละลายน้ำง่ายและเป็นประโยชน์ต่อพืชได้เร็ว อีกแหล่งที่สำคัญคือโดโลไมต์ ซึ่งสามารถลดปัญหาดินกรด แต่เนื่องจากโดโลไมต์สลายตัวช้า บางครั้งอาจไม่สามารถให้แมกนีเซียมอย่างเพียงพอต่อความต้องการของปาล์มน้ำมัน หรือไม่สามารถแก้ไขอาการขาดแมกนีเซียมได้อย่างรวดเร็ว และในกรณีที่ดินเป็นด่าง (pH) สูงจะเป็นอุปสรรคต่อการละลายของแมกนีเซียมเช่นเดียวกัน (ฉกรรจ์ สังข์ทอง, 2542; von Uexkull และ Fairhurst, 1991) ในดินด่างทำให้เกิดการขาดธาตุแมกนีเซียมเนื่องมาจากการแข่งขันการดูดใช้กับธาตุแคลเซียมมีผลให้พืชขาดแมกนีเซียมขึ้นได้ รวมทั้งการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมมากเกินไปก็จะเกิดการแข่งขันการดูดใช้ธาตุอาหารระหว่างโพแทสเซียมกับแมกนีเซียมที่เป็นปฏิปักษ์กัน ถ้าดินมีความชื้นต่ำ ความเป็นประโยชน์ของแมกนีเซียมก็จะลดลง ด้วยเหตุนี้จึงพบการขาดแมกนีเซียมในฤดูแล้งหรือตอนฝนทิ้งช่วงนาน และการขาดจะรุนแรงขึ้นถ้าได้รับปุ๋ยโพแทสเซียมไม่เพียงพอ (สุนีย์

นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ, 2544ก) รวมทั้งการให้ปุ๋ยแมกนีเซียมที่มากเกินไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปโดโลไมต์ อาจชักนำให้เกิดการขาดโพแทสเซียมเนื่องจากมีปฏิกิริยาขัดแย้งซึ่งกันและกัน (antagonism) ระหว่างแคลเซียม แมกนีเซียมและโพแทสเซียม (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554ก)

2.4.1.2 **จุลธาตุ** (micronutrient elements)

แม้ว่าพืชจะต้องการจุลธาตุในปริมาณที่น้อย คือไม่เกิน 100 mg/kg ก็ตาม แต่จุลธาตุทุกธาตุก็มีบทบาทสำคัญในกระบวนการเมแทบอลิซึมของพืช การเพาะปลูกพืชเชิงเดี่ยวที่มีการใช้ปุ๋ยธาตุอาหารหลักติดต่อกันเป็นเวลานาน มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกไปจากพื้นที่ตลอดเวลา จะทำให้จุลธาตุถูกเคลื่อนย้ายออกไปจากดินติดไปกับผลผลิตอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับมหธาตุ มีผลให้ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชหลายพื้นที่เกิดการขาดแคลนจุลธาตุเพิ่มมากขึ้น ถึงแม้ว่าจุลธาตุจะเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการน้อยมากเมื่อเทียบกับธาตุอาหารหลัก แต่จุลธาตุก็มีความจำเป็นที่พืชจะขาดไปไม่ได้ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549) สำหรับบทบาทของจุลธาตุต่อปาล์มน้ำมันมีดังนี้

- **โบรอน**

โบรอนเป็นธาตุที่เร่งการเติบโตของเนื้อเยื่ออ่อน ทำให้ท่อนำเกสรแข็งแรง ช่วยในการงอกและเจริญของละอองเกสร จำเป็นในการแบ่งเซลล์ โดยเฉพาะบริเวณปลายยอดและปลายราก และเกี่ยวข้องกับการดูดดึงธาตุแคลเซียมของรากพืช (กรมวิชาการเกษตร, 2547; ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2548) ในเนื้อเยื่อปาล์มน้ำมันที่ขาดโบรอนจะพบการสร้าง IAA ในปริมาณมาก ทำให้ผนังเซลล์มีรูปร่างผิดปกติ ลักษณะอาการขาดโบรอนจะเกี่ยวข้องกับความผิดปกติของรูปร่างใบ เช่น ใบรูปตาขอ (hooked leaf) และถ้าอาการรุนแรงจะทำให้ใบยอดย่นและปลายหัก โดยอาการขาดโบรอนอย่างรุนแรงของปาล์มน้ำมันคือจะหยุดสร้างใบอย่างสิ้นเชิง มีการสร้างหลุมหรือโพรงในส่วนการของยอดปาล์มน้ำมัน การลดลงของผลผลิตอาจเนื่องมาจากการแท้งของดอกตัวเมียเพราะเกสรตัวผู้ไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากหลอดเกสรตัวผู้ไม่เจริญ (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554ก; Corley, 2003)

อาการขาดธาตุโบรอนจะแสดงออกที่ส่วนที่อ่อนที่สุดของพืช เนื่องจากเป็นธาตุที่ไม่เคลื่อนย้ายในพืช ดังนั้นจึงส่งผลกระทบต่อการพัฒนาใบ ทำให้มีรูปร่างพับย่น หักงอผิดปกติ อาการขาดโบรอนพบเห็นอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพพื้นที่ที่มีฝนตกหนัก ในดินทรายหรือดินพรุซึ่งง่ายต่อการชะล้างโบรอน รวมทั้งสวนปาล์มน้ำมันที่มีการใช้ไนโตรเจนและโพแทสเซียมสูงก็จะทำให้สูญเสียโบรอนไปกับการเติบโตและการให้ผลผลิตที่สูงขึ้นปุ๋ยโบรอนที่ใช้โดยทั่วไปอยู่ในรูปโบเรท (Borate: $Na_2B_4O_2.5H_2O$: 14%B) หรือโบแรกซ์ (Borax: $Na_2B_4O_2.10H_2O$: 11%B) ซึ่งอยู่ในรูปโซเดียมโบเรทโดยดูดซึมอย่างรวดเร็วที่ซอกใบ (leaf axils) (Rajaratnum, 1976) อย่างไรก็ตามการให้โบรอนที่

แกนลำต้นแม้จะมีประสิทธิภาพแต่ไม่แนะนำให้ทำเนื่องจากเป็นการให้ที่ไม่กระจายตัว อาจเกิดการเป็นพิษในบางบริเวณของต้นปาล์มน้ำมันที่ได้รับโบรอนมากเกินไปได้ (กรมวิชาการเกษตร, 2547; von Uexkull และ Fairhurst, 1991)

- **สังกะสี**

สังกะสีมีบทบาทสำคัญในเมแทบอลิซึมของดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอ ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน เอนไซม์หลายชนิดมีสังกะสีเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในโครงสร้าง รวมทั้งมีบทบาทในการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยร่วมกับโพแทสเซียมในการควบคุมการเปิดปิดปากใบ เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์คาร์บอนิก แอนไฮเดรสซึ่งช่วยให้มี CO_2 เพียงพอสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551) ดังนั้นการขาดสังกะสีจึงเป็นปัจจัยหนึ่งของการผิดปกติของปาล์มน้ำมัน von Uexkull และ Fairhurst (1991) รายงานว่าการใส่ธาตุสังกะสีในพื้นที่ที่มีการขาดแคลนสังกะสีอย่างรุนแรงในดินอินทรีย์ จะทำให้การเติบโตและผลผลิตปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 12-78 การวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบจะช่วยให้ทราบว่าพืชได้รับธาตุอาหารเพียงพอหรือไม่ ดังนั้นจึงมีข้อแนะนำว่าปาล์มน้ำมันที่เติบโตปกติควรรักษาระดับความเข้มข้นของสังกะสีในใบ ให้อยู่ในช่วง 12-18 mg/kg

ดินในภาคต่าง ๆ ของประเทศไทยมีธาตุสังกะสีทั้งหมดเข้มข้นอยู่ระหว่าง 0.7-105 mg/kg โดยที่ภาคอีสาน ภาคใต้และภาคตะวันออก มีความเข้มข้นของสังกะสีน้อยกว่าภาคอื่น ๆ (พิชิต พงษ์สกุล และสุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์, 2549) การใส่ธาตุสังกะสีจะช่วยส่งเสริมการดึงดูดธาตุโพแทสเซียมจากดิน ในทางกลับกันพบว่าการใส่ฟอสฟอรัสในดินอินทรีย์ปนทราย จะส่งผลให้ปาล์มน้ำมันแคระแกร็นเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากฟอสฟอรัสมีผลให้ความเป็นประโยชน์ของสังกะสีลดลง เพราะสังกะสีทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสและไม่ละลาย อาการขาดสังกะสีจึงพบในไม้ผลทุกชนิดทุกภาคของประเทศไทย อาการที่รุนแรงมากคือพืชจะไม่ออกดอกออกผล แหล่งสังกะสีที่ใช้มีหลายชนิดทั้งในรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ เช่น สังกะสีซัลเฟต (ZnO.HO: 36%Zn), สังกะสีออกไซด์ (ZnO: 78-80%Zn), สังกะสีคาร์บอเนต (ZnCO: 52%Zn), สังกะสีคีเลท (NaZnEDTA) เป็นต้น การใส่ปุ๋ยทางดินมักพบปัญหาสังกะสีถูกลดความเป็นประโยชน์ลงโดยฟอสฟอรัส ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีพ่นทางใบรวมทั้งลดการใช้ปุ๋ยฟอสฟอรัสลง (พิชิต พงษ์สกุล และสุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์, 2549; สุมิตรา ภู่วโรดม, 2549; von Uexkull และ Fairhurst ,1991)

2.5 ความต้องการธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน

หลังจากปลูกปาล์มน้ำมันจนกระทั่งอายุประมาณ 3 ปี เป็นช่วงที่มีอัตราการเติบโตเร็วมาก ทำให้ปาล์มน้ำมันมีความต้องการธาตุอาหารสูง ส่วนหนึ่งสำหรับใช้สร้างทางใบ ต้นและราก อีกส่วนหนึ่งสำหรับใช้เตรียมออกดอก ออกผลในช่วงหลังจากนี้ 3 ปีไปแล้ว (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554ก) ถ้ามีการเก็บเกี่ยวผลผลิตออกไปมากก็จะมีการสูญเสียธาตุอาหารออกไปมากเช่นเดียวกัน และธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันดูดขึ้นไปใช้นั้นกระจายไปยังหลายส่วน ไม่ว่าจะเป็นสะสมในส่วนของลำต้น ใบและทะลายปาล์มน้ำมัน ดอกตัวผู้ เป็นต้น จึงต้องมีการใส่ปุ๋ยเพื่อเติมธาตุอาหารให้สมดุลเพื่อให้ผลผลิตสูงขึ้น (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2551)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันในช่วงอายุต่างๆ (Tan, 1976)

ช่วงอายุ (ผลรวม/ปี)	ธาตุอาหาร (กิโลกรัม/เฮกแตร์)				
	N	P	K	Mg	Ca
0-3	39.8	6.1	55.4	7.4	129
3-9	191-267	32-42	287-387	48-67	85-114
0-9 ปริมาณสะสมรวม	1,231-1,720	204-272	1,850-2,487	314-423	531-721

จากตารางที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีความต้องการธาตุอาหารสูง โดยในช่วงอายุ 3-9 ปีเป็นช่วงที่ปาล์มน้ำมันเริ่มให้ผลผลิตจึงต้องการธาตุไนโตรเจนเพื่อเจริญเติบโตและธาตุโพแทสเซียมเพิ่มบำรุงผลสูง ดังนั้นจึงต้องมีการใส่ปุ๋ยเพื่อชดเชยปริมาณธาตุอาหารที่สูญเสียไปกับผลผลิต หรือสูญเสียไปกับการกัดกร่อนหรือชะล้างของดิน

ทุก ๆ หนึ่งตันทะลายสด ปาล์มน้ำมันจะใช้ธาตุอาหารดังตารางที่ 2.7 ดังนั้นทุก ๆ หนึ่งตันทะลายสด ต้นปาล์มน้ำมันจะใช้ปุ๋ย 21-0-0 จำนวน 13.87 กิโลกรัม, ปุ๋ย 0-3-0 จำนวน 2.20 กิโลกรัม, ปุ๋ย 0-0-60 จำนวน 7.06 กิโลกรัม, ปุ๋ยคีเซอร์ไรต์ 4.38 กิโลกรัม, ปุ๋ย $CaCO_3$ 2.02 กิโลกรัม (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554ข) เกษตรกรส่วนใหญ่ก็ได้มีการใส่ปุ๋ยอยู่แล้ว แต่อาจจะไม่เพียงพอหรือถูกต้องเหมาะสมต่อปาล์มน้ำมัน ประกอบกับปุ๋ยเคมีมีราคาแพง ราคานำเข้าปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตและยูเรีย ปี 2554 ราคา 5,547 และ 12,508 บาท/ตัน ตามลำดับ ต้นทุนด้านปุ๋ยของสวนปาล์มน้ำมันจึงมีค่าใช้จ่ายมากที่สุด โดยอาจสูงถึงร้อยละ 60 ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด ดังนั้นการลดค่าใช้จ่ายปุ๋ยต่อต้นลงได้เล็กน้อยก็

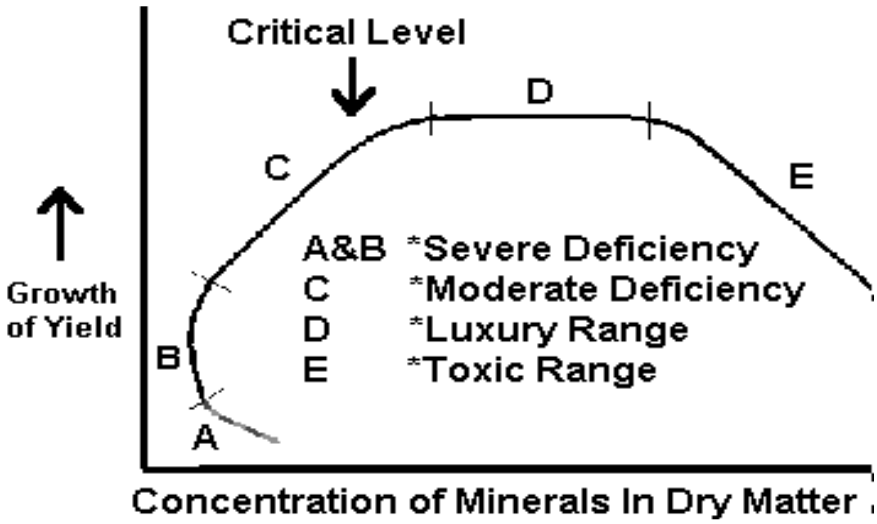
จะสามารถลดต้นทุนการผลิตต่อพื้นที่ได้มาก (กรมวิชาการเกษตร, 2554; เกริกชัย ธนรักษ์, 2547; ฉกรรจ์ สังข์ทอง, 2542; ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2548)

ตารางที่ 2.7 ธาตุอาหารใน 1 ตันทะลายปาล์มน้ำมันสด (von Uexkull และ Fairhurst, 1991)

กิโลกรัม					กรัม				
N	P	K	Mg	Ca	Mn	Fe	B	Cu	Zn
2.94	0.44	3.71	0.77	0.81	1.51	2.47	2.15	4.76	4.93

วิธีการพื้นฐานที่ใช้หาปริมาณความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันกระทำได้หลายวิธี วิธีแรกคือ การใช้สามัญสำนึกและประสบการณ์ในการใช้ปุ๋ย วิธีที่สอง คือใช้ลักษณะอาการที่มองเห็นที่ต้นปาล์มน้ำมันแสดงอาการขาดธาตุอาหาร วิธีสุดท้ายคือใช้วิธีทางวิทยาศาสตร์ตามผลการวิเคราะห์ดินและใบ (นคร สาระคุณ, 2539; ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2552) ปริมาณความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันจะแปรปรวน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ภูมิอากาศ ระยะปลูก สมบัติของดินและสภาพแวดล้อมอื่น ๆ (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และจำเป็น อ่อนทอง, 2538) ปริมาณปุ๋ยโดยประมาณที่ปาล์มน้ำมันต้องการจะแตกต่างกันตามอายุ แสดงตามตารางที่ 2.5

การประเมินความต้องการธาตุอาหารโดยวิธีการพิจารณาผลการวิเคราะห์ดินเพียงอย่างเดียวไม่สามารถตอบสนองการจัดการใส่ปุ๋ยได้อย่างเหมาะสมมากนัก เนื่องจากไม่สามารถได้ตัวอย่างดินที่เป็นตัวแทนที่แท้จริงของแปลงปลูก (นคร สาระคุณ, 2539) และด้วยเนื่องจากปาล์มน้ำมันมีการให้ผลผลิตควบคู่ไปกับการเกิดทางใบใหม่อย่างสม่ำเสมอตลอดปี การวิเคราะห์ใบจึงให้ความเหมาะสมในการใช้เป็นข้อมูลการจัดการธาตุอาหารได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ๆ ตลอดจนการเก็บใบปาล์มน้ำมันมาวิเคราะห์ก็สามารถดำเนินการได้ไม่ยาก และนำมาตีความโดยแนะนำเป็นช่วงระดับวิกฤต หรือช่วงระดับความเหมาะสม (von Uexkull และ Fairhurst, 1991) การวิเคราะห์ใบเพื่อประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ใช้ปลูกพืชนั้นให้ผลและน่าเชื่อถือได้มากกว่าการวิเคราะห์ดิน แต่ก็มีข้อพึงระวังเมื่อธาตุอาหารพืชหมดไปจากดินแล้วแต่ธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันยังไม่ลดลง จะมีผลให้ผลผลิตในฤดูกาลผลิตต่อไปลดลงแน่นอน หลักการโดยทั่วไปคือถ้าความเข้มข้นของธาตุอาหารในพืชต่ำกว่าค่ามาตรฐาน พืชมักมีการตอบสนองต่อธาตุอาหารนั้น ในทางกลับกัน ถ้าพืชมีความเข้มข้นของธาตุอาหารสูงกว่าค่ามาตรฐาน มักจะไม่พบการตอบสนองของพืช (สมจิตร วังใน, 2552; Hartley, 2003)



ภาพที่ 2.4 ระดับธาตุอาหารในพืชการเติบโตและผลผลิต

ที่มา: http://aesl.ces.uga.edu/publications/plant/Interpret.htm

ปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันแตกต่างกันตามช่วง โดยช่วงที่ 1 (zone A&B) เมื่อให้ธาตุอาหารแก่ปาล์มน้ำมันเล็กน้อย การตอบสนองของปาล์มน้ำมันในช่วงที่ขาดธาตุอาหารอย่างรุนแรง (severe deficiency) จะเพิ่มผลผลิตขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าปริมาณธาตุอาหารที่สะสมในใบซึ่งเป็นลักษณะที่มีผลผลิตเพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณธาตุอาหารในใบลดลง เป็นผลของการเจือจาง “dilution effect” และหลังจากนั้นปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันจะไม่เปลี่ยนแปลงโดยที่ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น ส่วนช่วงที่ 2 (zone C) เป็นช่วงที่ปาล์มน้ำมันขาดธาตุอาหารน้อยจนถึงปานกลาง เมื่อปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งซึ่งเรียกว่าระดับวิกฤต (critical level) ส่วนช่วงที่ 4 (zone D) พืชจะไม่ตอบสนองในด้านการเติบโต แม้ว่าระดับธาตุอาหารในใบพืชจะเพิ่มขึ้นก็ตาม ซึ่งเป็นช่วงที่ได้รับธาตุอาหารเกินความต้องการของปาล์มน้ำมัน และช่วง zone E ระดับธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจนอยู่ในระดับที่เป็นพิษ ทำให้การเติบโตของพืชลดลง (Hartley, 2003)

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารในต้นปาล์มน้ำมันจะศึกษาจากใบปาล์มน้ำมันโดยใช้ใบย่อยของแต่ละทางใบมาวิเคราะห์ ซึ่งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันมีระดับสูงขึ้นจนกระทั่งถึงใบที่ 5 จากนั้นก็มีแนวโน้มลดลงตามอายุปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ส่วนแคลเซียมและแมกนีเซียมกลับเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุมากขึ้นมีอัตราการเติบโตต่ำกว่าต้นปาล์มน้ำมันที่มีอายุน้อย อีกทั้งพืชแสดงอาการขาดธาตุอาหารเมื่อไม่ใส่ปุ๋ยนั้น ๆ โดยผลผลิตทะลายสดมีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารในทางใบปาล์มน้ำมันที่ 1, 9, 17 และ 25 อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในทางใบที่ 17 มีความสัมพันธ์กับผลผลิตทะลายสดอย่างมี

นัยสำคัญอีกทั้งปริมาณธาตุต่าง ๆ ในใบจากทางใบที่ 17 เป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนักทะลายสดสูงกว่าการใช้ผลวิเคราะห์จากทางใบทางอื่น ๆ และก้านทางใบที่ 17 จะอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางลำต้นทำมุม 45° กับแนวราบซึ่งเจริญเติบโตเต็มที่และยังไม่หลุดแห้งไปรวมทั้งระยะเวลาในช่วงวันที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างใบก็มีผลน้อยมากต่อระดับปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน ดังนั้นทางใบที่ 17 จึงถือเป็นทางใบอ้างอิงที่ได้รับความนิยม (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2544ข; ปรีดา พากเพียร และคณะ, 2532; Chapman และ Gray, 1949; Hartley, 2534)

อย่างไรก็ตาม ค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบที่เหมาะสมจะมีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อายุของปาล์มน้ำมัน ดิน ภูมิอากาศ ตลอดจนธาตุอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และเนื่องจากปริมาณน้ำฝน หรือการขาดน้ำมีผลต่อระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของธาตุอาหารในใบ ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่าวิกฤตของธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันที่ปลูกในเขตแห้งแล้ง (ขาดน้ำ -400 มิลลิเมตร) และเขตพื้นที่ที่มีฝนตกค่อนข้างชุก (ขาดน้ำ -200 มิลลิเมตร) ซึ่งช่วยในการแปลผลวิเคราะห์ได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น (ตารางที่ 2.7) (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มน้ำมันออกไปจากสวนทุก ๆ เดือนหรือมีการตัดแต่งทางใบ หรือสะสมในดอกตัวผู้ หรือทางใบร่วงย่อมเป็นการหมุนเวียนธาตุอาหารในวงจรและสูญเสียไปจากสวน และบางส่วนมีการสะสมไว้ในต้นปาล์มน้ำมันเพื่อการสร้างผลิตและเจริญเติบโต ดังนั้นความต้องการธาตุอาหารจะแปรปรวน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ภูมิอากาศ ระยะปลูก สมบัติดินและสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อผลผลิตและการเติบโตของปาล์มน้ำมัน ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ปริมาณความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันในช่วงปีแรกจะต้องการน้อยเพราะต้นยังเล็กและยังอยู่ในระยะตั้งตัว และจะมีความต้องการมากขึ้นจนกระทั่งถึงอายุ 5 ปี หลังจากนั้นความต้องการธาตุอาหารจะคงที่ไปจนถึงอายุประมาณ 10 ปี หลังจากนั้นก็จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ดังนั้นจึงต้องต้องพิจารณาอายุของปาล์มน้ำมันหลังปลูกในแปลง เนื่องจากปาล์มน้ำมันที่มีอายุต่างกันจะต้องการธาตุอาหารต่างกัน (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2551; von Uexkull และ Fairhurst, 1991)

ตารางที่ 2.7 ค่าวิกฤตของของธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันที่ปลูกภายใต้สภาวะการขาดน้ำที่ต่างกัน (Richardson, 1986)

อายุ (ปี)	ทางใบที่	ขาดน้ำที่ 200 มิลลิเมตร					ขาดน้ำที่ 400 มิลลิเมตร				
		เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง				ส่วนต่อล้าน	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง				ส่วนต่อล้าน
		N	P	K	Mg	B	N	P	K	Mg	B
2	9	2.94	0.185	1.35	0.35	18	2.68	0.170	1.20	0.35	18
3	9	2.90	0.180	1.30	0.30	18	2.60	0.166	1.15	0.33	18
4	17	2.68	0.170	1.20	0.26	14	2.55	0.163	1.05	0.25	14
6	17	2.64	0.168	1.17	0.26	15	2.51	0.161	1.00	0.25	15
9	17	2.57	0.164	1.11	0.25	16	2.46	0.159	0.95	0.24	16
12	17	2.51	0.161	1.06	0.24	16	2.41	0.156	0.90	0.24	16
15	17	2.44	0.158	1.00	0.24	16	2.36	0.154	0.85	0.23	16
18	17	2.39	0.155	0.95	0.23	16	2.31	0.151	0.80	0.22	16
21	17	2.33	0.152	0.90	0.23	16	2.26	0.149	0.75	0.21	16

หากผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในใบปาล์มน้ำมันตกอยู่ในช่วงเบี่ยงเบนร้อยละ 5 จากค่าวิกฤต และโพแทสเซียม ในช่วงเบี่ยงเบนร้อยละ 10 ให้ใส่ปุ๋ยในอัตราเดิมตามปกติในปีถัดไปหากระดับธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันน้อยกว่าค่าต่ำสุดของค่าเบี่ยงเบนจากค่าวิกฤต ควรเพิ่มปุ๋ยธาตุอาหารชนิดนั้นอีกร้อยละ 25 ของการใส่ปุ๋ยในปีถัดไป และต้องลดปุ๋ยร้อยละ 25 ในปีถัดไป หากระดับธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันสูงกว่าค่าเบี่ยงเบนจากค่าวิกฤต (เกริกชัย ธนรักษ์, 2547; Richardson, 1986)

ค่าปุ๋ยจึงเป็นปัจจัยสำคัญด้านต้นทุนการผลิต การประเมินความต้องการปุ๋ยที่เหมาะสมจึงมีบทบาท ดังนั้นการจัดการการศึกษาสาเหตุและวินิจฉัยการขาดธาตุอาหารพืชจึงจะต้องทำอย่างระมัดระวัง บางครั้งพบว่าวิธีการใส่ที่เหมาะสมสามารถลดอัตราการใส่ที่สูงได้ อีกทั้งชนิดและปริมาณปุ๋ยที่ใส่ ส่งผลต่อการเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมันไม่แตกต่างกัน (สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และชาย โฆรวิส, 2539)

ดังนั้นจึงควรจัดการธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันโดยใช้ธาตุอาหารจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และของทิ้งจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน เช่น เส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน เป็นต้น รวมทั้งของทิ้งอุตสาหกรรมยางพาราเช่น กากขี้แป้งและกากตะกอนน้ำเสีย เป็นต้น เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านปุ๋ยและเป็นทางเลือกแก่เกษตรกรอีกทางหนึ่ง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมันในครั้งนี้ เป็นการศึกษาวิจัยแบบทดลอง (experimental research) ที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมัน ตำบลท่าอุแท อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ดำเนินการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี และห้องปฏิบัติการสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร รายละเอียดวิธีการศึกษา มีดังนี้

3.1การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย

3.1.1 การรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการรวบรวมข้อมูลทางวิชาการและงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศเกี่ยวกับอุตสาหกรรมยางพาราและอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน เช่น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน แหล่งธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน การใช้ประโยชน์จากการใช้ของทิ้งจากการสกัดน้ำมันปาล์มเป็นแหล่งธาตุอาหารพืช อัตราการเกิดและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน การเกิดกากขี้แป้งในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น อัตราการเกิดกากขี้แป้ง องค์ประกอบทางเคมีของกากขี้แป้ง การใช้ประโยชน์กากขี้แป้งและกากตะกอนน้ำเสียเป็นแหล่งธาตุอาหารพืช

3.1.2 การสำรวจภาคสนามและกำหนดพื้นที่วิจัย

สำรวจภาคสนามที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีซึ่งปลูกปาล์มน้ำมันเป็นอันดับ 2 ของประเทศและมีโรงงานผลิตน้ำยางข้นเป็นอันดับ 1 ของประเทศ และกำหนดพื้นที่วิจัย คือ พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอราของศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมัน ตำบลท่าอุแท อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีการใส่ปุ๋ยปีละ 2-3 ครั้ง โดยปุ๋ยที่ใช้ได้แก่ 21-0-0, 18-46-0, 0-0-60, คีเซอไรต์ และโบเรท

3.2 การออกแบบการทดลอง

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ วางแผนการวิจัยแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design; RCBD) ทำ 4 ซ้ำ มี 6 ตำรับทดลอง (ตารางที่ 3.1) การศึกษาครั้งนี้มี 24 หน่วยทดลอง หนึ่งหน่วยทดลองคือต้นปาล์มน้ำมัน สายพันธุ์เทเนอรา อายุ 5 ปี จำนวน 9 ต้น

ตารางที่ 3.1 ตำรับการทดลองในการศึกษาผลการเติมสิ่งทดลองต่อปริมาณธาตุอาหารและการเติบโตของปาล์มน้ำมัน

ตำรับ	สิ่งทดลอง
C	ดินเดิม (ควบคุม)
F	ดินเดิมและปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี *
S1	ดินเดิมและกากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น
S2	ดินเดิมและกากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น
S3	ดินเดิมและกากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น
S4	ดินเดิมและกากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

หมายเหตุ

*ความต้องการปุ๋ยเคมีของต้นปาล์มน้ำมันในพื้นที่ทดลอง (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2552)	ชนิดและปริมาณปุ๋ยเคมี (กก./ต้น)				
	21-0-0	18-46-0	0-0-60	คีเซอไรต์	โบเรท
อัตราแนะนำ	3	1.5	2.5	-	-

3.3 การเตรียมการทดลอง

3.3.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

ดำเนินการจัดหาวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ดังนี้

ก. วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในภาคสนามได้แก่

1) อุปกรณ์ใส่ตัวอย่าง ได้แก่ ถังน้ำถุงดำถุงพลาสติกใสขนาด 16×24 นิ้ว

2) เครื่องมือวัด ได้แก่ ไม้บรรทัด เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ ตลับเมตร เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter)

3) เครื่องมือสำหรับชั่งตวง ได้แก่ เครื่องชั่งน้ำหนัก เหยือกตวงขนาด 0.5,1 และ 2 ลิตร เหยือกวัดปริมาณน้ำฝน

4) ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยเคมีสูตร 21-0-0 ปุ๋ยเคมีสูตร 18-46-0 ปุ๋ยเคมีสูตร 0-0-60

5) เครื่องมือสำหรับเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน ได้แก่ ตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร ตะแกรงร่อนขนาด 0.5 มิลลิเมตร พลั่วมือ จอบ เสียม ครกกระเบื้องเคลือบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว

6) วัสดุและอุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ ผ้าใบพลาสติก ป้ายรหัสติดต้นปาล์มน้ำมัน

ข. วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

1) อุปกรณ์ใส่ตัวอย่าง ได้แก่ ถุงพลาสติก ขวดแก้ว ขวดพลาสติก

2) เครื่องแก้ว ได้แก่ บีกเกอร์ (beaker) ขวดรูปชมพู่ (erlenmayer flask) ขวดปรับปริมาตร (volumatic flask) ปิเปต (pipet) บิวเรต (buret) กระบอกตวง (cylinder) แท่งแก้ว กรวยแก้ว กระจกนาฬิกา

3) เครื่องมือสำหรับการเตรียมและการวิเคราะห์ตัวอย่าง ได้แก่ เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด (analytical balance) เครื่องเขย่า (mechanical shaker) เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter) เครื่องกลั่นไนโตรเจน (distilatillion unit) เครื่องย่อยตัวอย่าง (digester apparatus) เตาแผ่นความร้อน (hot plate) เตาอบ (oven) เตาเผา (muffle furnace) โถดูดความชื้น (dessicator)

4) สารเคมี ได้แก่ sulfuric acid (H_2SO_4), ammonium acetate (NH_4OAc),sodium chloride (NaCl), hydrochloric acid (HCl), ethyl alcohol (C_2H_2O), bromocresol green ($C_{21}H_{14}Br_4O_5S$), methyl red ($C_{15}H_{15}N_3O_2$),boric acid (HBO_3), potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$), heavy MgO, asbestos,barium diphenyl amine sulfonate indicator (BDS),phosphoric acid (H_3PO_4), ferrous ammonium sulfate heptahidrate ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.7H_2O$, Devarda's alloy(CAS # 8049-11-4), sodium fluoride (NaF),potassium chloride (KCl), perchloric acid ($HClO_4$), nitric acid(HNO_3), triethanolamine (TEA), ammonium fluoride (NH_4F), ammonium molybdate [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}4H_2O$], calcium chloride ($CaCl_2$), ammonium metavanadate (NH_4VO_3), ascorbic acid ($C_6H_8O_6$), calcium chloride dihydrate ($CaCl_22H_2O$), Potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4), magnesium sulfate heptahydrate ($MgSO_4.7H_2O$), diethylenetriaminepenta-acetic acid (DTPA), calcium carbonate ($CaCO_3$), potassium antimony tartrate ($KSbO^-C_4H_4O_6$) และโลหะสังกะสีบริสุทธิ์

5) วัสดุและอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น กระดาษกรอง กระดาษชำระ พาราฟิล์ม ตะกร้าพลาสติก เป็นต้น

3.3.2 การเตรียมกากขี้แป้ง

นำกากขี้แป้งที่ผ่านกระบวนการแยกยางออกแล้ว จากโรงงานผลิตน้ำยางข้น บริษัทอินเตอร์รับเบอร์ลาเท็กซ์ จำกัด อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ผึ่งแดดให้แห้งอย่างระมัดระวังไม่ให้มีการปนเปื้อน เมื่อกากขี้แป้งแห้งนำมาทุบและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บกากขี้แป้งที่ผ่านการร่อนไว้ในถุงพลาสติกที่สะอาดสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ (ตารางที่ 3.2) และทดลองต่อไป

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีของดินและของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต่าง ๆ ในการศึกษาครั้งนี้

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ดิน	กากขี้แป้ง	กากตะกอนน้ำเสีย	เส้นใยปาล์มน้ำมัน	ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน
pH	pH meter	+	+	+	+	+
อินทรียวัตถุ	Walkley and Black method	+	+	+	+	+
C.E.C.	Titrimetric method (AOAC)	+	-	-	-	-
ไนโตรเจน (N)	Stream Distillation method (ปริมาณที่เป็นประโยชน์)	+	+	-	-	-
	Micro-Kjeldahl method (ปริมาณทั้งหมด)	+	+	+	+	+
ฟอสฟอรัส (P)	Bray II (ปริมาณที่เป็นประโยชน์)	+	+	+	+	+
	Colorimetric method (ปริมาณทั้งหมด)	+	+	-	-	-
โพแทสเซียม (K)	1N NH_4Oac pH 7.0 (ปริมาณที่แลกเปลี่ยนได้)	+	+	+	+	+
	HNO_3:$HClO_4$ (2:1) (ปริมาณทั้งหมด)	+	+	-	-	-
แมกนีเซียม (Mg)	Atomic Absorption Spectrophotometer	+	+	+	+	+
สังกะสี (Zn)		+	+	+	-	-
โบรอน (B)		+	+	+	+	+
C/N ratio	Walkley and Black method/ Micro-Kjeldahl method	+	+	+	+	+

หมายเหตุ (+) หมายถึง ทำการวิเคราะห์ (-) หมายถึง ไม่ทำการวิเคราะห์

3.3.3 **การเตรียมกากตะกอนน้ำเสีย**

นำกากตะกอนน้ำเสียของโรงงานยางไทยปักษ์ใต้ จังหวัดนครศรีธรรมราช ผึ่งแดดให้แห้งอย่างระมัดระวังไม่ให้มีการปนเปื้อน เมื่อกากตะกอนน้ำเสียแห้งนำมาทุบและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการร่อนไว้ในถุงพลาสติกที่สะอาดสำหรับใช้ในการวิเคราะห์และทดลองต่อไป

3.3.4 การเตรียมเส้นใยปาล์มน้ำมัน

นำเส้นใยปาล์มน้ำมันจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผึ่งแดดให้แห้งอย่างระมัดระวังไม่ให้มีการปนเปื้อน เมื่อแห้งแล้วเก็บเส้นใยปาล์มน้ำมันไว้ในถุงพลาสติกที่สะอาดสำหรับใช้ในการวิเคราะห์และทดลองต่อไป

3.3.5 การเตรียมขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน

นำขี้เถ้าปาล์มน้ำมันจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผึ่งแดดให้แห้งอย่างระมัดระวังไม่ให้มีการปนเปื้อน เมื่อแห้งแล้วเก็บขี้เถ้าปาล์มน้ำมันไว้ในถุงพลาสติกที่สะอาดสำหรับใช้ในการวิเคราะห์และทดลองต่อไป

3.3.6 การเตรียมหน่วยทดลอง

กำหนดตัวอย่างต้นปาล์มน้ำมันโดยติดป้ายรหัสการทดลองทุกต้น แต่ละหน่วยทดลองจะมีแถวปาล์มน้ำมันควบคุมจำนวน 2 แถวเพื่อป้องกันผลกระทบจากการชะล้างของปุ๋ยจากแปลงหนึ่งไปแปลงหนึ่ง

3.4 การเก็บตัวอย่าง

3.4.1 การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังเติมสิ่งทดลองครบ 90 วันแล้ว โดยเก็บตัวอย่างดินรวม (composite samples) ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร สุ่มเก็บรอบรัศมีทรงพุ่มของต้นปาล์มน้ำมัน 9 ต้น รวมเป็นหนึ่งตัวอย่างของหนึ่งหน่วยทดลอง นำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม (air dry) ระมัดระวังไม่ให้ดินปนเปื้อน เมื่อดินแห้งทุบและร่อนดินผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บดินที่ผ่านการร่อนไว้ในถุงพลาสติกที่สะอาดสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

3.4.2 การเก็บตัวอย่างพืช

เก็บตัวอย่างพืชก่อนและหลังเติมสิ่งทดลองครบ 90 วันแล้วทำการศึกษาโดยตัดทางใบปาล์มน้ำมันที่ 17 ลงมา จากนั้นกำหนดจุดกึ่งกลางทางใบและเก็บใบย่อยรวม 6 ใบ โดยเก็บจากทั้งสองด้านเฉพาะส่วนตรงกลางเท่านั้น (Poon, 1969) ตัวอย่างพืชที่รวบรวมได้จากต้นปาล์มน้ำมัน 9 ต้นจะเป็นตัวอย่างของหนึ่งหน่วยทดลอง จากนั้นนำตัวอย่างพืชมาฉีกก้านใบ (mid rib) ออก เช็ดทำความสะอาดเนื้อใบด้วยน้ำกลั่นภายใน 24 ชั่วโมง อบให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 65-70 °C ด้วยเตาอบ บดให้ละเอียดพร้อมทั้งอบให้แห้งซ้ำอีกครั้งก่อนวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบพืชในการศึกษาครั้งนี้

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ไนโตรเจนทั้งหมด	Micro-Kjeldahl method
ฟอสฟอรัส	ย่อยโดยวิธี Wet digestion ด้วย HNO_3/$HClO_4$และวัดด้วยวิธี Molyb Dovanadophosphate
โพแทสเซียม, แมกนีเซียม	ย่อยโดยวิธี Wet digestion ด้วย HNO_3/$HClO_4$และวัดด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometer
โบรอน	Azomethine-H method

3.5 การดำเนินการทดลอง

3.5.1 การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

นำของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3.2 - 3.3.5 มาผสมคลุกเคล้ากันตามตำรับทดลอง (ตารางที่ 3.1) แล้วหว่านภายในทรงพุ่มต้นปาล์มน้ำมัน ทั้งนี้อัตราของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรประเมินจากความต้องการธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมันในพื้นที่ทดลอง (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2552)

3.5.2 การดูแลบำรุงรักษา

การดูแลบำรุงรักษาพืชทดลองโดยให้น้ำตามสภาพธรรมชาติที่ความชื้น ณ ระดับความจุความชื้นสนาม กำจัดโรคและศัตรูพืชตามความเหมาะสม

3.5.3 การบันทึกข้อมูลการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน

บันทึกการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันก่อนและหลังเติมสิ่งทดลองครบ 90 วัน เก็บข้อมูลต้นปาล์มน้ำมัน 9 ต้นรวมเป็นค่าเฉลี่ยของหนึ่งหน่วยการทดลองในลักษณะของจำนวนทางใบเพิ่ม (leaf production) ความยาวทางใบ (leaf length) พื้นที่ทางใบ(leaf area) และพื้นที่หน้าตัดแกนทางใบ (petiole cross-section) ดังนี้

3.5.3.1 จำนวนทางใบเพิ่ม

ทำเครื่องหมายบนทางใบปาล์มน้ำมันทางที่ 1 ด้วยสีน้ำมันที่มองเห็นได้ง่ายหลังจากเติมสิ่งทดลองครบ 90 วัน ทำการนับจำนวนทางใบเพิ่มโดยเริ่มสังเกตการเวียนของทางใบปาล์มน้ำมัน ถ้าการเวียนของทางใบปาล์มน้ำมันไปทางซ้าย ต้องนับลงมาทางขวา ถ้าการเวียนของทางใบปาล์มน้ำมันไปทางขวา ต้องนับลงมาทางซ้าย การนับจำนวนทางใบที่สร้างขึ้นใหม่ จะนับลงมาตาม

รอบของการเวียนของทางใบปาล์มน้ำมันซึ่งเกิดชั้นละ 8 ทางใบ (ภาพที่ 3.1) นับชั้นทางใบตั้งแต่ทางใบที่ 1 จนกระทั่งถึงทางใบที่ได้ทำเครื่องหมายไว้ชั้นทางใบปาล์มน้ำมันสามารถลำดับได้ ดังนี้

- ทางใบที่ 1 เป็นทางใบที่ทำเครื่องหมายไว้
- เริ่มชั้นของทางใบชั้นที่ 2 คือทางใบที่ 9
- เริ่มชั้นของทางใบชั้นที่ 3 คือทางใบที่ 17
- เริ่มชั้นของทางใบชั้นที่ 4 คือทางใบที่ 25
- เริ่มชั้นของทางใบชั้นที่ 5 คือทางใบที่ 33
- เริ่มชั้นของทางใบชั้นที่ 6 คือทางใบที่ 41 เป็นต้น

3.5.3.2 ความยาวทางใบ

วัดความยาวก้านทางใบ (rachis,rl) จากใบย่อยสุดท้ายที่โคนทางใบ จนถึงปลายทางใบ (ภาพที่ 3.2)

3.5.3.3 พื้นที่ทางใบ

นับจำนวนใบย่อย (leaflets,n) ด้านใดด้านหนึ่งของก้านทางใบที่ 17 รวมทั้งใบที่โคนทางและปลายทางใบ สังเกตจุดเปลี่ยนของสันแกนทางใบ (ภาพที่ 3.2) จากจุดเปลี่ยนของสันแกนทางใบไปทางโคนทางใบประมาณ 30 ซม. เป็นบริเวณที่ใช้เก็บใบย่อย ตัดทางใบย่อยที่สมบูรณ์และไม่ถูกทำลายของแต่ละด้าน ๆ ละ 3 ใบ รวม 6ใบ จากนั้นวัดความกว้างทางใบของกึ่งกลางใบย่อยแต่ละใบ (w) และความยาวใบย่อย (l) ทั้ง 6 ใบ นำค่า w x l ทั้ง 6 ใบหาค่าเฉลี่ย (b) คำนวณพื้นที่ทางใบสัมพัทธ์ (relative leaf area) (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554ก) จากสมการ

พื้นที่ทางใบสัมพัทธ์ (rla) = 2n x b

พื้นที่ทางใบจริง (a) = พื้นที่ทางใบสัมพัทธ์ x 0.55

3.5.3.4 พื้นที่หน้าตัดแกนทางใบ

วัดความกว้างของแกนทางใบที่ 17 ในตำแหน่งใบย่อยล่างสุดของโคนทางซึ่งมีลักษณะคล้ายหนาม โดยเลือกตำแหน่งใบย่อยข้างที่อยู่ต่ำที่สุด และวัดความลึกในตำแหน่งเดียวกันกับความกว้างด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ คำนวณพื้นที่หน้าตัดแกนทาง (p) เพื่อสามารถนำไปคำนวณประสิทธิภาพการดูดดึงจากน้ำหนักแห้งต่อไป

พื้นที่หน้าตัดแกนทาง (p) = ความกว้าง x ความลึกและสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของใบปาล์มน้ำมัน (W) หน่วยเป็นกิโลกรัม

W = 0.102p + 0.206 (Hartley, 1984

3.6 ประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน (Recovery Efficiency, RE)

คำนวณประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหารจากอัตราส่วนของปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดดึงมาได้ กับปริมาณธาตุอาหารที่ใส่ให้ คูณด้วยร้อยละ (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551)

ประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหาร (ร้อยละ) = $(U_f-U_c) \times 100/F_n$

โดย U_f = ธาตุอาหารทั้งหมดในพืชที่ใส่ธาตุอาหาร (กก.ธาตุอาหาร/ไร่)

U_c = ธาตุอาหารทั้งหมดในพืชที่ไม่ใส่ธาตุอาหาร (กก.ธาตุอาหาร/ไร่)

F_n = อัตราธาตุอาหารที่ใส่ลงดิน (กก.ธาตุอาหาร/ไร่)

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) หากพบว่ามีพารามิเตอร์ใดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan 's New Multiple Range Test (DMRT)

ภาพที่ 3.1 การสังเกตและนับทางใบปาล์มน้ำมัน (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554ก)

1	2
3	4
5	6

1. ลักษณะปาล์มน้ำมันที่เวียนขวา
2. ลักษณะปาล์มน้ำมันที่เวียนซ้าย
3. การนับทางใบปาล์มน้ำมัน
4. ทำเครื่องหมายบนทางใบที่ 1 ทางใบที่คลี่เต็มที่แล้ว
5. ป้ายรหัสติดต้นปาล์มน้ำมันที่ใช้ศึกษาทุกต้น
6. จุดเปลี่ยนสันบนแกนทางใบปาล์มน้ำมัน สังเกตจากสันแบนเปลี่ยนเป็นสันแหลมคม

ภาพที่ 3.2 การวัดความยาวทางใบ พื้นที่ทางใบและพื้นที่หน้าตัดแกนทางใบปาล์มน้ำมัน (เกริกชัย ธนรักษ์, 2554ก)

1	2
3	4
5	6

1. เริ่มวัดความยาวทางใบจากโคนทางใบปาล์มน้ำมันในตำแหน่งใบย่อย (รูปร่างคล้ายหนามล่างสุด)
2. ตำแหน่งปลายทางใบ (ใช้ก้านทางใบย่อยเป็นหลัก)
3., 4. การวัดความยาวและความกว้างใบย่อยปาล์มน้ำมัน
5. การวัดความกว้างแกนทางใบปาล์มน้ำมัน
6. การวัดความลึกแกนทางใบปาล์มน้ำมัน

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาการใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน ดำเนินการศึกษาวิจัยแบบทดลอง ประกอบด้วย ดินเดิมไม่เติมสิ่งทดลอง, การเติมปุ๋ยเคมี และการเติมกากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน 6 ตำรับทดลอง 4 ซ้ำ รวมจำนวน 24 หน่วยทดลอง หนึ่งหน่วยทดลองคือต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์เทเนอรา อายุ 5 ปี จำนวน 9 ต้น ภายใต้สภาพแวดล้อมของพื้นที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมัน ตำบลท่าอุแท อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ผลการวิจัยครอบคลุมการศึกษาสมบัติทางเคมีและปริมาณ ธาตุอาหารของของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารในดินและปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันที่มีการทดลอง และการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน สายพันธุ์เทเนอรา เพื่อประเมินความเป็นประโยชน์และความเพียงพอของธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 90 วัน ผลการทดลอง มีดังนี้

4.1. ปริมาณธาตุอาหารของของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

การศึกษาของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมันในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ กากขี้แป้งจากกระบวนการตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางข้น กากตะกอนน้ำเสียของโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐาน เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมันจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารของของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรมีดังนี้

กากขี้แป้งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น เกิดขึ้นจากกระบวนการตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสดเมื่อผ่านการทุบ ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตรแล้ว มีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือสีเหลืองอ่อนคล้ายแป้ง สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของกากขี้แป้ง เฉพาะกรณีโรงงานผลิตน้ำยางข้น บริษัทอินเตอร์รับเบอร์ลาเท็กซ์ จำกัด อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่ากากขี้แป้งมีค่าความกรดจัด โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 5.4 (ตารางที่ 4.1 และตารางที่ ผ.1) มีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ประมาณ 8.79 การสลายตัวของกากขี้แป้งจึงเป็นด้วยดี โดยจุลินทรีย์เปลี่ยนอินทรียสารเป็นอนินทรียสารได้โดยไม่ลดปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

สิ่งที่น่าสนใจคือ กากขี้แป้งมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงมาก (ร้อยละ 22.30) เมื่อเทียบกับเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตร (2553) (ตารางที่ ผ.2) นอกจากเป็นแหล่งอาหารให้แก่จุลินทรีย์ในดินแล้ว

อินทรียวัตถุในกากขี้แป้งยังช่วยให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น อินทรียวัตถุช่วยทำให้ธาตุอาหารพืชอยู่ในสภาพที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากเกิดกรดอินทรีย์เป็นตัวทำละลายให้ธาตุโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสในดินละลายออกมาเป็นประโยชน์ได้มากขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพี, 2548) อย่างไรก็ตามปริมาณอินทรียวัตถุในกากขี้แป้งไม่ถึงร้อยละ 30 ตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ดังนั้นการนำกากขี้แป้งเป็นแหล่งธาตุอาหารจำเป็นต้องมีการเพิ่มอินทรียวัตถุเพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ทางการเกษตร

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางเคมีของของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

สมบัติทางเคมี	กากขี้แป้ง	กากตะกอนน้ำเสีย	เส้นใยปาล์มน้ำมัน	ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน
ความเป็นกรดเป็นด่าง (กากขี้แป้ง:น้ำ 1:2)	5.4	6.96	6.13	9.23
อินทรียวัตถุ (%)	22.30	56.66	60.30	5.15
ธาตุอาหารหลัก				
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	1.47	0.34	1.19	0.19
แอมโมเนียมไนโตรเจน (mg/kg)	8,577.52	31.53	189.21	0.31
ไนเตรทไนโตรเจน (mg/kg)	1,986.70	693.77	2,396.66	819.91
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	24.94	0.88	0.58	5.51
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	244	190	173	209
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	0.57	0.84	1.13	6.16
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	1,223.5	336.5	5,324	24,540
ธาตุอาหารรอง				
แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (%)	6.98	3.12	0.19	2.89
จุลธาตุหรือธาตุอาหารเสริม				
โบรอนทั้งหมด (mg/kg)	<0.02	4.0	8.7	20.7
โบรอนที่ละลายน้ำได้ (mg/kg)	<0.02	<0.02	<0.02	1.8
สังกะสีที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	83.56	30.31	23.53	0.38
อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)	8.79:1	96.66:1	28.83:1	15.72:1

หมายเหตุ <0.02 หมายถึง ค่าที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่า Detection limit ของเครื่อง Spectrophotometer ซึ่งวิเคราะห์โบรอนได้ 0.02 mg/kg

กากตะกอนน้ำเสียที่เกิดขึ้นเป็นผลพลอยได้จากการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีววิทยาในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ทำการศึกษากากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเกษตรประเภทโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐานของบริษัทยางไทยปักษ์ใต้ จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) มีค่าเท่ากับ 96.66 ซึ่งมีค่าสูงมาก อาจเป็นผลจากกากตะกอนน้ำเสียที่นำมาใช้ศึกษาในครั้งนี้ เก็บกองในพื้นที่กลางแจ้งเป็นเวลานาน กากตะกอนน้ำเสียที่ได้มีลักษณะร่วน เนื้อค่อนข้างละเอียด สีน้ำตาลคล้ำ และไม่มีกลิ่น เนื่องจากกากตะกอนน้ำเสียค่อนข้างแห้งขณะถูกลำเลียงมาจากพื้นที่บำบัดน้ำเสีย อาจส่งผลให้กากตะกอนน้ำเสียสูญเสียไนโตรเจนไปกับสภาพแวดล้อมผ่านการชะล้าง กระบวนการระเหยหรือกระบวนการ denitrification กากตะกอนน้ำเสียมีปริมาณอินทรียวัตถุมาก ทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าสูงเช่นกัน แม้กากตะกอนน้ำเสียจะมีคาร์บอนให้จุลินทรีย์ในดินใช้ประโยชน์สูง แต่เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียลงดิน อาจส่งผลให้ไนโตรเจนในดิน เช่น NH_4^+ หรือ NO_3^- ถูกดูดดึงไปใช้ในกระบวนการ immobilization อาจเป็นผลให้พืชเกิดการขาดธาตุไนโตรเจนได้ ดังนั้นการใช้กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐานจึงต้องคำนึงถึงอัตราการเติม และจำเป็นต้องมีแหล่งธาตุอาหารไนโตรเจนเพิ่มเติมให้เพียงพอเพื่อปรับอัตราคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้เหมาะสมต่อการเติบโตของพืช

กากตะกอนน้ำเสียมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 6.96 (ตารางที่ 4.1) จัดว่าเป็นกลาง (ตารางที่ ผ.1) เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสีย จึงไม่น่ามีปัญหาต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน ซึ่งเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรดเป็นด่าง 5.5-4.2 (Rankine และ Fairhurst, 1998) อีกทั้งยังมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงมาก (ร้อยละ 56.66, ตารางที่ 4.1) เมื่อเทียบกับมาตรฐานอินทรียวัตถุในดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2553) และมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าร้อยละ 30 ตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 กากตะกอนน้ำเสียจึงสามารถเป็นแหล่งอินทรียวัตถุให้กับดินได้ อินทรียวัตถุช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของดิน การใส่อินทรียวัตถุลงไปในดิน ช่วยเพิ่มความความสามารถในการกักเก็บน้ำของดิน อีกทั้งมีความสามารถดูดซับแคตไอออนได้สูง จึงเป็นผลให้ดินมีความต้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างได้ดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 6.13 (ตารางที่ 4.1) จัดเป็นกรดเล็กน้อย (ตารางที่ ผ.1) และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ประมาณ 28.83 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันลงดิน การย่อยสลายเส้นใยปาล์มน้ำมันจะยังคงมีไนโตรเจนเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์ เนื่องจากอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วง 20:1-30:1 ดังนั้นก็จะทำให้มีไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์

ปลดปล่อยออกมาสู่ดินโดยกระบวนการ mineralization (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) อีกทั้งเส้นใยปาล์มน้ำมันนั้นมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงมาก (ร้อยละ 60.03, ตารางที่ 4.1) เมื่อเทียบกับมาตรฐานอินทรียวัตถุในดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2553) และมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่าร้อยละ 30 ตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 อินทรียวัตถุในเส้นใยปาล์มน้ำมันนี้จะช่วยให้โครงสร้างดินดูดซับน้ำไว้ได้มาก ทำให้ดินมีสภาพร่วนซุยและการระบายอากาศดีขึ้น เป็นแหล่งธาตุอาหารพืชและมีความสามารถดูดซับไอออน ป้องกันไม่ให้ธาตุอาหารพืชถูกชะล้างสูญหายได้ง่าย

ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม มีลักษณะเป็นผงฝุ่นน้ำหนักเบา สามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย โครงสร้างมีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ เป็นเหลี่ยมมุมรูปร่างไม่แน่นอน ขนาดตั้งแต่ 15.9-7.4 μm (Foo และ Hameed, 2009) สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน มีความเป็นด่างจัดมาก (ตารางที่ 4.1 และตารางที่ ผ.1) เนื่องจากมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 9.23 และและมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ประมาณ 15.72 จัดได้ว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ดำเนินไปด้วยดี กระบวนการ immobilization จะลดต่ำกว่า mineralization ทำให้มีสารประกอบไนโตรเจนเหลือปลดปล่อยออกมาสู่ดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) อีกทั้งยังมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดให้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ไม่เกิน 20:1 อีกด้วย ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในเกณฑ์สูง (ร้อยละ 5.15) เมื่อพิจารณาจากระดับมาตรฐานอินทรียวัตถุในดินและเกณฑ์การประเมินคุณสมบัติเบื้องต้นสำหรับปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ ผ.2 และ ตารางที่ ผ.3) ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันจึงเป็นแหล่งอินทรียวัตถุให้กับดินได้เช่นเดียวกัน

4.1.1. ปริมาณธาตุอาหารหลัก

4.1.1.1. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดและไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันต้องการเพื่อเร่งการเจริญเติบโต โดยเฉพาะเมื่อปาล์มน้ำมันยังมีขนาดเล็ก ธาตุไนโตรเจนมีผลต่อพื้นที่ใบ สีใบ อัตราการเกิดใบใหม่และการดูดใช้ธาตุอาหาร (Hartley, 2003; von Uexkull และ Fairhurst, 1991) เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารหลัก กากขี้แป้งมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 1.47 และเส้นใยปาล์มน้ำมันมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 1.19 กากขี้แป้งและเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณธาตุอาหารหลักสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดไว้ว่าจะต้องมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ดังนั้นกล่าวได้ว่ากากขี้แป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นและเส้นใย

ปาล์มน้ำมัน สามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งไนโตรเจนได้ ส่วนกากตะกอนน้ำเสียและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.34 และ 0.19 ตามลำดับ

ส่วนปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ทั้งในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-) พบว่ากากขี้แป้งมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายเท่ากับ 8,577.52 mg/kg หรือร้อยละ 0.85 โดยน้ำหนัก เช่นเดียวกันกับปริมาณไนเตรทไนโตรเจน (1,689.70 mg/kg) ส่วนกากตะกอนน้ำเสีย มีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน 31.53 mg/kg ไนเตรทไนโตรเจน 693.77 mg/kg เส้นใยปาล์มน้ำมันมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน 189.21 mg/kg และไนเตรทไนโตรเจน 2,396.66 mg/kg ในขณะที่ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน 0.31 mg/kg และไนเตรทไนโตรเจน 819.91 mg/kg ดังนั้นเมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ของการเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมันแล้ว น่าจะใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรทั้งสี่ชนิดเป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนได้อีกทางหนึ่งนอกเหนือจากปุ๋ยเคมี

4.1.1.2. **ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์**

กากขี้แป้งมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 24.94 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) 244 mg/kg ส่วนในกากตะกอนน้ำเสีย มีฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 0.88 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 190 mg/kg ในขณะที่เส้นใยปาล์มน้ำมันมีฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 0.58 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 173 mg/kg และขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 5.51ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 209 mg/kg จัดว่าของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรทั้งสี่ชนิดเป็นแหล่งฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ระดับสูงมาก เมื่อเทียบเกณฑ์การประเมินคุณสมบัติดินเบื้องต้นสำหรับปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ ผ.3) อีกทั้งของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรที่ใช้ในการทดลองทั้ง 4 ชนิด มีปริมาณธาตุอาหารหลักสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดไว้ว่าจะต้องมีฟอสฟอรัสทั้งหมด (total P) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

กล่าวได้ว่ากากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน สามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุฟอสฟอรัสสำหรับต้นปาล์มน้ำมันได้

4.1.1.3. **ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดและโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้**

กากขี้แป้งมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 0.57 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O) 1,223.5 mg/kg ส่วนกากตะกอนน้ำเสีย มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 0.48 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 336.5 mg/kg จัดเป็นธาตุอาหารสูงมาก เกณฑ์การประเมินคุณสมบัติดินเบื้องต้นสำหรับปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ ผ.3) เช่นเดียวกันกับเส้นใยปาล์มน้ำมันซึ่งมีโพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 1.13

โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 5,324 mg/kg ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีโพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 6.16 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 24,540 mg/kg จัดว่าเป็นแหล่งธาตุอาหารระดับสูง เมื่อเทียบเกณฑ์การประเมินคุณสมบัติดินเบื้องต้นสำหรับปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ ผ.3) และการแปลผลวิเคราะห์ของกลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร (ตารางที่ ผ.5) ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ กากขี้แป้ง เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน มีปริมาณธาตุอาหารหลักสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดไว้ว่าจะต้องมีโพแทสเซียมทั้งหมด (total K) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก

กล่าวได้ว่ากากขี้แป้ง เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน สามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุโพแทสเซียมสำหรับต้นปาล์มน้ำมันได้

4.1.2. ปริมาณธาตุอาหารรอง

แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรองที่มีบทบาทสำคัญเนื่องจากเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์และการสร้างกรดไขมัน ควบคุมสภาพความเป็นกรดเป็นด่างภายในเซลล์ให้พอเหมาะ ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงต้องการแมกนีเซียมในปริมาณมาก หากได้รับไม่เพียงพอจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันในผลปาล์มน้ำมันลดลง กระบวนการผลิตน้ำยางข้นมีการตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสด ผลการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์จึงพบว่า กากขี้แป้งมีแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ร้อยละ 6.98 กากตะกอน น้ำเสียมีแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ร้อยละ 3.12 และขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ ร้อยละ 2.89 จัดเป็นธาตุอาหารสูงมากเกณฑ์การประเมินคุณสมบัติดินเบื้องต้นสำหรับปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ ผ.3) ส่วนแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในเส้นใยปาล์มน้ำมันร้อยละ 0.19 จัดเป็นระดับธาตุอาหารต่ำมาก ตามระดับธาตุอาหารในดินสำหรับปลูกปาล์มน้ำมัน (Rankine และ Fairhurst, 1998)

4.1.3. ปริมาณจุลธาตุ

จุลธาตุหรือธาตุอาหารเสริม หมายถึง ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง แต่ก็ขาดไม่ได้เช่นเดียวกัน โบรอนมีบทบาทต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน เนื่องจากทำหน้าที่เร่งการเติบโตของเนื้อเยื่ออ่อน เป็นธาตุที่จำเป็นในการแบ่งเซลล์ของพืช ทำให้ท่อนำเกสรแข็งแรงและช่วยในการงอกและเจริญของเกสร โดยโบรอนดูดซึมขึ้นไปใช้ประโยชน์ในรูปของกรดบอริก (H_3BO_3) (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, 2548; ชัยรัตน์ นิลนนท์ และคณะ, 2547)

ผลการศึกษาพบว่า กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสียและเส้นใยปาล์มน้ำมัน มีโบรอนซึ่งเป็นธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันต้องการ โดยกากขี้แป้งมีปริมาณโบรอนทั้งหมดและโบรอนที่ละลายน้ำได้น้อยกว่า 0.02 mg/kg ในขณะที่กากตะกอนน้ำเสียมีปริมาณโบรอนทั้งหมด 4.0 mg/kg และโบรอนที่

ละลายน้ำได้น้อยกว่า 0.02 mg/kg ใกล้เคียงกับเส้นใยปาล์มน้ำมันซึ่งมีปริมาณโบรอนทั้งหมด 8.7 mg/kg และมีโบรอนที่ละลายน้ำได้ น้อยกว่า 0.02 mg/kg ส่วนปริมาณโบรอนทั้งหมดและโบรอนที่ละลายน้ำได้ในขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน มีค่าเท่ากับ 20.7 และ1.8 mg/kg ตามลำดับถือว่าขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีความเป็นประโยชน์ของโบรอนอยู่ในระดับสูงและเพียงพอต่อพืช (ตารางที่ ผ.7) ส่วนกากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสียและเส้นใยปาล์มน้ำมันมีปริมาณโบรอนที่เป็นประโยชน์ต่ำมากและจัดว่าไม่เพียงพอต่อพืช (ตารางที่ ผ.7)

สารประกอบโบรอนที่มีโมเลกุลซับซ้อนอย่างเช่น แร่ทัวร์มาลีน บอโรซิลิเกต เกลือโบเรทของแคลเซียมและแมกนีเซียมอาจจะไม่ถูกชะละลายออกมา เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เพิ่มขึ้น การดูดซับโบรอนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่า pH ของของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร พบว่าระดับ pH ของขี้เถ้าปาล์มน้ำมันเอื้อให้เกิดการดูดซับโบรอนได้ดีกว่า และการดูดซับโบรอนจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่ากากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย และเส้นใยปาล์มน้ำมันจะมีอินทรียวัตถุสูงเมื่อเทียบกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 4.1) อย่างไรก็ตามการดูดซับโบรอนนั้นขึ้นอยู่กับ pH เป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าขี้เถ้าปาล์มน้ำมันน่าจะสามารถเป็นแหล่งธาตุโบรอนได้

ส่วนสังกะสีเป็นโลหะหนักที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืช และเป็นจุลธาตุสำหรับปาล์มน้ำมัน เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิด ใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน ช่วยในการสังเคราะห์ออกซิน คลอโรฟิลล์และคาร์โบไฮเดรต ทั้งยังช่วยรักษาความแข็งแรงของเยื่อหุ้มเซลล์ด้วย (เกริกชัย ธนรักษ์, 2551; คณาจารย์ภาควิชาปฐพี, 2548) กระบวนการผลิตน้ำยางข้นมีการเติม ZnO เพื่อรักษาสภาพน้ำยาง ดังนั้นกากขี้แป้งจึงมีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 83.56 mg/kg หรือร้อยละ 0.008 โดยน้ำหนัก ส่วนสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในกากตะกอนน้ำเสีย (30.31 mg/kg) ใกล้เคียงกับเส้นใยปาล์มน้ำมัน (23.53 mg/kg) ในขณะที่ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีปริมาณสังกะสีต่ำมาก (0.38 mg/kg) ดังนั้นความเสี่ยงเกี่ยวกับสังกะสีจึงต่ำมากเมื่อเทียบกับปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีได้ในกากตะกอนน้ำเสียที่ใช้เพื่อการเกษตร (ตารางที่ ผ.6) โดยอินทรียวัตถุในดินเป็นแหล่งกำเนิดจุลธาตุอาหารที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่ง แต่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ควบคุมการละลายได้ของจุลธาตุอาหารเหล่านั้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพี, 2548) จึงสรุปได้ว่าน่าจะสามารถใช้กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) และธาตุอาหารรอง (แมกนีเซียม) สำหรับต้นปาล์มน้ำมันได้โดยไม่น่ามีความกังวลเรื่องการปนเปื้อนสังกะสีในดิน

4.2. ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน

การสร้างผลผลิตของปาล์มน้ำมันจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อัตราการสร้างใบ อัตราส่วนเพศ (sex ratio) ของช่อดอก การฝ่อของช่อดอก (abortion rate) เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การกระจายของน้ำฝน การขาดน้ำ (water deficit) และความอุดมสมบูรณ์ของดินก็มีบทบาทสำคัญเช่นเดียวกัน (Corley et al, 1976) โดยเมื่อพิจารณาปัจจัยสภาพภูมิอากาศ น้ำมีบทบาทสำคัญที่สุดในการผลิตทะลายปาล์มน้ำมัน ซึ่งการเติบโต พัฒนาการและการให้ผลผลิตจะลดลงเมื่อมีสภาพขาดน้ำ เนื่องจากอัตราการฝ่อของช่อดอกเพศเมียเพิ่มขึ้น (female inflorescence abortion) จำนวนช่อดอกเพศผู้เพิ่มขึ้น ปาล์มน้ำมันต้องการน้ำฝนเฉลี่ยมากกว่า 2,000 มม./ปี และมีการกระจายตัวของฝนสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ไม่น้อยกว่า 120 มม. (Hartley, 2003)

ในปี 2553 พื้นที่ทดลองมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 187.19 มม./เดือน ปริมาณน้ำฝนรวม 2,246.30 มม./ปี (ตารางที่ ผ.10) และในปี 2554 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 247.58 มม./เดือน ปริมาณน้ำฝนรวม 2,971.00 มม./ปี (ตารางที่ ผ.11) จัดว่ามีความเหมาะสมมาก โดยมีข้อจำกัดเล็กน้อยตามเกณฑ์ของ Paramananthan (2002) คือมีปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 1,700-2,500 มม./ปี เมื่อพิจารณา การขาดน้ำในแต่ละเดือน พบว่า ปี 2553 การขาดน้ำเกิดขึ้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และเมษายน มีการขาดน้ำเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 32.64 มม./เดือน แต่ไม่พบการขาดน้ำเกิดขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงธันวาคม เดือนที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่ำกว่าความต้องการของต้นปาล์มน้ำมัน (>120 มม./เดือน, Hartley, 2003) คือ เดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน มิถุนายน กรกฎาคม โดยในรอบปีจะมีช่วงแล้งระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคมในปีถัดไป จะมีฝนตกมากสองช่วงคือปลายปี (กันยายนถึงพฤศจิกายน) ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และช่วงเดือนเมษายนถึงมิถุนายน ซึ่งเป็นอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ธีระพงศ์ จันทรนิยม และคณะ, 2538) ส่วนในปี 2554 พบว่าการขาดน้ำเกิดในเดือนกุมภาพันธ์ (88.48 มม.) และเกิดพายุดีเปรสชัน ทำให้ช่วงเดือนมีนาคมมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงถึง 1,385.70 มม.

กล่าวได้ว่าปริมาณน้ำฝนโดยรวมของพื้นที่ทดลองไม่น่าจะส่งผลต่อการเติบโตและการให้ผลผลิต แต่การกระจายของปริมาณน้ำฝนในช่วงแล้ง 1-2 เดือน/ปี จัดอยู่ในชั้นความเหมาะสมปานกลางของช่วงแล้ง (Paramananthan, 2002) จึงมีผลกระทบน้อยถึงปานกลางต่อ การเติบโตและให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน

ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร (กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน) และปุ๋ยเคมีต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน ดำเนินการทดลองในแปลงทดลอง

ปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอรา (DxP) อายุ 5 ปี ณ ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ตำบลท่าอุแท อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยข้อมูลการเติบโตของปาล์มน้ำมันเป็นส่วนหนึ่งที่จะบ่งชี้ศักยภาพในการใช้ธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน (von Uexkull และ Fairhurst, 1991) การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการวัดการเติบโตโดยเลือกเกณฑ์การตัดสินในรูปจำนวนทางใบเพิ่ม (leaf production rate), ความยาวทางใบ (leaf length), พื้นที่ทางใบ (leaf area) และพื้นที่หน้าตัดแกนทางใบ (petiole cross section) มีผลการศึกษาดังนี้

4.2.1. การเพิ่มจำนวนทางใบ (leaf production rate)

การนับจำนวนทางใบที่เพิ่มขึ้น นับจากทางใบที่เพิ่มขึ้นจากทางใบที่กำหนดให้เป็นทางใบที่ 1 ก่อนเติมสิ่งทดลอง เมื่อทำการเติมสิ่งทดลองครบ 90 วัน (ธันวาคม พ.ศ. 2553 ถึงมีนาคม พ.ศ. 2554) พบว่าต้นปาล์มน้ำมันมีจำนวนทางใบเพิ่มโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 9.41-10.55 ทางใบ/ต้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (F-value = 6.347**, ตารางที่ 4.2) การเพิ่มจำนวนทางใบของตำรับควบคุมไม่แตกต่างจากการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต่าง ๆ (อยู่ในกลุ่มอักษร c เดียวกัน) โดยการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) (10.47 ทางใบ/ต้น) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) (10.05 ทางใบ/ต้น) การเติมกากตะกอนน้ำเสีย ร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) (10.36 ทางใบ/ต้น) สูงกว่ากว่าการเติมปุ๋ยเคมี (F) (9.41 ทางใบ/ต้น) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

จำนวนทางใบเพิ่มในการศึกษาครั้งนี้ มีแนวโน้มสูงกว่าเมื่อเทียบกับการศึกษาของภิญโญ มีเดช และคณะ (2539) โดยพบว่าต้นปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอรา อายุ 5 ปี ที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี การใช้ปุ๋ยอัตราปกติมีจำนวนทางใบเพิ่มเฉลี่ย 29.67 ทางใบ/ต้น/ปี และการใช้ปุ๋ยอัตราสูงส่งผลให้มีจำนวนทางใบเพิ่มเฉลี่ย 29.86 ทางใบ/ต้น/ปี และเริ่มลดลงเมื่อปาล์มน้ำมันมีอายุมากขึ้น

การสร้างจำนวนทางใบเพิ่มจะส่งผลโดยตรงต่อการเกิดจำนวนทะลายซึ่งเกิดบริเวณซอกทางใบ ดังนั้นเมื่อพิจารณาการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันแล้ว ทางใบหนึ่งทางใบหมายถึงการสร้างช่อดอกหนึ่งช่อดอก ซึ่งในอนาคตอาจจะฝ่อ (abortion) หรือเปลี่ยนเพศเป็นช่อดอกตัวเมียหรือตัวผู้ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ จำนวนทางใบที่เพิ่มขึ้นจึงเป็นแนวโน้มให้เห็นว่าจะมีช่อดอกมาก ส่งผลให้มีผลผลิตสูง ดังนั้นเมื่อมีปริมาณทางใบเพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่าผลของการเติมสิ่งทดลองต่อการเพิ่มจำนวนทางใบ มีแนวโน้มว่าสามารถใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับปาล์มน้ำมันได้ดีกว่าปุ๋ยเคมี

ชนิดและอัตราปุ๋ยฟอสเฟตมีผลให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมัน/ต้น/ปี น้ำหนักทะลายปาล์มน้ำมัน จำนวนทะลายปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นสูงกว่าปาล์มน้ำมันที่ไม่ได้รับฟอสเฟต (ภิญโญ มีเดชและคณะ, 2544; สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ, 2544ข) อีกทั้งจำนวนทะลายปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นตามระดับการใส่ธาตุโพแทสเซียม เนื่องจากโพแทสเซียมเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้าย สะสมแป้งและน้ำตาลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้นโพแทสเซียมจึงมีบทบาทต่อจำนวนทะลายสดและน้ำหนักทะลายสด อีกทั้งผลผลิตปาล์มน้ำมันต่อต้นต่อปีจะเพิ่มขึ้นตามระดับการใส่ธาตุไนโตรเจน ซึ่งระดับธาตุไนโตรเจนที่ใส่ร่วมกับโพแทสเซียมแก่ปาล์มน้ำมันจะมีความสัมพันธ์เชิงบวก ส่งผลให้ปาล์มน้ำมันมีผลผลิตทะลายสดสูงกว่าการใส่เพียงธาตุใดธาตุหนึ่ง (สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ, 2544ก) อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของภิญโญ มีเดชและคณะ (2544) รายงานว่า ชนิดและอัตราปุ๋ยฟอสเฟตไม่มีผลต่อการเพิ่มจำนวนทางใบในช่วงการทดลอง 3 ปีแรก แต่จะพบอย่างเด่นชัดในปีที่ 4 โดยช่วงแรกของการทดลอง ตำรับควบคุมมีจำนวนทางใบเพิ่มสูงสุด และลดลงต่ำสุดเมื่อการทดลองผ่านไปสักระยะหนึ่ง สอดคล้องกับผลการศึกษาของสุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ (2544ก) พบว่าผลผลิตทะลายสดจะมีการตอบสนองต่อการใส่ธาตุอาหารอย่างเด่นชัดในช่วงปีที่ 4 ของการทดลอง ซึ่งตำรับทดลองที่ไม่ใส่ธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมเลย จะส่งผลให้ปาล์มน้ำมันมีผลผลิตต่ำที่สุด ดังนั้นการตัดสินใจไม่ใส่ปุ๋ยแก่ปาล์มน้ำมันเลย จะให้ผลประกอบการในลักษณะขาดทุน (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2544) สอดคล้องกับลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ผลผลิตต่อเนื่อง การใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ของต้น และช่วงระยะเวลาการพัฒนาตาดอกจะต้องใช้เวลาประมาณ 31-34 เดือน หรือประมาณ 2.5-3 ปี อีกทั้งจะมีใบคลี่ใหม่ประมาณ 2 ทางใบ/เดือน ดังนั้นปาล์มน้ำมันจะเริ่มตอบสนองต่อธาตุอาหารเพื่อการเพิ่มผลผลิตทะลายสดก็ต่อเมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่ง เพราะปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้าและตอบสนองต่อปุ๋ยในระยะเวลาที่นาน (Hartley, 2003) ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาการใช้ประโยชน์ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมันในระยะยาวต่อไป

ตารางที่ 4.2 ผลการเติมสิ่งทดลองต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน

ตำรับการทดลอง	พื้นที่ทางใบ (ตารางเมตร/ทางใบ)		ความยาวทางใบ (เซนติเมตร)		พื้นที่หน้าตัดแกนทางใบ (ตารางเซนติเมตร/ทางใบ)		จำนวนทางใบเพิ่ม (ทางใบ/ต้น)
	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	
c	4.45^{a}	4.85^{a}	381.86^{a}	421.05^{a}	14.59^{a}	17.63^{a}	10.55^{c}
F	5.41^{c}	5.06^{ab}	416.66^{bc}	437.69^{a}	17.39^{ab}	19.19^{ab}	9.41^{a}
S1	5.09^{ab}	4.78^{a}	394.00^{ab}	418.44^{a}	18.33^{b}	20.71^{ab}	9.83^{ab}
S2	4.54^{a}	4.95^{ab}	400.14^{ab}	442.33^{a}	14.78^{a}	17.55^{a}	10.47^{c}
S3	4.70^{ab}	4.98^{ab}	391.16^{ab}	421.83^{a}	14.48^{a}	17.70^{a}	10.05^{bc}
S4	5.79^{d}	5.75^{b}	436.16^{c}	436.36^{a}	23.30^{c}	25.07^{c}	10.36^{bc}
F-value	3.92**	1.77*	3.71**	0.52^{ns}	24.59**	10.74**	6.34**
%CV	13.60	11.06	6.42	5.17	50.26	16.08	5.04

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์หมายถึงความแตกต่างกันของตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

** หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01

หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

4.2.2. **ความยาวทางใบ** (leaf length)

การวัดความยาวทางใบ (rachis, rl) วัดจากใบย่อยสุดท้ายที่โคนทางใบ จนถึงปลายทางใบ พบว่า ก่อนเติมสิ่งทดลอง ปาล์มน้ำมันมีความยาวทางใบโดยเฉลี่ย 403.09 เซนติเมตร และภายหลังเติมสิ่งทดลอง (กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและปุ๋ยเคมี) ครบ 90 วัน พบว่าปาล์มน้ำมันมีความยาวทางใบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 421.05-442.33 เซนติเมตร (ตารางที่ 4.2) การเติบโตเพิ่มขึ้นเห็นได้ชัดเจนจากค่าสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อกำหนดให้ความยาวทางใบก่อนเติมสิ่งทดลองเท่ากับ 100 (ภาพที่ 4.1) โดยความยาวทางใบของทุกตำรับทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.52^{ns}, อยู่ในกลุ่มอักษร a เดียวกัน)

ปาล์มน้ำมันอายุ 1-6 ปี ถือว่าเป็นช่วงแรกของการเติบโต ปาล์มน้ำมันจะมีความยาวทางใบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และอัตราการเพิ่มของความยาวทางใบเริ่มชะลอตัวลงเมื่อปาล์มน้ำมันอายุมากขึ้น หรือเมื่อเข้าสู่ระยะ mature stage (สุรกิตติ ศรีกุล และคณะ, 2544) เมื่อปาล์มน้ำมันมีอายุมากขึ้น การให้น้ำและการไม่ให้น้ำแก่ต้นปาล์มน้ำมันไม่ส่งผลให้ความยาวทางใบแตกต่างกัน โดยความยาวทางใบเฉลี่ยของปาล์มน้ำมัน อายุ 5 ปีอยู่ในช่วง 439-467 เซนติเมตร และจะเพิ่มขึ้นเมื่อปาล์มน้ำมันมีอายุมากขึ้น (ภิญโญ มีเดช และคณะ, 2539)

4.2.3. **พื้นที่ทางใบ** (leaf area)

จากตารางที่ 4.2 เมื่อทำการเติมสิ่งทดลองครบ 90 วัน พบว่า ก่อนเติมสิ่งทดลองมีพื้นที่ทางใบโดยเฉลี่ย 5.00 ตารางเมตร/ทางใบ การเติมกากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมันตำรับทดลองต่าง ๆ และปุ๋ยเคมีส่งผลให้พื้นที่ทางใบไม่แตกต่างจากตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (F-value = 1.77^{*}) (อยู่ในกลุ่มอักษร a เดียวกัน) โดยการเติมกากตะกอนน้ำเสีย ร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) ส่งผลให้มีพื้นที่ทางใบสูงสุด (5.75 ตารางเมตร/ทางใบ) ไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมี (F) (5.06 ตารางเมตร/ทางใบ) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) (4.98 ตารางเมตร/ทางใบ) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) (4.95 ตารางเมตร/ทางใบ)(อยู่ในกลุ่มอักษร b เดียวกัน) การเติบโตในลักษณะพื้นที่ทางใบเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากภาพที่ 4.1 ค่าสัมพัทธ์ของพื้นที่ทางใบเพิ่มขึ้นเมื่อกำหนดให้พื้นที่ทางใบก่อนเติมสิ่งทดลอง เท่ากับ 100 น่าจะเป็นการตอบสนองของปาล์มน้ำมันต่อธาตุอาหารจากของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ

อย่างไรก็ตามอัตราการสร้างพื้นที่ใบของปาล์มน้ำมันในช่วง immature stage จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่อนข้างคงที่เมื่อปาล์มน้ำมันเมื่อปาล์มน้ำมันอายุ 7 ปีขึ้นไป (สุรกิตติ ศรีกุล และคณะ , 2544) การใช้ปุ๋ยในอัตราสูงส่งผลให้พื้นที่ทางใบของต้นปาล์มน้ำมัน อายุ 5 ปี ทดลองในพื้นที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี มีค่าเท่ากับ 5.37 ตารางเมตร/ทางใบ ไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยในอัตราปกติ (5.05 ตารางเมตร/ทางใบ) (ภิญโญ มีเดช และคณะ, 2539)

4.2.4. **พื้นที่หน้าตัดแกนทางใบ** (petiole cross section)

พื้นที่หน้าตัดแกนทางมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับน้ำหนักแห้งของใบ น้ำหนักแห้งของลำต้นปาล์มน้ำมันทั้งหมด (total dry weight) และการสะสมน้ำหนักแห้ง (vegetative dry matter production) การเติมสิ่งทดลอง (กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยเคมี) ส่งผลให้พื้นที่หน้าตัดแกนทางของปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดแกนทางใบก่อนเติมสิ่งทดลอง เท่ากับ 100 (ภาพที่ 4.1) กล่าวคือ ก่อนเติมสิ่งทดลองมีพื้นที่หน้าตัดแกนทางโดยเฉลี่ย 17.15 ตารางเซนติเมตร/ทางใบ เมื่อเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) ส่งผลให้มีพื้นที่หน้าตัดแกนทางสูงสุด (25.07 ตารางเซนติเมตร/ทางใบ) แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value = 10.74**, ตารางที่ 4.2)

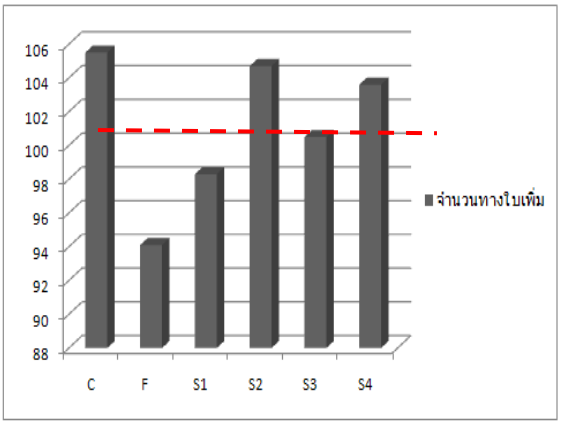
ในขณะที่ตำรับทดลองที่มีการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) (20.71 ตารางเซนติเมตร/ทางใบ) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) (17.55 ตารางเซนติเมตร/ทางใบ)และการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) (17.70 ตารางเซนติเมตร/ทางใบ) มีพื้นที่หน้าตัดแกนทางไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมี (F) (19.19 ตารางเซนติเมตร/ทางใบ) (อยู่ในกลุ่มอักษร a เดียวกัน) โดยภิญโญ มีเดช และคณะ (2539) พบว่าการใช้ปุ๋ยในอัตราปกติกลับส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันมีพื้นที่หน้าตัดแกนทางไม่แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยในอัตราสูง อย่างไรก็ตามพื้นที่หน้าตัดแกนทางจะเพิ่มขึ้นตามอายุปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้น

ความยาวทางใบ พื้นที่ทางใบและพื้นที่หน้าตัดแกนทาง จะส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการสะสมคาร์โบไฮเดรต มีผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วยแม้ว่าความยาวทางใบของแต่ละตำรับทดลองจะไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ยังคงเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนการทดลอง (ตารางที่ 4.2) รวมทั้งการเติมกากตะกอนน้ำเสีย ร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น

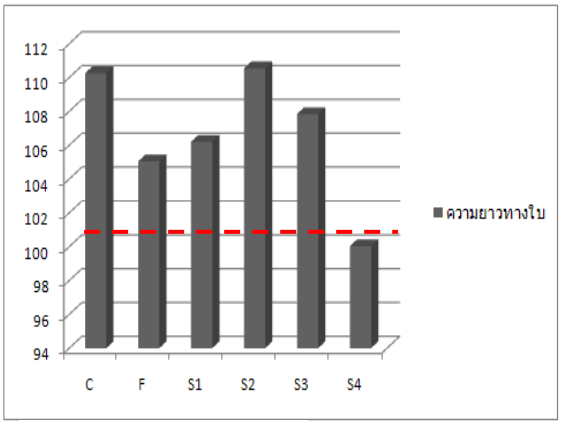
(S4) ส่งผลให้มีพื้นที่ทางใบและพื้นที่หน้าตัดแกนทางแตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีและตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ น่าจะส่งผลให้การสร้างผลผลิตไม่ว่าจะเป็นจำนวนทะลาย น้ำหนักทะลายและผลผลิตทะลายปาล์มสดเพิ่มขึ้นด้วย (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และ จำเป็น อ่อนทอง, 2538; สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ, 2544ก; von Uexkull และ Fairhurst, 1991)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการเติบโตก่อนและหลังทดลองของต้นปาล์มน้ำมันในแต่ละตำรับทดลอง (ตารางที่ 4.2) พบว่าหลังเติมสิ่งทดลองพื้นที่หน้าตัดแกนทางและความยาวทางใบของต้นปาล์มน้ำมันในแต่ละตำรับทดลองมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยที่ตำรับควบคุมมีจำนวนทางใบเพิ่มสูงกว่าตำรับทดลองอื่น อย่างไรก็ตามหลังเติมสิ่งทดลอง กลับส่งผลให้พื้นที่ทางใบลดต่ำกว่าก่อนทดลอง (ตารางที่ 4.2, ภาพที่ 4.1) โดยการเติมปุ๋ยเคมี (F) และการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) และการเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) ส่งผลให้พื้นที่ทางใบลดลงจากก่อนทดลอง ทั้งนี้อาจจะเกิดจากการได้รับธาตุอาหารไนโตรเจนจำนวนมากในช่วงแรก และต้นปาล์มน้ำมันมีระดับโพแทสเซียมและโบรอนในใบปาล์มน้ำมันไม่เพียงพอต่อความต้องการ รวมทั้งได้รับแมกนีเซียมที่มากเกินพอ ทำให้ต้นปาล์มน้ำมันต้องมีการปรับตัว (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และจำเป็น อ่อนทอง, 2538) การเติบโตในช่วงแรกจึงชะงักจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน แต่ยังก็คงมีพื้นที่ทางใบใกล้เคียงกับผลการศึกษาของภิญโญ มีเดช และคณะ (2539, 2544) และสุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ (2544ก) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าต้นปาล์มน้ำมันจะมีการเติบโตเป็นปกติและมีแนวโน้มเพิ่มพื้นที่ทางใบสูงกว่าตำรับควบคุมและการเติมปุ๋ยเคมี ส่วนตำรับควบคุม การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) และการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) มีพื้นที่ทางใบเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนการทดลอง

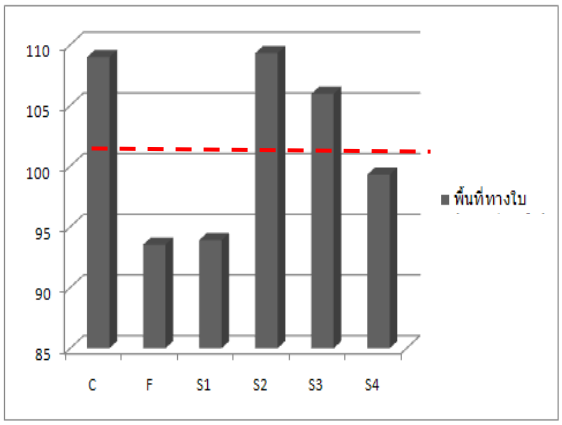
การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) และการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) ส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันมีการเติบโตอย่างเท่าเทียมกันทางสถิติ โดยมีจำนวนทางใบเพิ่มแตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมี และส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันมีความยาวทางใบ พื้นที่ทางใบและพื้นที่หน้าตัดแกนทางใบเทียบเท่าการเติมปุ๋ยเคมี อีกทั้งยังมีการเติบโตไม่แตกต่างจากตำรับควบคุม ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรทั้งสองตำรับทดลองจึงน่าจะสามารถเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับปาล์มน้ำมันได้โดยไม่ส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันชะงักการเติบโต



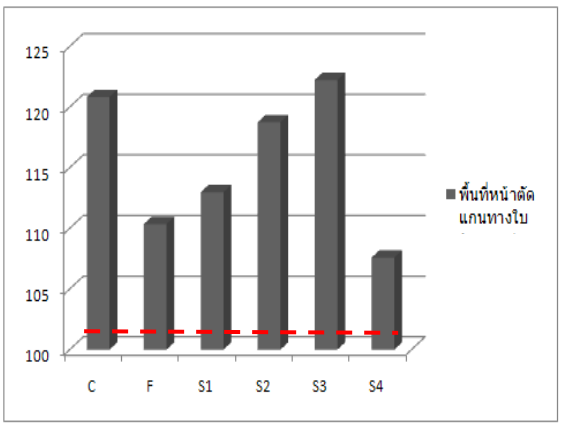
(ก) จำนวนทางใบเพิ่ม



(ข) ความยาวทางใบ



(ค) พื้นที่ทางใบ



(ง) พื้นที่หน้าตัดแกนทางใบ

หมายเหตุ

C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น

ภาพที่ 4.1 ค่าสัมพัทธ์การเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน หลังเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้การเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันก่อนเติมสิ่งทดลอง เท่ากับ 100

4.3. ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต่อปริมาณธาตุอาหารในดิน

ความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ทดลองและปริมาณธาตุอาหารของกากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการทดลองสามารถบอกได้จากสมบัติทางเคมี

ของดินก่อนและหลังการทดลอง โดยสมบัติทางเคมีที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณอินทรียวัตถุ และปริมาณธาตุอาหารได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมทั้งหมด โพแทสเซียม แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ สังกะสีที่เป็นประโยชน์ โบรอนทั้งหมดและโบรอนที่ละลายน้ำได้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุอาหารในดินเมื่อใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งธาตุอาหาร โดยมีผลการศึกษาวิจัย ดังนี้

4.3.1. สมบัติทางเคมีของดินก่อนเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยก่อนเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ พบว่าดินเป็นกรดจัดมาก เนื่องจากมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 4.69 (ตารางที่ 4.3, ตารางที่ ผ.1) ซึ่งไม่น่ามีผลต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน เพราะระดับความเป็นกรดเป็นด่างที่เหมาะสมและต้นปาล์มน้ำมันสามารถเติบโตได้ดี อยู่ในช่วง 5.5-4.2 (Rankine และ Fairhurst, 1998)

อย่างไรก็ตาม จากตารางที่ 4.3 ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัยมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก โดยพิจารณาจากค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity หรือ C.E.C.) เท่ากับ 2.70 cmol/kg เมื่อเทียบกับปริมาณที่กำหนดเพื่อจำแนกความอุดมสมบูรณ์ของดินตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ ผ.4) ถือว่าไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน (Rankine และ Fairhurst, 1998) เนื่องจากธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่เป็นประจุบวกซึ่งถูกดูดซับอยู่ที่ผิวอนุภาคดินเหนียว (คณาจารย์ภาควิชาปฐพี, 2548) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกจึงสามารถบ่งชี้ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ เมื่อพิจารณาระดับมาตรฐานอินทรียวัตถุในดินและเกณฑ์การประเมินคุณสมบัติดินเบื้องต้นสำหรับปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ ผ.2 และ ตารางที่ ผ.3) พบว่าปริมาณอินทรียวัตถุเท่ากับร้อยละ1.14 จัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ เช่นเดียวกันกับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (70.44 mg/kg) และธาตุอาหารรองคือแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (22.08 mg/kg)

ส่วนไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.69 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ในรูป P_2O_5) 33.54 mg/kg นั้นบ่งบอกถึงระดับธาตุอาหารสูง (ตารางที่ ผ.3 และ ตารางที่ ผ.5) และจุลธาตุ ได้แก่โบรอนทั้งหมด มีปริมาณน้อยกว่า 0.02 mg/kg ส่วนโบรอนที่ละลายน้ำได้ มีค่าเท่ากับ 0.50 mg/kg ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำและไม่เพียงพอสำหรับพืช (ตารางที่ ผ.7) ถึงปริมาณโบรอนทั้งหมดในดินไม่มีความสัมพันธ์กับโบรอนที่ละลายน้ำได้ ซึ่งเป็นโบรอนที่คาดว่าพืชสามารถดูดใช้ได้ก็ตาม แต่ปริมาณโบรอนทั้งหมดในดินจะเป็นค่าบ่งบอกถึงศักยภาพที่จะให้โบรอนแก่พืชในระยะยาว (เพิ่มพูน

กีรติกสิกร, 2546) แสดงให้เห็นว่าดินในพื้นที่ทดลองมีปริมาณโบรอนไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช จำเป็นต้องใส่ธาตุอาหารโบรอนเพิ่มเติม

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางเคมีของดินก่อนเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

สมบัติทางเคมี	ดิน
ความเป็นกรดเป็นด่าง (ดิน:น้ำ 1:1)	4.69
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cmol/kg)	2.70
อินทรียวัตถุ (%)	1.14
ธาตุอาหารหลัก	
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	0.69
แอมโมเนียมไนโตรเจน (mg/kg)	14.01
ไนเตรทไนโตรเจน (mg/kg)	35.72
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.05
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	33.54
โพแทสเซียมทั้งหมด (%)	1.61
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)	70.44
ธาตุอาหารรอง	
แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	22.08
จุลธาตุหรือธาตุอาหารเสริม	
โบรอนทั้งหมด (mg/kg)	<0.02
โบรอนที่ละลายน้ำได้ (mg/kg)	0.50
สังกะสีที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	0.90
อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)	0.95:1

หมายเหตุ <0.02 หมายถึง ค่าที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่า Detection limit ของเครื่อง Spectrophotometer ซึ่งวิเคราะห์โบรอนได้ 0.02 mg/kg

ดินก่อนการทดลองมีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 0.90 mg/kg ถือว่าอยู่ในเกณฑ์พอเหมาะ ซึ่งเป็นปริมาณจุลธาตุที่พบในดินทั่ว ๆ ไปเมื่อเทียบกับค่าจุลธาตุในดิน (ตารางที่ ผ. 5) ประเทศไทยไม่ได้ระบุสังกะสีเป็นโลหะหนักที่ต้องระมัดระวังการปนเปื้อนตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม โดยสังกะสีเป็นโลหะหนักที่เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเติบโตของพืช อีกทั้งความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินซึ่งจัดอยู่ในระดับต่ำมาก (ตารางที่ ผ.4) จึงไม่น่าจะมีโอกาสเกิดปัญหาจากโลหะหนักในพื้นที่ศึกษาวิจัย กล่าวได้ว่า ดินในพื้นที่ศึกษาวิจัย ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ตำบลท่าอุแท อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

มีคุณสมบัติพื้นฐานค่อนข้างเหมาะสมสำหรับการปลูกต้นปาล์มน้ำมัน โดยมีสภาพความเป็นกรดด่าง ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปริมาณอินทรียวัตถุ ปริมาณธาตุอาหารและความเป็นพิษจากสังกะสีไม่เป็นข้อจำกัด

4.3.2. ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร (กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน) และปุ๋ยเคมีต่อสมบัติทางเคมีของดิน

การศึกษาการใช้ประโยชน์ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน ทำการเติมสิ่งทดลองตามตำรับทดลองที่กำหนด เมื่อครบระยะเวลา 90 วัน จึงสุ่มตัวอย่างดินวิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งจะเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารที่เหลืออยู่ในดินจากการที่ต้นปาล์มน้ำมันนำไปใช้สำหรับการเติบโต รวมทั้งสามารถประเมินความเป็นประโยชน์และความเพียงพอของธาตุอาหารที่เหลืออยู่สำหรับฤดูกาลถัดไป ทำให้อาจจะไม่มีความจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยหรือลดปริมาณปุ๋ยลงได้เนื่องจากต้นทุนค่าปุ๋ยของปาล์มน้ำมันสูงถึงประมาณร้อยละ 50-60 ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด (Rankine และ Fairhurst, 1998) และทราบถึงปริมาณจุลธาตุในดินอีกด้วย

4.3.2.1. สมบัติทางเคมีของดินหลังเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

1) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

เมื่อพิจารณาความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดิน (ตารางที่ 4.4, ภาพที่ 4.2) เมื่อเติมสิ่งทดลอง (กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยเคมี) ครบ 90 วัน พบว่าสิ่งทดลองส่งผลต่อการลดลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value =5.15**) ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากกากขี้แป้งซึ่งมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.4 (ตารางที่ 4.1) กากตะกอนน้ำเสียมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.96 (ตารางที่ 4.1) เส้นใยปาล์มน้ำมันมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 6.13 (ตารางที่ 4.1) และขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 9.23 (ตารางที่ 4.1) โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินหลังการทดลองอยู่ในช่วง 4.22-4.63 จัดอยู่ในระดับค่าความเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดจัดมาก (ตาราง ผ.1) แต่อย่างไรก็ตามยังอยู่ในช่วงเหมาะสมสำหรับการเติบโตของปาล์มน้ำมันซึ่งควรมีค่าอยู่ระหว่าง 4.2-5.5 (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีของดินหลังเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

ตำรับทดลอง	สมบัติทางเคมี			
	pH	%Organic matter	C:N ratio	C.E.C. (cmol/kg)
C	4.22[a]	1.29[a]	1.2[a]	3.25[a]
F	4.36[ab]	1.39[a]	1.32[a]	2.72[a]
S1	4.44[b]	1.49[ab]	1.63[a]	2.70[a]
S2	4.34[ab]	1.66[b]	1.46[a]	2.94[a]
S3	4.63[c]	1.83[c]	1.63[a]	3.32[a]
S4	4.30[ab]	1.73[b]	1.44[a]	3.09[a]
F-value	5.15[**]	6.46[**]	0.43[ns]	0.71[ns]
%cv	5.47	21.01	33.10	25.26

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์หมายถึงความแตกต่างกันของตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

<0.02 หมายถึง ค่าที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่าDetection limit ของเครื่อง Spectrophotometer ซึ่งวิเคราะห์โบรอนได้ 0.02 mg/kg

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

** หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01

หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา15 กก./ต้น

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา15 กก./ต้น

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น

การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้นสูงสุดและแตกต่างจากตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (อยู่ในกลุ่มอักษร c) แม้ว่าการเติมสิ่งทดลอง S2, S4 และปุ๋ยเคมี (F) จะทำให้ดินมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้นกว่าดินเดิมแต่ก็ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (อยู่ในกลุ่มอักษร a เดียวกัน) การเติมกากตะกอนน้ำเสียที่มีค่า pH เป็นกลางลงดิน จะไม่ทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินอาจมีความเป็นกรดมากกว่าดินที่ไม่มีการเติมกากตะกอนน้ำเสีย เป็นผลมาจากการแทนที่ไฮโดรเจนไอออนที่ยึดเกาะในดินของเกลืออนินทรีย์ การย่อยสลายของอินทรียวัตถุจนเกิดกรดอินทรีย์

การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นของแอมโมเนียมไนโตรเจนและอินทรีย์ไนโตรเจน รวมทั้งการเพิ่มปริมาณกากตะกอนน้ำเสียลงดินอาจส่งผลให้ค่าความเป็นกรดของดินมากขึ้น แต่ความเป็นกรดจะเกิดขึ้นในช่วงแรก ๆ ของการเติมกากตะกอนน้ำเสียเท่านั้น รวมทั้งอินทรียวัตถุในของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรช่วยเพิ่มค่า soil buffer capacity ทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินไม่รวดเร็วจนเกินไป

กล่าวได้ว่าการเติมสิ่งทดลอง (กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยเคมี) ไม่น่าจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเป็นอุปสรรคต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน

2) ปริมาณอินทรียวัตถุ

อินทรียวัตถุในดิน คือ อินทรียสารทุกชนิดที่มีอยู่ในดิน ซึ่งได้จากซากพืชซากสัตว์และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในดิน สิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์ สลายตัวทับถมอยู่ในดิน รวมถึงอินทรียสารที่รากพืชปลดปล่อยออกมาและที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ปริมาณอินทรียวัตถุในดินหลังเติมสิ่งทดลอง (ตารางที่ 4.4) พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุทุกตำรับทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับดินเดิม (ร้อยละ 1.29) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) (อยู่ในกลุ่มตัวอักษร c) ส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุสูงสุดและแตกต่างจากตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ จัดได้ว่าความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบตามมาตรฐานของกรมพัฒนาที่ดิน (2545)

เมื่อพิจารณาปริมาณอินทรียวัตถุพบว่า การเติมสิ่งทดลองล้วนทำให้ค่าอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นจากดินเดิมอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (F-value = 6.46**) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การเติมกากขี้แป้งและกากตะกอนน้ำเสีย ส่งผลให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง อยู่ในช่วงร้อยละ 1.66-1.83 โดยระดับอินทรียวัตถุเปลี่ยนแปลงจากอยู่ในเกณฑ์ต่ำปานกลาง (ร้อยละ 1-1.5) เป็นเกณฑ์ปานกลาง (ร้อยละ 1.5-2.5) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545) สอดคล้องกับรายงานของประพิศ แสงทอง และภาวนา ลิกขนานนท์ (2544ก) พบว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียลงในดิน สามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินโดยทำให้อินทรียวัตถุในดินเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราที่ใส่ เมื่ออินทรียวัตถุย่อยสลายตัว จะปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาโดยเฉพาะไนโตรเจนและโพแทสเซียม เนื่องจากอินทรียวัตถุทำให้เกิดกรดอินทรีย์หรือกรดคาร์บอนิกที่เป็นตัวทำละลายให้ธาตุโพแทสเซียมในดินเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้ดินมีความชื้นสูง มีผลให้ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่อยู่ในดินคงอยู่ในรูปสารละลาย

ดินได้นานขึ้น และมีส่วนช่วยรักษาค่า pH ไม่ให้เปลี่ยนแปลงรวดเร็วเกินไป (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; ธีระพงศ์ จันทรนิยม และคณะ, 2544)

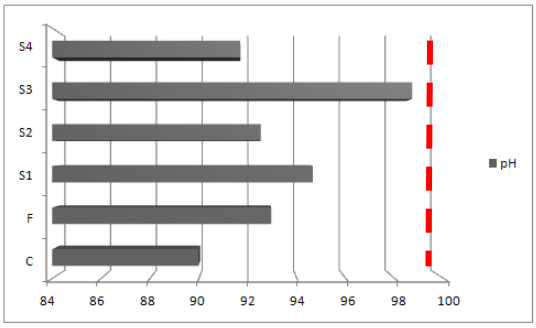
กล่าวได้ว่าการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร (กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน) ส่งผลให้มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

3) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

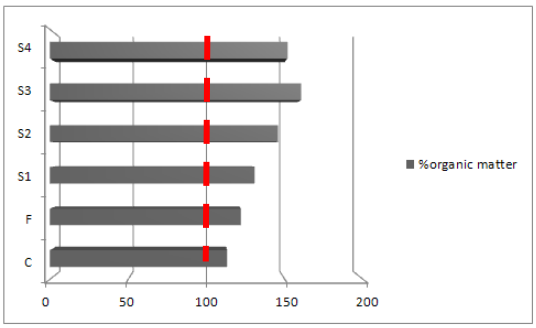
เมื่อพิจารณาอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) เมื่อทำการเติมสิ่งทดลองผ่านไป 90 วัน (ตารางที่ 4.4, ภาพที่ 4.2) โดยทำการคำนวณปริมาณคาร์บอนในรูปอินทรีย์คาร์บอนจากวิธี Walkley and Black และศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วยวิธี Micro-Kjeldahl method พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (F-value = 0.43^{ns}) อย่างไรก็ตามการใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งธาตุอาหารมีแนวโน้มเพิ่มอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในดินได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับตำรับควบคุม เห็นได้จากค่าสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อกำหนดให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนก่อนเติมสิ่งทดลอง เท่ากับ 100 (ภาพที่ 4.2) ทั้งนี้น่าจะเป็นผลมาจากการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร ทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ย่อยสลายจะปลดปล่อยธาตุไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามการใส่กากตะกอนน้ำเสียที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากกว่า 10:1 ลงดิน อินทรียวัตถุจะถูกย่อยสลายได้ช้าและเกิดการดูดดึงไนโตรเจนจากดินมาใช้อาจส่งผลให้พืชที่ปลูกขาดธาตุไนโตรเจนชั่วคราว (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

4) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

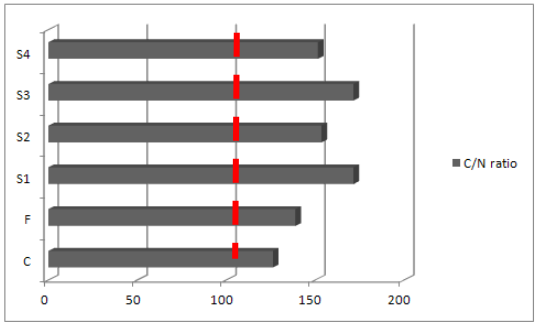
จากตารางที่ 4.4 พบว่าทุกตำรับการทดลอง มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value = 0.71^{ns}) (อยู่ในกลุ่มอักษร a เดียวกัน) โดยผลการศึกษาพบว่าค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในช่วง 2.70-3.32 cmol/kg ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำเมื่อเทียบตามเกณฑ์ของกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ ผ.4) และถือว่าไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน (Rankine และ Fairhurst, 1998) อย่างไรก็ตามอินทรียวัตถุที่ได้จากการสลายตัวของของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ จะมีคุณสมบัติช่วยตรึงธาตุอาหารที่อยู่ในดินไว้ได้สูง เนื่องจากอินทรียวัตถุมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง ทำให้ธาตุอาหารพืชมีโอกาสอยู่ในดินเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพฝนตกชุกในภาคใต้ของประเทศไทย รวมทั้งของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรอย่างเช่น เส้นใยปาล์มน้ำมันจะช่วยป้องกันการชะล้างหน้าดินอีกด้วย



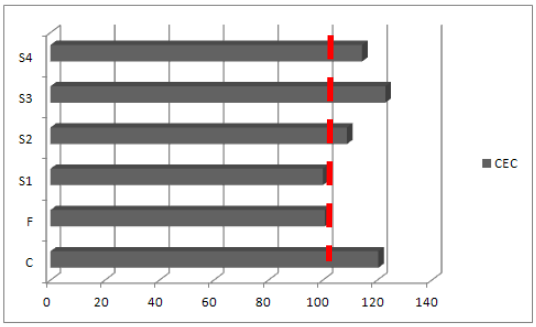
(ก) ความเป็นกรดเป็นด่าง



(ข) ปริมาณอินทรียวัตถุ



(ค) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน



(ง) ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุ (C.E.C)

หมายเหตุ

C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

ภาพที่ 4.2 ปริมาณสัมพัทธ์ของสมบัติทางเคมีของดินหลังเติมสิ่งทดลองเมื่อกำหนดให้สมบัติทางเคมีของดินก่อนเติมสิ่งทดลองเท่ากับ 100

4.3.2.2. ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

1) ธาตุอาหารในรูปทั้งหมด

- **ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด**

ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ กรดอะมิโนและเอนไซม์หลายชนิด ธาตุไนโตรเจนจะช่วยส่งเสริมให้ปาล์มน้ำมันมีการเติบโตด้านพื้นที่ทางใบ น้ำหนักใบแห้ง การสร้างทางใบเพิ่ม ซึ่งส่งผลให้ปาล์มน้ำมันมีผลผลิตมากขึ้น (สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, 2544ก) รูปของไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ส่วนใหญ่ จะถูกปลดปล่อยออกมาจากอินทรียวัตถุโดยกิจกรรมของ

จุลินทรีย์ดิน โดยรูปของไนโตรเจนที่พืชนำไปใช้คือ NH_4^+ ซึ่งเกิดจากกระบวนการ ammonification และ NO_3^- ที่เกิดจากกระบวนการ nitrification ในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

ผลการศึกษาพบว่า ทุกตำรับทดลองส่งผลให้ดินมีไนโตรเจนทั้งหมดไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 4.5) อยู่ในช่วงร้อยละ 0.65-0.75 จัดอยู่ในระดับสูงสำหรับปาล์มน้ำมัน (Rankine และ Fairhurst, 1998) ธีระพงศ์ จันทรนิยม และคณะ (2538) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ (2544ก, 2544ข) รายงานว่าการใส่ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน อาจมีผลมาจากปาล์มน้ำมันมีความต้องการใช้ไนโตรเจนในการเติบโตและสร้างผลผลิตจำนวนมาก ทำให้มีไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในดินลดลง เห็นได้จากภาพที่ 4.3 ค่าสัมพัทธ์ของแต่ละตำรับทดลองลดต่ำลงเมื่อกำหนดให้ไนโตรเจนทั้งหมดในดินเท่ากับ 100 ในขณะที่การเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) มีค่าสัมพัทธ์ของไนโตรเจนทั้งหมดในดินเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงน่าจะเป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนได้ดีเมื่อเทียบกับตำรับทดลองอื่น

- **ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด**

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหนึ่งที่พืชต้องการปริมาณมาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) โดยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินอยู่ในรูปอนุมูลฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$ และ HPO_4^{2-}) ซึ่งได้จากการแปรสภาพของอินทรียวัตถุ และจากการละลายสารประกอบฟอสเฟตต่าง ๆ ในดินออกมาในรูปสารละลายดิน (soil solution) ซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลกัน เมื่อพืชดูดดึงฟอสเฟตในสารละลายดินไปใช้ จะทำให้ปริมาณในส่วนนี้ลดลง ฟอสเฟตในส่วนของแข็งในดินจะถูกปลดปล่อยออกมาชดเชย อัตราการสลายตัวของฟอสเฟตออกมาอยู่ในสารละลายดินจะช้าหรือเร็ว ขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบฟอสเฟตในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) ส่งผลให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงสุดไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมี (F) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางที่ 4.5, F-value = 2.935**) ในสภาพที่ดินมีความเป็นกรดเป็นด่างลดลงเมื่อเติมสิ่งทดลอง อาจทำให้ Al และ Fe ที่อยู่ในสารละลายดินทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสเกิดเป็นสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำได้ ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตในดินลดต่ำลง แต่อย่างไรก็ตามอินทรีย์ฟอสเฟตจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย (mineralization) ให้

กลายเป็นไอออนฟอสเฟตได้ง่ายในช่วงความเป็นกรดเกือบเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย พืชจึงจะนำไปใช้ประโยชน์ได้

- **ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด**

ธาตุโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ซึ่งโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของจำนวนทะลายและน้ำหนักทะลายปาล์มน้ำมัน (สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, 2544ก) ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณธาตุอาหารหลักของดินภายหลังการเติมสิ่งทดลองเป็นระยะเวลา 90 วัน พบว่าของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดินไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมี (F) (อยู่ในกลุ่มอักษร b เดียวกัน) (ตารางที่ 4.5, F-value = 1.738*) โดยการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) (ร้อยละ 1.59) ส่งผลให้ดินมีปริมาณโพแทสเซียมสูงสุดและเทียบเท่าตำรับทดลองอื่น ๆ ดังนั้นกล่าวได้ว่าของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ สามารถเป็นแหล่งโพแทสเซียมได้เท่าเทียมกับการเติมปุ๋ยเคมี

- **ปริมาณโบรอนทั้งหมด**

โบรอนในดินเกิดจากการผุพังของหินที่มีโบรอนเป็นองค์ประกอบ เกิดการรวมตัวเป็น anions เช่น BO_2^-, $B_4O_7^{2-}$, BO_3^{3-}, HB_2O^{3-} และ $B(OH)^{4-}$ รูปของโบรอนในดินที่พบในสารละลายดินคือ H_3BO_3และ $B_4O_7^{2-}$ ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมความเป็นประโยชน์ของโบรอนคือความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณธาตุโบรอนในดินสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุ นั่นคือถ้าดินมีอินทรียวัตถุมากปริมาณโบรอนก็จะมากด้วย และโบรอนจะถูกดูดซับโดยดินแน่นกว่าประจุอื่น เช่น Cl^- และ NO_3^- (เพิ่มพูน กีรติกสิกร, 2546)

ตารางที่ 4.5 ปริมาณธาตุอาหารในดินหลังเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

ตำรับทดลอง	ธาตุอาหารหลัก							ธาตุอาหารรอง	ธาตุอาหารเสริม (mg/kg)		
	ไนโตรเจน			ฟอสฟอรัส		โพแทสเซียม					
	Total N (%)	NH_4^+ (mg/kg)	NO_3^- (mg/kg)	Total P (%)	P_2O_5 (mg/kg)	Total K (%)	K_2O (mg/kg)	Mg (mg/kg)	B		Zn
									Total	extractable	
C	0.65^{a}	2.62^{a}	28.90^{a}	0.05010^{ab}	31.08^{a}	1.55^{a}	47.25^{a}	20.00^{a}	<0.02	0.235	0.20^{a}
F	0.67^{a}	15.76^{ab}	25.86^{a}	0.05015^{bc}	52.50^{b}	1.57^{ab}	139.75^{c}	14.25^{a}	<0.02	0.18	0.33^{a}
S1	0.56^{a}	10.51^{a}	36.78^{a}	0.05014^{b}	64.66^{c}	1.59^{b}	55.33^{a}	71.33^{c}	<0.02	<0.02	4.92^{d}
S2	0.69^{a}	42.04^{b}	28.90^{a}	0.05014^{b}	69.00^{c}	1.58^{ab}	71.91^{b}	47.00^{b}	<0.02	0.04	1.86^{b}
S3	0.50^{a}	29.02^{ab}	34.15^{a}	0.05016^{c}	71.08^{c}	1.57^{ab}	65.54^{b}	88.41^{c}	<0.02	<0.02	3.29^{c}
S4	0.75^{a}	18.39^{ab}	28.90^{a}	0.05009^{a}	30.25^{a}	1.58^{ab}	67.41^{b}	26.50^{ab}	<0.02	<0.02	0.79^{ab}
F-value	0.81^{ns}	2.58**	0.92^{ns}	2.935**	40.20**	1.738*	93.41**	15.68**	-	-	19.21**
%CV	29.68	10.23	51.69	0.099	36.97	1.34	43.71	83.89	-	-	11.92

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์หมายถึงความแตกต่างกันของตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

** หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01

หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

การเติมสิ่งทดลองทุกตำรับทดลอง ส่งผลให้ดินมีปริมาณโบรอนทั้งหมดน้อยกว่า 0.02 mg/kg การดูดซับโบรอนในดินเพิ่มขึ้นเมื่ออินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการดูดซับโบรอนโดยอินทรียวัตถุขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อย่างมาก โดยพบว่าที่ระดับ pH ต่ำกว่า 6.5 การดูดซับโบรอนจะเกิดขึ้นน้อยมาก (เพิ่มพูน กีรติกสิกร, 2546) จากการสำรวจดินที่ปลูกทั่วโลก พบว่ามีโบรอนทั้งหมด (total Boron) ในดินชั้นบนตั้งแต่ 1-467 mg/kg และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 9-85 mg/kg ดินเนื้อทรายจะมีปริมาณน้อย อีกทั้งพืชที่เจริญในพื้นที่ความเข้มแสงสูงจะไวต่อการขาดธาตุนี้และต้องการในปริมาณที่มากกว่าปกติ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ดินในพื้นที่ทดลองมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายและมีความเป็นกรดจัด การใส่โบรอนลงในดินอาจเกิดการดูดซับได้น้อยและอาจสูญหายไปได้อย่างรวดเร็วโดยการชะล้าง ดินดูดซับโบรอนได้น้อยเพียงร้อยละ 5-35 ของปริมาณโบรอนที่เติมลงในดิน (เพิ่มพูน กีรติกสิกร, 2546) อีกทั้งอาจจะเป็นผลจากอิทธิพลของชนิดไอออนที่อยู่ร่วมด้วย โดยฟอสเฟตและโมลิบเดตที่อยู่ร่วมกับโบรอนทำให้ปริมาณการดูดซับโบรอนลดลง และมีรายงานว่าดินดูดซับโบรอนได้น้อยลงเมื่อเพิ่มรอบความเปียกและแห้งสูงขึ้น อาจเป็นเพราะโครงสร้างแร่เหล็กออกไซด์ในดินมีโครงสร้างเป็นระเบียบมากขึ้น ทำให้มีแนวโน้มก่อตัวเป็นผลึกมากขึ้น ดังนั้นจึงมีพื้นที่ผิวจำเพาะลดลงส่งผลให้ดูดซับโบรอนได้น้อยลง (วันปิติ อาจเดช และเพิ่มพูน กีรติกสิกร, 2546)

2) ธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์

- **แอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจน**

พืชสามารถดูดใช้ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) ได้ดี และสูญหายไปกับการชะล้างได้น้อยเพราะแอมโมเนียมเป็นแคตไอออน จึงดูดซับอยู่กับประจุลบของคอลลอยด์ดิน อย่างไรก็ตามเมื่อดินมีความชื้นและอุณหภูมิเหมาะสม แอมโมเนียมจะถูกจุลินทรีย์ดินออกซิไดส์เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนเตรท (NO_3^-) โดยกระบวนการ nitrification ทำให้เกิดความเป็นกรดในดิน แม้ว่ารากพืชจะดูดไนเตรทไปใช้ได้ง่าย แต่เนื่องจากเป็นแอนไอออน ทำให้ถูกน้ำชะล้างไปได้ง่าย และในภาวะที่ดินขาดออกซิเจน เช่นภาวะน้ำท่วมขัง ไนเตรทจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนหรือออกไซด์ของไนโตรเจนด้วยกระบวนการ denitrification ดังนั้นนอกจากการแข่งขันดูดใช้ไนโตรเจนระหว่างวัชพืชกับต้นปาล์มน้ำมัน การเกิดกระบวนการ immobilization แล้ว ยังเกิดการสูญเสียแอมโมเนียมและไนเตรทจากกระบวนการต่าง ๆ ในดินอีกด้วย

ผลการศึกษาจากตารางที่ 4.5 พบว่าการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับต่าง ๆ ช่วยทำให้ดินมีปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในรูปแอมโมเนียมแตกต่างจากตำรับควบคุม (2.62 mg/kg) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value = 2.58**) โดยการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) ทำให้ดินมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนสูงสุด (42.04 mg/kg) ไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมี (F) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) (29.02 mg/kg) และการเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) (18.39 mg/kg) (ตัวอักษร b ในกลุ่มเดียวกัน)

ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นหลังการทดลอง เห็นได้จากค่าสัมพัทธ์ของแอมโมเนียมไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นเมื่อกำหนดให้แอมโมเนียมไนโตรเจนในดินก่อนทดลองเท่ากับ 100 (ภาพที่ 4.3) ส่วนปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในรูปไนเตรท (NO_3^-) พบว่าทุกตำรับทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรส่งผลให้ค่าสัมพัทธ์ของไนเตรทไนโตรเจนเมื่อกำหนดให้ไนเตรทไนโตรเจนในดินก่อนทดลอง เท่ากับ 100 เพิ่มสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมี ดังนั้นของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ จึงสามารถเป็นแหล่งไนเตรทไนโตรเจนได้ดีเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีความต้องการธาตุไนโตรเจนเพื่อเติบโตและสร้างผลผลิตต่อปีสูง เมื่อทำการเติมสิ่งทดลองจะทำให้พืชได้แหล่งไนโตรเจนจากกระบวนการ mineralization ของอินทรีย์ไนโตรเจน รวมทั้งอนินทรีย์ไนโตรเจนที่ได้จากปุ๋ยเคมี เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับรายงานของประพิศ แสงทอง และภาวนา ลิกขนานนท์ (2544ก) พบว่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียลงในดินชุดดินรังสิตซึ่งเป็นดินกรดจัด มีผลให้ความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนสูงขึ้น และมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติม กากตะกอนน้ำเสีย แต่การปลดปล่อยไนโตรเจนก็ลดลงตามอัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสียเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนสูญหายไปจากดิน โดยอาจเกิดจากไนโตรเจนในรูปไนเตรท (NO_3^-) ถูกชะล้าง หรือถูกพัดพาโดยการกัดกร่อนของดินและการไหลบ่าบนผิวดิน หรืออาจสูญเสียโดยการเคลื่อนย้ายออกไปในรูปผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมัน

การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ส่งผลให้ดินมีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนเทียบเท่ากับการเติมปุ๋ยเคมี ซึ่งของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรสามารถย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนจากกระบวนการ minerlization ได้ดีและมีปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในรูปไนเตรทที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเติมสิ่งทดลอง

(กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและปุ๋ยเคมี) ส่งผลให้มีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน เป็นประโยชน์ต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน

- **ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์**

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่ถูกตรึงในดินเป็นส่วนใหญ่ นอกจากดินที่มีเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายหรือดินร่วนปนทรายที่มีดินเหนียวน้อย โดยทั่วไปพืชจะดูดใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในละลายดินซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เมื่อพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ตารางที่ 4.5, ภาพที่ 4.4) พบว่าการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ช่วยทำให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าตำรับควบคุม (C) (31.08 mg/kg) และการเติมปุ๋ยเคมี (F) (52.50 mg/kg) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value = 40.20**) โดยการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) ทำให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด (71.08 mg/kg) ไม่แตกต่างจากการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) (64.66 mg/kg) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) (69.00 mg/kg) (อยู่ในกลุ่มอักษร c เดียวกัน) ถือว่าอยู่ในเกณฑ์สูงมากและจัดว่าเหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ ผ.5 และ ตารางที่ ผ.3)

การเติมกากตะกอนน้ำเสียส่งผลให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด เนื่องจากกากตะกอนน้ำเสียมีพฤติกรรมการละลายแบบช้า ๆ และต่อเนื่องซึ่งสามารถลดการดูดตรึงฟอสฟอรัสลงได้ (ประพิศ แสงทอง และภาวนา ลิกขนานนท์, 2544ข) อย่างไรก็ตามค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินก่อนทดลอง (33.54 mg/kg, ตารางที่ 4.3) อยู่ในเกณฑ์สูงมากตามมาตรฐาน กรมวิชาการเกษตร (2553) แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของดินในพื้นที่ทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เหมาะสมอยู่แล้ว สอดคล้องกับรายงานของสุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์และคณะ (2544ก, 2544ข) รายงานว่าธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เติมแก่ปาล์มน้ำมัน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน นอกจากพืชจะสามารถใช้ฟอสฟอรัสจากดินและปุ๋ยได้แล้ว บริเวณรากปาล์มน้ำมันยังมีราไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ ซึ่งสามารถช่วยดูดใช้ฟอสฟอรัสได้ นอกจากนี้ไมคอร์ไรซามีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยยาก เช่น ลิกนิน รวมทั้งสารอนินทรีย์พวกหินและแร่ต่าง ๆ ที่ยังไม่สลายตัวได้เร็วขึ้น ทำให้ได้ธาตุอาหารพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ดีขึ้น

ดังนั้นจึงเห็นแนวโน้มได้ว่า การเติมสิ่งทดลอง (กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและปุ๋ยเคมี) สามารถเป็นแหล่งธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อ

การเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันได้เป็นอย่างดี และน่าจะเพียงพอที่จะใช้ได้ถึงฤดูกาลหน้า เป็นการช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายได้อีกทางหนึ่ง

- **ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้**

โพแทสเซียมไอออนในสารละลายดินและโพแทสเซียมที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของสารคอลลอยด์ที่อยู่ในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ จะเป็นโพแทสเซียมที่อยู่ในรูปพืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที และทั้งสองรูปอยู่ในสภาพสมดุลตลอดเวลา การเติมสิ่งทดลองมีผลต่อการเพิ่มระดับธาตุโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (F-value = 93.41**) โดยการเติมปุ๋ยเคมีให้ค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O) สูงสุด (139.75 mg/kg) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) (71.91 mg/kg) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) (65.54 mg/kg) และการเติมกากตะกอนน้ำเสีย ร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) (67.41 mg/kg) นั้นให้ค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (อยู่ในกลุ่มอักษร b เดียวกัน) ส่วนการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) (55.33 mg/kg) มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ไม่แตกต่างจากตำรับควบคุม (47.25 mg/kg) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (47.25 mg/kg)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจัดอยู่ในระดับต่ำสำหรับการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน (<80 mg/kg) (Rankine และ Fairhurst ,1998) จึงเป็นการยืนยันถึงความแตกต่างของระยะเวลาที่เอื้อประโยชน์ให้ธาตุอาหารที่ปุ๋ยเคมีละลายและอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ในดินได้ทันที ในขณะที่ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ซึ่งเป็นวัสดุอินทรีย์ในการทดลองนี้ต้องผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ให้กลายเป็นสารอนินทรีย์ จุลินทรีย์และรากพืชจึงจะนำไปใช้ได้ การปลดปล่อยธาตุอาหารเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมีแล้วจึงช้าแต่จะสม่ำเสมอกว่ามาก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

รายงานของธีระพงศ์ จันทรนิยม และคณะ (2538) พบว่าการเติมปุ๋ยโพแทสเซียมและไนโตรเจนในอัตราสูง จะมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าการเติมปุ๋ยโพแทสเซียมในอัตราเดียวกันแต่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราที่ต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนและโพแทสเซียมมีสหสัมพันธ์กันในทางบวกต่อผลผลิต (ภิเชษฐ์ ใบเขียว และเพิ่มพูน กีรติกสิกร, 2551) เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับสุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ (2544) รายงานผลการศึกษาว่า การใส่ธาตุ

โพแทสเซียม ทำให้ปาล์มน้ำมันมีผลผลิตทะลายสดแตกต่างจากการไม่ใส่ธาตุโพแทสเซียม และการใส่ธาตุไนโตรเจนร่วมกับธาตุโพแทสเซียม ทำให้ผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นสูงกว่าการใส่เพียงธาตุใดธาตุหนึ่ง เนื่องจากธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์ในลักษณะปฏิกิริยาส่งเสริมต่อกัน เมื่อใส่ธาตุทั้งสองในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะทำให้ได้ผลผลิตสูงสุด ซึ่งของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาเป็นแหล่งไนโตรเจนและโพแทสเซียม จะช่วยส่งเสริมการเติบโตและผลผลิตปาล์มน้ำมัน โดยปลดปล่อยให้พืชใช้ประโยชน์โพแทสเซียมอย่างช้า ๆ และช่วยลดค่าใช้จ่ายปุ๋ยเคมีในอีกทางหนึ่ง

อย่างไรก็ตามการเติมธาตุอาหารลงสู่ดิน อาจจะส่งผลให้ระดับของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เสียสมดุล โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้บางส่วนอาจถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้หรือถูกตรึงเพื่อรักษาสมดุล (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) เป็นที่น่าสังเกตได้ว่าการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ทำให้โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นจากดินเดิมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่การเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) (55.33 mg/kg) กลับส่งผลให้โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ไม่แตกต่างจากดินเดิม (47.25 mg/kg) แม้ว่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในสิ่งทดลองมีอยู่ปริมาณมาก จึงเป็นไปได้ว่าธาตุโพแทสเซียมและแมกนีเซียมมีปฏิกิริยาปฏิปักษ์ต่อกันหรือมีลักษณะขัดแย้งกัน ดังนั้นเมื่อปาล์มน้ำมันดูดธาตุอาหาร ธาตุใดธาตุหนึ่งมากจะส่งผลให้การดูดธาตุอีกชนิดลดลงได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Foster และ Prabowo (1996) รวมทั้งเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มน้ำมันออกไปจากสวนทุก ๆ เดือนหรือมีการตัดแต่งทางใบ หรือสะสมในดอกตัวผู้ หรือทางใบร่วงย่อมเป็นการหมุนเวียนธาตุอาหารในวงจรและสูญเสียไปจากสวน และบางส่วนมีการสะสมไว้ในต้นปาล์มน้ำมันเพื่อการสร้างผลิตและเติบโต อาจทำให้ระดับธาตุอาหารทั้งในดินลดต่ำลงหลังเติมสิ่งทดลอง นอกจากนี้ Teo et al. (1998) รายงานว่ามีการสูญเสียปริมาณธาตุอาหารไปกับสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย เช่น ถูกชะล้างไปกับน้ำฝนและการชะล้างหน้าดิน

- **ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์**

แมกนีเซียมเป็นธาตุอาหารรองซึ่งปกติจะมีอยู่ในดินเพียงพอต่อการเติบโตของพืช แมกนีเซียมในรูปที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Mg) และแมกนีเซียมที่ละลายน้ำเป็นแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available Mg) แมกนีเซียมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแร่และหิน ได้แก่ หินปูน หินอัคนี หินดินดานและหินทราย รวมทั้งแร่จำพวกซิลิเกต แมกนีไซด์ และ โดโลไมต์ เป็นต้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

ผลการศึกษาพบว่า แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นหลังเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value = 15.68**, ตารางที่ 4.5) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) มีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์สูงสุด (88.41 mg/kg) ไม่ความแตกต่างจากการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) (71.33 mg/kg) (อยู่ในกลุ่มอักษร c เดียวกัน) ถือว่าอยู่ในระดับปานกลางสำหรับการเติบโตของปาล์มน้ำมัน (>75 mg/kg) (Rankine และ Fairhurst ,1998) ส่วนการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) (47.00 mg/kg) และการเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) (26.50 mg/kg) มีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

กล่าวได้ว่าของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ สามารถเป็นแหล่งธาตุแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันได้เป็นอย่างดี

ปาล์มน้ำมันมีความต้องการใช้ไนโตรเจนไนโตรเจนเพื่อเติบโตสูง จึงเหลือสะสมอยู่ในดินจำนวนน้อย รวมทั้งไนเตรทไอออนซึ่งเป็นแคตไอออนบางส่วนอาจถูกชะล้างสูญหาย ในขณะที่แมกนีเซียมไอออนซึ่งมีไอออนบวกมีแนวโน้มว่าสะสมเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามธีระพงศ์ จันทรนิยม และคณะ (2538) พบว่าตำรับทดลองที่มีการใส่ปุ๋ย จะมีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำกว่าตำรับควบคุม น่าจะเป็นผลมาจากการยับยั้งการดูดใช้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของธาตุอาหารใดธาตุอาหารหนึ่ง เนื่องจากธาตุอาหารหนึ่งรบกวนหรือมีการแข่งขันการดูดธาตุอาหาร ทำให้พืชดูดธาตุอาหารได้น้อยลง โดยถ้าปริมาณโพแทสเซียมมากกว่าระดับสมดุล จะส่งผลให้พืชดูดใช้แมกนีเซียมได้น้อยจนอาจแสดงอาการขาดธาตุแมกนีเซียมได้ จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า หลังการเติมกากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมันตำรับทดลองต่าง ๆ ดินมีระดับแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจัดอยู่ในระดับต่ำสำหรับการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน (<80 mg/kg) (Rankine และ Fairhurst ,1998) จึงอาจจะเป็นผลมาจากปฏิกิริยาปฏิปักษ์ต่อกัน ดังนั้นการเติมธาตุอาหารจะต้องคำนึงถึงความสมดุลของธาตุอาหารด้วย

- **ปริมาณโบรอนที่ละลายน้ำได้**

ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมความเป็นประโยชน์ของโบรอนในดินคือความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณธาตุโบรอนในดินสัมพันธ์กับปริมาณอินทรียวัตถุ นั่นคือถ้าดินมีอินทรียวัตถุมาก

ปริมาณโบรอนก็จะมากด้วย และโบรอนจะถูกดูดซับโดยดินแน่นกว่าประจุอื่น เช่น Cl^- และ NO_3^- (เพิ่มพูน กีรติกสิกร, 2546)

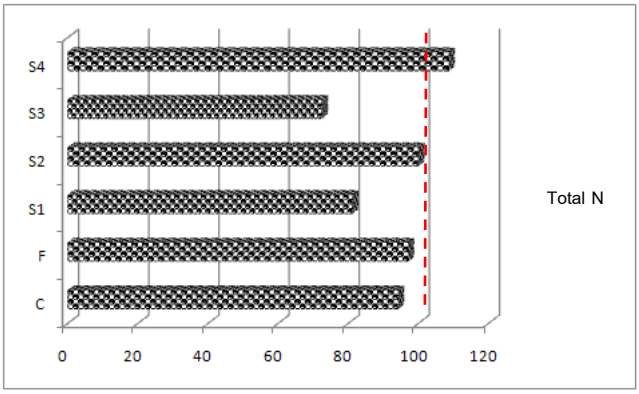
เมื่อพิจารณาปริมาณโบรอนที่ละลายน้ำได้ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืช พบว่าการเติมปุ๋ยเคมี (F) ส่งผลให้มีโบรอนที่ละลายน้ำได้ในดิน 0.18 mg/kg ใกล้เคียงตำรับควบคุม (C) 0.235 mg/kg ในขณะที่การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) มีปริมาณโบรอนที่ละลายน้ำได้ 0.04 mg/kg ส่วนของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองอื่น ๆ พบว่ามีปริมาณโบรอนที่ละลายน้ำน้อยกว่า 0.02 mg/kg จัดว่าทุกตำรับทดลองมีความเป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำมากและไม่เพียงพอสำหรับพืช (ตารางที่ ผ.7) ปริมาณโบรอนที่เป็นประโยชน์ในดินของภาคใต้ในประเทศไทย มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.20 mg/kg (พิชิต พงษ์สกุล และ สุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์, 2549) อีกทั้งในพื้นที่ที่มีฝนตกชุกในเขตร้อนชื้น จะมีปริมาณโบรอนที่เป็นประโยชน์เหลืออยู่ในปริมาณต่ำ เมื่อเติมโบรอนลงในดินเนื้อหยาบซึ่งมีอินทรียวัตถุต่ำ พบว่ามีการสูญเสียโบรอนจากการชะล้างถึงร้อยละ 85 ดังนั้นการขาดโบรอนเกิดขึ้นในทุกภาคของประเทศไทยและจัดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (Sillanpaa, 1982) รวมทั้งดินที่มีธาตุโบรอนต่ำ การเติมโพแทสเซียมในอัตราสูง ทำให้เกิดการขาดโบรอนได้ (Havlin et al., 1999) จึงอาจส่งผลให้ปริมาณโบรอนที่ละลายน้ำได้ของตำรับควบคุม (C) มีปริมาณสูงเมื่อเทียบกับตำรับทดลองอื่น ๆ

- **ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์**

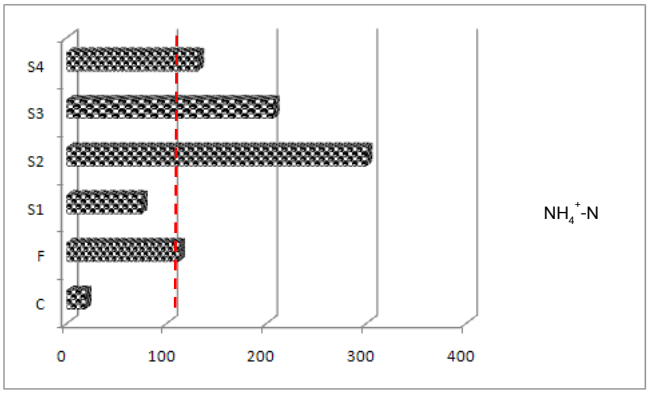
จากตารางที่ 4.5 หลังจากการเติมสิ่งทดลองไปแล้ว 90 วัน เมื่อพิจารณาปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ พบว่าการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) ส่งผลให้ดินมีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์สูงสุด (4.92 mg/kg) และแตกต่างจากตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (F-value = 19.21**) เมื่อเทียบกับการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) (3.29 mg/kg) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) (1.86 mg/kg) การเติมกากตะกอนน้ำเสีย ร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) (0.73 mg/kg) การเติมปุ๋ยเคมี (F) (0.33 mg/kg) และตำรับควบคุม (C) (0.20 mg/kg)มีปริมาณสังกะสีต่ำสุด สอดคล้องกับผลการศึกษาของมนัสนันท์ เกื้อหนุน, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และเอ็จ สโรบล (2551) ปริมาณสังกะสีในรูปละลายยากจะมีปริมาณสูงขึ้นตามอัตราการเติมกากตะกอนน้ำเสีย โดยในดินกรดจัดจะทำให้มีสังกะสีในรูปละลาย

ยากลดลงตามระยะเวลา ในขณะที่ปริมาณสังกะสีในรูปที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้น (ประพิศ แสงทอง และสุรสิทธิ์ อรรถจารุสิทธิ์, 2544)

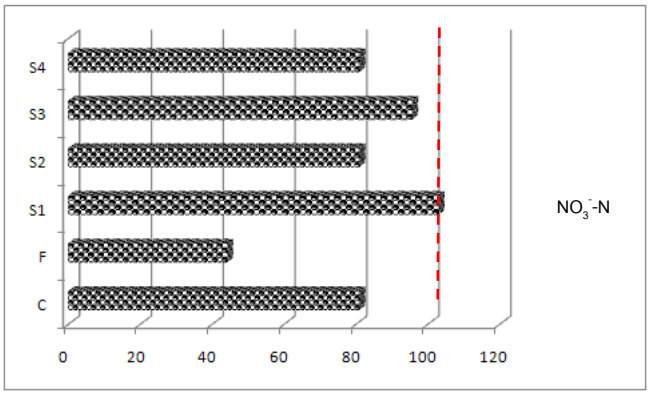
จากตารางที่ 4.5 พบว่าดินที่มีการเติมกากขี้แป้งอยู่ในสิ่งทดลอง จะทำให้ดินมีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นตามปริมาณกากขี้แป้งที่เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะกระบวนการผลิตน้ำยางข้นซึ่งเติม ZnO เพื่อรักษาสภาพน้ำยาง ทำให้กากขี้แป้งมีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ (83.56 mg/kg) ส่วนกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐาน (30.31 mg/kg) เส้นใยปาล์มน้ำมัน (23.53 mg/kg) และขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (0.38 mg/kg) เมื่อเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานสังกะสีในดิน พบว่าของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ส่งผลให้ดินมีปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์อยู่ในเกณฑ์เกินพอ (>1.0 mg/kg) และพอเหมาะ (0.5-1 mg/kg) (กรมวิชาการเกษตร, 2547) กล่าวโดยสรุปคือของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ส่งผลให้ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นและอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน



(ก) ไนโตรเจนทั้งหมด



(ข) แอมโมเนียมไนโตรเจน



(ค) ไนเตรทไนโตรเจน

หมายเหตุ

C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

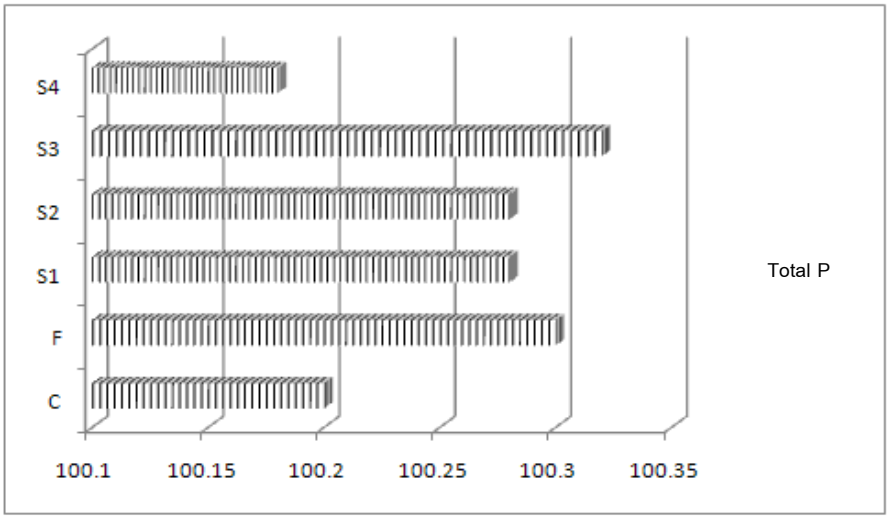
S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

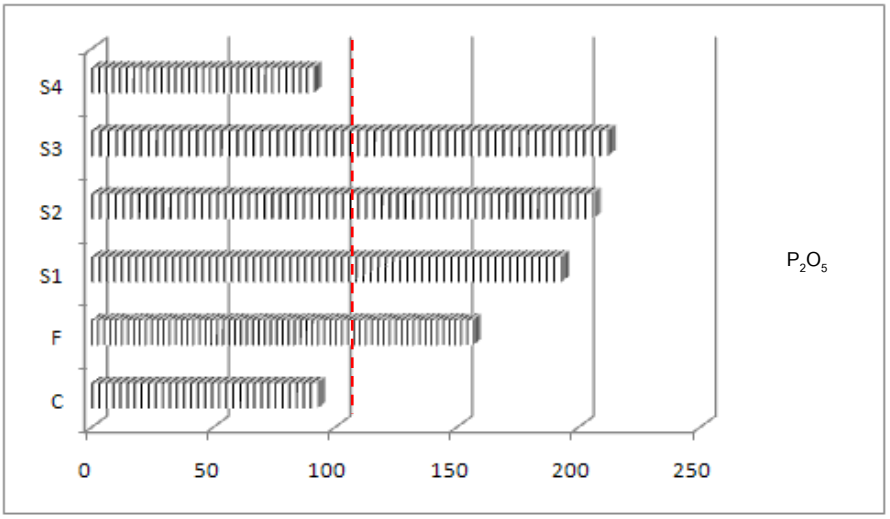
S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

ภาพที่ 4.3 ปริมาณสัมพัทธ์ของไนโตรเจนในดินหลังเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้ไนโตรเจนในดินก่อนเติมสิ่งทดลองเท่ากับ 100



(ก) ฟอสฟอรัสทั้งหมด



(ข)ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

หมายเหตุ

C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

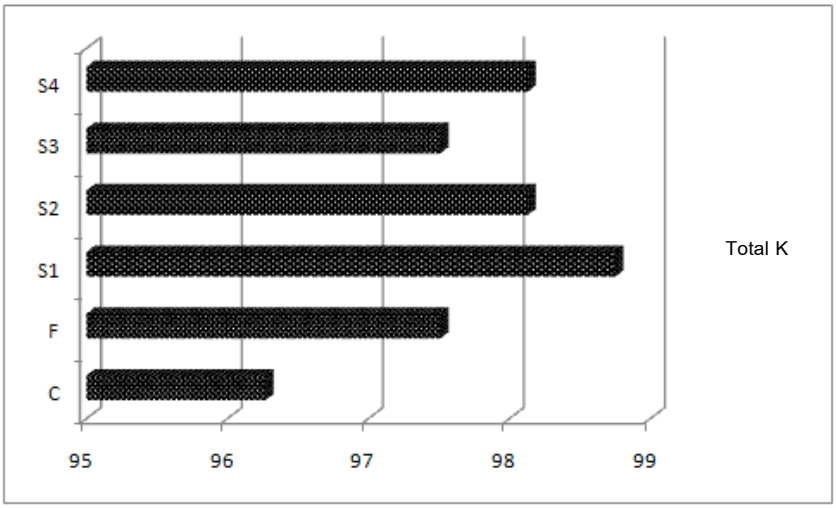
S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

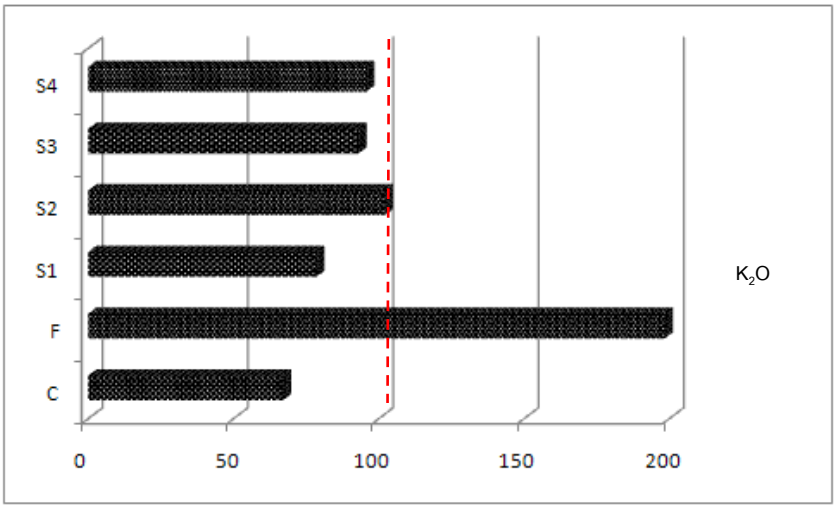
S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

ภาพที่ 4.4 ปริมาณสัมพัทธ์ของฟอสฟอรัสในดินหลังเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้ฟอสฟอรัสในดินก่อนเติมสิ่งทดลองเท่ากับ 100



(ก) โพแทสเซียมทั้งหมด



(ข) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์

หมายเหตุ

C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

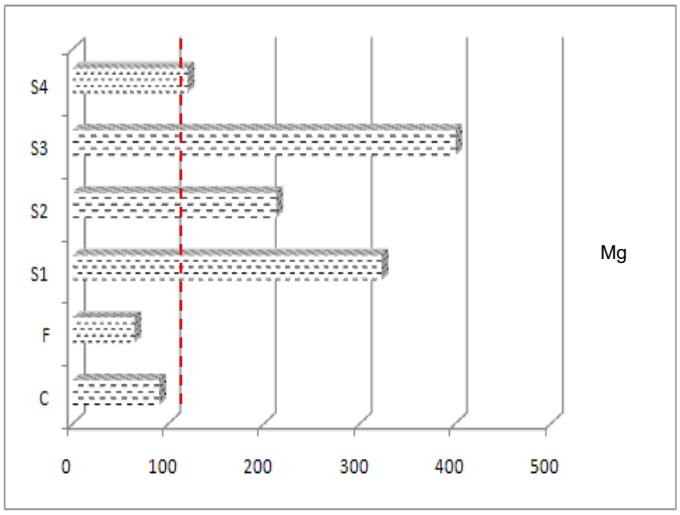
S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

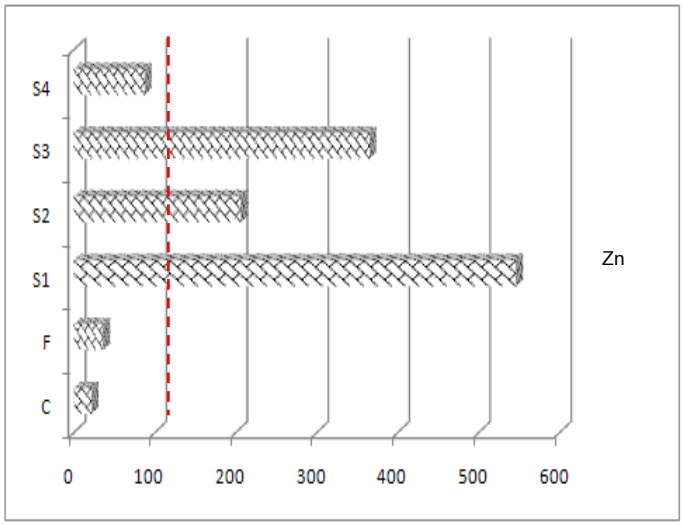
S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

ภาพที่ 4.5 ปริมาณสัมพัทธ์ของโพแทสเซียมในดินหลังเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้สมบัติโพแทสเซียมในดินของดินก่อนเติมสิ่งทดลองเท่ากับ 100



ภาพที่ 4.6 ปริมาณสัมพัทธ์ของแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินหลังเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ของดินก่อนเติมสิ่งทดลองเท่ากับ 100



าพที่ 4.7 ปริมาณสัมพัทธ์ของสังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินหลังเติมสิ่งทดลอง เมื่อกำหนดให้สังกะสีที่เป็นประโยชน์ในดินของดินก่อนเติมสิ่งทดลองเท่ากับ 100

หมายเหตุ

C = ดินเดิม, F = ดินเดิม+ ปุ๋ยเคมี,

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา15 กก./ต้น

4.4. ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต่อปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน

การศึกษาการใช้ประโยชน์ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน นอกจากข้อมูลระดับธาตุอาหารพืชในดินแล้ว การใช้ค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในใบเพื่อประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ที่ใช้ปลูกพืชนั้นก็เป็นสิ่งสำคัญ มีประโยชน์มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพวกพืชจำพวกไม้ยืนต้น ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตช้าและตอบสนองต่อปุ๋ยในระยะเวลาที่นาน (Hartley, 2003) ผลการทดลองมีดังนี้

4.4.1. ปริมาณธาตุอาหารหลัก

4.4.1.1. ไนโตรเจน

เมื่อพืชดูดธาตุอาหารจากดินเพื่อการเติบโตและผลิตผล ส่วนหนึ่งจะถูกเก็บสะสมไว้ที่ใบ ดังนั้นการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบพืชจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมทั้งใช้พิจารณาว่าพืชมีปริมาณธาตุอาหารเพียงพอสำหรับเติบโตตลอดฤดูกาลหรือไม่อีกด้วย ซึ่งในการคาดคะเนผลผลิต พบว่า นอกจากปริมาณน้ำฝนในปีที่ผ่านมาแล้ว ปริมาณธาตุอาหารในใบ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และโบรอนของในปีที่ผ่านมาและปีที่ต้องการคาดคะเน ล้วนเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2544ก) จากการศึกษาพบว่า ก่อนเติมสิ่งทดลอง ระดับความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 2.58 อยู่ในระดับต่ำกว่าค่าวิกฤตตามเกณฑ์ของ Richardson (1986) (%N < 2.68) เมื่อระยะเวลาครบ 90 วัน ระดับความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 2.44-2.56 (ตารางที่ 4.6) ถือว่าไม่เพียงพอต่อการเติบโตการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) (ร้อยละ 2.52) และการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) (ร้อยละ 2.56) ส่งผลให้มีค่าไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมี (ร้อยละ 2.53) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value = 4.318**) ซึ่งข้อมูลของ Prevot และ Ollagnier (1961) เสนอว่า ระดับไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันมีถึงร้อยละ 2.70 แล้ว ระดับโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันก็จะมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับผลผลิต อย่างไรก็ตามการศึกษาความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันที่ปลูกในชุดดินอ่าวลึก พบว่า ระดับปุ๋ยไนโตรเจนฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่ใส่ ไม่มีผลต่อความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันอย่างชัดเจน แต่มีแนวโน้มว่าไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นตามระดับปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ อีกทั้งหากปาล์มน้ำมันได้รับไนโตรเจนไม่เพียงพอ การใส่โพแทสเซียมเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระดับไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันลดลง (สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ, 2544ก, 2544ข)

ตารางที่ 4.6 ผลของการเติมสิ่งทดลองต่อระดับธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน

ตำรับการทดลอง	ธาตุอาหารหลัก						ธาตุอาหารรอง		จุลธาตุ	
	ไนโตรเจน (%)		ฟอสฟอรัส (%)		โพแทสเซียม (%)		แมกนีเซียม (%)		โบรอน (mg/kg)	
	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง	ก่อนทดลอง	หลังทดลอง
c	2.62^{a}	2.46^{ab}	0.15^{a}	0.14^{a}	0.94^{a}	0.91^{d}	0.25^{a}	0.29^{ab}	14.0^{b}	13.30^{a}
F	2.58^{a}	2.53^{bc}	0.15^{a}	0.14^{a}	0.91^{a}	0.79^{ab}	0.37^{b}	0.31^{b}	12.7^{a}	10.70^{ab}
S1	2.56^{a}	2.52^{b}	0.14^{a}	0.14^{a}	0.91^{a}	0.76^{a}	0.21^{a}	0.33^{c}	18.0^{d}	18.65^{d}
S2	2.51^{a}	2.44^{a}	0.14^{a}	0.14^{a}	0.94^{a}	0.84^{b}	0.26^{ab}	0.33^{c}	12.7^{a}	8.35^{a}
S3	2.62^{a}	2.56^{c}	0.14^{a}	0.14^{a}	0.94^{a}	0.78^{a}	0.35^{b}	0.27^{a}	14.7^{c}	7.65^{a}
S4	2.60^{a}	2.45^{a}	0.15^{a}	0.14^{a}	2.6^{b}	0.85^{c}	0.16^{a}	0.33^{c}	22.0^{e}	15.65^{cd}
F-value	0.70^{ns}	4.31**	1.20^{ns}	1.16^{ns}	239.38**	9.10**	4.13*	5.69**	3519.57**	11.08**
%CV	3.72	3.61	4.00	2.85	53.33	9.75	37.03	12.90	22.30	34.81

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์หมายถึงความแตกต่างกันของตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

** หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01

หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

4.4.1.2. **ฟอสฟอรัส**

จากตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสในใบปาล์มน้ำมัน หลังเติมสิ่งทดลองครบ 90 วัน พบว่าการเติมปุ๋ยเคมี และกากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมันตำรับทดลองต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-value= 1.16^{ns}) เมื่อพิจารณาระดับความเข้มข้นของธาตุฟอสฟอรัสในใบปาล์มน้ำมัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน (ร้อยละ 0.14) ซึ่งอยู่ในระดับต่ำกว่าค่าวิกฤตตามเกณฑ์ของ Richardson (1986) (%P < 0.17) อีกทั้งน่าจะเป็นเพราะระดับธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันก่อนการทดลองก็อยู่ในระดับต่ำกว่าค่าวิกฤตอยู่แล้ว ซึ่งเป็นปัจจัยจำกัด เมื่อปาล์มน้ำมันขาดธาตุอาหารมากกว่า 2 ธาตุก็ไม่สามารถลำดับความรุนแรงได้ว่าธาตุไหนเป็นปัจจัยจำกัดมากที่สุด ดังนั้นถึงแม้จะเติมธาตุอาหารลงไปเพิ่มเติม ปาล์มน้ำมันก็ยังมีการตอบสนองต่ำ ทำให้ระดับธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันไม่ตอบสนองเพิ่มขึ้นหลังเติมสิ่งทดลอง รวมทั้งการตอบสนองของปาล์มน้ำมันต่อฟอสฟอรัสจะขึ้นอยู่กับการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเพียงพอ ในทางตรงข้ามหากฟอสฟอรัสในดินไม่เพียงพอต่อความต้องการ ปาล์มน้ำมันก็จะไม่ตอบสนองต่อไนโตรเจนเช่นเดียวกัน (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2544) สอดคล้องกับการศึกษาของสุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์และคณะ (2544ก) พบว่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นตามระดับปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ แต่ถ้าระดับธาตุไนโตรเจนที่ใส่แก่ปาล์มน้ำมันไม่เพียงพอ การเพิ่มระดับโพแทสเซียมจะมีแนวโน้มทำให้ฟอสฟอรัสในใบปาล์มน้ำมันลดลง อาจเป็นเพราะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบสำคัญในโปรตีนของพืช รวมทั้งเกี่ยวข้องกับการสร้างเซลล์และกระบวนการเมทาบอลิซึมต่าง ๆ ปฏิกิริยาระหว่างทั้งสองธาตุจึงมีลักษณะส่งเสริมกันทางสรีรวิทยา ส่วนธีระพงศ์ จันทรนิยม และคณะ (2538) รายงานว่าการใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันในแปลงที่ให้ปุ๋ย 0.8 กก. P_2O_5/ต้น/ปี จะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในใบปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแปลงที่ไม่คลุม (no-mulching) จึงเห็นแนวโน้มได้ว่าการเติมอินทรียวัตถุลงไปในดิน จะช่วยทำให้ระดับฟอสฟอรัสในใบปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาลักษณะการให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันในแต่ละปี ภิญโญ มีเดช และคณะ (2544) พบว่า ปาล์มน้ำมันจะยังไม่ตอบสนองต่อให้ผลผลิตทะลายสดเมื่อใส่ปุ๋ยฟอสเฟตในช่วง 2-3 ปีแรก เนื่องจากปาล์มน้ำมันยังได้รับอิทธิพลของปุ๋ยฟอสเฟตที่ได้ก่อนเริ่มทำการทดลอง และในดินร่วนปนทรายที่มีความเป็นกรด ฟอสฟอรัสจะถูกตรึงด้วยอนุภาค Fe และ Al ฟอสฟอรัสจะถูกปลดปล่อยนำไปใช้ประโยชน์อย่างช้า ๆ รวมทั้งปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้น มีช่อดอกตัวผู้และช่อดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน การพัฒนาช่อดอกตัวเมียแต่ละช่อตั้งแต่เริ่มเป็นตาดอก จนกระทั่งเป็นทะลาย

พร้อมเก็บเกี่ยวได้ต้องใช้ระยะเวลามากกว่า 44 เดือน (ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และคณะ, 2544ก) ทำให้ปาล์มน้ำมันในช่วงแรกที่เริ่มทดลอง มีการตอบสนองไม่เด่นชัด

4.4.1.3. โพแทสเซียม

จากการเก็บตัวอย่างทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมันระยะโตเต็มที่เพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารพบว่า ค่าความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันของทุกตำรับทดลองโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.76-0.91 ลดต่ำลงกว่าก่อนเติมสิ่งทดลอง (ร้อยละ 1.2) และอยู่ในระดับต่ำกว่าค่าวิกฤต (<1.2%) (Richardson, 1986) การเติมกากตะกอนน้ำเสีย ร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) (ร้อยละ 0.85) ทำให้ระดับโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมี (ร้อยละ 0.79) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (F-value= 9.10**) ส่วนการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) (ร้อยละ 0.84) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) (ร้อยละ 0.78) และการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) (ร้อยละ 0.76) ไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (อักษรในกลุ่ม b เดียวกัน, ตารางที่ 4.6)

ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรทั้งสี่ตำรับทดลองสามารถทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 0-0-60 อัตรา 2.5 กก./ต้นได้ จึงอาจกล่าวได้ว่ากากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมันตำรับทดลองต่าง ๆ มีธาตุโพแทสเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ไม่เพียงพอสำหรับความต้องการของต้นปาล์มน้ำมัน เนื่องจากปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินหลังเติมสิ่งทดลองจัดอยู่ในระดับต่ำสำหรับการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน (<80 mg/kg) (Rankine และ Fairhurst ,1998) และมีระดับโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันต่ำกว่าค่าวิกฤต (<1.2%) (Richardson, 1986) อย่างไรก็ตามสุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และคณะ (2544ก, 2544ข) รายงานว่าปุ๋ยฟอสเฟตชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมัน และการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียม มีแนวโน้มทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งการใส่ธาตุทั้งสองร่วมกันจะส่งผลให้โพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น

4.4.2. ปริมาณธาตุอาหารรอง

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุแมกนีเซียมในใบ พบว่าก่อนการเติมสิ่งทดลองมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.27 การเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) ให้ค่าเฉลี่ยแมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันสูงสุด (ร้อยละ 0.33) ไม่

แตกต่างจากการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) (ร้อยละ 0.33) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) (ร้อยละ 0.33) และการเติมปุ๋ยเคมี (F) (ร้อยละ 0.31) (F-value = 5.69**, ตารางที่ 4.6) ซึ่งค่าแมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันของทุกตำรับทดลองอยู่เหนือค่าวิกฤต (>0.26%) (Richardson, 1986) แสดงให้เห็นว่า การใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ เป็นแหล่งธาตุแมกนีเซียม สามารถรักษาระดับความเข้มข้นของธาตุแมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันให้อยู่เหนือค่าวิกฤตได้

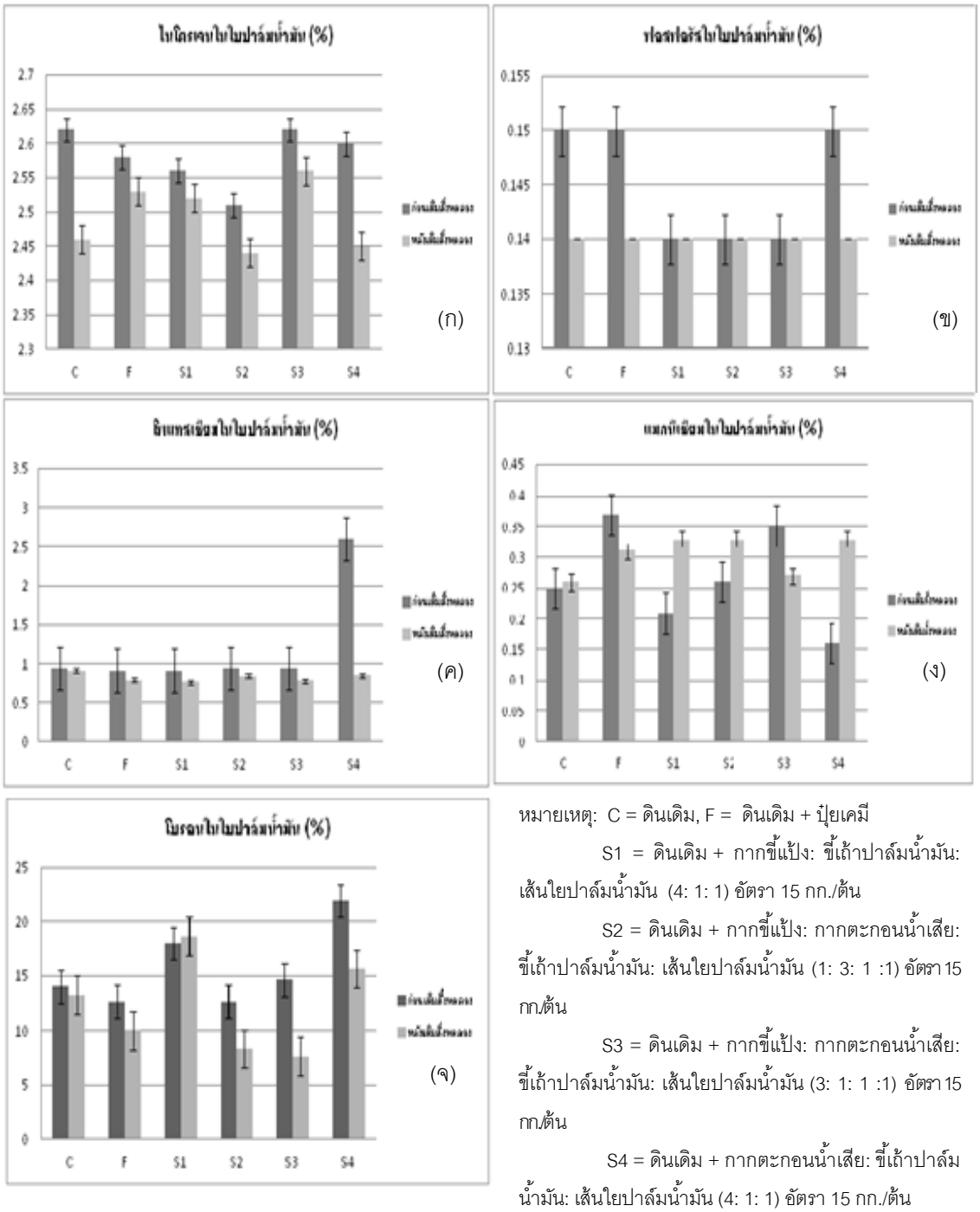
การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ธาตุอาหารจะค่อย ๆ ถูกปลดปล่อยออกมาสู่ดิน แมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันจึงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ระดับธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันของตำรับทดลอง S3 กลับลดลงหลังการเติมสิ่งทดลอง อาจเกิดจากปริมาณธาตุแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับเหมาะสมสำหรับปาล์มน้ำมันอยู่แล้ว รวมทั้งความไม่สมดุลระหว่างแมกนีเซียมและโพแทสเซียมในดิน รวมทั้งนำธาตุอาหารไปใช้ในการสร้างผลผลิตทะลาย อีกทั้งการใส่ธาตุอาหารลงในดินให้กับปาล์มน้ำมันโดยที่ยังไม่แก้ไขการขาดธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ให้ถูกต้องก่อน จะส่งผลให้ผลผลิตลดลง (ธีระพงศ์ จันทรนิยม และคณะ, 2544; ชัยรัตน์ นิลนนท์ และคณะ, 2544; Hartley, 2003)

4.4.3. ปริมาณธาตุอาหารเสริมหรือจุลธาตุ

โบรอนเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเติบโตและให้ผลผลิตของพืช โดยพืชต้องการในปริมาณน้อย โดยทั่วไประดับโบรอนในทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมันจะอยู่ระหว่าง 15-25 mg/kg นอกจากโบรอนจะช่วยให้การสร้างและพัฒนาเซลล์ใหม่ดำเนินไปอย่างเป็นปกติแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่ของเซลล์เมมเบรนบริเวณผิวราก ทำให้มีการดูดซึม (absorbs) ของไอออนธาตุต่าง ๆ เป็นไปอย่างปกติ (ชัยรัตน์ นิลนนท์ และคณะ, 2547)

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุโบรอนในใบ ปาล์มน้ำมัน พบว่าก่อนการเติมสิ่งทดลองมีค่าเฉลี่ย 15.68 mg/kg การเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) ให้ค่าเฉลี่ยโบรอนในใบปาล์มน้ำมันสูงสุด (18.65 mg/kg) ไม่แตกต่างจากการเติมกากตะกอนน้ำเสีย ร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) (15.65 mg/kg) (อยู่ในกลุ่มอักษร d เดียวกัน) (F-value = 11.08**, ตารางที่ 4.6) ซึ่งจัดว่าค่าโบรอนในใบปาล์มน้ำมันอยู่เหนือค่าวิกฤต (>14 mg/kg) (Richardson, 1986) แสดงให้เห็นว่าของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรทั้งสองตำรับ (S1 และ S4) มีธาตุอาหารโบรอน สามารถรักษาระดับธาตุอาหารใน

ใบปาล์มน้ำมันให้อยู่ในระดับเพียงพอต่อความต้องการ แต่ก็อาจไม่เพียงพอสำหรับฤดูกาลถัดไป เนื่องจากมีระดับธาตุโบรอนในดินต่ำ ดังนั้นจึงควรเติมธาตุอาหารในรูปปุ๋ยโบรอนเพิ่มเติมส่วนการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) และ (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) มีระดับโบรอนในใบปาล์มน้ำมันต่ำกว่าค่าวิกฤต คือ เฉลี่ย 8.35 และ 7.65 mg/kg ตามลำดับ (อยู่ในกลุ่มตัวอักษร a เดียวกัน) แม้ผลการวิเคราะห์ดินหลังการทดลองพบว่าแม้มีปริมาณโบรอนต่ำและอาจเกิดการชะล้าง แต่ก็ไม่พบลักษณะอาการการขาดโบรอน ทั้งนี้เนื่องจากต้นปาล์มน้ำมันอาจยังไม่แสดงอาการออกมา (hidden symptom)



หมายเหตุ: C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก/ต้น

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก/ต้น

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหาร (ก) ไนโตรเจน, (ข) ฟอสฟอรัส, (ค) โพแทสเซียม, (ง) แมกนีเซียม, (จ) โบรอน) ในใบปาล์มน้ำมัน ก่อนและหลังเติมสิ่งทดลอง

4.5 การดูดดึงธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน

การดูดดึงและเปลี่ยนธาตุอาหารพืชให้เป็นประโยชน์เป็นกระบวนการทางสรีรวิทยาที่สำคัญอย่างหนึ่ง ซึ่งธาตุอาหารพืชในดินจะถูกพืชดูดเข้ามาทางรากแล้วทำให้พืชเติบโตโดยมีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น ปริมาณธาตุอาหารที่พืชดึงดูดไปใช้ประโยชน์นั้นขึ้นอยู่กับความเป็นประโยชน์ของธาตุนั้นในดิน การเคลื่อนย้ายของไอออนมาสู่ผิวราก และอัตราการดูดไอออนนั้นของรากพืช (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ในที่นี้จะมุ่งเน้นเฉพาะปริมาณธาตุอาหารที่ต้นปาล์มน้ำมัน การดูดดึงจากดินของต้นปาล์มน้ำมันจะดูดดึงจากดิน และปริมาณธาตุอาหารที่ต้นปาล์มน้ำมันดูดดึงเข้าไปในเซลล์ใบ ผลการทดลองดังนี้

4.5.1 ธาตุอาหารที่พืชดูดดึงจากดิน

ธาตุอาหารพืชสามารถพิจารณาตามความเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ 2 ประเภทคือ สารที่มีองค์ประกอบซับซ้อนซึ่งอยู่อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ทันที (relatively unavailable form) และสารที่อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที (readily available form) ซึ่งเป็นสารที่อยู่ในรูปของสารละลายดินและไอออนที่ถูกดูดซับอยู่กับผิวของคอลลอยด์ดิน สามารถที่จะถูกไล่ที่หรือแลกเปลี่ยนได้ ธาตุอาหารในสารละลายดินจะถูกลำเลียงไปที่ผิวรากพืชโดยกลไก mass flow และการแพร่ (diffusion) ในปริมาณที่เพียงพอต่อการเติบโตของพืช ซึ่งธาตุอาหารที่ศึกษาเป็นธาตุอาหารที่ต้นปาล์มน้ำมันต้องการเพื่อใช้ในการเติบโตและให้ผลผลิต ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียมและจุลธาตุ (สังกะสี) ซึ่งต้นปาล์มน้ำมันต้องการในปริมาณน้อยแต่ก็มีความจำเป็น ส่วนโบรอนในดินทั้งที่อยู่ในรูปปริมาณทั้งหมดและรูปที่เป็นประโยชน์ มีค่าต่ำกว่า detection limit ของเครื่อง spectrophotometer ซึ่งวิเคราะห์โบรอนได้ 0.02 mg/kg ดังนั้นจึงไม่สามารถประเมินปริมาณโบรอนได้ในหัวข้อนี้

1) การเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในรูปทั้งหมด

- **ไนโตรเจนทั้งหมด**

ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน พบว่าสารประกอบบางส่วนอยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก ต้องสลายตัวหรือเปลี่ยนรูปจากอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนผ่านกระบวนการ mineralization พืชจึงจะสามารถนำไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์ได้ การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจากดินดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนเติมสิ่งทดลองมีปริมาณสูงกว่าไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังเติมสิ่งทดลอง ซึ่งน่าจะเกิดจากการแปรสภาพของไนโตรเจนในรูปที่ซับซ้อนให้เป็นรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยกระบวนการชีววิทยาของจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจากดินของทุกตำรับทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ (F-value = 4.08^{ns}, ตารางที่ 4.7) อีกทั้งเมื่อพิจารณาจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินหลังเติมสิ่งทดลอง พบว่า

ดินของทุกตำรับทดลองมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเทียบเท่ากันทางสถิติ (ตารางที่ 4.5, ภาพที่ 4.10) (อยู่ในกลุ่มอักษร a เดียวกัน) ดังนั้นของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ จึงน่าจะสามารถเป็นแหล่งไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในอนาคตได้ไม่แตกต่างจากปุ๋ยเคมี

- **ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด**

ฟอสฟอรัสในดินเกือบทั้งหมดอยู่ในรูปออร์โทฟอสเฟต แบ่งออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือ อินทรีย์ฟอสเฟตและอนินทรีย์ฟอสเฟต (ปัทมา วิตยากร, 2533) จากตารางที่ 4.7 พบว่าดินที่มีของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงกว่าดินที่มีการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่ดินที่เติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) กลับส่งผลให้มีฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินเปลี่ยนแปลงต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value = 375.95**, ภาพที่ 4.11)

การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุดและไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 4.5, F-value = 2.935**) อาจเป็นเพราะอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งมีผลทั้งการตรึงฟอสฟอรัสและช่วยให้ฟอสฟอรัสเป็นประโยชน์ต่อพืชได้พร้อม ๆ กัน เมื่อเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ลงดินส่งผลให้ดินเป็นกรด ฟอสฟอรัสส่วนใหญ่จะถูกตรึงกับพื้นผิวสารคอลลอยด์อื่น ๆ ซึ่งการเติมสิ่งทดลองตำรับต่าง ๆ ส่งผลให้ดินมีอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 4.4, ภาพที่ 4.2) ซึ่งอินทรียวัตถุมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยแอนไอออนจำนวนมาก จึงน่าจะส่งผลให้ฟอสฟอรัสถูกตรึงน้อยลงและปลดปล่อยสู่สารละลายดินมากขึ้น

กล่าวได้ว่า ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับ S1, S2, และ S3 น่าจะเป็นแหล่งธาตุอาหารที่สามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมี

ตารางที่ 4.7 ปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารจากดินแต่ละตำรับทดลอง

ตำรับทดลอง	ธาตุอาหารหลัก							ธาตุอาหารรอง	ธาตุอาหารเสริม
	ไนโตรเจน			ฟอสฟอรัส		โพแทสเซียม			
	Total Nitrogen (%)	NH_4^+ (mg/kg)	NO_3^- (mg/kg)	Total Phosphorus (%)	P_2O_5 (mg/kg)	Total Potassium (%)	K_2O (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Zn (mg/kg)
c	-0.04^{a}	-11.39^{c}	-6.38^{b}	0.00010^{b}	-2.46^{b}	-0.06^{a}	-23.19^{a}	-2.08^{b}	-0.70^{a}
F	-0.02^{a}	1.75^{f}	-9.86^{a}	0.00015^{c}	18.96^{c}	-0.04^{b}	69.13^{f}	-7.83^{a}	-0.57^{a}
S1	-0.13^{a}	-3.5^{d}	-1.06^{d}	0.00014^{d}	31.12^{d}	-0.02^{c}	-15.11^{b}	49.25^{e}	4.02^{e}
S2	0^{a}	-28.03^{a}	-6.82^{b}	0.00014^{d}	35.46^{e}	-0.03^{b}	1.47^{e}	24.92^{d}	0.96^{c}
S3	-0.19^{a}	-15.01^{b}	-1.57^{c}	0.00016^{f}	37.54^{f}	-0.04^{b}	-4.90^{c}	66.33^{f}	2.39^{d}
S4	-0.06^{a}	-4.38^{d}	-6.82^{b}	0.00009^{a}	-3.29^{a}	-0.03^{bc}	-3.03^{d}	4.42^{c}	-0.11^{b}
F-value	4.08^{ns}	1.38**	1.67**	375.95**	1.54**	16.68**	1.91**	1.27**	6.06**
%cv	2.57	15.22	3.65	1.12	23.67	5.90	36.94	30.11	12.87

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์หมายถึงความแตกต่างกันของตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

** หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01

หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

- **ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด**

โพแทสเซียมในดินแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทตามความเป็นประโยชน์ ได้แก่ ส่วนที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที ส่วนที่พืชใช้ประโยชน์ได้ช้า ๆ และส่วนที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันที โพแทสเซียมทั้งสามรูปนี้จะเปลี่ยนรูปกลับไปกลับมาเพื่อรักษาสมดุล ดังนั้นปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดที่ลดลงจึงน่าจะถูกเปลี่ยนเป็นรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ เมื่อพิจารณาโพแทสเซียมทั้งหมดหลังเติมสิ่งทดลอง พบว่า มีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับก่อนเติมสิ่งทดลอง ซึ่งการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรส่งผลให้ดินมีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดินเทียบเท่ากับการเติมปุ๋ยเคมี (ตารางที่ 4.5, F-value = 1.73*)

เมื่อพิจารณาปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดหลังเติมสิ่งทดลอง พบว่า การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ทำให้ดินมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดดีกว่าและเท่าเทียมกับการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 4.7, F-value = 16.68**) กากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงโพแทสเซียมทั้งหมดในดินสูงสุดเทียบเท่าการเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) (อยู่ในกลุ่มอักษร C เดียวกัน) (F-value = 16.68**) แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีและตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงของโพแทสเซียมทั้งหมดของต้นปาล์มน้ำมันในตำรับทดลอง S2, S3 และ S4 ไม่แตกต่างจากตำรับทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมี (F) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 4.7, อยู่ในกลุ่มอักษร b เดียวกัน)

กล่าวได้ว่าของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ สามารถเป็นแหล่งโพแทสเซียมได้ดีกว่าและเทียบเท่าปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

2) **การดูดดึงธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์**

- **แอมโมเนียมไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจน**

พืชดูดใช้แอมโมเนียมไนโตรเจน หรือไนเตรทไนโตรเจนไปใช้ประโยชน์อย่างรวดเร็วจากกระบวนการ immobilization โดยพืชหรือจุลินทรีย์ ซึ่งปริมาณไนโตรเจนในดินที่สูญหายไปเนื่องจากพืชดูดดึงไปใช้และเนื่องจากการกร่อน (erosion) ส่วนที่นำมาชดเชยคือธาตุอาหารจากปุ๋ยที่ถูกเติมลงดิน การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) ส่งผลให้มีปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมี การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและ

ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) และการเติมเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) (F-value = 2.58**, ตารางที่ 4.5, ภาพที่ 4.10)

เมื่อพิจารณาการดูดดึงแอมโมเนียมไนโตรเจนจากดิน พบว่าการเติมปุ๋ยเคมีมีการดูดดึงแอมโมเนียมไนโตรเจนสูงสุด (1.75 mg/kg) และแตกต่างจากตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value = 1.83**, ตารางที่ 4.7) ซึ่งการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) ส่งผลให้แอมโมเนียมไนโตรเจนถูกดูดดึงจากดินไปสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ปริมาณการดูดดึงแอมโมเนียมไนโตรเจนของแต่ละตำรับทดลอง เห็นได้ชัดจากภาพที่ 4.9 ค่าสัมพัทธ์ของปริมาณการดูดดึงแอมโมเนียมไนโตรเจนจากดิน เมื่อกำหนดให้แอมโมเนียมไนโตรเจนของดินก่อนทดลอง เท่ากับ 100 พบว่าการดูดดึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีกากขี้แป้งในตำรับทดลองเพิ่มขึ้น

การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ส่งผลให้ดินมีปริมาณไนเตรทไนโตรเจนไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 4.5, ภาพที่ 4.10) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการดูดดึงไนเตรทไนโตรเจนจากดิน การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรทุกตำรับทดลอง ส่งผลให้มีการดูดดึงไนเตรทไนโตรเจนจากดินแตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการเติมปุ๋ยเคมี (F) ส่งผลให้มีการดูดดึงไนเตรทไนโตรเจนจากดินได้สูงสุดและแตกต่างจากตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value = 1.67**, ตารางที่ 4.7) ในขณะที่การดูดดึงไนเตรทไนโตรเจนของดินที่เติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) เทียบเท่าดินที่เติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) และตำรับควบคุม (อยู่ในกลุ่มอักษร b เดียวกัน)

กล่าวได้ว่าการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) ส่งผลให้มีการดูดดึงแอมโมเนียมไนโตรเจนจากดินสูงสุดและแตกต่างจากการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีส่งผลให้การดูดดึงไนเตรทไนโตรเจนแตกต่างจากการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการดูดดึงไนโตรเจนจากดินเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากขี้แป้งที่เพิ่มขึ้นในตำรับทดลอง

- **ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์**

ปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัสทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากดินในแต่ละตำรับทดลอง มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน พบว่าดินที่มีการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ มีการสะสมฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าดินที่มีการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (F-value= 1.54**, ตารางที่ 4.7) โดยการเติม กากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) มีการดูดดึงสูงสุดและแตกต่างจากตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การดูดดึงฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นเห็นได้ชัดจากภาพที่ 4.9 ค่าสัมพัทธ์ของการดูดดึงฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากดิน เมื่อกำหนดให้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ของดินก่อนทดลอง เท่ากับ 100 ในขณะที่ดินที่เติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) กลับส่งผลให้มีการดึงดูดฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากดินได้ต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าแม้จะเติมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น กลับส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันนำฟอสฟอรัสไปใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่าตำรับควบคุม

- **ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้**

เมื่อพิจารณาการดูดดึงโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์จากดิน พบว่าการเติมปุ๋ยเคมี (F) ส่งผลให้มีการดูดดึงโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จากดินของต้นปาล์มน้ำมันจากดินสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (F-value = 1.91**, ตารางที่ 4.7) ในขณะที่การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ จะมีการดูดดึงโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นตามปริมาณกากตะกอนน้ำเสีย โดยการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) มีการดูดดึงโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้แตกต่างจากการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) กลับมีการดูดดึงโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำลง (ตารางที่ 4.7)

- **ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์**

จากตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.9 พบว่า ดินที่เติมตำรับทดลองต่าง ๆ มีการดูดดึงแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์แตกต่างกันทางสถิติ โดยดินที่เติมดินที่เติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) มีการดูดดึงแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (F-value = 1.27**) อีกทั้งการเติมสิ่งทดลอง S3 ส่งผลให้ดินมีแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งเมื่อเทียบกับตำรับควบคุม (ตารางที่ 4.5, ภาพที่ 4.13, F-value = 15.68**) การดูดดึงแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์จากดินกลับลดลงเมื่อเติม

กากขี้แป้งเพิ่มมากขึ้น หรือเติมกากตะกอนน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น เห็นได้ชัดจากภาพที่ 4.9 ค่าสัมพัทธ์การดูดดึงแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์จากดิน เมื่อกำหนดให้แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 100 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแม้เติมกากขี้แป้งหรือกากตะกอนน้ำเสียปริมาณสูง แต่จะส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันดูดดึงแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ได้ต่ำลง

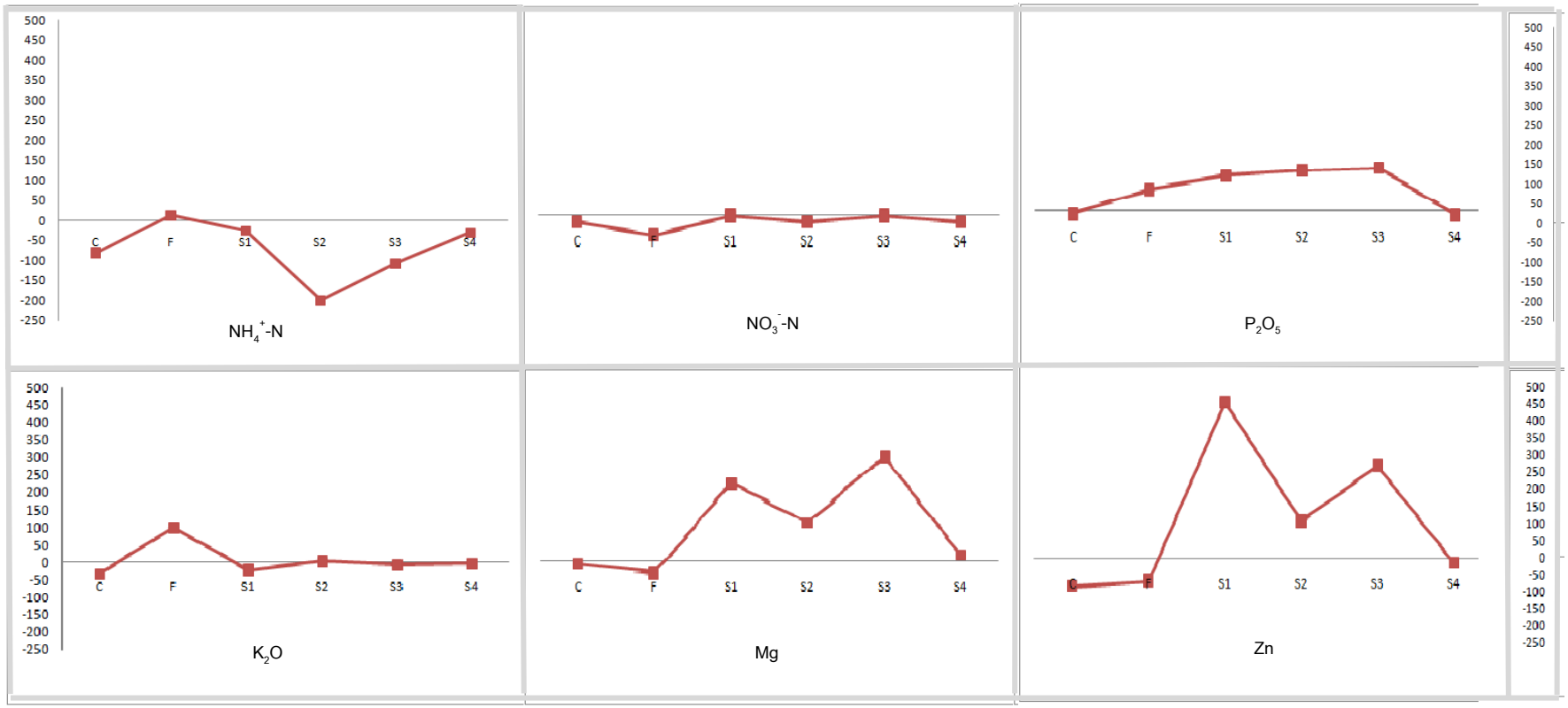
- **ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์**

ปริมาณการดูดดึงสังกะสีที่เป็นประโยชน์จากดิน พบว่าดินที่เติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) มีการ ดูดดึงไปใช้ประโยชน์สูงสุด แตกต่างจากตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (F-value = 6.06**) โดยการดูดดึงสังกะสีที่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากขี้แป้ง (ตารางที่ 4.7) เห็นได้จากภาพที่ 4.9 ค่าสัมพัทธ์การดึงดูดสังกะสีที่เป็นประโยชน์จากดิน เมื่อกำหนดให้ดินก่อนทดลองเท่ากับ 100

การดูดดึงธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม) ของต้นปาล์มน้ำมัน เห็นได้ว่าต้นปาล์มน้ำมันดูดดึงธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเติบโต เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารในดินหลังเติมสิ่งทดลองของแต่ละตำรับทดลองลดต่ำลงกว่าปริมาณธาตุอาหารในดินก่อนเติมสิ่งทดลอง ซึ่งเมื่อปาล์มน้ำมันดึงดูดธาตุอาหารจำพวกไอออนต่าง ๆ จากดินไปแล้ว สารละลายดินก็จะได้รับไอออนชดเชยจากแร่ดินเหนียวและฮิวมัส และจากการสลายตัวอย่างช้า ๆ ของแร่ธาตุต่าง ๆ รวมทั้งอินทรียวัตถุ ทว่าอัตราการชดเชยแร่ธาตุมักไม่เร็วพอกับความต้องการของพืช ซึ่งอาจเกินความสามารถของดินที่จะสนองให้ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพิ่มเติม ปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมันมีแนวโน้มสัมพันธ์กับสมบัติทางเคมีของของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร โดยกากขี้แป้งมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด แอมโมเนียมไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน ฟอสฟอรัสทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์และสังกะสีที่เป็นประโยชน์สูงสุดเมื่อเทียบกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้ตำรับทดลองที่มีการเติมกากขี้แป้งในตำรับทดลองมีการดูดดึงมากกว่าตำรับทดลองที่มีการเติมปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ตามการดูดดึงฟอสฟอรัสทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์กลับลดลงเมื่อปริมาณกากขี้แป้งเพิ่มขึ้น อาจเกิดมาจากภาวะความเป็นกรดจะส่งเสริมให้สังกะสีในดินอยู่ในสภาพละลายน้ำได้ง่ายขึ้นซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชมากขึ้น แต่ฟอสฟอรัสในดินอาจรวมตัวกับสังกะสีกลายเป็นสังกะสีฟอตเฟต ($Zn_3(PO_4)_2$) ทำให้ฟอสฟอรัสเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ได้ยากขึ้น การดูดดึง

ธาตุฟอสฟอรัสจึงลดต่ำลง อีกทั้งการที่ธาตุฟอสฟอรัสส่งเสริมให้พืชดูดธาตุโพแทสเซียมมากขึ้น ทำให้เกิดภาวะปฏิปักษ์ระหว่างโพแทสเซียมกับแมกนีเซียม

กล่าวได้ว่าการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น ส่งผลให้มีการดึงดูดไนเตรทไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แมกนีเซียมและสังกะสีที่เป็นประโยชน์ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับดินที่เติมปุ๋ยเคมี และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โพแทสเซียมทั้งหมดเทียบเท่ากับดินที่เติมปุ๋ยเคมี ดังนั้นกล่าวได้ว่าการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันที่เติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น น่าจะใกล้เคียงหรือเทียบเท่าการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันที่เติมปุ๋ยเคมีเป็นแหล่งธาตุอาหาร



หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

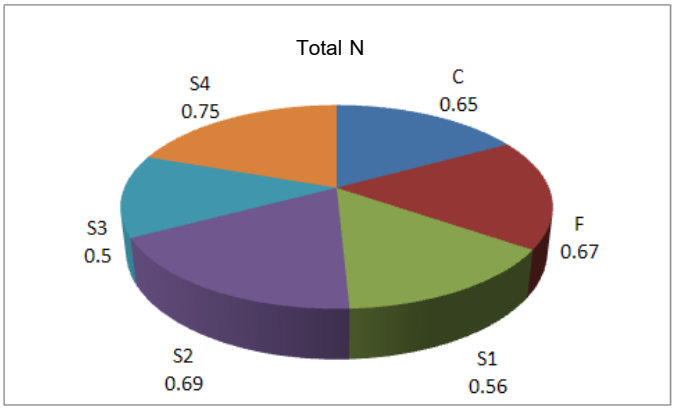
S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

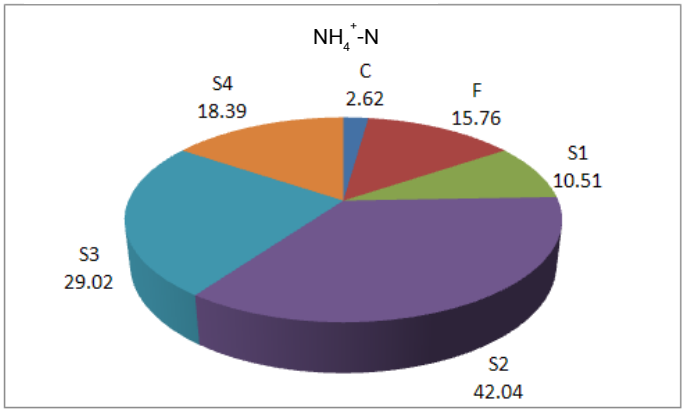
S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

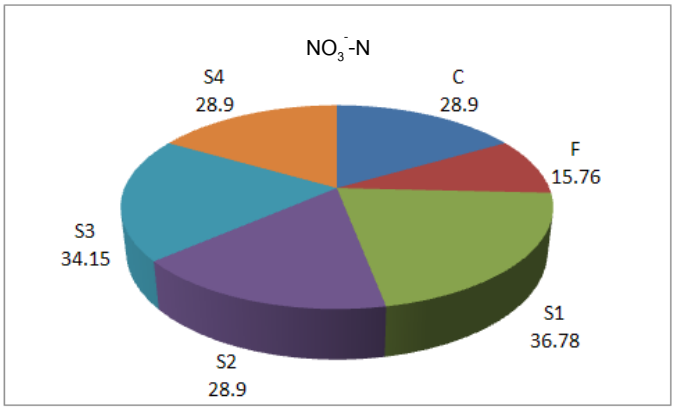
ภาพที่ 4.9 ปริมาณสัมพัทธ์ของการดูดดึงธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์จากดิน เมื่อกำหนดให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ของดินก่อนเติมสิ่งทดลอง เท่ากับ 100



(ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)



(ข) แอมโมเนียมไนโตรเจน (mg/kg)



(ค) ไนเตรทไนโตรเจน (mg/kg)

หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

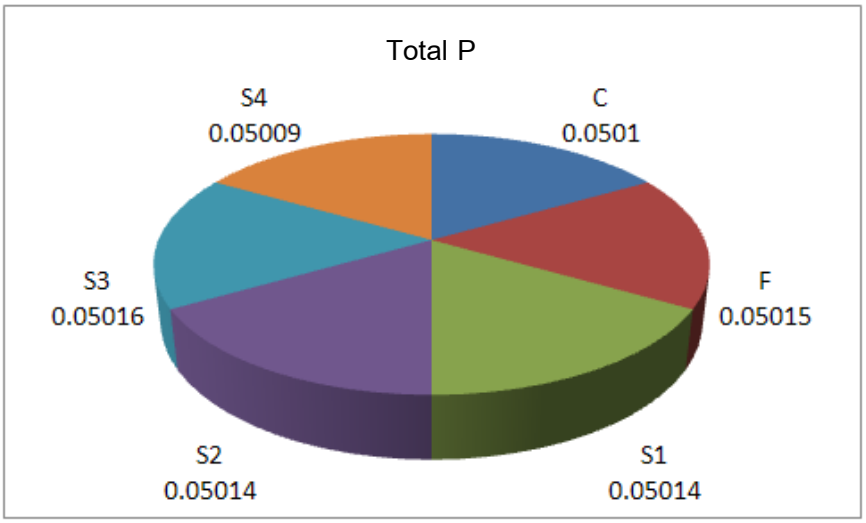
S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

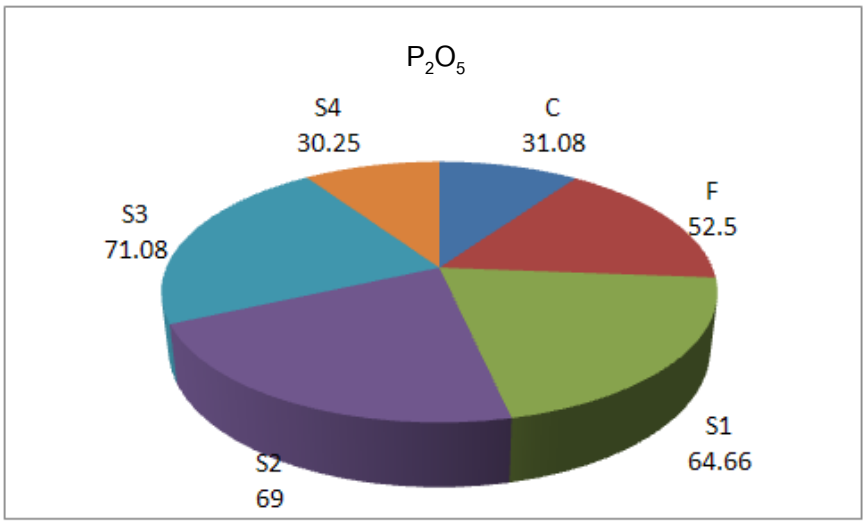
S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

ภาพที่ 4.10 ปริมาณไนโตรเจนในดิน หลังเติมสิ่งทดลอง



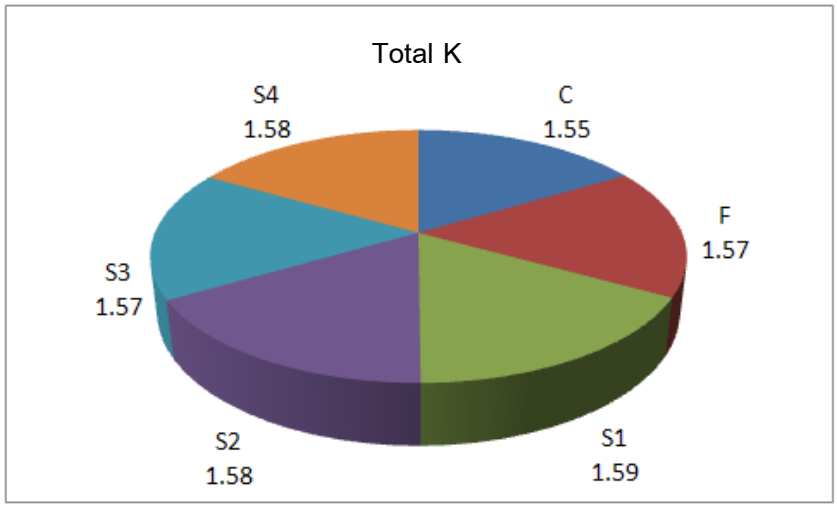
(ก) ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)



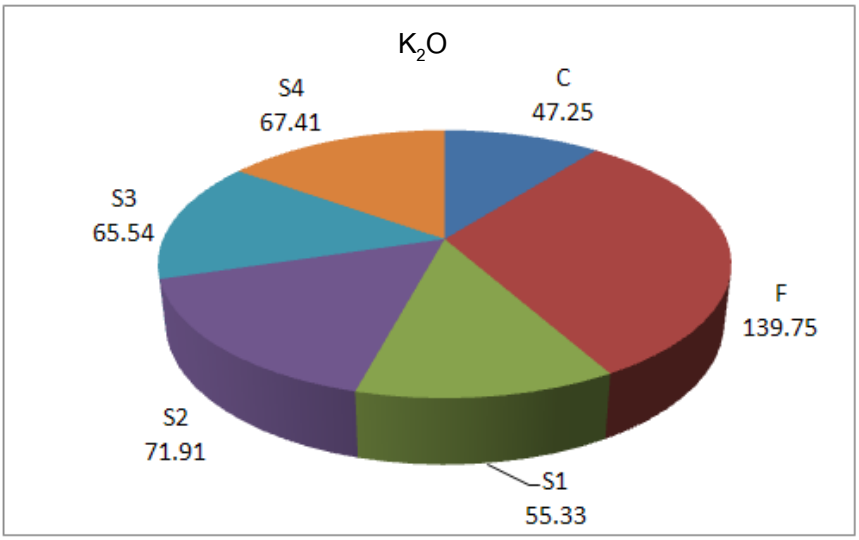
(ข) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)

หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,
S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,
S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,
S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,
S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

ภาพที่ 4.11 ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน หลังเติมสิ่งทดลอง



(ก) ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด (%)



(ข) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)

หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

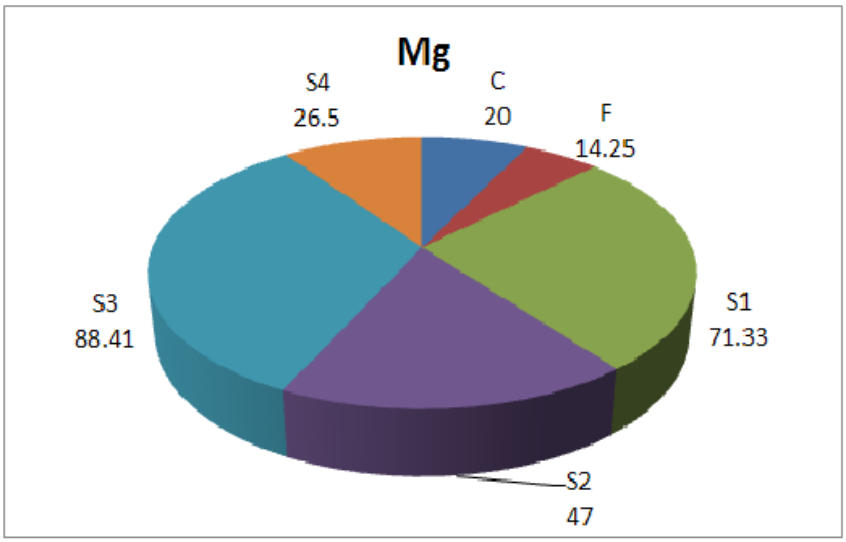
S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

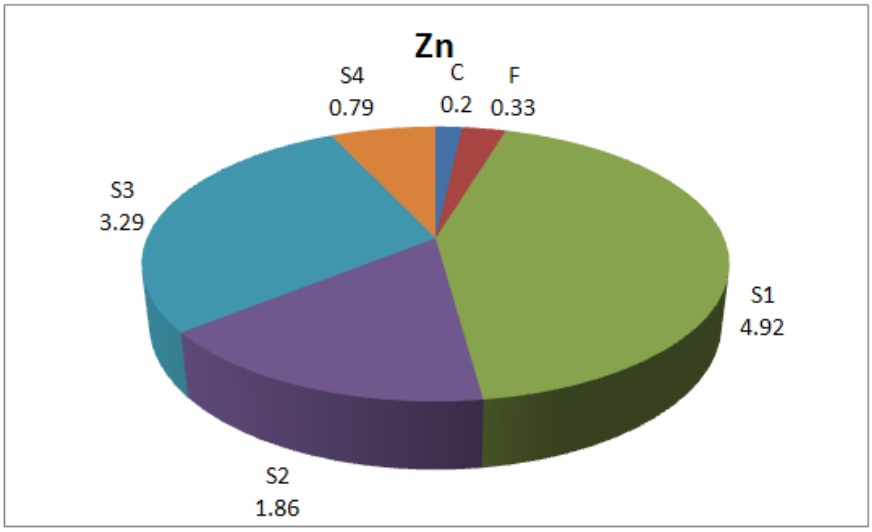
S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

ภาพที่ 4.12 ปริมาณโพแทสเซียมในดิน หลังเติมสิ่งทดลอง



ภาพที่ 4.13 ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ หลังเติมสิ่งทดลอง



ภาพที่ 4.14 ปริมาณสังกะสีที่เป็นประโยชน์ หลังเติมสิ่งทดลอง

หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 1 กก./ต้น,

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 1 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

4.5.2 การดูดดึงธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันที่ 17 สามารถประเมินความพอเพียงของธาตุอาหารนั้น ๆ ต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน อีกทั้งปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันมีความสัมพันธ์กับผลผลิต และปริมาณปุ๋ยที่ใช้ (ธีระพงศ์ จันทรนิยม และคณะ, 2538; Chapman และ Gray, 1949) ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืชจึงสามารถบอกถึงปริมาณธาตุอาหารที่ถูกพืชดูดใช้ รวมทั้งเป็นวิธีหนึ่งในการประเมินประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ย (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551) ผลการศึกษามีดังนี้

4.5.2.1 ไนโตรเจน

จากตารางที่ 4.6 พบว่าการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) และ การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันเทียบเท่าการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (F-value = 4.318**) เมื่อพิจารณาการดูดดึงไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน พบว่าการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) ส่งผลให้มีการดูดดึงไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันสูงสุดและเทียบเท่าการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (F-value = 163.38**, ตารางที่ 4.8) เห็นได้ชัดจากภาพที่ 4.15 ค่าสัมพัทธ์ของการดูดดึงไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน เมื่อกำหนดให้ไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันก่อนทดลองเท่ากับ 100

4.5.2.2 ฟอสฟอรัส

หลังการเติมสิ่งทดลองครบ 90 วัน ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในใบปาล์มน้ำมันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (F-value = 1.16^{ns}, ตารางที่ 4.6) ในขณะที่การดูดดึงฟอสฟอรัสในใบปาล์มน้ำมัน พบว่า การเติมกากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมันตำรับทดลองต่าง ๆ ส่งผลให้มีการดูดดึงฟอสฟอรัสในใบปาล์มน้ำมันได้ดีกว่าและเทียบเท่าการเติมปุ๋ยเคมีและตำรับควบคุม (F-value = 10.51**, ตารางที่ 4.8) อีกทั้งการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) และการเติมกากขี้แป้งร่วมกับ กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15

กก./ต้น (S3) ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินเพิ่มขึ้นและแตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.5, ภาพที่ 4.11)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณการดูดดึงธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมันแต่ละตำรับทดลอง

ตำรับทดลอง	ธาตุอาหารหลัก (%)			ธาตุอาหารรอง แมกนีเซียม (%)	ธาตุอาหารเสริม โบรอน (mg/kg)
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม		
c	-0.15^{a}	-0.01^{a}	-0.03^{b}	0.04^{bc}	-0.7^{a}
F	-0.05^{de}	-0.01^{a}	-0.12^{b}	-0.06^{a}	-2^{c}
S1	-0.04^{e}	0^{b}	-0.15^{b}	0.12^{cd}	0.65^{e}
S2	-0.07^{c}	0^{b}	-0.10^{b}	0.07^{b}	-4.35^{b}
S3	-0.06^{cd}	0^{b}	-0.16^{b}	-0.08^{f}	-7.05^{a}
S4	-0.15^{b}	-0.01^{a}	-1.75^{a}	0.17^{d}	-6.35^{a}
F-value	163.38**	10.51**	34.65**	17.89**	61.14**
%cv	2.24	0.33	0.11	0.23	0.04

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์หมายถึงความแตกต่างกันของตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

** หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01

หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

4.5.2.3 โพแทสเซียม

การเติมปุ๋ยเคมีส่งผลให้มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 4.5, F-value = 93.41**) อีกทั้งส่งผลให้มีการดูดดึงโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้จากดินแตกต่างจากตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 4.7, F-value = 1.91**) แต่ปริมาณโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันและการดูดดึงโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันนั้นไม่แตกต่างจากการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) และตำรับควบคุม (ตารางที่ 4.8, อยู่ในกลุ่มอักษร b เดียวกัน)

4.5.2.4 แมกนีเซียม

เมื่อพิจารณาการดูดดึงแมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมัน พบว่า การเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) ส่งผลให้มีการดูดดึงแมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 4.8, F-value = 17.89**) ไม่แตกต่างจากการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) ซึ่งเห็นได้จากค่าสัมพัทธ์ของการดูดดึงแมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมัน เมื่อกำหนดให้แมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันก่อนทดลองเท่ากับ 100 (ภาพที่ 4.15) อีกทั้งการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรส่งผลให้ระดับแมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันอยู่เหนือค่าวิกฤต

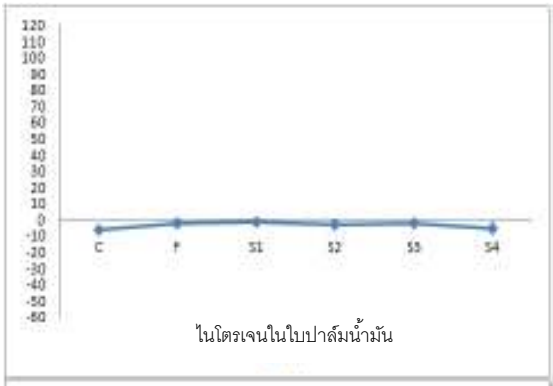
4.5.2.5 โบรอน

ปริมาณโบรอนที่ละลายน้ำได้ในดินหลังเติมสิ่งทดลองครบ 90 วัน ของทุกตำรับทดลองจัดอยู่ในระดับต่ำมากและไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ซึ่งการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) และการเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) สามารถรักษาระดับโบรอนในใบปาล์มน้ำมันให้อยู่เหนือค่าวิกฤต เมื่อพิจารณาการดูดดึงโบรอนในใบปาล์มน้ำมัน การเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S1) ส่งผลให้มีการดูดดึงสูงสุดและแตกต่างจากตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางที่ 4.8, F-value = 61.14**) การดูดดึงที่เพิ่มขึ้นเห็นได้ชัดจากค่าสัมพัทธ์ของการดูดดึงโบรอนในใบปาล์มน้ำมัน เมื่อกำหนดให้โบรอนในใบปาล์มน้ำมันเท่ากับ 100 (ภาพที่ 4.14)

อีกทั้งเมื่อพิจารณาค่าโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ของดินหลังเติมสิ่งทดลองครบ 90 วัน (ตารางที่ 4.5) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน ดังนั้นแม้ว่าการเติมของทิ้ง

อุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ จะส่งผลให้ดินมีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้น แต่พืชก็จะสามารถดูดดึงนำไปใช้ได้น้อย เนื่องจากปริมาณธาตุไนโตรเจนกับโพแทสเซียมไม่เหมาะสม ทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหาร จึงอาจส่งผลให้ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชลดต่ำลงและไม่ตอบสนองต่อธาตุอาหารที่ได้รับเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณการดูดดึงฟอสฟอรัสมาใช้ประโยชน์ของต้นปาล์มน้ำมันจะน้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับโพแทสเซียม โดยฟอสฟอรัสจะสะสมในต้นปาล์มน้ำมันด้วยอัตราคงที่ และเคลื่อนย้ายไปสะสมในทะลายปาล์มน้ำมัน ดังนั้นจึงทำให้ปาล์มน้ำมันเกิดความต้องการธาตุฟอสฟอรัสสูง ในขณะที่การดูดดึงไนโตรเจนเพื่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันจะมีลักษณะเดียวกับฟอสฟอรัส แต่มีสัดส่วนเคลื่อนย้ายไปอยู่ที่ทะลายปาล์มน้ำมันน้อยมาก ส่วนโพแทสเซียมจะถูกสะสมไว้ในต้นปาล์มน้ำมันและนำไปใช้สร้างทะลายปาล์มน้ำมัน ดังนั้นการลดน้อยลงของโพแทสเซียมในดินบางส่วนนอกจากจะเป็นผลมาจากพฤติกรรมขัดแย้งระหว่างธาตุอาหารพืชแล้วอาจเกิดจากการเคลื่อนย้ายโพแทสเซียมไปยังทะลาย ปาล์มน้ำมัน ส่วนแมกนีเซียมจะถูกสะสมในต้นปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นตามอายุแต่เคลื่อนย้ายไปอยู่ที่ทะลายปาล์มน้ำมันน้อยมาก (สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์และคณะ, 2544ก; Hartley, 1984)

กล่าวได้ว่าการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ส่งผลให้มีการดูดดึงไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม และโบรอนในใบปาล์มน้ำมันได้ดีกว่าหรือเทียบเท่าการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง อย่างไรก็ตามธาตุอาหารหลักในใบปาล์มน้ำมันหลังเติมสิ่งทดลองครบ 90 วัน มีปริมาณลดลงและอยู่ในระดับต่ำกว่าค่าวิกฤตตามเกณฑ์ของ Richardson (1986) แสดงให้เห็นว่าธาตุอาหารเพียงธาตุเดียวไม่มีผลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาในพืช ธาตุอาหารต้องอยู่ในภาวะสมดุลจึงจะสามารถทำให้พืชใช้ธาตุอาหารแต่ละชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ชัยรัตน์ นิลนนท์และจำเป็น อ่อนทอง, 2538)



ไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมัน

ฟอสฟอรัสในใบปาล์มน้ำมัน

โพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมัน

แมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมัน

โบรอนในใบปาล์มน้ำมัน

หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

ภาพที่ 4.15 ปริมาณสัมพัทธ์ของการดูดดึงธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน เมื่อกำหนดให้ธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันก่อนเติมสิ่งทดลอง เท่ากับ 100

4.5.3 ประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหาร

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืชนอกจากสามารถบอกถึงปริมาณธาตุอาหารที่ถูกพืชดูดใช้และถูกนำออกไปจากดินแล้ว ยังเป็นวิธีหนึ่งในการประเมินประสิทธิภาพของการใช้ปุ๋ย (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2551) ประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมันจึงสามารถวัดได้อีกแนวทางหนึ่งคือปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน โดยประสิทธิภาพการดูดธาตุอาหาร คืออัตราส่วนของปริมาณธาตุอาหารที่พืชดูดดึงมาได้กับปริมาณธาตุอาหารที่ใส่ลงดิน คำนวณเป็นร้อยละ ผลการศึกษามีดังนี้

จากภาพที่ 4.16 ประสิทธิภาพดูดดึงไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของต้นปาล์มน้ำมันที่เติมปุ๋ยเคมีสูงกว่าการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ (ตารางที่ 4.9) โดยการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการดูดดึงฟอสฟอรัส (ร้อยละ 0.049) และโพแทสเซียม (ร้อยละ 0.238) สูงกว่าของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันมีประสิทธิภาพการดูดดึงโพแทสเซียมสูงสุดและแตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (F-value = 17.32**, ภาพที่ 4.16) อย่างไรก็ตามการเติมปุ๋ยเคมีกลับส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดดึงโพแทสเซียมต่ำ ทั้งที่การเติมปุ๋ยเคมีส่งผลให้ดินมีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงกว่าตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองต่าง ๆ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดดึงแมกนีเซียมของต้นปาล์มมันมีค่าเป็นบวก โดยเฉพาะการเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) (ร้อยละ 2.43) (ตารางที่ 4.9, F-value = 6.39**) ยกเว้นการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) ที่มีประสิทธิภาพการดูดดึงแมกนีเซียมต่ำกว่าตำรับทดลองอื่น ทั้งที่การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S3) ส่งผลให้ดินมีปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์สูงสุดและแตกต่างจากตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง อีกทั้งยังคงรักษาระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันให้อยู่เหนือค่าวิกฤตได้เช่นเดียวกับตำรับทดลองอื่น กลับส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันมีประสิทธิภาพการดูดดึงต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับอื่น ๆ อาจเป็นเพราะต้นปาล์มน้ำมันมีการบริโภคแมกนีเซียมระดับฟุ่มเฟือย (luxury consumption) ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุให้ดินมีความเป็นประโยชน์ของโพแทสเซียมลดลงเนื่องจากภาวะปฏิปักษ์อีกด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพี, 2548)

อินทรียสารในของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต้องใช้เวลาในการเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ ดังนั้นปริมาณธาตุอาหารที่ถูกดูดดึงได้จึงต่ำกว่าเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมีซึ่งพืชสามารถดูดดึงไปใช้ประโยชน์ได้ทันที รวมทั้งในสภาพดินกรดจัดของพื้นที่ทดลอง อาจส่งผลให้โพแทสเซียม แมกนีเซียม ถูกชะละลายออกมาให้ต้นปาล์มน้ำมันใช้ประโยชน์ได้ง่าย อีกทั้งความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินจัดอยู่ระดับต่ำ แสดงถึงความสามารถในการดูดยึดอาหารได้ต่ำ ดังนั้นหากต้นปาล์มน้ำมันดูดดึงธาตุอาหารในดินซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกแคตไอออนไปใช้ไม่หมด ก็อาจมีโอกาสถูกชะล้างให้สูญหายไปจากดินได้ง่าย ในขณะเดียวกัน ระดับ pH ของดินต่ำมาก ๆ จะเพิ่มการตรึงฟอสเฟตให้อยู่ในรูปของเหล็กและอะลูมินั่มฟอสเฟตซึ่งยากต่อการนำไปใช้ประโยชน์ของพืชอีกด้วย

การขาดธาตุอาหารหลายชนิดหรืออาจพบว่าปาล์มน้ำมันได้รับธาตุอาหารบางชนิดมากเกินพอ อาจส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารในใบและไม่ตอบสนองต่อการเกิดกระบวนการสรีรวิทยาในต้นปาล์มน้ำมัน ธาตุอาหารต่าง ๆ ต้องอยู่ในภาวะสมดุลและมีปฏิกิริยาสัมพันธ์ต่อกัน ปาล์มน้ำมันจึงจะสามารถดูดดึงธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กล่าวได้ว่า การเติมปุ๋ยเคมีส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) สูงกว่าการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร อย่างไรก็ตามการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S2) ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) สูงกว่าการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับทดลองอื่น ๆ อีกทั้งมีประสิทธิภาพการดูดดึงโพแทสเซียมสูงกว่าทุกตำรับทดลอง ส่วนการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น ส่งให้มีประสิทธิภาพการดูดดึงไนโตรเจนแตกต่างจากของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (S3) และการเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น (S4) ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการดูดดึงแมกนีเซียมสูงที่สุด

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหารของแต่ละตำรับทดลอง (ร้อยละ)

ตำรับทดลอง	ธาตุอาหารหลัก			ธาตุอาหารรอง
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	แมกนีเซียม
F	40.73^{e}	0.83^{d}	-6.15^{b}	-
S1	3.40^{b}	0.0139^{a}	-0.33^{d}	0.526^{b}
S2	5.54^{c}	0.049^{c}	0.238^{e}	0.638^{b}
S3	5.96^{d}	0.022^{b}	-0.035^{c}	-0.094^{a}
S4	2.90^{a}	0.021^{b}	-10.36^{a}	2.43^{d}
F-value	7.88**	6.67**	17.32**	6.39**
%CV	1.28	0.36	1.31	0.90

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละสดมภ์หมายถึงความแตกต่างกันของตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีการ DMRT

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

* หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

** หมายถึง มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01

\- หมายถึง ไม่นำตัวเลขมาคำนวณเนื่องจากไม่มีการเติมคีเซอไรต์

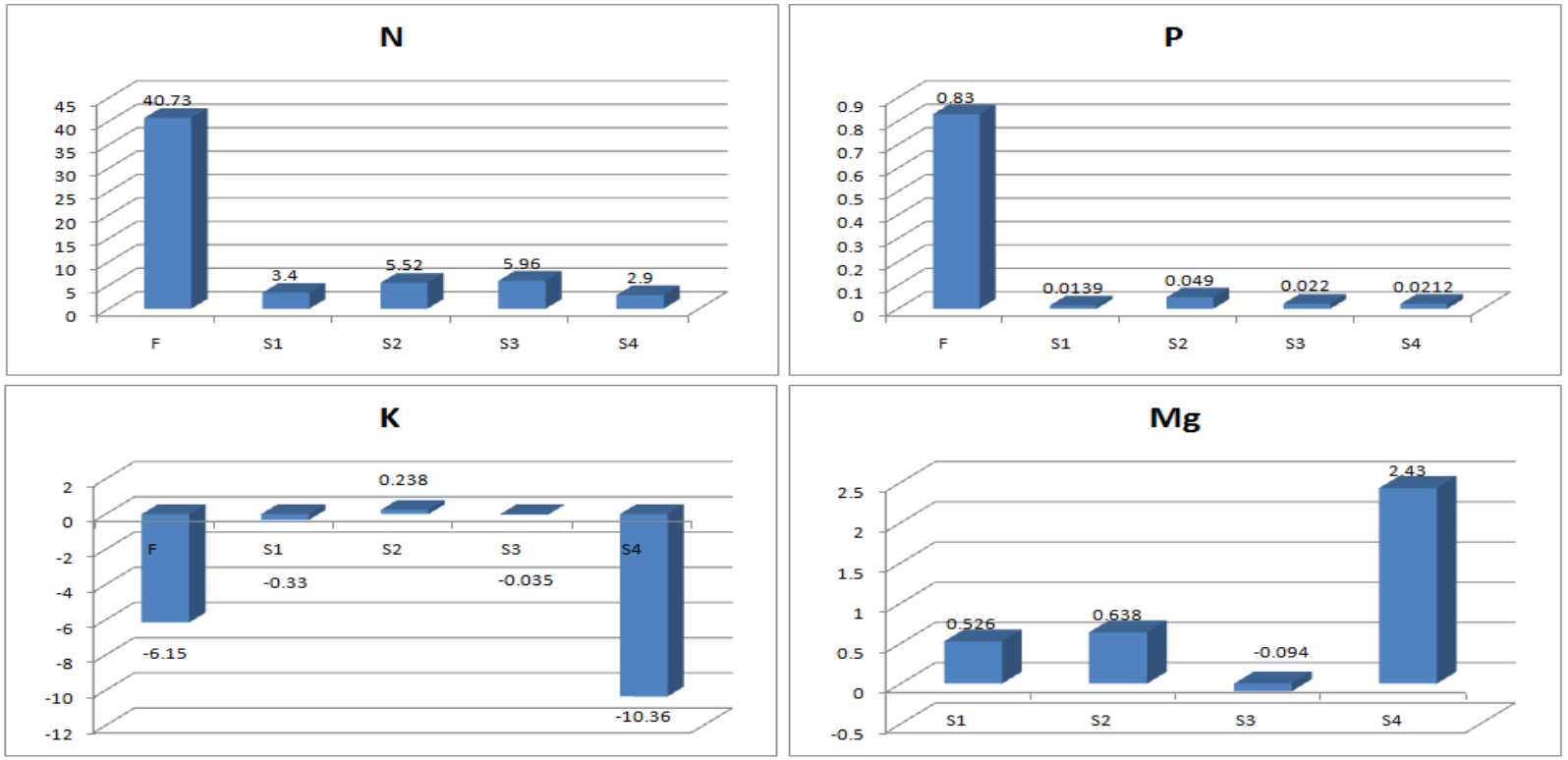
หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น



หมายเหตุ C = ดินเดิม, F = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี,

S1 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S2 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (1: 3: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (3: 1: 1 :1) อัตรา 15 กก./ต้น,

S4 = ดินเดิม + กากตะกอนน้ำเสีย: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์มน้ำมัน (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น

ภาพที่ 4.16 ประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหาร (ร้อยละ)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน ที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ทำ 4 ซ้ำ 6 ตำรับทดลอง หนึ่งหน่วยการทดลองคือต้นปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอรา อายุ 5 ปี จำนวน 9 ต้น โดยของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรที่ศึกษาวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วย กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน

5.1.1. ปริมาณธาตุอาหารที่มีอยู่ในของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

กากขี้แป้งมีไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 1.47 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 24.94 โพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 0.57 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 1,223.5 mg/kg แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ร้อยละ 6.98 โบรอนทั้งหมดและโบรอนที่ละลายน้ำได้น้อยกว่า 0.02 mg/kg และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ 83.56 mg/kg

กากตะกอนน้ำเสียมีไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.34 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 0.88 โพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 0.84 แมกนีเซียมที่ประโยชน์ร้อยละ 3.12 โบรอนทั้งหมด 4.0 mg/kg โบรอนที่ละลายน้ำได้น้อยกว่า 0.02 mg/kg และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ 30.31 mg/kg

เส้นใยปาล์มน้ำมันมีไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 1.19 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 0.58 โพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 1.13 แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ร้อยละ 0.19 โบรอนทั้งหมด 8.7 mg/kg โบรอนที่ละลายน้ำได้น้อยกว่า 0.02 mg/kg และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ 23.53 mg/kg

ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.19 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 5.51 โพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 6.16 แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ร้อยละ 2.89 โบรอนทั้งหมด 1.8 mg/kg โบรอนที่ละลายน้ำได้น้อยกว่า 0.02 mg/kg และสังกะสีที่เป็นประโยชน์ 0.38 mg/kg

5.1.2. ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต่อการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน

ต้นปาล์มน้ำมันระยะเติบโตเต็มที่ที่มีการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งธาตุอาหารมีการเติบโต (พื้นที่ทางใบ ความยาวทางใบ พื้นที่หน้าตัดแกนทางใบ และจำนวนทางใบเพิ่ม) ได้

เท่าเทียมและดีกว่าการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (1:3:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น และการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น ส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันมีการเติบโตเท่าเทียมกันทางสถิติและดีกว่าการเติมปุ๋ยเคมี โดยไม่ส่งผลให้ต้นปาล์มน้ำมันชะงักการเติบโต

5.1.3. ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต่อปริมาณธาตุอาหารในดิน

5.1.3.1. สมบัติทางเคมีของดินก่อนเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

สมบัติทางเคมีของดินเดิมก่อนเติมสิ่งทดลอง พบว่าดินเดิมมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เท่ากับ 4.69 มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เท่ากับ 2.70 cmol/kg ปริมาณอินทรียวัตถุร้อยละ 1.14 ปริมาณธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 0.69 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 0.05 โพแทสเซียมทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 1.61 แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 22.08 mg/kg โบรอนทั้งหมดน้อยกว่า 0.02 mg/kg โบรอนที่ละลายน้ำได้ 0.50 mg/kg สังกะสีที่เป็นประโยชน์ 0.90 mg/kg อยู่ในเกณฑ์โลหะหนักในดินและเป็นประโยชน์ต่อต้นปาล์มน้ำมัน

5.1.3.2. ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต่อสมบัติทางเคมีของดิน

การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับต่าง ๆ ส่งผลให้ดินมีความเป็นกรดเป็นด่าง (4.22-4.63) ปริมาณอินทรียวัตถุ (ร้อยละ 1.29-1.83)เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้นทำให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินและปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นสูงสุด แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตของปาล์มน้ำมันอย่างไรก็ตามการของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรทุกตำรับทดลองส่งผลให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดินไม่แตกต่างจากการจากเติมปุ๋ยเคมีและดินเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในเรื่องปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน และไนเตรทไนโตรเจน การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรทุกตำรับทดลองส่งผลให้แอมโมเนียมไนโตรเจนในดินไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมี ดินเติมกากขี้แป้งในตำรับทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และสังกะสีที่เป็นประโยชน์แตกต่างจากตำรับทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./

ต้น ส่งผลให้ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสและแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์สูงสุด แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ส่วนการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับต่าง ๆ ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในดินไม่แตกต่างกัน และเทียบเท่าการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเติมปุ๋ยเคมีทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน มีค่าสูงกว่าการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับต่าง ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง อีกทั้งการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรส่งผลให้ปริมาณจุลธาตุ (สังกะสี) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณกากขี้แป้งที่เพิ่มขึ้น โดยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและเป็นประโยชน์ต่อต้นปาล์มน้ำมัน ดังนั้นการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับต่าง ๆ ทำให้สมบัติทางเคมีดินเปลี่ยนแปลงอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเติบโตของปาล์มน้ำมัน

กล่าวได้ว่าการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมันได้ใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมีมากที่สุด

5.1.4. ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรต่อปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน

การเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้นและการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น ส่งผลให้ระดับไนโตรเจนในใบปาล์มน้ำมันไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมัน ทุกตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างในเรื่องฟอสฟอรัสในใบปาล์มน้ำมัน การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับต่าง ๆ ส่งผลให้ระดับโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันเทียบเท่าการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามระดับธาตุอาหารหลักในใบปาล์มน้ำมันลดต่ำลงกว่าก่อนการทดลองและต่ำกว่าค่าวิกฤตตามเกณฑ์ของ Richardson (1986) อย่างไรก็ตามของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรทุกตำรับทดลองสามารถรักษาระดับความเข้มข้นของแมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันให้อยู่เหนือค่าวิกฤตได้ สอดคล้องกับการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้นและการเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้นส่งผลให้ระดับโบรอนในใบปาล์มน้ำมันอยู่เหนือค่าวิกฤตเช่นกัน

5.1.5. การดูดดึงธาตุอาหารของต้นปาล์มน้ำมัน

5.1.5.1. ธาตุอาหารที่พืชดูดดึงจากดิน

ปริมาณธาตุอาหารในดินภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรให้กับต้นปาล์มน้ำมันเป็นเวลา 90 วัน พบว่า การเติมปุ๋ยเคมีมีการดูดดึงแอมโมเนียมไนโตรเจนสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในขณะที่การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับต่าง ๆ ส่งผลให้มีการดูดดึงไนเตรทไนโตรเจน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ แมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์และสังกะสีที่เป็นประโยชน์จากดินได้แตกต่างจากตำรับควบคุมและปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้นเป็นแหล่งธาตุอาหาร ส่งผลให้มีการดึงดูดไนเตรทไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แมกนีเซียมและสังกะสีที่เป็นประโยชน์ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับดินที่เติมปุ๋ยเคมี และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โพแทสเซียมทั้งหมดเทียบเท่ากับดินที่เติมปุ๋ยเคมี ดังนั้นกล่าวได้ว่าการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันที่เติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (3:1:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น น่าจะใกล้เคียงหรือเทียบเท่าการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมันที่เติมปุ๋ยเคมีเป็นแหล่งธาตุอาหาร

5.1.5.2. การดูดดึงธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน

การเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น ส่งผลให้มีการดูดดึงไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและโบรอนในใบปาล์มน้ำมันเทียบเท่าและดีกว่าปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ในขณะที่การเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น ส่งผลให้มีการดูดดึงแมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันสูงสุด ไม่แตกต่างจากการเติมกากขี้แป้งร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./ต้น อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

5.1.5.3. ประสิทธิภาพการดูดดึงธาตุอาหาร

การเติมปุ๋ยเคมีส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดดึง ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงกว่าการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรทุกตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ในขณะที่การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน(1:3:1:1)อัตรา 15 กก./ต้น ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการดูดดึงโพแทสเซียมสูงกว่าการเติมปุ๋ยเคมีและตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ทั้งนี้การเติมกากตะกอนน้ำเสียร่วมกับเส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน (4:1:1) อัตรา 15 กก./

ต้น ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการดูดดึงแมกนีเซียมสูงที่สุดและแตกต่างจากตำรับทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

5.2. ข้อเสนอแนะ

5.2.1. ควรวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารเพื่อพิจารณาความเหมาะสมก่อนการใช้ประโยชน์เสมอ อีกทั้งควรศึกษาระยะเวลาการเก็บที่เหมาะสมโดยไม่สูญเสียธาตุอาหาร เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของกากขี้แป้งที่ใช้ในการทดลองมีความผันแปร ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตของโรงงาน ฤดูกาลและระยะเวลาการเก็บ เช่นเดียวกันกับกากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน ดังนั้นการเก็บของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรที่พร้อมใช้งานไว้ระยะเวลานาน อาจมีโอกาสสูญเสียธาตุอาหาร การใช้ประโยชน์จากของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรตำรับต่าง ๆ เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช

5.2.2. ควรมีการศึกษากระบวนการเก็บรักษาและระยะเวลาการเก็บกากขี้แป้งเพื่อทำให้สามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุด เนื่องจากโปรตีนในกากขี้แป้งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นและบูดเน่าตามกระบวนการธรรมชาติ ซึ่งน่าจะส่งผลต่อสมบัติทางเคมีของกากขี้แป้ง

5.2.3. ควรศึกษาการใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมันในระยะเติบโตอื่น ๆ และพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันอื่น ๆ ด้วย เพื่อให้ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรมีการจัดการอย่างเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุดกับพื้นที่การเกษตร นำไปสู่การทดแทนปุ๋ยเคมี

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

เกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ ผ.1 ระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (soil reaction), pH (ดิน;น้ำ = 1:1) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

ระดับ	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง
กรดรุนแรงมากที่สุด (Ultra acid)	<3.5
กรดรุนแรงมาก (Extremely acid)	3.5-4.5
กรดจัดมาก (Very strongly acid)	4.6-5.0
กรดจัด (Strongly acid)	5.1-5.5
กรดปานกลาง (Moderately acid)	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย (Slightly acid)	6.1-6.5
เป็นกลาง (Neutral)	6.6-7.3
ด่างเล็กน้อย (Slightly alkaline)	7.4-7.8
ด่างปานกลาง (Moderately alkaline)	7.9-8.4
ด่างจัด (Strongly alkaline)	8.5-9.0
ด่างจัดมาก (Very strongly alkaline)	>9.0

ตารางที่ ผ.2 มาตรฐานระดับอินทรียวัตถุในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

ระดับ	อินทรียวัตถุ (ร้อยละ)
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

ตารางที่ ผ.3 การประเมินคุณสมบัติทางเคมีของดินเบื้องต้นสำหรับปาล์มน้ำมัน (Rankine และ Fairhurst , 1998)

สมบัติทางเคมี	ระดับความเหมาะสมที่ใช้ในการประเมิน			
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) (1:5, ดิน:น้ำ)	<3.5	4.0	4.2	5.5
อินทรียวัตถุ (%)	<0.8	1.2	1.5	2.5
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N;%)	<0.08	0.12	0.15	0.25
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm)	<0.8	15.0	20.0	25.0
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (ppm)	<120	200	250	400
โพแทสเซียม(ppm)	<32.0	80.0	100.0	120.0
โพแทสเซียม(cmol/kg)	<0.08	0.20	0.25	0.30
แมกนีเซียม (ppm)	<20.0	50.0	75.0	100
แมกนีเซียม (cmol/kg)	<0.08	0.20	0.25	0.30
ทองแดงที่เป็นประโยชน์ (ppm)	<4.0	<5.0	5.0	>6.0
C.E.C (meq/100g)	<6.0	12.0	15.0	18.0

ตารางที่ ผ.4 ระดับความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation exchange capacity)(กรมวิชาการเกษตร, 2553;กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

ระดับ	C.E.C (cmol/kg)
ต่ำมาก	<3.0
ต่ำ	3.0-5.0
ค่อนข้างต่ำ	5.0-10.0
ปานกลาง	10.0-15.0
ค่อนข้างสูง	15.0-20.0
สูง	20.0-30.0
สูงมาก	>30.0

เนื้อดิน	C.E.C (cmol/kg)
Sand	0-8
Loamy sand	8-12
Sandy/silt loam	13-20
Loam	21-28
Clay loam	29-40
clay	>40

ตารางที่ ผ.5 การแปลผลการวิเคราะห์ดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2553)

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (P_2O_5, mg/kg)	โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (K_2O, mg/kg)	แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (MgO, mg/kg)	สังกะสีที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (mg/kg)
ต่ำมาก = <5 ต่ำ = 5-10 ปานกลาง = 10-20 สูง = 20-25 สูงมาก = >25	ต่ำ = <120 ต่ำถึงเหมาะสม = 120-190 เหมาะสม = 191-300 สูง = > 300	ต่ำ = 36-120 ปานกลาง = 120-360 สูง = > 360	ขาดแคลน = <0.5 พอเหมาะ = 0.5-1.0 มากเกินพอ = > 1.0

ตารางที่ ผ. 6 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดในกากตะกอนที่ยอมรับให้มีเพื่อใช้ในการเกษตร และอัตรากากตะกอนที่ยอมรับให้เติมได้ในพื้นที่การเกษตร ระยะเวลา 10 ปี (EU legislation 86/278/EEC, 1986)

โลหะหนัก	ความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ในกากตะกอน (mg/kg)	ปริมาณสูงสุดที่ยอมรับได้ในดิน (mg/kg)[2]	ปริมาณสูงสุดที่ยอมรับให้เติมได้ในพื้นที่การเกษตร ระยะเวลา 10 ปี (kg/ha/yr)
แคดเมียม	20-40	1-3	0,15
ทองแดง	1,000-1,750	50-140	12
นิกเกิล	300-400	30-75	13
ตะกั่ว	750-1,200	50-300	15
สังกะสี	2,500-4,000	150-300	30
ปรอท	16-25	1-1.5	0,1
โครเมียม[1]	-	-	-

หมายเหตุ[1] ยังไม่มีการกำหนดตัวเลข, [2]ความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่ในช่วง 6-7

ตารางที่ ผ.7 ระดับความเป็นประโยชน์ของโบรอนต่อพืชและการจำแนกระดับโบรอนที่ละลายน้ำได้ของดิน (Liu et al., 1986; Soil and Plant Analysis Council, 2000)

โบรอนที่ละลายน้ำได้ (mgB/kg ดิน)	ระดับความเป็นประโยชน์ต่อพืช	โบรอนที่ละลายน้ำได้ (mgB/kg ดิน)	ระดับที่จำแนก
<0.25	ต่ำมาก		
0.25-0.50	ต่ำ		
0.51-1.00	ปานกลาง	<1.0	ไม่เพียงพอ
1.01-2.00	สูง	1.0-2.0	เพียงพอ
>2.00	สูงมาก	2.1-5.0	สูง
		>5.0	มากเกินไป

ตารางที่ ผ.8 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548

คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1. ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร
2. ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35% โดยน้ำหนัก
3. ปริมาณหินและกรวดขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร	ไม่เกิน 5 % โดยน้ำหนัก
4. พลาสติก แก้ว วัสดุมีคมและโลหะมีคมอื่น ๆ	ต้องไม่มี
5. ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30% โดยน้ำหนัก
6. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	5.5-8.5
7. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20;1
8. ค่าการนำไฟฟ้า(EC ;Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
9. ปริมาณธาตุอาหารหลัก	
-ไนโตรเจน (total N)	ไม่น้อยกว่า 1.0% โดยน้ำหนัก
-ฟอสฟอรัส (total P_2O_5)	ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก
-โพแทสเซียม (total K_2O)	ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก
10. การย่อยสลายสมบูรณ์	มากกว่า 80%
11. สารหนู (Arsenic)	ไม่เกิน 50mg/kg
แคดเมียม (Cadmium)	ไม่เกิน 5mg/kg
โครเมียม (Chromium)	ไม่เกิน 300mg/kg
ทองแดง (Copper)	ไม่เกิน 500mg/kg
ตะกั่ว (Lead)	ไม่เกิน 500mg/kg
ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน2mg/kg

ตารางที่ ผ. 9 ระดับเกณฑ์พื้นฐานสำหรับโลหะหนักในดินและค่าสูงสุดของโลหะหนัก

ธาตุ	ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน (mg/kg)[1]	ระดับเกณฑ์พื้นฐานของโลหะหนักในดิน (mg/kg)[2]	ค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ในปุ๋ยอินทรีย์ (mg/kg)[3]	ค่ากำหนดที่ยอมให้มีได้ในกากตะกอนที่จะนำไปใช้ในการเกษตร (mg/kg)[4]
สารหนู	30	-	50	-
แคดเมียม	0.15	3	5	20
โคบอลต์	20	100	-	-
โครเมียม	80	100	300	1,000
ทองแดง	45	100	500	900
ปรอท	0.10	1	2	10
นิกเกิล	45	50	-	400
ตะกั่ว	55	100	500	1,000
สังกะสี	70	300	-	3,000

หมายเหตุ [1,3] กรมวิชาการเกษตร (2548), [2,4](EU legislation 86/278/EEC, 1986)

ตารางที่ ผ. 10 ปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่ยอมรับให้มีในกากตะกอนเพื่อใช้ในการใช้ประโยชน์ที่ดินและอัตรากากตะกอนที่ยอมรับให้เติมได้ในพื้นที่(U.S. EPA, 1994)

โลหะหนัก	ความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ในกากตะกอน(mg/kg)	ความเข้มข้นมลพิษในกากตะกอนต่อเดือน (mg/kg)	ปริมาณสูงสุดที่ยอมรับในพื้นที่ต่อปี (kg/ha/yr)	ปริมาณสูงสุดที่ยอมรับให้สะสมในพื้นที่ (kg/ha)
สารหนู	75	41	2.0	41
แคดเมียม	85	39	1.9	39
โครเมียม	3,000	1,200	150	3,000
ทองแดง	4,300	1,500	75	1,500
ตะกั่ว	840	300	15	300
ปรอท	57	17	0.85	17
โมลิบดีนัม	75	ยังไม่ได้กำหนดค่ามาตรฐานสำหรับโมลิบดีนัม		
นิกเกล	420	420	21	420
ซีเลเนียม	100	36	5.0	100
สังกะสี	7,500	2,800	140	2,800

ตารางที่ ผ.11 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ประจำปี 2553 (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2554)

ปี 2553	อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด (°c)	ปริมาณน้ำฝน (มม.)	ค่าระเหย (มม.)	ค่าการขาดน้ำ (มม.)
มกราคม	31.31-22.36	71.80	103.20	0
กุมภาพันธ์	33.16-21.81	3.90	129.30	-28.22
มีนาคม	34.20-22.33	38.70	133.00	0
เมษายน	36.30-23.43	15.10	148.90	-32.64
พฤษภาคม	35.42-24.61	191.30	133.00	0
มิถุนายน	33.91-24.36	70.10	137.10	0
กรกฎาคม	33.39-23.87	88.70	138.00	0
สิงหาคม	33.35-23.64	154.30	126.60	0
กันยายน	32.58-23.63	306.20	121.20	0
ตุลาคม	31.36-23.25	285.10	100.90	0
พฤศจิกายน	29.10-26.31	821.60	66.71	0
ธันวาคม	39.63-23.02	199.50	82.20	0
รวมปี 2553	403.71-282.52	2246.30	1420.11	60.86
เฉลี่ยปี 2553	33.64-23.54	187.19	118.34	-5.07

ตารางที่ ผ.12 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ประจำปี 2554 (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2554)

ปี 2554	อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด (°c)	ปริมาณน้ำฝน (มม.)	ค่าระเหย (มม.)	ค่าการขาดน้ำ (มม.)
มกราคม	30.00-22.02	302.40	73.92	0
กุมภาพันธ์	32.04-22.30	6.00	118.10	-88.48
มีนาคม	30.68-23.20	1385.70	102.40	0
เมษายน	32.94-23.23	50.20	145.40	-66.12
พฤษภาคม	31.3-22.38	151.20	119.50	0
มิถุนายน	32.99-23.88	90.60	122.90	-7.72
กรกฎาคม	32.91-23.42	95.10	116.70	0
สิงหาคม	32.63-23.48	120.30	131.70	0
กันยายน	32.28-23.28	154.80	102.40	0
ตุลาคม	31.22-23.17	212.30	103.80	0
พฤศจิกายน	31-22.48	150.80	81.00	0
ธันวาคม	29.39-22.17	251.60	66.10	0
รวม ปี 2554	379.38-275.01	2,971.00	1,283.92	-162.32
เฉลี่ยปี 2554	31.62-22.92	247.58	106.99	-13.52

ภาคผนวก ข

ภาพที่ ผ. 1 การเตรียมกากขี้แป้ง

1	2
3	4
5	6

1. กองกากขี้แป้ง
2. การปั่นเศษยางออกจากกากขี้แป้งก่อนนำไปใช้ประโยชน์
3. กากขี้แป้งที่ใช้ในการทดลอง
4. กากขี้แป้งก่อนการทุบร่อน
5. การทุบกากขี้แป้งให้ละเอียด
6. กากขี้แป้งหลังการทุบร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มม.

ภาพที่ ผ.2 ของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตรที่ใช้ในการทดลอง

1	2
3	4
5	6

1. กากขี้แป้งจากโรงงานผลิตยางข้น
2. กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐาน
3. เส้นใยปาล์มน้ำมัน
4. ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน
5. เติมสิ่งทดลองตามตำรับทดลองในระยะทรงพุ่ม
6. การติดป้ายต้นปาล์มน้ำมันแต่ละต้น

ภาพที่ ผ. 3 การเก็บตัวอย่างดิน การเก็บตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันและการวัดการเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน

1	2
3	4
5	6

1., 2. การเก็บตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันและย่อยตัวอย่างใบปาล์มน้ำมัน

3. การนับจำนวนใบย่อยปาล์มน้ำมัน

4. การวัดแกนทางใบปาล์มน้ำมัน

5. การวัดความยาวทางใบปาล์มน้ำมัน

6. การวัดความยาวและความกว้างใบย่อยปาล์มน้ำมัน

ภาพที่ ๒.๔ แผนผังแสดงตำแหน่งที่ตั้งของโรงเรียนวัดเกาะแก้วพิทยาราม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กล้าณรงค์ ศรีรอด, พูนศุข ประเสริฐสรรพ์, สมพร อิศวิลานนท์ และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. การศึกษาสถานภาพวัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซล. กรุงเทพฯ: สวช.

กิตจเมธ แจ้งศิริกุล, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และสุเทพ ทองแพ. 2551. การใช้ประโยชน์น้ำกากส่าและเถ้ากากส่าเป็นปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับข้าวโพดหวานที่ปลูกในชุดดินท่าใหม่. วารสารดินและปุ๋ย 30(3): 180-191.

กิติพงศ์ ตั้งกิจ. 2543. ความเหมาะสมของการผลิตแผ่นใยไม้อัดจากทางใบ, ลำต้นและทะลายผลเปล่าของปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. 2547. ยุทธศาสตร์อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ปี 2547-2552. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เกริกชัย ธนรักษ์. 2554ก. การใช้ปุ๋ยเคมีในสวนปาล์มน้ำมันอายุ 1-3 ปี.เทคโนโลยีการผลิตปาล์มน้ำมันแบบครบวงจร, หน้า 47-66. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7 กรมวิชาการเกษตร.

เกริกชัย ธนรักษ์. 2554ข. การดูแลรักษาปาล์มน้ำมัน.[สื่อการนำเสนอ powerpoint]. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7 กรมวิชาการเกษตร.

กุลวดี ตรองพาณิชย์ และคณะ. 2550. การศึกษาการผลิต nutrient base จากวัสดุเหลือใช้จากผลปาล์มน้ำมัน. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ: โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยาคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2548. แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมน้ำยางข้น. เล่มที่ 6/8. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

จตุพล ตั้งปกาศิต, แสวง ทรงหมู่, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และไกรวุฒิ เกียรติโกมล. 2548. การศึกษาค่าดัชนีกำลังของมอร์ต้าที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันการอัดตัวของอนุภาคและปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้และเถ้าปาล์มน้ำมัน. วารสารวิจัยและพัฒนามจธ. 28 (4): 465-476

จริยา ประศาสน์ศรีสุภาพ และคณะ. 2547. การใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสียในการเกษตร. เทคโนโลยีเฉพาะด้าน, หน้า 137-144. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2548. การใช้กากปาล์มน้ำมันเป็นอาหารโค-กระบือ. รายงานผลการวิจัยประจำปี 2548, หน้า 383-395. กรุงเทพฯ: กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ฉกรรจ์ สังข์ทอง. 2542. ปาล์มน้ำมัน.ใน คู่มือวิชาการสำหรับเจ้าหน้าที่ฝ่ายส่งเสริมและฝึกอบรมบริษัทพันธุ์ปาล์มไทย (1993) จำกัด. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เซาท์เทิร์นเพรสแอนด์พับลิเคชั่น.

ชัชชาย แจ่มใส และจักรกฤษณ์ หอมจันทร์. 2548. ผลของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงพยาบาลชุมชนอุบลรัตน์ที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด. วารสารวิชาการเกษตร23(3): 252-262.

ชนัญญา หาวารี. 2549. การประเมินศักยภาพการนำกากตะกอนอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์โดยการทดสอบการชะละลายโดยโลหะหนัก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยรัตน์ นิลนนท์. 2547. การจัดการปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน.เคหการเกษตร. 28(9) : 218-223

ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2547. โบรอน...กับปาล์มน้ำมัน. สกว. จดหมายข่าวปาล์มน้ำมัน. 5(3).11-13.

ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และวรรณา เลี้ยววาริณ. 2544. ผลของการใช้ปุ๋ยต่อปาล์มน้ำมัน.เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการปาล์มน้ำมันแห่งชาติ ครั้งที่ 2, หน้า 119-130. สุราษฎร์ธานี: ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

ชัยรัตน์ นิลนนท์ และจำเป็น อ่อนทอง. 2538. การใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพปาล์มน้ำมัน. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชัยรัตน์ นิลนนท์ และธีระพงศ์ จันทรนิยม. 2551. การจัดการสวนปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ. ในเอกสารประกอบคำบรรยาย. สถานีวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน. คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชัยรัตน์ นิลนนท์,ธีระพงศ์ จันทรนิยมและประกิจ ทองคำ. 2548. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการความต้องการธาตุอาหารและการจัดการปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตของปาล์มน้ำมัน (ระยะที่สอง). คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชัยรัตน์ นิลนนท์,ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ, ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ และปรานี สุวรรณรัฐ. 2552. สภาพการทำสวนและการใช้ปุ๋ยเคมีสำหรับปาล์มน้ำมันของเกษตรกรจังหวัดสุราษฎร์ธานี. วารสารดินและปุ๋ย.30(1)

ชูจิต มามีวัฒนะ, วัชรี บุญช่วย และชาย โพธวิส. 2536. ศึกษาการเจริญเติบโตของกล้าปาล์มน้ำมันเทเนอร่า ที่ได้รับปุ๋ยอัตราและระยะเวลาต่างกัน.รายงานผลวิจัยประจำปี 2536, หน้า 81-100. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี, สถาบันวิจัยพืชสวน, กรมวิชาการเกษตร.

ดวงสมร ตุลาพิทักษ์, เทพฤทธิ์ ตุลาพิทักษ์ และแก้วใจ อ้อชัยภูมิ. 2551. การทดสอบประสิทธิภาพของแท่งเพาะชำจากวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น 13(8): 939-946.

ดวงสมร สินเจิมศิริ, อังคณา หาญบรรจง และรักษ์ปัญญ์ ถนอมวงศ์วัฒนะ. 2549. การปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยปาล์มโดยวิธีเคมีและชีวภาพ. เอกสารการวิชาการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 44, หน้า 307-315. กรุงเทพฯ: สาขาสัตวแพทยศาสตร์

ดาวรุ่ง สังข์ทอง. 2539. วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักบางชนิดและธาตุอาหารหลักในปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และดินผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตสหสาขาวิชาสภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธวิโรจน์ ตันนุกิจ. 2545. การใช้ประโยชน์กากตะกอนน้ำเสียชุมชนในการทดแทนหน้าดินของวัสดุเพาะชำกล้าไม้ป่า.วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม 24(1): 46-53.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2546. ปาล์มน้ำมันและการเพิ่มมูลค่า. จดหมายข่าวปาล์มน้ำมัน. 3(4)

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และสมมิตร สังข์แก้ว. 2544ก. ผลของระดับปุ๋ย P และ K ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน.วารสารสงขลานครินทร์.23 (ฉบับพิเศษ): ปาล์มน้ำมัน. 661-677.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และชัยรัตน์ นิลนนท์.2544ข. การคาดคะเนผลผลิตทะลายสดของปาล์มน้ำมัน. วารสารสงขลานครินทร์.23 (ฉบับพิเศษ): ปาล์มน้ำมัน. 717-726.

ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์, ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และสมเกียรติ สีสนอง. 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน.พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา:ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ, ชัยรัตน์ นิลนนท์ และธีระ เอกสมทราเมษฐ์. มปป. เอกสารเผยแพร่การจัดการสวนปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ. ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ประกิจ ทองคำ และวรรณา เลี้ยววาริณ. 2538. การเปลี่ยนแปลงของระดับธาตุอาหารในทางใบที่ 17 ของปาล์มน้ำมัน. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.

ธีระพงศ์ จันทรนิยม, ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ชัยรัตน์ นิลนนท์ และประกิจ ทองคำ. 2544. ผลของการคลุมโคนด้วยทะลายเปล่าต่อผลผลิต ความชื้นในดินและปริมาณธาตุอาหารในใบของปาล์มน้ำมัน. วารสารสงขลานครินทร์. 23(ฉบับพิเศษ): ปาล์มน้ำมัน. 679-689.

ธีระพงศ์ จันทรนิยม. 2551. กระบวนการไร้ของเสียในอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม. วารสารหาดใหญ่วิชาการ. 6(2): 159-164.

นคร สาระคุณ. 2539. การจัดการดิน การใส่ปุ๋ยและการดูแลสวนปาล์มน้ำมัน. ใน ความก้าวหน้าในการวิจัยปาล์มน้ำมัน, หน้า 29-53.เอกสารประกอบการสัมมนากรมวิชาการเกษตร.กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นคร สาระคุณ, สมยศ สินธุรหัส และสุทัศน์ ด่านสกุลผล. 2541. วิเคราะห์พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในภาคใต้ของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นิธิยา รัตนาปนนท์ และไพโรจน์ วิริจารี. 2547. เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปัทมา วิตยากร. 2533. ดิน แหล่งธาตุอาหารของพืช. เอกสารประกอบการสอนวิชาความอุดมสมบูรณ์ของดินขั้นสูง (Advanced Soil Fertility). กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพี คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปนัดดา คำรัตน์. 2545. ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้นในการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาสภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประพิศ แสงทอง และภาวนา ลิกขนานนท์. 2544ก. การปลดปล่อยไนโตรเจนในดินจากการใส่กากตะกอนน้ำเสีย. วารสารดินและปุ๋ย 23 (2): 99-110.

ประพิศ แสงทอง และภาวนา ลิกขนานนท์. 2544ข. การปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดินจากการใส่กากตะกอนน้ำเสีย. วารสารดินและปุ๋ย 23 (2): 148-159.

ประพิศ แสงทอง และสุรสิทธิ์ อรรถจารุนนท์. 2544. การปลดปล่อยธาตุโลหะหนักในดินจากการใช้กากตะกอนน้ำเสีย. วารสารดินและปุ๋ย 23(2): 11-28.

ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล, วิชัย ใจภักดี, สุรสิทธิ์ สุทธิสงค์ และจักรี เลื่อนราม. 2545. การบำบัดน้ำเสียในโรงงานน้ำร่องผลิตยางแท่ง STR 20 ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยยาง. กรมวิชาการเกษตร.

ปรีดา พากเพียร, สุรัตน์ ศรีวรวิทย์, บุญรักษ์ ตุ้ยศิริ และวิศิษฐ์ โชลิตกุล. 2532. การแพร่กระจายปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันที่มีอายุต่าง ๆ กัน. ในรายงานการสัมมนาทางวิชาการปาล์มน้ำมัน, หน้า 100-108. กรุงเทพฯ: กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.

พิมลสิริ ศุภเสถียรไชย, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และเอ็จ สโรบล. 2551. การใช้เถ้ากากส่าเป็นปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับข้าว. วารสารดินและปุ๋ย 30(3): 192-202.

เพิ่มพูน กีรติกสิกร. 2546. โบรอน-จุลธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ: ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ภิเชษฐ์ ใบเขียว และเพิ่มพูน กีรติกสิกร. 2551. อิทธิพลของไนโตรเจนและโพแทสเซียมต่อผลผลิตและคุณภาพของพืชพลังงานทดแทน: แก่นตะวัน. ในรายงานการประชุมสัมมนาวิชาการระบบการเกษตรครั้งที่ 4, หน้า 436-439. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภิญโญ มีเดช, สุรกิตติ ศรีกุล, สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, เกริกชัย ธนรักษ์, ชาย โฆรวิสและคะนอง คลอดเพ็ง. 2544. ชนิดและอัตราปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมสำหรับปาล์มน้ำมันที่ปลูกในดินร่วนปนทราย. ในรายงานผลการวิจัยประจำปี 2542- 2543, หน้า 36-65. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. น. 36-65.

มนัสนันท์ เกื้อหนุน, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และเอ็จ สโรบล. 2551. ผลการใส่สังกะสีต่อการตอบสนองของข้าวโพดที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินชัยบาดาล. วารสารดินและปุ๋ย 30(1):6-11.

ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. กรุงเทพฯ:ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เรวัติ เลิศฤทัยโยธิน. 2544. ปาล์มน้ำมัน (oil plam). ใน คณาจารย์ภาควิชาพืชสวน (บรรณาธิการ), พืชเศรษฐกิจ, หน้า 250-261. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540). [ออนไลน์]. 2540. แหล่งที่มา: http://www.diw.go.thdiw_web/html [16 มีนาคม 2555]

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2544. หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ(เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด)สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขา. กรุงเทพฯ: อุตสาหกรรมน้ำยางข้นอุตสาหกรรมยางแท่งมาตรฐานเอสอาร์ที 20.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2545. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. ภาพกระบวนการผลิตน้ำยางข้น[ออนไลน์].2548. แหล่งที่มา: www2.diw.go.th/.../Industry12/image024.jpg [11 มกราคม 2553]

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2554. คู่มือการกำหนดรหัสสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุไม่ใช้แล้ว. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.

วราศรี เถกประสิทธิ์. 2543. การนำกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อการทำเป็นวัสดุบำรุงดิน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วลัยพร ผ่อนผัน.2547. การใช้ประโยชน์กากขี้แป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในรูปสารบำรุงดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วันปิติ อาจเดช และเพิ่มพูน กีรติกสิกร. 2546. อิทธิพลของความเปียก-แห้งของดินและอุณหภูมิต่อการดูดซับโบรอนในดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินต่างกัน. วารสารวิชาการเกษตร 21(3): 235-247.

วิจิตร วังใน. 2552. ธาตุอาหารกับการผลิตพืชผล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:สมาคมพืชสวนแห่งประเทศไทย.

วิชาการเกษตร, กรม. 2531. การผลิตยางธรรมชาติ. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพมหานคร.

วิชาการเกษตร, กรม. 2547. ปาล์มน้ำมัน. เอกสารวิชาการลำดับที่ 16/2547. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิชาการเกษตร, กรม. 2548. วัสดุอินทรีย์และปุ๋ยคอกในพื้นที่ทำการเกษตร. เอกสารวิชาการลำดับที่ 19/2548. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิชาการเกษตร, กรม. 2552. ทำเนียบโรงงานแปรรูปน้ำยางดิบ. กรุงเทพฯ: สำนักงานตลาดกลางยางพารา สงขลา สถาบันวิจัยยางพารา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิชาการเกษตร, กรม. 2554. สถิติยางประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน, สุจิตรา พรหมเชื้อ และเพ็ญศิริ จำรัสฉาย. 2554. การจัดการน้ำและสรีรวิทยาปาล์มน้ำมัน. ในเทคโนโลยีการผลิตปาล์มน้ำมันแบบครบวงจร, หน้า 105-169. สุราษฎร์ธานี: สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7 กรมวิชาการเกษตร.

ศิรินธา วันดี และธนิยา เกาศล. 2551. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาหมักปุ๋ย. สงขลา: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศิราณี ศิริสุโขดม. 2535. ผลของกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อการเติบโตและการสะสมโลหะหนักในพืชผักบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมจังหวัดปทุมธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2548. คู่มือปาล์มน้ำมันชุดที่ 1. เอกสารวิชาการลำดับที่ 6/2548. สุราษฎร์ธานี: ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7 กรมวิชาการเกษตร.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. การจัดการสวนปาล์มน้ำมัน [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา :http://it.doa.go.th/ palm /linkTechnical/ management.html [24 มิถุนายน 2553]

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2554. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประจำปี 2553-2554. สุราษฎร์ธานี: ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7 กรมวิชาการเกษตร.

สัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู. 2551. การทดแทนปุ๋ยด้วยกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเพื่อการเพาะชำยางถุง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันวิจัยและพัฒนาปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม. 2547. โครงการเร่งรัดการผลิตเมล็ดพันธุ์และต้นกล้าปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา (DxP). กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สายชล จันมาก, จรัสศรี นวลศรี และธีระ เอกสมทราเมษฐ์. 2548. การศึกษาความแปรปรวนและความสัมพันธ์ใกล้ชิดทางพันธุกรรมของพันธุ์ปาล์มน้ำมันโดยใช้เครื่องหมายอาร์เอพีดี. วารสารสงขลานครินทร์วทท. 27(3): 473-485.

สาคร ผ่องพันธ์, อาร์วินอาร์ โมซิเออร์ และเจนวิทย์ สุขทองสา. 2547. ผลของการใส่ฟางข้าวและขี้เถ้าที่มีต่อประสิทธิภาพของปุ๋ยยูเรียที่หว่านในนาข้าว. วารสารวิชาการเกษตร 22(1): 9-24.

สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์ และชาย โฆรวิส. 2539. อิทธิพลของธาตุอาหาร N, P, K และ Mg ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอร่าที่ปลูกในชุดดินคอหงส์. ใน รายงานผลการวิจัย

ประจำปี 2535-2538, หน้า 114-140. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, สุรกิตติ ศรีกุล และชาย โฆรวิส. 2539. การใช้ทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันเป็นแหล่งของธาตุอาหารแทนปุ๋ยเคมี. วารสารวิชาการเกษตร 14(2):139-146.

สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, สุรกิตติ ศรีกุล, ภิญโญ มีเดช, ชาย โฆรวิส. 2544ก. ความต้องการปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมของปาล์มน้ำมันที่ปลูกในชุดดินอ่าวลึก. ใน รายงานผลการวิจัยประจำปี 2542-2543, หน้า 66-98. กรุงเทพฯ:สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, สุรกิตติ ศรีกุล, ภิญโญ มีเดช, ชาย โฆรวิส. 2544ข. ชนิดและอัตราปุ๋ยฟอสเฟตที่เหมาะสมสำหรับปาล์มน้ำมันที่ปลูกในชุดดินอ่าวลึก. ใน รายงานผลการวิจัยประจำปี 2542-2543, หน้า 99-126. กรุงเทพฯ:สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

สุรกิตติ ศรีกุล, ภิญโญ มีเดช, สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, ชาย โฆรวิส และคะนอง คลอดเพ็ง. 2544. ศึกษาผลกระทบของการให้น้ำต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา และการให้ผลผลิตและน้ำมันของปาล์มน้ำมัน. รายงานผลการวิจัยประจำปี 2542- 2543, หน้า 127-154. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

สุรกิตติ ศรีกุล, ภิญโญ มีเดช และเกริกชัย ธนรักษ์. 2547. การจัดการสวนปาล์มน้ำมัน. ใน ปาล์มน้ำมัน. เอกสารวิชาการลำดับที่ 16/2547, หน้า 35-60. กรุงเทพฯ:กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุรกิตติ ศรีกุล. 2554ก. ประวัติและความสำคัญของปาล์มน้ำมัน.ใน เทคโนโลยีการผลิตปาล์มน้ำมันแบบครบวงจร.หน้า 1-9. กรุงเทพฯ:สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7 กรมวิชาการเกษตร.

สุรกิตติ ศรีกุล. 2554ข. การจัดการแปลงเพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมัน. ใน เทคโนโลยีการผลิตปาล์มน้ำมันแบบครบวงจร. หน้า 11-27. กรุงเทพฯ:สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7 กรมวิชาการเกษตร.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. 2543. การผลิตยางธรรมชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 2. ปัตตานี: ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์คณะวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตปัตตานี.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และคณะ. 2547. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการเตรียมปุ๋ยเหลวจากกากขี้แป้งน้ำยางข้น. กลุ่มโครงการวิจัยย่อย วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ มอ. (2). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.2554. เทคโนโลยีการแยกเนื้อยางและสารอนินทรีย์ออกจากตะกอนน้ำยางธรรมชาติ. ปทุมธานี.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552ก. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2552.เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 414.กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2552ข. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2553. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.สถิติการส่งออกยางพาราและปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี[ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา:http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php [11 กรกฎาคม 2553]

ส่งเสริมการเกษตร, กรม. 2550. โครงการเพิ่มประสิทธิภาพปาล์มน้ำมัน ปี 2551-2555. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อัญชลี โฆษิตขจรเดช. 2550. ศึกษาการผลิตเส้นใยปาล์มน้ำมันหมักเพื่อใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับแกะ. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาสัตวบาล ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรรัตน์ วงศ์ศรี, ศิริชัย มามีวัฒนะ, ชุมพล เชาวนะ, วราวุธ ชูธรรมธัช และชาย โฆรวิส. 2550. โครงการวิจัยการปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมันรอบที่ 2 ของกรมวิชาการเกษตร :ระยะที่1(ปี 2545-2548).ในรายงานผลการวิจัยประจำปี 2547-2549.หน้า 1-16. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมัน กรมวิชาการเกษตร.

อรรัตน์ วงศ์ศรี, ศิริชัย มามีวัฒนะ, เกริกชัย ธนรักษ์ และชญาดา ดวงวิเชียร. 2550. เทคนิคการปรับปรุงปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง. 2551. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Soil Fertility). เชียงใหม่: ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, สุธน ช่วยเกิด และสัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู. 2552. การทดแทนปุ๋ยด้วยกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเพื่อการเพาะชำยางชำถุง. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ: ยางพาราฝ่ายอุตสาหกรรมสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์. 2548. ปุ๋ยกับการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อำพิน กันธิยะ. 2552. การใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งจากเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร: น้ำมะพร้าวแก่. สาส์นปริทัศน์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 1(1): 3.

ภาษาอังกฤษ

Abu Hassan, O. 1996. Oil palm as feed resource. Proc.8th AAAP Anim. Sci. cong.,Tokyo,Japan.

Breure,C.J.,2010. Rate of leaf expansion: A criterion for identifying oil palm (*Elaeis guineensis Jacq.)* types suitable for planting at high densities. NJAS-Wageningen. Journal of Life Science 57: 141-147.

Chapman, G.W., and Gray, H. M. 1949. Leaf analysis and the nutrition of the oil palm. Ann. Bot., NS. 13.

Corley, R.H.V., Hardon, J.J., and Wood, B.J. 1976. Oil Palm .Amsterdam: Research Elsevier Scientific.

Dai, J., Xu, M., Chen, J., Yang, X., and Ke, Z. 2007. PCDD/F, PAH and heavy metals in the sewage sludge from six wastewater treatment plants in Beijing, China. Chemosphere, 66(2): 353-361.

Devendra, C., and Hutagalung, R.I. 1978. Feedingstuffs for Livestock of South East Asia. Feedingstuff from the oil palm. Malaysian Society of Animal Production Serdang, Selangor: Academic Press.

Dolar, S.G., Boyle, J.R., and Keeney, D.R. 1972. Paper Mill Sludge Disposal on Soils: Effects on the Yield and Mineral Nutrition of Oats (*Avena Sativa L.*). Environmental Quality. 1: 405-409.

EC., 2000. Working document on sludge 3rd Draft, pp. 19. Brussels, Belgium.

Ervan, M. 2005. Liquid wastes utilization (POME) of Oil Palm factory (PKS). PT. Agricinal Bengkulu Utara.

FAO. 1988. Non-Conventional Feed Resource in Asia and the Pacific. Advances in Availability and Utilization.Bangkok: FAOReginalOffice for Asia and the Pacific.

Guo, J., and Lua, A.C. 2000. Preparation and characterization of absorbents from oil palm fruit solid wastes. Journal of Oil Palm Research. 12(1): 64-70.

Harimi, M., Meggat Ahmad, M.M.H., Sapuan, S.M., and Idris, A. 2005. Numerical analysis of emission component from incineration of palm oil wastes. Biomass and Bioenergy. 28: 339-345.

Hartley, C.W.S. 1984. The Oil Palm. แปลโดย ชัยฤกษ์ มณีพงษ์, นคร สาระคุณ, บุญรักษ์ ตุ้ยศิริ, ดำรงพงษ์ มานะวุฒิ, สิญจนา เนตรสาณ. 2534. ปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ:โครงการวิจัยและพัฒนาปาล์มน้ำมัน สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

Hartley, C.W.S. 2003. The Oil Palm. 4nded. England: Oxford, Blackwell Science.

Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., and Nelson, W.L. 1999. Soil Fertilizers. Six edition. New Jersey: Prentice Hall.

Heather, L. F., and Lloyd H. Ketchum Jr. 2000. Trace metal concentration in durum wheat from aoolication of sewage sludge and commercial fertilizer. Advances in Environmental Research. 4: 347-355.

Hertslet, L.R., and Duckkett J.E. 1983. Oil Palm Nurseries.Casual papers on Oil Palm, Kuala Lumpur: The Incorporated Society of Planters.

Hong, T.K., and Corley, R.H.V. 1976. Leaf temperature and photosynthesis of a tropical C3 plant, *Elaeis guineensis*. MARDI Res. Bull. 4(1): 16-20.

Hutagalung, R. I., Mahyudin, M.D., Braitwaite,B.L., Vijchulata P., and Dass S. 1984. Digestibility and performance of cattles fed palm kernel cake and ammoniated palm press fiber under intensive system. Proc. 8th MSAP Conf., Pahang. Malaysia: 87-91.

Jamali, M.K., Kazi, T.G., Arain, M.B., Afridi, H.I., Memon, A.R., Jalbani, N.,and Shah, A. 2008. Use of Sewage Sludge After Liming as Fertilizer for Maize Growth. Pedosphere. 18(2): 203-213.

Khalid, H., Zin, Z. Z., and Anderson, J. M. 2000. Decomposition processes and nutrient release patterns of oil palm residues. Journal of Oil Palm Research. 12(1): 46-63.

Krogstad, T., Sogn T. A., Asdal A., and Arne S. 2005.Influence of chemically and biologically stabilized sewage sludge on plant-available phosphorous in soil.Ecological Engineering. 25: 51-60.

Larcher, W. 1980.Physilogical Plant Ecology II.Totally Revised Edition. Berlin: Springer-Verlag.

Lik Nang Lau, H., Yuen, M.C., Ah, N.M., and Cheng, H.C. 2008.Selective extractive of palm carotene and vitamin E from fresh palm-pressed mesocarp fiber (*Elaeis guineensis*) using supercritical CO_2. Journal of Food Engineering, 84: 289-296.

Foo, K.Y.,and Hameed, B.H, 2009. Value-added utilization of oil palm ash: A superior recycling of the industrial agricultural waste. Journal of Hazardous Materials, 172: 523-531.

Foreign Agricultural Service .2006 World oil palm production, palm fruit and Comparison Yields of majoroilseeds [ออนไลน์]. 2007.แหล่งที่มา: www.pecad.fas.usda.gov/.../12/Indonesia_palmoil/ [16 กรกฎาคม2553]

Foster, H.L., and Prabowo, N.E. (1996) Variation in the potassium fertilizer requirement of oil palm in North Sumartra. PORIM International Palm Oil Congress (Agriculture).143-152.

Liu Z., Zhu Q.Q., and Tang L.H. 1986. Micronutrients as constraints to crop production in upland soils,pp. 231-236. Nanjing. Proceeding of the International Conference on the management and Fertilization of Upland Soils in the Tropics and Subtropics.

Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., and Grego, S. 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. Bioresoures Technology. 72: 9-17.

Milthorpe, F.L. 1956. The relative importance of the different stages of leaf growth in determing the resultant area.In The Growth of Leaves, pp. 141-148. London: Butterworth.

Mohamed, H., Megat, M.M.H., Sapuan, A., and Azni, I. 2005. Numerial analysis of emission component from incineration of palm oil wastes. Biomass and Bioenery. 28: 339-345.

Mutert, E. Fairhurst, T.H., and von Uexkull, H.R. 1999. Agronomic management of Oil Palms on Deep Peat.Better Corps International. 13(1): 22-27.

Ng, S.K. 1986. Phosphorus nutrient and fertilization of oil palm. Oleagineux 41: 307-313.

Ojeda, G., Tarrason, D., Ortiz O., and Alcaniz, J.M. 2006. Nitrogen losses in runoff waters from a loamy soil treated with sewage sludge.Ecosystems and Environment. 117: 49-56.

Ollagnier, M., Daniel, C., Fallavier, P., and Ochs, R. 1987.The influence of climate and soil on potassium critical level in oil palm leaf analysis.Oleagineux. 42: 446-449.

OPGL (Oil Palm Genetic Laboratory). 1972. Progress reports, Layang: Academic Press.

Poon, Y.C. 1969.An outline of the technique of oil palm foliar analysis.Planter 45: 452.

Paramanthan, S. 2002. Land selection or oil palm: Management for Lagre and sustainable yields. Fairhurst, T. and Hardter, R. (eds.). Potash & Phosphate Institute. 27-57.

Prasertsan, S., and P. Prasertsan. 1996. Biomass residues from palm oil mills in Thailand: an Overview on quality and potential usage. Biomass and Bioenergy. 11: 387-395.

Rajaratnam, J.A. 1976. Micronutrients.In Corley, R.H.V.,Hardon, J.J., and Wood, B.J.Oil Palm Research, pp. 263-270. Amsterdam: Elsevier Scientific.

Ramirez, W.A., Domene, X., Ortiz, O.,andAlcaniz, J.M. 2008. Toxic effect of digested, composted and thermally-dried sewage sludge on three plants. Biosource Technology. 99: 7168-7175.

Rankine, and Fairhurst T.H. 1998. Oil Palm Series (Volume 3).Singapore: Mature. Oxford Graphic Printers.

Rankine, and Fairhurst T.H. 1999. Management of Phosphorus, Potassium and Magnesium in Mature Oil Palm.Better Corps International. 13(1): 10-15.

Redshaw, M. 2004. Utilization of Field Residues and Mill By-Products. Oil Palm: Management for Large and Sustainable Yields. Potash&Phosphate Institute (PPI)

Rees, A.R. 1961. Midday closure of stomata in the oil palm, *Elaeis guineensis Jacq.* J. exp. Bot. 12

Rees, A.R. 1963. An analysis of growth of oil palm seedling in full daylight and in shade. Ann. Bot., NS.

Riansa-Ngawong, W., Prasertsan, P., and Iiyama, K. 2008. Statistical studies on hemicelluloses production from delignified palm press fiber. Journal of Biotechnology: 402-459.

Richardson, D.L. 1986. Agronomist Report on Oil Palm Nutrition Consultant.Report to UNDP/FAO THA/84/007/A/01/02 Project.

Shinoj, S., Visvanathan, R., Panigrahi, S.,andKochubabu, M. 2011. Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review. Industrial Crops and Products. 33: 7-22.

Sillanpaa, M. 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils.FAO Soils Bulletin No. 48. 444 p.

Soil and Plant Analysis Council. 2000. Soil Analysis-Handbook of Reference Methods. New York: CRC Press.

Sumathi, S., Chai, S.P., and Mohamed, A.R. 2008.Utilization of oil palm as source of renewable energy in Malaysia.Renewable and Sustainable Energy Reviews. 12: 2404-2421.

Tan, K.S. 1977. Efficient fertilizer usage on oil palm on inland soils. D.A. Earp and W. Newall (Eds.). Kuala Lumpur: International Development in Oil Palm.

Tan, Y. P., and Mohan E. 1981. Optimum depth of sowing and transplanting in the oil plamnursery. In The Oil Palm in agriculture in the Eighties vol. II (eds. Pushparajah E., and ChewP.S), p. 415-424. Kuala Lumpur: The Incorporated Society of Planters.

Teo, C.B., Chew, P.S., Goh, K.J., and Kee, K.K. 1998. Optimising return form fertilizer for oil palms : An Integrater Agronomic Approach. In The IFA reginal Conference for Asia and the Pacific. Hong Kong: IFA.

Thambirajah, J.J., and Kuthubutheen, A.J. 1989. Composting of Palm Press Fibre. Biological Wastes 27. p. 257-269.

Tittinutchanon P., Smith B.G., and Corley, R.H.V. 2000. Irrigation of oil palm in Southern Thailand, p. 303-315. International Planters Conference 2000.

Turner, P.D., and Gillbanks, R.A. 1982. Oil Palm Cultivation and Management. Kuala Lumpur: The Incorporated Society of Planters.

U.S.EPA. 1994. Land Application of Sewage Sludge.United States Environmental Protection Agency. Washington, DC: Office of Research and Development.

Vasconcelos, E., and Cabral, F. 1993. Use and Environmental Implications of Pulp-Mill sludge as an organic fertilizer. Environmental Pollution. 80: 159-162.

Viraraghavan, T., and Lonescu, M. 2002. Land application of phosphorus-laden sludge: a feasibility analysis. Environmental Management. 64: 171-177.

Von Uexkull, H.R.,and Fairhurst, T.H. 1991. Fertilizer for high yield and quality. Worblaufen-Bern: The oil palm international potash institute.

Walter, I., Martinez, F., and Cala, V. 2006.Heavy metal speciation and phytotoxic effects of three representative sewage sludges for agricultural uses. Environmental Pollution, 139:507-514.

Wang, M.J. 1997. Land application of sewage sludge in China. The Science of the Enivironment, 197: 149-160.

Warman, P.R. 1986. Effect of fertilizer, Pig Manure and Sewage Sludge on Timothy and Soils, Environmental Quality. 15(2): 95-100.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณัฐกานต์ ทู้ไพเราะ ภูมิลำเนาอยู่ที่จังหวัดสุพรรณบุรี เกิดเมื่อวันที่ 17 กรกฎาคม 2528 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนธรรมภิรักษ์ รุ่งประชา ในปีพ.ศ. 2541 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเบญจมราชาลัย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ในปี พ.ศ. 2547 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2550

ในปีการศึกษา 2552 ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย