ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินและผลผลิตของปาล์มน้ำมัน

นางสาวภณิดา เจริญผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF APPLYING AGROINDUSTRIAL WASTE INTO THE SOIL ON SOIL CARBON SEQUESTRATION AND YIELDS OF OIL PALM

Miss Panida Charernphon

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินและผลผลิตของปาล์มน้ำมัน
โดย	นางสาวภณิดา เจริญผล
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	นายเกริกชัย ธนรักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(นายเกริกชัย ธนรักษ์)

....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.กัลยา สุนทรวงศ์สกุล)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(นางสาววิชณีย์ ออมทรัพย์สิน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภณิดา เจริญผล : ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินและผลผลิตของปาล์มน้ำมัน (EFFECT OF APPLYING AGROINDUSTRIAL WASTE INTO THE SOIL ON SOIL CARBON SEQUESTRATION AND YIELDS OF OIL PALM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: นายเกริกชัย ธนรักษ์, 99 หน้า.

การศึกษาผลของของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินและผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ในช่วงอายุ 6-7 ปี ณ ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อคสมบูรณ์ (RCBD) 4 ซ้ำ มี 6 ตำรับทดลอง ประกอบด้วย ดินเดิมไม่เติมสิ่งทดลอง การเติมปุ๋ยเคมี และการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร (กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน) อัตรา 15 กิโลกรัม/ต้น หนึ่งหน่วยทดลองคือ ต้นปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอรา จำนวน 9 ต้น

ผลการศึกษาพบว่า การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรลงดินด้วยสัดส่วนต่างๆ อัตรา 15 กิโลกรัม/ต้น ส่งผลให้ดินกักเก็บคาร์บอนในรูปอินทรีย์คาร์บอน 0.75-0.89% มีปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ไม่แตกต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยเคมี โดยที่การเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (4: 1: 1) สามารถกักเก็บคาร์บอนในดินในรูปของอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้นมากที่สุดถึง 0.15% และปล่อยคาร์บอนในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์จากดินน้อยที่สุด (4.51 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) แตกต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยเคมีและการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรสัดส่วนอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อีกทั้งให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (167.24 กก./ต้น/ปี) ไม่แตกต่างทางสถิติจากการเติมปุ๋ยเคมี ($p \leq 0.05$)

กล่าวได้ว่า การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรลงดินเป็นการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินที่ส่งผลให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยมีการปล่อยคาร์บอนในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ไม่แตกต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยเคมี การเลือกใช้กากขี้แป้งส่งผลให้มีการกักเก็บคาร์บอนในดินแล้วปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่ากากตะกอน จึงเป็นทางเลือกของการจัดการของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรอย่างเหมาะสม เกิดประโยชน์ต่อการเกษตรและมีส่วนช่วยลดภาวะโลกร้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต ....
ปีการศึกษา 2557	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ....
	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม ....

5487190720 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORDS: AGRO-INDUSTRIAL WASTE/ SOIL CARBON SEQUESTRATION/ SOIL RESPIRATION/ OIL PALM

PANIDA CHARERNPHON: EFFECT OF APPLYING AGROINDUSTRIAL WASTE INTO THE SOIL ON SOIL CARBON SEQUESTRATION AND YIELDS OF OIL PALM. ADVISOR: ASSOC. PROF. ORAWAN SIRIRATPIRIYA, Ph.D., CO-ADVISOR: KRIRKCHAI DHANARAKS, 99 pp.

Effects of agro- industrial waste application on soil carbon sequestration and yields of oil palm was focus on oil palm age 6-7 years. The experimental design was randomized complete block (RCBD) with 4 replications and 6 treatments (control, chemical fertilizer, lutoid, wastewater sludge, oil palm pressed fiber and oil palm ash) applied at the rate 15 kg/palm. One experimental unit was 9 palms.

The results showed the application of ago-industrial waste into the soil at the rate 15 kg/palm resulted in carbon sequestration in organic carbon form 0.75-0.89% and increasing of nitrogen phosphorus and potassium content non significant different from that of fertilize. The applied of Lutoid mixed with oil palm pressed fiber and oil palm ash (4: 1: 1) effected on increasing organic matter within the requirement for growth of oil palm tree. Moreover, carbon sequestration increase within the soil was the highest at 0.15% and emit carbon dioxide at the least (4.51 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) significant different from the other treatments including fertilizer application ($p \leq 0.05$). In addition, oil palm yield from the said treatment (167.24 kg./palm/yr) was non significant different from that of fertilizer ($p \leq 0.05$).

That is to say, applied agro-industrial waste into the agricultural soil which carbon sequestration effected on the increased of oil palm production besides, emit carbondioxide non significant different from applied fertilizer can be an appropriate alternative for management of agro-industrial waste.

Field of Study: Environmental Science	Student's Signature ....
Academic Year: 2014	Advisor's Signature ....
	Co-Advisor's Signature ....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง “โครงการการจัดการของทิ้ง (waste) จากอุตสาหกรรมการเกษตร เพื่อการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่การเกษตร (CC720A)” ซึ่งเป็นโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ โดยมีรองศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ เป็นหัวหน้าโครงการ และได้ทุนอุดหนุนบางส่วนจากสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของรองศาสตราจารย์ ดร.อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้ความรู้ ให้ความเมตตาสั่งสอน รวมทั้งชี้แนะแนวคิดอันเป็นประโยชน์ทั้งในด้านการเรียนการศึกษาและการดำเนินชีวิต และอาจารย์เกริกชัย ธนรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำ ความรู้ในการปฏิบัติงาน และข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับปาล์มน้ำมัน อีกทั้งขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจอง ประทัตสุนทรสาร ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง ดร.กัลยา สุนทรวงศ์สกุล และอาจารย์ วิชณีย์ ออมทรัพย์สิน ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นที่มีค่า ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ ในห้องปฏิบัติการเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณอารีรักษ์ ทรัพย์มี คุณวิชิต โสพิกุล คุณราตรี ชนะคุ้ม คุณอุทุมพร เพชรรัตน์ คุณมณีรัตน์ ทองเรือง คุณอังคณา นาคทองกุล คุณวิชาญ หนูแดง ที่ให้คำแนะนำ ดูแล และชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณหลักสูตรสหสาขาภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ให้คำปรึกษา และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลภาคสนามมาโดยตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบคุณคุณพ่อแนะ คุณแม่น้ำฝน เจริญผล และคุณวิรัตน์ วงศ์รื่น ที่ได้ให้ความสนับสนุน และกำลังใจอยู่เคียงข้างเสมอมา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลงไม่ได้หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์ และคำแนะนำจากบุคคลหลายท่าน แม้นผู้เขียนมิได้เอ่ยนาม แต่ก็ขอขอบคุณยิ่งไว้ ณ ที่นี้ คุณอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมดที่กล่าวมาและประเทศชาติอันเป็นแผ่นดินเกิดของผู้เขียน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.... จ

กิตติกรรมประกาศ.... ฉ

สารบัญ.... ช

สารบัญตาราง.... 1

สารบัญภาพ 2

บทที่ 1 บทนำ 3

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 3

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.... 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 อุตสาหกรรมการเกษตร.... 6

2.2 วัฏจักรคาร์บอน.... 20

2.3 การกักเก็บคาร์บอนในดิน (soil carbon sequestration) 25

2.4 ปาล์มน้ำมัน 36

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.... 39

3.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.... 39

3.2 การวางแผนการศึกษาวิจัย.... 39

3.3 ขั้นตอนการศึกษา 40

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.... 43

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 44

4.1 สมบัติทางเคมีทั่วไปและปริมาณธาตุอาหารของของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร 44

4.2. สมบัติทางเคมีทั่วไปและปริมาณธาตุอาหารของดินก่อนเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร 49

หน้า

4.3 ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน 51

4.4 ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน................................. 60

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 67

5.1 สรุปผลการทดลอง.. 67

5.2 ข้อเสนอแนะ.. 69

รายการอ้างอิง 70

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2 . 1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกากขี้แป้ง (วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543) 8

ตารางที่ 3 . 1 ตำรับการทดลองในการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารและการ กักเก็บคาร์บอนโดยดิน 40

ตารางที่ 3 . 2 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์ 41

ตารางที่ 4 . 1 สมบัติทางเคมีของของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร 46

ตารางที่ 4 . 2 ปริมาณธาตุอาหารของของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร 48

ตารางที่ 4 . 3 สมบัติทางเคมีทั่วไปและปริมาณธาตุอาหารของดินก่อนเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร 50

ตารางที่ 4 . 4 อินทรีย์คาร์บอนในดินภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรและปัจจัย ที่เกี่ยวข้อง 52

ตารางที่ 4 . 5 คาร์บอนไดออกไซด์ภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรอุตสาหกรรมการเกษตรและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 55

ตารางที่ 4 . 6 ปริมาณการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากดินภายหลังการเติมของทิ้ง... 55

ตารางที่ 4 . 7 ปริมาณธาตุอาหารในดินภายหลังการเติมสิ่งของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร 61

ตารางที่ 4 . 8 ผลผลิตปาล์มน้ำมันหลังเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร 64

ตารางที่ 4 . 9 การเปรียบเทียบปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ตรวจวัด เมื่อ พ.ศ. 2555 (เกริกชัย ธนรักษ์., 2554).......... 65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2 . 1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)................................. 7

ภาพที่ 2 . 2 ขั้นตอนการผลิตยางแท่ง (สถาบันวิจัยยาง, 2553)....................................... 10

ภาพที่ 2 . 3 การหมุนเวียนและปริมาณการเก็บกักของคาร์บอนในแหล่งต่างๆของโลก (Sarmiento and Gruber, 2002).. 20

ภาพที่ 3 . 1 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากดินทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 06.00-18.00 นาฬิกา และช่วงเวลาที่เลือกเป็นตัวแทนของการวัดในแต่ละตำรับทดลอง ( )............. 42

ภาพที่ 4 . 1 เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินก่อนและหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร.. 53

ภาพที่ 4 . 2 เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากดินภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร 56

ภาพที่ 4 . 3 การปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากดินและปัจจัยที่เกี่ยวข้องขณะตรวจวัด 59

ภาพที่ 4 . 4 เปรียบเทียบความเป็นกรดเบสของดินก่อนและหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (global climate change) มีความรุนแรงมากขึ้น สาเหตุหนึ่งนั้นเกิดจากการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (greenhouse gas) จากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สมีเทน (CH_4) แก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งเกี่ยวข้องกับทรัพยากรดิน ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีพื้นที่ทางการเกษตร 152.33 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) ในปี พ.ศ. 2552 มีวัสดุเหลือใช้จากพืชทางการเกษตรประมาณ 60 ล้านตัน มาจากพืช 8 ชนิด คือ อ้อย, ข้าว, ปาล์มน้ำมัน, มะพร้าว, มันสำปะหลัง, ข้าวโพด และยางพารา (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) นอกจากนี้ของทิ้งจากอุตสาหกรรมการเกษตรที่เพิ่มขึ้นมีความหลากหลายตามประเภทของอุตสาหกรรม และยังนำไปใช้ประโยชน์ต่อเนื่องน้อยมาก การจัดการของทิ้งตามหลักการสากลให้ความสำคัญตาม หลักการ 3Rs เป็นอันดับแรก ได้แก่การลด การใช้ซ้ำ และการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ทั้งในรูปวัสดุและในรูปพลังงาน เมื่อทำตาม 3 Rs แล้ว จึงทำการบำบัดขั้นสุดท้าย ในขณะที่บางโรงงานกำจัดของทิ้งนี้โดยการกองทิ้งหรือนำไปฝังกลบ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2554) ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น และส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในเรื่องของการเพิ่มแก๊สเรือนกระจกและเกิดมลพิษทางดิน ทางน้ำและทางอากาศ ติดตามมา จากการศึกษาปริมาณกากอุตสาหกรรมที่ถูกนำไปฝังกลบของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งยังมีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น กากตะกอนเยื่อกระดาษ กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เถ้าหนัก หรือเถ้าลอยจากกระบวนการแปรรูปอาหาร และการเกษตรเป็นต้น โดยพบว่ามีสัดส่วนระหว่างปี 2549-2552 อยู่ระหว่าง ร้อยละ 7.1-10.0 ของปริมาณกากอุตสาหกรรมทั้งหมดที่ขออนุญาตนำออกนอกบริเวณโรงงานในแต่ละปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ของทิ้งจากภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตรมีการนำกลับมาใช้อีกครั้งเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ เช่น เป็นแหล่งเชื้อเพลิง ทั้งในรูปของแข็ง แก๊ส และเชื้อเพลิงเหลว เป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง วัสดุเพาะชำพืช วัสดุทดแทนไม้ ผลิตกระดาษ ทำปุ๋ยอินทรีย์ การใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อการเกษตร ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีการแก้ไขและจัดการของทิ้งที่เหมาะสมและเกิดคุณค่าแก่สภาพแวดล้อม โดยเฉพาะการเติมลงดินเพื่อการกักเก็บคาร์บอน เนื่องด้วยการกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration) ในดินของพื้นที่การเกษตรและป่าไม้ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่เป็นประโยชน์ในการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศอย่างมีประสิทธิภาพ และมีต้นทุนต่ำ (Lal, 2004) การลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจากวิธีดังกล่าว ช่วยเพิ่มการกักเก็บ

คาร์บอนในดินพร้อมกับเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร (Ecological Society of America, 2000) กระบวนการกักเก็บคาร์บอนในดินเริ่มจากคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศถูกเปลี่ยนมาอยู่ในพืชโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เกิดขึ้นได้ทั้งบนบกและในน้ำ เมื่อสิ่งมีชีวิตตายลงคาร์บอนเหล่านั้นจะหมุนเวียนลงสู่ดินอีกครั้งจากการย่อยสลายโดยธรรมชาติกลายเป็นอินทรียวัตถุในดิน อินทรียวัตถุมีส่วนประกอบเป็นอินทรีย์สารมากมายโดยมีอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักถึง 48-58% โดยน้ำหนัก (ปวรีน สุวรรณอินทร์, 2550) ซึ่งส่งผลให้ดินมีอินทรีย์คาร์บอนเพิ่มขึ้น

ปัจจุบันอุตสาหกรรมยางธรรมชาติและปาล์มน้ำมันเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าทางการเกษตร กล่าวคือ ประเทศไทยส่งออกยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลกและยางพาราเป็นสินค้าที่มีมูลค่าส่งออกมากเป็นอันดับ 4 ของสินค้าส่งออกทั้งหมดของประเทศ และประเทศไทยมีการผลิตน้ำมันปาล์มมากกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น ด้วยต้นทุนการผลิตน้ำมันต่อกิโลกรัมมีราคาถูกกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น ความต้องการใช้น้ำมันปาล์มในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งใช้เพื่อเป็นพืชอาหารและพืชพลังงาน โดยความต้องการใช้น้ำมันปาล์มในประเทศ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.13 ต่อปี (กรมวิชาการเกษตร, 2553)

กระบวนการผลิตยางแท่ง มักเกิดกากตะกอนน้ำเสียจากการบำบัดน้ำและเกิดกากขี้แป้งจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น ประเทศไทยมีกากตะกอนน้ำเสียที่ไม่มีสารอันตราย ประมาณ 210,000 ตัน ในกรณีโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐาน บริษัทยางไทยปักษ์ใต้ จ.นครศรีธรรมราช ก่อให้เกิดกากตะกอนน้ำเสียประมาณ 10 ตันต่อปี (กรมวิชาการเกษตร, 2552) ซึ่งกากตะกอนน้ำเสียมีปริมาณสารอินทรียวัตถุที่ช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของดินอยู่เป็นจำนวนมาก ช่วยเพิ่มความชื้นในดิน และเพิ่มกระบวนการเปลี่ยนและสะสมแร่ธาตุ (mineralization) โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ (ดวงสมร ตุลาพิทักษ์, เทพฤทธิ์ ตุลาพิทักษ์ และแก้วใจ อ้อชัยภูมิ, 2551, สัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู, 2551) นอกจากนี้อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางพารา ซึ่งประเทศไทยส่งออกสู่ตลาดโลกเป็นอันดับหนึ่ง มีผลผลิตน้ำยางข้นจำนวน 552,841 ตันน้ำยางแห้ง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552ก) เกิดกากขี้แป้งที่เป็นของทิ้งประมาณ 10,000 ตันต่อปี (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554) เมื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารพบว่า กากขี้แป้ง จากโรงงานผลิตน้ำยางข้น มีองค์ประกอบทางเคมีที่มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยมีศักยภาพในการเป็นแหล่งธาตุอาหาร และสามารถทดแทนปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมีได้อย่างเท่าเทียมหรือดีกว่า ซึ่งส่งผลให้มีปริมาณอินทรียวัตถุ ธาตุอาหารหลัก (N, P, K) และธาตุอาหารรอง (Ca, Mg, S) เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นยางชำถุง (คณาวุฒิ อินแก้ว และนฤมล ทิมทอง, 2554; อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, สุธน ช่วยเกิด และ สัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู, 2550) สำหรับของทิ้งจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันมีความหลากหลายและมีปริมาณมาก โดยร้อยละ 88.30 ของวัสดุอินทรีย์ได้มาจากปาล์มน้ำมัน หากสามารถนำของทิ้งจาก

ปาล์มน้ำมันมาใช้ให้เกิดประโยชน์จะเกิดคุณค่าสูงสุด (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ทางใบปาล์มและทะลายเปล่าปาล์มน้ำมัน สามารถผุสลายใน 6-12 เดือน มีสมบัติทางกายภาพที่ดี ช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุ ลดการพังทลายของดิน ช่วยปรับปรุงโครงสร้างดิน เพิ่มความชื้นและอุณหภูมิผิวดิน ให้ธาตุอาหารเพิ่มโดยเฉพาะไนโตรเจนและโพแทสเซียม (ฉกรรจ์ สังข์ทอง, 2542) เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมันสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิง เส้นใยปาล์มน้ำมันยังนำมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุเพาะกล้าปาล์มหรือใช้คลุมบริเวณผิวดินในถุงเพาะกล้าได้ ทั้งนี้หลังจากการหีบน้ำมันและเผา พบว่าผลผลิตปาล์มน้ำมัน 4 ตัน จะให้เถ้าทะลายปาล์ม 24 กิโลกรัม และหากใส่ขี้เถ้าทะลายปาล์มในปริมาณ 5 กิโลกรัมต่อต้น ทุกๆ 4-5 ปี จะให้ธาตุโพแทสเซียมและช่วยลดความเป็นกรดเบสในดิน (ฉกรรจ์ สังข์ทอง, 2542; นคร สารคุณ, สมยศ สินธุรหัส และ สุทัศน์ ด่านสกุลผล, 2541)

ในขณะที่ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่มาจากการขยายพื้นที่การปลูกแต่ไม่ได้เพิ่มจากการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตด้วยการเพิ่มผลผลิตต่อไร่ ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมและการขาดแคลนธาตุอาหารในดิน รวมทั้งเกษตรกรขาดเงินทุนในการซื้อปุ๋ย เพราะการปลูกสร้างสวนยางพาราและปาล์มน้ำมันมีต้นทุนสูง และมีปจจัยเสี่ยงคือค่าปุ๋ยเคมีซึ่งคิดเปนร้อยละ 40 และ ร้อยละ 53.22 ของคาใช่จายทั้งหมดตามลําดับ (ประภาส ทรงหงษา., 2553) ในปี 2554 ราคานำเข้าปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต และยูเรีย ราคา 5,547 และ 12,508 บาทต่อตัน ซึ่งเป็นราคาที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปริมาณที่ต้องใช้ต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นการนำของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรซึ่งเป็นอินทรีย์สารเติมลงดินเป็นวัสดุปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดิน เกิดประโยชน์ต่อการเติบโตของพืช อีกทั้งสามารถกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจและเกิดประโยชน์ทั้งในแง่ของการนำของทิ้งกลับมาใช้ใหม่เพื่อประโยชน์สูงสุดเป็นแหล่งธาตุอาหาร ช่วยลดต้นทุนการซื้อปุ๋ยของเกษตรกร อีกทั้งกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาโลกร้อน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในดินภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรลงดินสวนปาล์มน้ำมัน

1.2.2 เพื่อศึกษาผลผลิตของปาล์มน้ำมันภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรลงดินสวนปาล์มน้ำมัน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมการเกษตร

อุตสาหกรรมการเกษตรเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบทางการเกษตร มีความสำคัญมากในการพัฒนาประเทศ ซึ่งปัจจุบันอุตสาหกรรมการเกษตรที่ใช้วัตถุดิบทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก กระจายตัวทางภาคใต้ของไทยเป็นหลัก คือ อุตสาหกรรมยางพาราและอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน

2.1.1 อุตสาหกรรมยางพารา

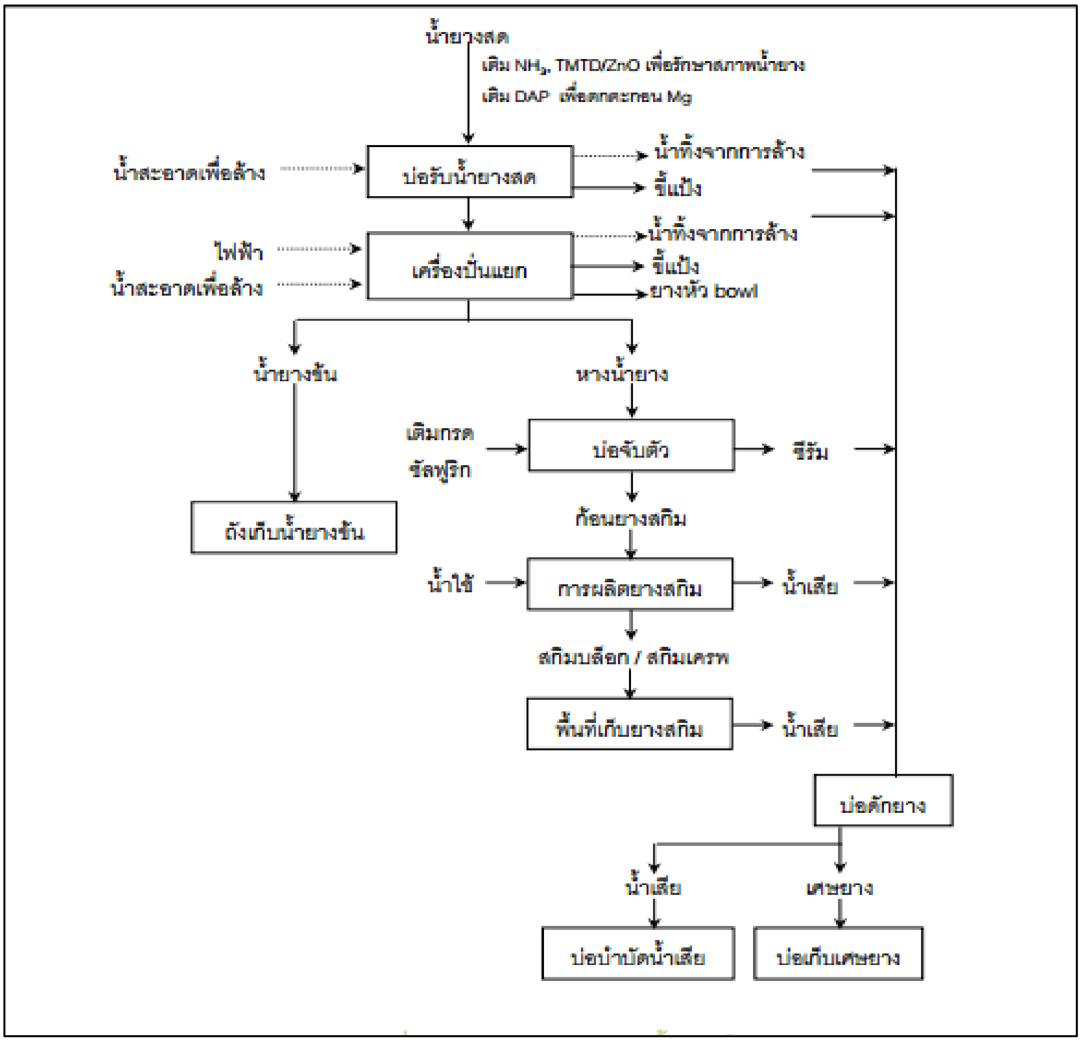
ยางพาราเปนพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศ ประเทศไทยนับวาเปนประเทศผูผลิตและมีการสงออกยางธรรมชาติเปนจำนวนมาก โดยผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่มีการสงออกไดแก ยางแผนรมควัน ยางแทงมาตรฐาน และน้ำยางขน เปนตน อุตสาหกรรมจากยางพาราเปนอุตสาหกรรมที่มีการแขงขันสูงในตลาดทั้งในประเทศและตางประเทศ ซึ่งที่สำคัญไดแกอุตสาหกรรมน้ำยางขนเปนการแปรรูปน้ำยางสดใหเปนน้ำยางขนเพื่อเปนวัตถุดิบในอุตสาหกรรมตอเนื่องอื่นๆ เชน ถุงมือยาง ยางรถยนต เปนตน (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

2.1.1.1 อุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น

สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางพารา ในปี 2553 ประเทศไทยส่งออกน้ำยางข้น 540,000 ตัน ซึ่งมีมูลค่าการส่งออก 44,073 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) น้ำยางสดมีลักษณะเป็นของเหลวขุ่นคล้ายน้ำนม มีอนุภาคขนาด 0.05-0.5 ไมครอน ส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำยางสดสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางร้อยละ 35 และส่วนที่ไม่ใช่ยางร้อยละ 65 แบ่งเป็นส่วนที่เป็นน้ำร้อยละ 55 และส่วนของขี้แป้งและสารอื่นร้อยละ 10 (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2543) น้ำยางสดมีปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) ร้อยละ 25-45 จึงต้องนำมาแปรรูปให้อยู่ในรูปของน้ำยางข้น ให้มีปริมาณเนื้อยางแห้งไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 เพื่อให้เหมาะแก่การเป็นวัตถุดิบและมีคุณภาพสม่ำเสมอกว่าน้ำยางสด การผลิตน้ำยางขนสามารถทำได้ 4 วิธี คือวิธีระเหยดวยน้ำ (evaporation) วิธีทำใหเกิดครีม (creaming) วิธีปั่นแยก (centrifuging) และวิธีแยกดวยไฟฟา (electrodecantation) ซึ่งวิธีที่ใชในการผลิตน้ำยางขนในประเทศไทย ใชวิธีการปนแยกดวยเครื่องปนความเร็วสูงและมีรายละเอียดการผลิต แสดงดังภาพที่ 2 . 1 มีการเติมสารเคมีคือ แอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ของน้ำยางทั้งหมด

และTMTD/ZnO ร้อยละ 0.025 ของน้ำยางทั้งหมด เพื่อรักษาสภาพน้ำยางสดจากแบคทีเรียที่มีอยู่ในบรรยากาศหรือตาเปลือกของต้นยาง (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2543) และปรับสภาพด้วย diammonium hydrogen phosphate (DAP) เพื่อตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสด ตกตะกอนเป็นตม (sludge) สีน้ำตาลและสีขาวแยกออกจากเนื้อยางดังสมการ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

$$Mg^2 + NH_3 + HPO^24 \longrightarrow MgNH_4PO_4$$



ภาพที่ 2 . 1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ปริมาณการใช้ DAP ขึ้นอยู่กับปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสด กระบวนการผลิตก่อให้เกิดน้ำเสีย ปัญหากลิ่นเหม็นจากระบบบำบัดกลิ่นแอมโมเนีย และของเสียของแข็งที่ไม่อยู่ในรูปเนื้อยาง หรือที่เรียกว่า กากขี้แป้ง ซึ่งเป็นของแข็งที่เป็นส่วนประกอบในน้ำยางสดเมื่อถูกนำไปทำให้แห้งจะมีลักษณะเป็นผงคล้ายผงแป้งจึงนิยมเรียกกันว่า “ขี้แป้ง” เกิดจากการตกตะกอนของแมกนีเซียมในน้ำยางข้นมีลักษณะเป็นตม สีขาวหรือเหลืองอ่อน มีแมกนีเซียม

และฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ถือเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญทางภาคใต้ของประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2548, สัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู, 2551) แอมโมเนียเป็นสารเคมีสำคัญที่กีดขวางการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปะปนในน้ำยางสด พิจารณาสภาพน้ำยางได้จากการเพิ่มขึ้นของจำนวนกรดไขมันระเหย (volatile fatly acid) ซึ่งจะบ่งชี้สภาวะการเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำยาง แต่การใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถป้องกันการเพิ่มจำนวนกรดไขมันระเหยในระยะยาวได้ ดังนั้นจึงต้องการสารเคมีซึ่งเป็น secondary preservation เช่น ZnO, tetra methyl thiuran disulphide (TMTD) เป็นต้น ร่วมกับแอมโมเนีย (กรมวิชาการเกษตร, 2531)

กากของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น เกิดขึ้นประมาณ 0.7-500 ตันต่อเดือน หรือคิดเป็นอัตราการเกิดขี้แป้งต่อน้ำยางข้นที่ผลิตขึ้นได้ในสัดส่วน 0.6-50 กิโลกรัมกากขี้แป้งต่อตันน้ำยางข้น ประเทศไทยมีกำลังการผลิตน้ำยางข้นสูงสุดเป็นอันดับหนึ่งของโลก ก่อให้เกิดกากขี้แป้งมากถึงประมาณ 10,000 ตันต่อปี (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2554) ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีดังตารางที่ 2 . 1 โรงงานส่วนใหญ่มักกำจัดของเสียที่มีความชื้นสูงนี้โดยการนำไปทิ้ง เผา หรือนำไปถมที่ ไม่เพียงแต่เป็นการเพิ่มรายจ่ายในการจัดซื้อที่ดินมากขึ้นเรื่อยๆ ยังส่งผลเสียต่อภาพลักษณ์ของโรงงานและเกิดปัญหาต่อบริเวณใกล้เคียง ในปัจจุบันได้มีบางโรงงานนำไปทำเป็นปุ๋ยสำหรับสวนปาล์มน้ำมัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2548: ปนัดดา คำรัตน์, 2545)

ตารางที่ 2 . 1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของกากขี้แป้ง (วราศรี เถกประสิทธิ์, 2543)

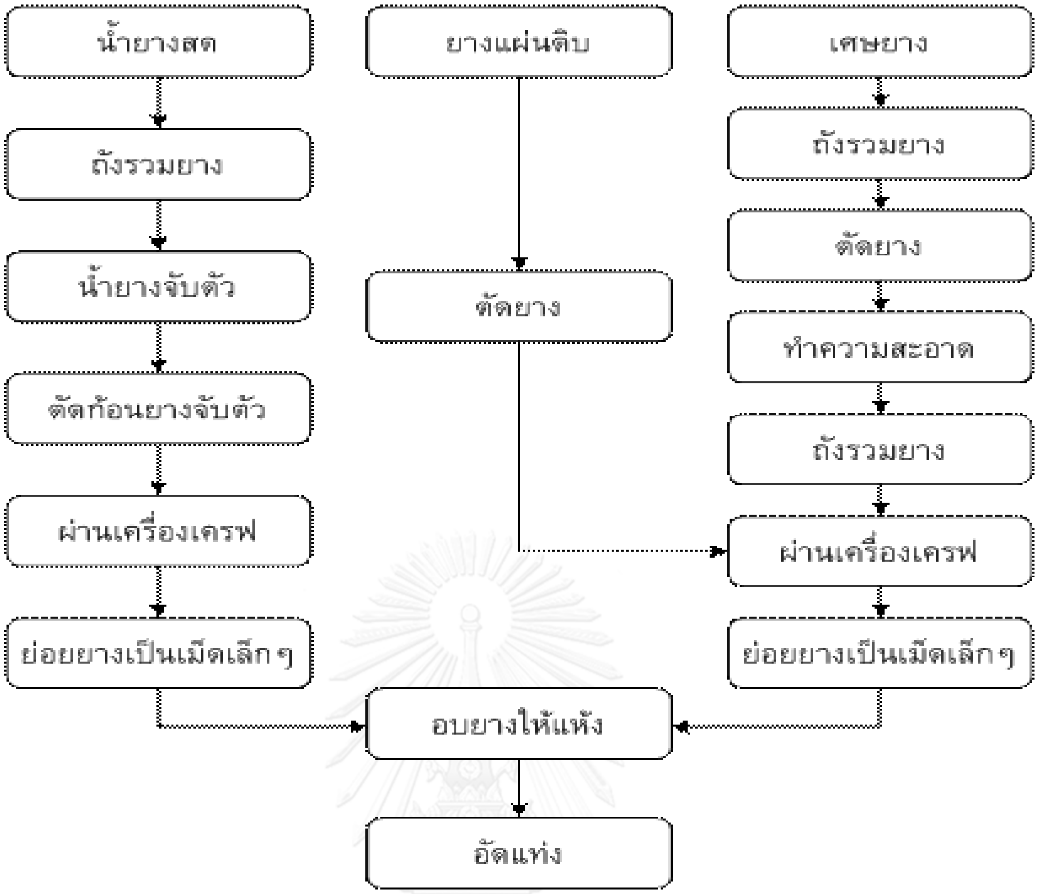
ลักษณะ	กากขี้แป้ง	
	ถังพักน้ำยาง	เครื่องปั่นยาง
ความชื้น(%)	63.72	58.40
ของแข็งระเหยได้ (% น้ำหนักแห้ง)	51.11	57.09
ไนโตรเจน (N, %น้ำหนักแห้ง)	1.91	2.30
ฟอสฟอรัส (P_2O5, % น้ำหนักแห้ง)	19.50	21.69
โพแตสเซียม (K_2O, % น้ำหนักแห้ง)	1.79	2.11
แมกนีเซี่ยม (Mg, % น้ำหนักแห้ง)	6.69	6.18
สังกะสี (Zn, % น้ำหนักแห้ง)	0.71	0.81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับบริษัทอินเตอร์รับเบอร์ลาแท็กซ์ จำกัด ตั้งอยู่ที่อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีปริมาณกากขี้แป้งเกิดขึ้นโดยเฉลี่ย 5,678 กิโลกรัม/วัน จากกำลังการผลิตประมาณ 1,667 ตัน/วัน เทียบได้เท่ากับ 3.34 กิโลกรัมกากขี้แป้ง/ตันน้ำยางข้น (กรมวิชาการเกษตร, 2552 ;ปนัดดา คำรัตน์, 2545) เมื่อศึกษาสมบัติของกากขี้แป้ง พบว่ามีปริมาณธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืช สามารถนำไปใช้ประโยชนในการทำปุยหรือเปนวัสดุปรับปรุงดินเพื่อชวยปรับสภาพใหดินมีคากรดเบสเปนกลาง (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

2.1.1.2 อุตสาหกรรมยางแท่ง

อุตสาหกรรมผลิตยางแท่งมาตรฐาน (STR, standard thailand rubber หรือ block rubber) เป็นอุตสาหกรรมแปรรูปยางพาราที่สำคัญเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ยางต่อไป ยางแท่งมาตรฐานเป็นการแปรรูปน้ำยางสดเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานและขนส่ง จากสถิติการส่งออกยางแท่งมาตรฐานปี 2553 ส่งออกได้ประมาณ 930,000 ล้านตัน มีมูลค่าประมาณ 96,600 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) ยางแท่งมาตรฐานเป็นที่ต้องการเนื่องจากคุณภาพสม่ำเสมอกว่ายางแผ่นรมควัน ผ่านการรับรองและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ กระบวนการผลิตยางแท่งมาตรฐานในประเทศไทยยังใช้วิธีดั้งเดิม คืออบยางให้แห้งด้วยเตาอบความร้อน (hot air) วัตถุดิบที่ใช้ ใช้ได้ทั้งน้ำยางสดที่ต้องทำให้จับตัวก่อนและยางแห้งที่จับตัวแล้ว เช่น ยางแผ่นดิบยางก้อน ยางถ้วย เศษยางก้นถ้วยและเศษยางอื่นๆ ขั้นตอนที่สำคัญในการผลิต คือ ตัดย่อยยางดิบให้เป็นชิ้นเล็กๆอย่างรวดเร็ว ล้าง อบให้แห้งและอัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาด 33.3 กิโลกรัม กระบวนการผลิตยางแท่งมาตรฐานแสดง (ภาพที่ 2 . 2) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแท่ง มี 2 อย่าง คือ ผลิตจากน้ำยางสดและจากยางแห้ง (ยางแผ่นดิบและขี้ยาง) ถ้าผลิตจากน้ำยางสดจะได้ยางแท่งที่มีคุณภาพดี ส่วนการผลิตจากยางแห้งจะได้ยางแท่งที่มีสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ ซึ่งยางแท่งจะถูกแบ่งเป็นชั้นๆ ตามระดับของคุณภาพได้ทั้งหมด 5 ระดับการผลิตยางแท่งของไทย ส่วนใหญ่ใช้ยางดิบเป็นวัตถุดิบ โดยมีขั้นตอนจากการตัดยางดิบให้เป็นชิ้นเล็กๆ ล้าง อบแห้ง และอัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมให้ได้ขนาดตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้



ภาพที่ 2 . 2 ขั้นตอนการผลิตยางแท่ง (สถาบันวิจัยยาง, 2553)

อุตสาหกรรมยางแท่งมีแนวโน้มการผลิตมีปริมาณเพิ่มขึ้นโดยตลอด ทำให้มีน้ำเสียจากกระบวนการทางการผลิต การล้างทำความสะอาด ฯลฯ ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาซึ่งเกิดกากตะกอนน้ำเสีย (sludge) เป็นจำนวนมากและจะต้องบำบัดก่อนที่จะนำไปกำจัดต่อไป วิธีนี้เป็นกระบวนการที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายประเภท ลักษณะทางกายภาพของกากตะกอนน้ำเสียอยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ หากยังอยู่ในรูปที่ไม่คงตัวจะมีกลิ่นเหม็น เกิดแก๊สและความร้อนจากการย่อยสลายกากตะกอนน้ำเสียของจุลินทรีย์ สำหรับองค์ประกอบทางเคมีจะขึ้นอยู่กับประเภทของโรงงาน ความซับซ้อนของกระบวนการผลิต กระบวนการบำบัดน้ำเสียและการบำบัดตะกอน (ดาวรุ่ง สังข์ทอง, 2539 ; EC, 2000)

ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมคือ ระบบบำบัดแบบเติมอากาศและไร้อากาศ แต่ปัจจุบันเน้นการประยุกต์เพื่อลดปริมาณน้ำและความเป็นพิษ (EC, 2000) ผลการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐานด้วยกระบวนการชีวภาพโดยใช้ระบบเติมอากาศและระบบบ่อธรรมชาติ พบว่า น้ำเสียจากบ่อบำบัดอากาศมีภาระ BOD ของบ่อบำบัดสูงถึง 206 กิโลกรัม ต่อ1,000 ตร.ม

ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD ร้อยละ 55.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอยร้อยละ 25.2 และมีแอมโมเนียไนโตรเจนร้อยละ 25.1 น้ำเสียจากบ่อบำบัดสุดท้ายอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำเสีย และต้องทำการลดปริมาณของแข็งแขวนลอยก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด (ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล และคณะ, 2545) ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ระบบบำบัดรับเข้ามา เหมาะสมต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ทำให้ได้ตะกอนซึ่งประกอบด้วยตะกอนจุลชีพกับตะกอนอินทรีย์สาร การบำบัดกากตะกอนน้ำเสียสามารถทำได้หลายวิธี ในปัจจุบันนิยมใช้กระบวนการอบร้อนแห้ง (sludge thermal-drying) เป็นวิธีหนึ่งที่ลดปริมาณน้ำและจุลินทรีย์ก่อโรคได้ดี ดังนั้นจึงช่วยลดค่าขนส่งและมั่นใจได้ว่าปลอดภัยจากการเสี่ยงเรื่องแพร่กระจายเชื้อโรคสู่สิ่งแวดล้อม รวมทั้งง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้ (ชัชชาย แจ่มใส และจักรกฤษณ์ หอมจันทร์, 2554; Dai et at ., 2007; Ramirez et al, 2008; Walter et at,2006)

กรณีโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐาน บริษัทยางไทยปักษ์ใต้ จังหวัดนครศรีธรรมราช มีกำลังการผลิต 3,000 ตัน/เดือน ทำให้เกิดกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียประมาณ 10 ตันต่อเดือน (กรมวิชาการเกษตร, 2552) แนวโน้มเพิ่มปริมาณมากขึ้น จึงได้หาทางเลือกใหม่สำหรับการใช้ประโยชน์จากกากตะกอนน้ำเสีย วิธีที่มีความยืดหยุ่นสูงในทางปฏิบัติ คือนำมาทดแทนปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ หรือเป็นวัสดุปรับปรุงดิน กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐานมีค่าความเป็นกรดเบสเฉลี่ย 6.7 ขนาดของกากตะกอนน้ำเสียอยู่ในช่วง 0.3-0.5 มิลลิเมตร อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่า 270:1–390:1 (ศิรินทรา วันดี และ ธนิยา เกาศล, 2551) เห็นได้ว่ากากตะกอนน้ำเสียของโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐานมีปริมาณคาร์บอนสูง จำเป็นต้องเติมปุ๋ยไนโตรเจนหรือหมักกับเศษพืชก่อนนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ดังนั้น กากตะกอนน้ำเสียจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มธาตุอาหารแก่พืชทางการเกษตรได้ อีกทั้งยังสามารถลดปัญหาของเสียทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งก่อนนำไปใช้ควรทำให้กากตะกอนมีความคงตัวก่อน (stable) เพื่อป้องกันการเกิดสภาพมลภาวะ กลิ่นไม่พึงประสงค์หรือความเสียงจากจุลินทรีย์ ดังนั้นกากตะกอนน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร (land application) จึงเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง (Dai et at., 2007; EC , 2000; Ramirez et at., 2008)

2.1.2 อุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นหนึ่งในพืชที่มีศักยภาพและอยู่ในความสนใจของผู้ปลูกและผู้ประกอบการกิจการอุตสาหกรรมน้ำมัน เนื่องจากเป็นพืชน้ำมันที่มีแนวโน้มการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตน้ำมันปาล์มเป็นลำดับที่ 3 ของโลก รองจากอินโดนีเซียและมาเลเซีย และมีแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้า ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากที่ภาครัฐได้เร่งผลักดันให้เกษตรกรขยายพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน และเพิ่มผลผลิต เพื่อรองรับกับ

ยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนร้อยละ 25 ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555–2564) ซึ่งมีเป้าหมายในการทดแทนน้ำมันดีเซลฟอสซิลให้ได้ 5.97 ล้านลิตรต่อวัน ภายในปี 2564 (วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา, 2556)

2.1.2.1 ศักยภาพการปลูกปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้น ที่สามารถให้ผลผลิตน้ำมันมากกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ จากการสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ในปี พ.ศ. 2548 พบว่า ประเทศที่มีพื้นที่ให้ผลผลิตมากเป็นอันดับ 1 คือ มาเลเซีย รองลงมาคือ อินโดนีเซีย ไนจีเรีย ไทยและโคลัมเบีย และเมื่อเปรียบเทียบศักยภาพของปาล์มน้ำมันในการให้ผลผลิต/ไร่ พบว่า มาเลเซียสามารถให้ผลผลิต/ไร่ได้สูงสุด 3.3 ตัน/ไร่/ปี ทั้งนี้เนื่องจากสภาพพื้นที่และปริมาณน้ำฝนที่เอื้ออำนวยต่อการผลิตปาล์มน้ำมัน และประเทศที่ให้ผลผลิตรองลงมาคือ อินโดนีเซียและไทย และในปี 2550 พบว่า อินโดนีเซียกลายเป็นประเทศที่มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันมากเป็นอันดับ 1 ของโลกและสามารถผลิตปาล์มน้ำมันได้สูงเป็นอันดับ 1 เช่นกัน สำหรับประเทศไทยในปี 2553 ประเทศไทยมีผลผลิตปาล์มน้ำมัน ประมาณ 0.82 ล้านตัน คิดเป็น 2.3 ตัน/ไร่ โดยมีสัดส่วนเพื่อการบริโภค 0.87 ล้านตัน และไบโอดีเซล 0.38 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) และในปี 2555 ประเทศไทยผลิตน้ำมันปาล์มดิบ ถึง 1.93 ล้านตัน พบว่า การใช้น้ำมันปาล์มภายในประเทศ เพื่อบริโภค 1.00 ล้านตัน ผลิตไบโอดีเซล 0.62 ล้านตัน เก็บสต็อก 0.34 ล้านตัน มีการส่งออกนอกปริมาณ 0.412 ล้านตัน ซึ่งมีมูลค่าถึง 13,956 ล้านบาท (สำนักงานส่งเสริมสินค้าการเกษตร, 2557) แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตและความต้องการใช้ทั้งด้านอุปโภคบริโภคเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆปี ในปริมาณที่ไทยสามารถผลิตปาล์มน้ำมันได้ทั้งหมด จะนำส่งออกสู่ตลาดโลก ร้อยละ 25 ตลาดส่งออกน้ำมันปาล์มที่สำคัญของไทย คือ จีน อินเดีย EU

ผลผลิตปาล์มน้ำมันรายจังหวัดในภาคใต้ ปี 2553 แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ให้ผลผลิตรวมทั้งประเทศ มีถึง 3,637,536 ไร่ และมีพื้นที่ทางภาคใต้ทั้งหมด 3,221,007 ไร่ โดยจังหวัดกระบี่มีพื้นที่ให้ผลผลิตปาล์มมากที่สุด ถึง 959,202 ไร่ รองลงมาคือ จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีพื้นที่ให้ผลผลิตถึง 911,706 ไร่ มีผลผลิตรวมทั้งประเทศถึง 9.23 ล้านตัน อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่กำลังเพิ่มความสำคัญในปัจจุบัน นอกจากความสำคัญในแง่เป็นวัตถุดิบพื้นฐานในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกสำหรับนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซล ในสภาวะที่ประเทศไทยต้องการแหล่งพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูงและมีความยั่งยืน เพื่อความมั่นคงทางพลังงานของประเทศ เนื่องจากเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันทุกชนิด ในขณะเดียวกัน ก็เป็นอุตสาหกรรมที่อาจสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.1.2.2 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม

หลังจากการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมัน จะมีการขนส่งผลผลิตเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมที่สกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีกระบวนการสกัดน้ำมัน 2 แบบ คือ แบบมาตรฐาน (หีบน้ำมันแยก) และแบบหีบน้ำมันผสม โดยโรงงานอุตสาหกรรมที่สกัดน้ำมันแบบมาตรฐานจะเป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตสูง ประมาณ 30 ถึง 80 ตันต่อชั่วโมง และน้ำมันที่ได้จัดเป็นน้ำมันคุณภาพระดับเกรดเอ เนื่องจากมีการแยกชนิดของน้ำมันปาล์ม สำหรับโรงงานที่สกัดน้ำมันแบบหีบน้ำมันผสม จะเป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตค่อนข้างต่ำ และน้ำมันที่สกัดได้จะเป็นน้ำมันที่มีส่วนผสมระหว่างน้ำมันปาล์มจากเปลือกและน้ำมันจากเมล็ดในปาล์ม ดังนั้นจะกล่าวถึงวิธีการสกัดน้ำมันแบบที่นิยมใช้โดยทั่วไปตามมาตรฐาน ประกอบด้วย 4 กระบวนการหลักคือ

1) การอบทะลายปาล์มน้ำมันด้วยไอน้ำ (sterilization) เพื่อช่วยหยุดปฏิกิริยาไลโปไลซิส ซึ่งทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมัน และช่วยให้ผลปาล์มน้ำมันอ่อนนุ่มหลุดจากขั้วได้ง่าย โดยอบที่อุณหภูมิ 130-135°c ความดัน 2.5-3 bars นาน 50-75 นาที

2) การแยกผล (stripping) เป็นการแยกผลปาล์มน้ำมันออกจากทะลายปาล์มน้ำมัน ทะลายเปล่าจะถูกแยกออกไป ส่วนผลจะถูกย่อย เพื่อให้ส่วนเปลือกแยกออกจากเมล็ด

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

4) การทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (clarification) เป็นการแยกน้ำและของแข็งออกจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ถังกรอง แล้วส่งเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อไล่น้ำและทำความสะอาดอีกครั้ง และเก็บน้ำมันปาล์มดิบที่ได้เพื่อรอการกลั่นหรือจำหน่ายต่อไป ลักษณะของน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนบนมีสีส้มแดง (crude palm oil) ประมาณร้อยละ 30-50 และส่วนล่างมีเหลืองส้ม (crude palm oil stearin) ประมาณร้อยละ 50-70 ส่วนกากผลปาล์มน้ำมันจะถูกแยกเส้นใยปาล์มน้ำมันออกจากเมล็ด แล้วนำเมล็ดที่ได้มาอบแห้งเพื่อนำเข้าเครื่องกะเทาะแยกกะลาปาล์มน้ำมัน (shell) ออก จากนั้นอบแห้งเมล็ดใน (kenel) ให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 เพื่อรอจำหน่ายหรือหีบน้ำมันต่อไป (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2555)

2.1.2.3 การผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

โรงงานไบโอดีเซลใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นวัตถุดิบวันละ 10.6 ตัน เพื่อผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยมีแผนการผลิต เดือนละ 25 วัน (300 วันต่อปี) สามารถผลิตไบโอดีเซลได้

เดือนละ 250,000 ลิตร (3,000,000 ล้านลิตรต่อปี) สามารถผลิตกลีเซอรอลบริสุทธิ์ได้เดือนละ 17,500 กิโลกรัม (210,000 กิโลกรัมต่อปี)

1). กระบวนการเตรียมและปรับสภาพน้ำมันปาล์มดิบ (pre-treatment process) เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบที่ได้มาจากโรงงานสกัด (mill) ประกอบด้วยสารไม่พึงประสงค์ต่อการผลิตไบโอดีเซล เช่น phospholipids, lecithin, กรดไขมันอิสระ เป็นต้น อีกทั้งสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของน้ำมันปาล์มดิบ เช่น ความชื้น ยางเหนียว ไข กลิ่น สี เป็นต้น จะเป็นปัญหาและอุปสรรคต่อการผลิตไบโอดีเซล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำจัดออกและปรับสภาพก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตในลำดับต่อไป ยางเหนียวและสีของน้ำมันปาล์มดิบจะถูกแยกจากน้ำมันปาล์มดิบโดยการเติม phosphoric acid และ bleaching earth เข้าไปในกระบวนการ และคัดแยกออกมาโดยเครื่องแยกแรงเหวี่ยงสูง หลังจากนั้นน้ำมันที่ไม่มียางเหนียวจะถูกนำไปผ่านกระบวนการแยกกรดไขมันอิสระและน้ำที่ปนอยู่ออกไป โดยวิธีการระเหยและควบแน่น เพื่อเป็นวัตถุดิบตั้งต้น สำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลต่อไป (ชุมพรอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน, 2555)

2) กระบวนการผลิตไบโอดีเซล (transesterification process) “ไบโอดีเซล” เป็นชื่อเรียกเชื้อเพลิงที่เป็นสารเอสเตอร์ (ester) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับเมทานอลหรือเอทานอล ปฏิกิริยาเคมีดังกล่าว เรียกว่า “trans esterification” และได้กลีเซอลีนเป็นผลพลอยได้

น้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพแล้วจะถูกปั๊มผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยากับเมทานอลและสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะถูกนำมาผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสมตามการออกแบบ หลังจากการเกิดปฏิกิริยาเสร็จสิ้นแล้ว น้ำมันปาล์มจะถูกทำให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง และผสมอยู่กับเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตผลที่ได้จะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการคัดแยกสารต่างๆ ออกจากสารเมทิลเอสเตอร์ โดยการผ่านเครื่องคัดแยก (separator) เมทิลเอสเตอร์ที่ได้จะถูกนำไปผ่านขั้นตอนของการทำความสะอาดและกำจัดน้ำออก และจะกลายเป็นน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก และสามารถที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้จากกระบวนการดังกล่าว และมีสารที่เกิดจากการผสมระหว่างเมทานอลกับสารละลายกลีเซอรีน ออกจากขั้นตอนการผลิตซึ่งจะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการคัดแยกต่อไป

3) สมบัติของไบโอดีเซล ไบโอดีเซลที่ได้จากการกลั่นจะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้โดยตรง เพราะเป็นเชื้อเพลิงสะอาด ความไวไฟต่ำกว่า จึงสะดวกและปลอดภัยในการเก็บ การบรรจุและการขนส่ง มีการสลายตัวง่ายกว่าหากมีการรั่วไหลออกสู่ธรรมชาติ (biodegradeble) และไม่เป็นพิษ (non-toxic) รวมทั้งไอเสียจากการเผา

ไหม้จะมีมลพิษน้อยกว่าน้ำมันดีเซล โดยมีเขม่ากลิ่นฉุนและควันดำน้อยกว่ามาก ทำให้การกัดกร่อนอุปกรณ์ของเครื่องยนต์เกิดการสึกหรอน้อยลงไปด้วย มาตรฐานของไบโอดีเซลที่ได้จากการผลิตนั้นจะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตของผู้ผลิต คุณสมบัติของไบโอดีเซลที่คาดว่าจะผลิตได้นั้น จะเป็นไปตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป และประเทศเยอรมัน ได้แก่ ASTM D 6751 EN 14214 และ DIN E 51606 ตามลำดับ โดยจะไม่ส่งผลกระทบต่อการนำไปใช้งานจริง และเมื่อผสมกับน้ำมันดีเซลปกติในสัดส่วนร้อยละ 10 ขึ้นไป (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2555

2.1.3 ผลกระทบจากของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

อุตสาหกรรมในประเทศไทยมีการใช้น้ำประมาณ 2 พันล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี และมีโรงงานที่อาจก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำจำนวนมากขึ้นทุกปี ทั้งนี้พบว่า โรงงานอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสียในระดับรุนแรงนั้น ส่วนใหญ่แล้วเป็นอุตสาหกรรมการเกษตร อันได้แก่อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางเกษตรกรรม เป็นต้น (กระทรวงพลังงาน, 2557)

2.1.3.1 ผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอุตสาหกรรมอาหารและแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรหลากหลายประเภทได้แก่ อุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารผักและผลไม้ อุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม อุตสาหกรรมผลิตแอลกอฮอล์จากอ้อยและกากน้ำตาล อุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตผลจากข้าวและมันสำปะหลัง อุตสาหกรรมเหล่านี้ส่วนใหญ่มีปริมาณการใช้น้ำและพลังงานในกระบวนการผลิตค่อนข้างสูง น้ำเสียหรือของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจึงมีปริมาณมากและความสกปรกที่มีสารอินทรีย์อยู่สูง ซึ่งต้องได้รับการจัดการที่ถูกต้อง โดยที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศต่างๆ รวมถึงความปลอดภัยต่อมนุษย์ นับวันของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมภายในประเทศจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ประกอบกับความเข้มงวดของมาตรการทางด้านสิ่งแวดล้อมที่มีการควบคุมและบังคับ ได้ทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีวิธีการจัดการและบำบัดของเสียดังกล่าวอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด ในแต่ละปปริมาณกากของเสียอุตสาหกรรมที่เปนของเสียรวมทั้งประเทศมี 10,243,396 ตันตอป ประกอบไปดวยกากของเสียที่เปนอันตราย 1,558,743 ตันตอปี และกากของเสียที่ไมเปนอันตราย 8,684,653 ตันตอป (ศูนยบริการขอมูล PIC สิ่งแวดลอมอุตสาหกรรม, 2550) ถาไมมีการจัดการที่ดีพอของเสียที่เกิดขึ้น จะกอใหเกิดผลกระทบตอสิ่งแวดลอม ทั้งสารโลหะหนักและน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมที่เกี่ยวของกับมันสำปะหลัง เชน การผลิตกรดซิตริกการผลิตแปงมันสำปะหลัง ซึ่งมันสำปะหลังเปนวัตถุดิบที่ใชในการผลิตซึ่งเมื่อสิ้นสุดการผลิตจะมี ปริมาณกากของเสีย

ปริมาณสูงมากซึ่งยากตอการจัดการซึ่งในมันสำปะหลังมีสาร cyanoglucosides ซึ่งถูกสังเคราะหขึ้นในใบและในเนื้อเยื่อของพืชรวมทั้ง รากมันสำปะหลังดวย โดยจะสะสมในใบ และหัว ซึ่งเมื่อผานกระบวนการผลิตเปนแปงมันจะยังคงมีการปนเปอนสารไซยาไนดซึ่งสารไซยาไนดเปนที่รูจักกันทั่วไปวาเปนตัวยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในรางกายของสิ่งมีชีวิต โดยสารไซยาไนดจะปนเปอนออกมากับน้ำทิ้งและกากของเสียซึ่งคามาตรฐานน้ำทิ้งของประเทศสวิตเซอรแลนดและประเทศเยอรมันไดกำหนดคาความเขมขนของสารไซยาไนดที่ยอมใหมีในแหลงน้ำไดเทากับ 0.01 ppm (mg/l) และมาตรฐานน้ำทิ้งที่โรงงานสามารถปลอยลงสูทอน้ำทิ้งเทากับ 0.5 ppm (mg/l) (Basheer et al., 1992)

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมานี้ประเทศไทยได้ประสบกับมลภาวะการเน่าเสียของน้ำและอากาศที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร ก็ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอย่างมากมาย ดังเช่น ในปี 2534 - 2535 ได้เกิดกรณีโรงงานน้ำตาลได้ปล่อยน้ำเสีย (กากน้ำตาล) ลงสู่แม่น้ำชี ในจังหวัดขอนแก่น มหาสารคาม ทำให้ปลาตายจำนวนมาก จนเกิดกรณีการร้องเรียนของประชาชนต่อรัฐบาลที่เป็นฝ่ายควบคุมโรงงานดังกล่าวในปี 2536 เกิดกรณีการปล่อยน้ำเสียของโรงงานทำกระดาษฟินิกส์ที่จังหวัดขอนแก่น ลงสู่แม่น้ำ ทำให้เกิดอันตรายต่อปลาและสัตว์อื่น เป็นต้น เหตุการณ์เน่าเสียของน้ำในลำน้ำพอง ชี และมูล อันเนื่องมาจากโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดขอนแก่น ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล และโรงงานผลิตเยื่อกระดาษจากชานอ้อยได้ปล่อยน้ำเสีย และสารโบลาสเข้มข้นลงในลำน้ำพอง เป็นเหตุให้น้ำเสีย และสารโมลาสแพร่กระจายไปตามลำน้ำความยาวถึง 30 กิโลเมตร ก่อให้เกิดสภาวะน้ำเสียจนทรัพยากรสัตว์น้ำไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ โดยน้ำเสียได้ไหลจากลำน้ำพองลงสู่น้ำชี แม่น้ำมูล และไหลลงสู่แม่น้ำโขงที่จังหวัดอุบลราชธานี ผ่านจังหวัดต่างๆ 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น มหาสารคาม ร้อยเอ็ด ยโสธร และอุบลราชธานี ซึ่งมีระยะทางกว่า 520 กิโลเมตร โดยผ่านพื้นที่การเกษตรรวม 215 อำเภอ 2,000 หมู่บ้าน สร้างความเสียหายในพื้นที่น้ำกว่า 33,000 ไร่ ซึ่งการไหลผ่านของน้ำเสียทำให้สัตว์น้ำประมาณ 60 ชนิด ต้องมึนเมาและตายไปเป็นจำนวนมาก (ชนวน รัตนวราหะ, 2540)

จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเป็นระบบปิด (closed system) โอกาสที่ของเหลวหรือสารเคมีจะรั่วไหลหรือระเหยออกมาจากระบบปิดจะมีน้อยมาก สารเคมีที่กล่าวถึง เช่น เมทานอล แม้จะเป็นวัตถุอันตรายและถูกนำมาใช้เป็นตัวทำละลายในการทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์ม ก็จะต้องมีระบบนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตซ้ำได้อีก ส่วนผลพลอยได้ “กลีเซอรีน” จะไม่เป็นพิษ สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตยาและเครื่องสำอาง ส่วนน้ำทิ้งที่เกิดจากการล้างถังต่างๆ ระหว่างหยุดการผลิต (shut down) ก็จัดให้มีระบบบำบัดน้ำทิ้งก่อนจะมีการระบายออก ส่วนกากอุตสาหกรรม เช่น ยางเหนียวและ filter cake ควรจัดสถานที่สำหรับเก็บรวบรวมไว้ก่อนส่งจะมีการกำจัดต่อไป ส่วนในด้านมลพิษทางอากาศ ต้องมีการควบคุม ดูแล ป้องกันการระเหย

รั่วไหลของไอสารเคมีจากเมทานอล โดยเฉพาะในพื้นที่การทำงาน (working area) ในโรงงาน เพราะจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของคนผู้ปฏิบัติงานด้วย (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2552)

2.1.3.2 ค่าใช้จ่ายในการกำจัดของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

ในปัจจุบันมีการหาแนวทางในการจัดการ กากของเสียและการนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นการลดปริมาณกากของเสียสู่สิ่งแวดล้อม เช่นการนำของเสีย เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพ และพลังงานชีวมวลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นการลงทุนที่สูง ยากต่อการจัดการ และต้องใช้เทคโนโลยีระดับสูงในการจัดการ ดังนั้นการศึกษาหาแนวทางการจัดการของทิ้งอุตสาหกรรมโดยใช้วิธีที่เหมาะสม ใช้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำ และเน้นการจัดการโดยการใช้สิ่งที่มีอยู่แล้วในท้องถิ่นจัดการกากของเสียอินทรีย์โดยให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นการเพิ่มธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

2.1.4 การใช้ประโยชน์จากของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่ได้ชื่อว่าประเทศเกษตรกรรม ซึ่งเรามีทรัพยากรณ์ดินที่อุดมสมบูรณ์สามารถปลูกพืชผลและให้ผลผลิตได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้เกิดการประกอบอาชีพทางการเกษตรมากขึ้นเช่น ยางพารา ปาล์มน้ำมัน ข้าว เป็นต้น อุตสาหกรรมการเกษตรจึงเข้ามามีบทบาทอย่างมากในธุรกิจของประเทศ ซึ่งในปัจจุบันการทำการเกษตรมีผลผลิตเพิ่มขึ้นตามความต้องการที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรมากขึ้นตามอัตราการผลิต ซึ่งของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเหล่านี้เป็นทรัพยากรที่มีคุณค่าเนื่องจากเป็นสารอินทรีย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆได้ แต่อาจไม่คุ้มทุนที่จะนำกลับมาแปรรูปผลิตภัณฑ์ การใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อการเกษตร (land application) ได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาการจัดการของเสียได้ดี กระบวนการผลิตยางแท่งมาตรฐานย่อมเกิดกากตะกอนน้ำเสียออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย และเกิดกากขี้แป้งซึ่งเป็นกากตะกอนน้ำเสียทางการเกษตร หากปล่อยทิ้งไว้อาจก่อให้เกิดปัญหาในสิ่งแวดล้อมเช่น เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค ส่งกลิ่นเหม็น และอาจเป็นสาเหตุของการเพิ่มแก๊สเรือนกระจก เป็นต้นซึ่งของทิ้งจากอุตสาหกรรมการเกษตรเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แต่อาจให้ผลที่ช้ากว่า แต่หากมีการนำไปใช้จะเป็นการจัดการของทิ้งจากอุตสาหกรรมการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่

การเติมกากขี้แป้งมีศักยภาพในการทดแทนปุยเคมีไดโดยสงผลใหมี ปริมาณการสะสมธาตุอาหาร P, K และ Mg มากกวาการเติมปุยเคมี อีกทั้งสงผลใหการเติบโตของตนกลาปาลมน้ำมันในดานจำนวนใบ ความกวางใบ ความยาวใบ ขนาดลำตน และความสูงปรากฏผลเปนปกติเทียบเทากับการเติมปุยเคมี กากขี้แป้งจึงนำมาใชประโยชนเพื่อทดแทนการเติมปุยเคมีสำหรับตนกลาปาลมน้ำมันระยะอนุบาลแรกไดเปนอยางดี (คณาวุฒิ อินทรแกว และนฤมล ทิมทอง, 2554) ซึ่ง

กากขี้แป้งและกากตะกอนน้ำเสียสามารถทดแทนวัสดุเพาะชำในการปลูกต้นยางชำถุง สงผลใหมีปริมาณอินทรียวัตถุ ธาตุอาหารหลัก (N, P, K) และแมกนีเซียม เพียงพอตอการเติบโตของต้นยางชำถุงและยังเปนวัสดุปรับปรุงดินในการเพาะชำตนยางชำถุงนั้น มีตนทุนต่ำกวาการใชปุยอินทรียและปุยเคมีประมาณ 8 เทา (อรวรรณ ศิริรัตนพิริยะ, สุธน ชวยเกิด และสัตตะพงศ ชอบกตัญญู., 2552) อีกทั้งกากตะกอนน้ำเสียยังมีปริมาณอินทรียวัตถุที่ช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของดินเป็นจำนวนมาก อินทรีย์วัตถุจะช่วยเพิ่มรูพรุนขนาดใหญ่ตั้งแต่ 50-500 ไมครอน และพบว่ามีความสัมพันธ์ทางบวกระหว่างขนาดรูพรุนของดินกับกิจกรรมของเอนไซม์ในดิน เพิ่มความชื้นและเพิ่มกระบวนการ mineralization โดยมีกิจกรรมจุลินทรีย์มากขึ้น (ดวงสมร ตุลาพิทักษ์ , เทพฤทธิ์ ตุลาพิทักษ์ และแก้วใจ อ้อชัยภูมิ, 2551 ; สัตตะพงศ์ ชอบกตัญญู, 2551 ; Ramirez et al., 2008) ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรในภาคใต้ที่มีปริมาณมากและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆได้ ดังนี้

2.1.4.1 กากขี้แป้ง

กากขี้แป้งเกิดจากการผลิตน้ำยางข้น ซึ่งในกระบวนการตกตะกอนน้ำยาง กากขี้แป้งเกิดจากกระบวนการเติม Diammonium hydrogen phosphate (DAP) เพื่อตกตะกอนขี้แป้ง ให้น้ำยางมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm ในของแข็งทั้งหมดโรงงานผลิตน้ำยางข้น พบว่าเกิดกากขี้แป้ง 0.7-500 ตันต่อเดือน หรือ 0.6-50 กิโลกรัมกากขี้แป้งต่อตันน้ำยางข้น (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2554) กากขี้แป้งจึงเป็นของเสียที่ต้องกำจัดทิ้ง โดยทั่วไปแล้ว ผู้ประกอบการจะนำกากขี้แป้งเหล่านี้ไปฝังกลบ เผา หรือกองทิ้งไว้ สิ่งเหล่านี้ล้วนส่งผลกระทบสู่สิ่งแวดล้อม แต่เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทั้งทางเคมี กายภาพของกากขี้แป้งแล้วพบว่า สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุบำรุงดินได้ กากขี้แป้งมีความเป็นกรดจัดโดยมีค่ากรดเบส อยู่ที่ 5.4 และมีอัตราคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 8.79 จึงมีการสลายตัวเป็นอย่างดีและกากขี้แป้งมีอินทรียวัตถุสูง (ร้อยละ 22.30)

2.1.4.2 กากตะกอนน้ำเสีย

กากตะกอนน้ำเสียเป็นกากตะกอนจากโรงงานผลิตยางแท่ง กากตะกอนมีปริมาณอินทรียวัตถุที่ช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและชีวภาพของดินเป็นอย่างดี กากตะกอนได้ผ่านกระบวนการ denitrification ในขณะที่กากตะกอนยังมีอินทรียวัตถุมากอยู่ ทำให้มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง การที่กากตะกอนมีอินทรียวัตถุสูงจึงต้องคำนึงถึงกระบวนการ immobilization ซึ่งพืชจะถูกแย่ง NH_4^+ หรือ NO_3^- ทำให้พืชขาดไนโตรเจนได้ ดังนั้นการเติมจึงต้องคำนึงถึงปริมาณและอัตราส่วนเป็นอย่างมาก จึงจะทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีด้วย กากตะกอนมีค่ากรดเบส 6.96 มีอินทรียวัตถุสูงถึง ร้อยละ 56.61 หากมีการขุดลอกกากตะกอนและกองทิ้งบนพื้น อินทรียวัตถุเหล่านี้จะถูกย่อยสลายและปลดปล่อยคาร์บอนคืนสู่อากาศอีกครั้ง แต่หากนำมาเป็นธาตุ

อาหารแก่พืชจะช่วยในด้านการเจริญเติบโตของพืชและยังช่วยกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน (Rankine and Fairhurst)

2.1.4.3 เส้นใยปาล์มน้ำมัน

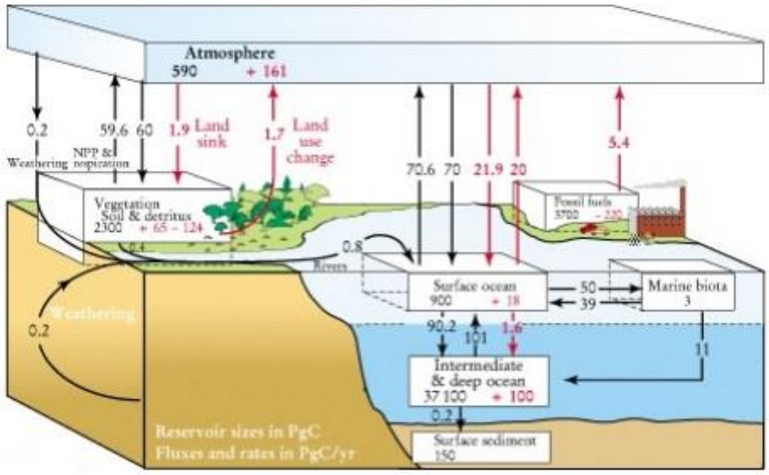
เส้นใยปาล์มได้ภายหลังจากการแปรรูปปาล์มน้ำมัน แล้วจะเหลือเส้นใยปาล์มน้ำมัน (palm pressed fiber) เป็นผลพลอยได้ คิดเป็นร้อยละ 11-13.9 ของทะลายปาล์มน้ำมันในประเทศไทยมีเส้นใยปาล์มน้ำมันเกิดขึ้น 539,330 ตันต่อปี (จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, 2548) เส้นใยปาล์มเป็นส่วนของเปลือกผลชั้นกลาง (mesocrap or pulp) ประกอบไปด้วยเส้นใยปาล์มมากมาย มีรงควัตถุ จึงมีสีเหลือง เส้นใยปาล์มเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงร่วมในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะมีราคาถูก จึงเหมาะในการนำไปเป็นเชื้อเพลิงทดแทนราคาถูก แต่อย่างไรก๊ตามเส้นใยปาล์มจะถูกใช้ไปเพียงร้อยละ 30 เท่านั้น ที่เหลืออีกร้อยละ 70 จะถูกทิ้งและเกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม จึงมีแนวคิดที่จะนำเส้นใยปาล์มมาใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น ทั้งทำเป็นปุ๋ยหมัก ถ่ายหุงต้ม วัสดุเพาะปลูก เส้นใยปาล์ม มีค่ากรดเบส 6.13 มีคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 28.83 แสดงถึงการย่อยสลายได้ดีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน อีกทั้งยังมีอินทรียวัตถุสูงถึง 60.30 หากใส่ลงดินจะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพดินทางด้านกายภาพช่วยให้ดินร่วนซุย และยังเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินอีกด้วย

2.1.4.4 ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน

ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันได้มาจากการเผากากปาล์มเพื่อกำจัดกากปาล์มทิ้ง ซึ่งปริมาณถึง 107,000 ตัน/ปี (อรรคเดช ฤกษ์พิบูล, 2550) ส่วนใหญ่การกำจัดจะทำโดยการนำไปทิ้งและเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายหลัง (อรรคเดช ฤกษ์พิบูล, 2550) ซึ่งมีการนำขี้เถ้าปาล์มมาใช้ประโยชน์เป็นส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน พบว่าองค์ประกอบทางเคมีสามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลาน ClassN ได้ ระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์เมื่อแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบด พบว่ามีระยะเวลานานกว่าซีเมนต์เพสต์อย่างมาก แต่เมื่อเพิ่มความละเอียดของเถ้าปาล์มน้ำมัน ระยะเวลาการก่อตัวมีค่าลดลง แต่การนำมาใช้ประโยชน์ยังค่อนข้างมีน้อยอยู่ ซึ่งปริมาณที่มากขึ้นจึงเป็นผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อศึกษาถึงลักษณะทางกายภาพและเคมีพบว่า ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน มีลักษณะเป็นผงฝุ่นน้ำหนักเบาสามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย โครงสร้างมีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ เป็นเหลี่ยมมุมรูปร่างไม่แน่นอน ขนาดตั้งแต่ 15.9–7.4 μm (ณัฐกานต์ ทู้ไพเราะ, 2555) ขี้เถ้าปาล์มมีค่า pH สูงถึง 9.23 และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 15.72 มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในเกณฑ์สูงถึง ร้อยละ 5.15 และเมื่อเทียบกับความต้องการของปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มจึงสามารถเป็นแหล่งอาหารให้แก่อินทรียวัตถุได้เช่นกัน และยังเป็นแหล่งคาร์บอนแก่ดินได้เป็นอย่างดี

2.2 วัฏจักรคาร์บอน

วัฏจักรของคาร์บอน มีองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ 1. อากาศ 2. มหาสมุทร 3. ระบบนิเวศวิทยาพื้นพิภพ ซึ่งปริมาณการหมุนเวียนของคาร์บอนมีการแลกเปลี่ยนระหว่างการเก็บกัก และการปลดปล่อย โดยมีการแลกเปลี่ยนระหว่างการเก็บกักและการปลดปล่อย มีความแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ในแต่ละเวลาตั้งแต่รายวันถึงรายปีและหลาย ๆ ปี สัดส่วนของปริมาณคาร์บอนในโลกที่มีอยู่ในส่วนของมหาสมุทรมีถึง 28,000 เพนตากรัมคาร์บอน ซึ่งอยู่ในรูปฟอสซิลคาร์บอนถึง 3,500 เพนตากรัมคาร์บอน นอกจากนี้คาร์บอนถูกกักเก็บในต้นไม้และดินมี 2,300 เพนตากรัมคาร์บอน โดยที่อยู่ในชั้นบรรยากาศโลกประมาณ 750 เพนตากรัมคาร์บอน (Sarmiento and Gruber, 2002) ในช่วงทศวรรษที่ ผ่านมา พบว่ามีการปลดปล่อยคาร์บอนจากพลังงานฟอสซิลประมาณ 5.4 เพนตากรัมคาร์บอนต่อปี (ภาพที่ 2 . 3)



หมายเหตุ สัญลักษณ์ลูกศร แสดงอัตราการหมุนเวียนของคาร์บอน (เพนตากรัมคาร์บอนต่อปี:Pg C yr-1) ระหว่างบรรยากาศ และแหล่งเก็บกักในภาคพื้นดินหลัก 2 แห่ง ประกอบไปด้วยที่ดินและมหาสมุทร (Pg = 1015 g)

ภาพที่ 2 . 3 การหมุนเวียนและปริมาณการเก็บกักของคาร์บอนในแหล่งต่างๆของโลก (Sarmiento and Gruber, 2002).

และจากการศึกษาของ Hougton (1995) พบว่า มีการปลดปล่อยคาร์บอน จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ประมาณ 1.7 เพนตากรัมคาร์บอนต่อปีในขณะที่มีการเก็บกักคาร์บอนลงสู่พื้นดินในระบบนิเวศน์ต่างๆ ประมาณ 1.9 เพนตากรัมคาร์บอนต่อปี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าส่วนภาคพื้นดินของระบบนิเวศสามารถเก็บคาร์บอนได้ประมาณ 0.2 เพนตากรัมคาร์บอนต่อปี

2.2.1 การหมุนเวียนคาร์บอนในระบบ

คาร์บอนเป็นธาตุองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ที่สำคัญล้วนแต่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบทั้งสิ้น คาร์บอนปรากฏในบรรยากาศในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 0.03 ของแก๊สในบรรยากาศ คาร์บอนในมหาสมุทรในรูปของสารละลาย นอกจากนั้นยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของหินปูน มหาสมุทรมีปริมาณคาร์บอนมากกว่าในบรรยากาศถึง 50 เท่า วัฏจักรของคาร์บอนจะหมุนเวียนอยู่ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม หรือระหว่างอินทรีย์คาร์บอนและอนินทรีย์คาร์บอนคาร์บอนในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีการแลกเปลี่ยนระหว่างบรรยากาศ มหาสมุทร และพื้นดิน การแลกเปลี่ยนถูกควบคุมโดยกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ การแลกเปลี่ยนที่มากที่สุดคือการแลกเปลี่ยนระหว่างบรรยากาศและสิ่งมีชีวิตบนพื้นดิน แหล่งสะสมคาร์บอนที่สำคัญได้แก่ มหาสมุทร ต้นไม้ และดิน การหมุนเวียนของคาร์บอนในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจ เริ่มจากพืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมาสังเคราะห์เป็นสารอินทรีย์ คาร์บอนจากบรรยากาศจึงเคลื่อนย้ายเข้าสู่พืช เกิดขึ้นได้ทั้งบนบกและในน้ำ ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช พืชจะดูดดึงเอาแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ ผ่านกระบวนการทางเคมีต่างๆ ได้อินทรีย์สารที่สลับซับซ้อน เช่น น้ำตาล และแป้ง เป็นต้น กระบวนการสังเคราะห์แสงจึงเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนคาร์บอนจาก อนินทรีย์คาร์บอนเป็นอินทรีย์คาร์บอน และเป็นการเริ่มต้นของผู้ผลิตในระบบนิเวศ สารประกอบที่พืชสร้างขึ้นมา ส่วนใหญ่จะถูกใช้เป็นพลังงานในกระบวนการหายใจทั้งในพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ ในบางกรณี คาร์บอนในรูปของอินทรีย์สารในสิ่งมีชีวิต อาจจะไม่ได้หมุนเวียนกลับคืนสู่บรรยากาศในทันทีทันใด แต่อาจจะสะสมอยู่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง อาจจะนานเป็นสิบปี ร้อยปี หรือล้านปี ตัวอย่างเช่น คาร์บอนที่อยู่ในรูปเนื้อไม้ในต้นไม้ใหญ่ ซากพืชและสัตว์ในยุคโบราณที่เน่าเปื่อยผุสลายยังไม่หมด ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติ เป็นต้น เมื่อมนุษย์ขุดวัตถุดิบเหล่านี้มาเป็นเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ จะส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศอีกครั้ง (จักรวาล วนานุรักษ์, 2555) การย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตอาจจะได้คาร์บอนในรูปคาร์บอนไดออกไซด์หรือแก๊สมีเทน กลับคืนสู่บรรยากาศ การย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดขึ้นได้สองสภาวะคือ สภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน ในสภาวะที่มีออกซิเจน คาร์บอนในสารอินทรีย์จะถูกปล่อยออกมาในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนในสภาวะไม่มีออกซิเจน คาร์บอนถูกปล่อยออกมาในรูปแก๊สมีเทน โดยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่ม Methanogen แก๊สมีเทนจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียกลุ่ม *Methylotroph* เช่น *Methylomonas* (Atlas and Bartha, 1998)

2.2.2 สมดุลคาร์บอน

สมดุลคาร์บอนหมายถึงสภาวะที่คาร์บอนในระบบมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารขาเข้า (carbon input) และสารขาออก (carbon output) ในปริมาณคงที่หรืออยู่ในระดับที่ไม่ทำให้สมดุลเดิมของคาร์บอนในระบบเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงสมดุลคาร์บอนในระบบเกี่ยวข้องกับ 2 กระบวนการหลักที่สำคัญ คือการสังเคราะห์แสง และการหายใจโดยมีเศษซากพืชและสัตว์เป็นแหล่งคาร์บอน รวมไปถึงสารเคมีที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากรากพืช (root exudation) และเซลล์จุลินทรีย์ จากการศึกษาสมดุลคาร์บอนในระบบนิเวศของป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง โดยการเปรียบเทียบศักยภาพในการเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอน (carbon sinks) ในรูปของผลผลิตคาร์บอนสุทธิ (net ecosystem product; NEP) พบว่าป่าดิบแล้งสะแกราชมีศักยภาพในการเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนมากกว่าป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลองโดยมีค่าผลผลิตคาร์บอนสุทธิเท่ากับ 5.66 และ 0.73 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ ตามลำดับ (สาพิศ และคณะ, 2548)

2.2.3 แหล่งกักเก็บคาร์บอน

การกักเก็บคาร์บอน หมายถึง การสะสมคาร์บอนเป็นระยะเวลานานในมหาสมุทร ดิน พืชพรรณ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในป่าไม้) และทางธรณีวิทยา ถึงแม้ว่ามหาสมุทรจะเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่มากที่สุดในโลก แต่ในดินก็สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ร้อยละ 75 ของระบบนิเวศพื้นดิน ซึ่งมีจำนวน 3 เท่าหรือมากกว่านั้น โดยเป็นคาร์บอนที่อยู่ในสิ่งมีชีวิตพืชและสัตว์ ดังนั้นดินจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยรักษาสมดุลของวัฏจักรคาร์บอนโลก (Ecological Society of America, 2007)

2.2.3.1 มหาสมุทร (ocean)

แนวคิดอีกอย่างหนึ่งคือ การกักเก็บคาร์บอนไว้ในมหาสมุทร ปกติท้องน้ำจะดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ หากความเข้มข้นของแก๊สในบรรยากาศสูงกว่าความเข้มข้นในน้ำ คาร์บอนที่ละลายอยู่ในน้ำจะถูกดึงไปใช้ในกระบวนการชีวภาพ โดย phytoplankton หรือแพลงก์ตอนพืชเป็นสำคัญ ซึ่งแพลงก์ตอนพืชก็จะเป็นอาหารของปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ สร้างผลผลิตทางชีวภาพในท้องน้ำ เมื่อมีปริมาณคาร์บอนในน้ำเพิ่มขึ้น ผลผลิตก็เพิ่มขึ้นด้วย เพียงเท่านี้ นักค้นคว้าวิจัยคงยังไม่พอใจ จึง มีความพยายามในการพัฒนาแพลงก์ตอน พืชที่ดูดซับคาร์บอนและเสริมสภาวะให้เหมาะสมขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับคาร์บอน อย่างไรก็ตาม กระบวนการเร่งรัดนี้ก็มีขีดจำกัด เมื่อน้ำทะเลดูดซับคาร์บอนไว้มากก็ทำให้กลายเป็นกรดมากขึ้น ค่าความเป็นกรดที่สูงขึ้นนี้จะลดการละลายของคาร์บอนไดออกไซด์ลง ฉะนั้นนักวิจัยจึงต้องศึกษาปัจจัยของกระบวนการนี้อย่างละเอียด ทุกวันนี้นักวิทยาศาสตร์ยังไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้ ในความพยายามที่จะศึกษา เมื่อไม่กี่ปีมานี้ นักวิจัยกลุ่มหนึ่งได้ทดลองเอาผงเหล็กจำนวนมาก โปรยลงไปในมหาสมุทร

แปซิฟิกเขตร้อนแห่งหนึ่ง แล้วติดตามผลการเปลี่ยนแปลงในทางเคมีและชีวภาพในทะเล ผลปรากฏว่าเกิดการขยายตัวของแพลงก์ตอนพืชและสัตว์น้ำต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างน่าพอใจ แสดงว่าการกักเก็บคาร์บอน เข้าไปอยู่ในวงจรชีวิตของสัตว์น้ำแทนที่จะละลายอยู่ในน้ำเฉยๆ แต่การกักเก็บมิได้เคลื่อนตัวลงไปยังห้วงน้ำที่ลึกลงไป จึงไม่ได้ประโยชน์เท่าที่ควร ทั้งนี้ เป้าหมายที่แท้จริงของนักวิจัยคือ การเคลื่อนย้ายคาร์บอน จากบรรยากาศไปกักเก็บไว้ที่พื้นโลกก้นทะเลให้มากที่สุด เพราะต้องการเก็บไว้ในระยะยาว เมื่อเป็นดังนี้ วิธีการนี้จึงให้ผลเป็นเพียงความสำเร็จส่วนหนึ่งเท่านั้น (Mcgraw, 2008)

2.2.3.2 พืช (vegetation)

การร่วงหล่นของซากพืชเป็นการลดพื้นที่ผิวใบ ทำให้ต้นไม้มีชีวิตอยู่ได้ในช่วงฤดูแล้ง ซากพืชที่ร่วงหล่นทับถมบนพื้นป่ามีการผุสลายกลายเป็นแร่ธาตุที่สะสมอยู่ในดินและช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดิน การร่วงหล่นของซากพืชจึงเป็นปัจจัยสำคัญของการหมุนเวียนธาตุอาหารของพืช ในระบบนิเวศ ในสังคมพืชป่าสนสามใบธรรมชาติพบมีการสะสมมวลชีวภาพของเศษซากพืช 7.18 ตัน/เฮกแตร์/ปี และในช่วง 1 ปี พบว่าสนสามใบมีการผุสลายของส่วนที่เป็นใบ กิ่ง และผล เท่ากับ 57.0, 48.0 และ 22.8% ระยะเวลาที่ใช้ในการผุสลายของส่วนที่เป็นใบ กิ่ง และผลจนหมดใช้เวลา 3.96, 4.99 และ 12.48 ปี (คณิต รัตนะวัฒน์กุล และคณะ, 2542) การจัดการสวนป่าจำเป็นต้องทำการไถพรวนวัชพืชและเก็บเศษซากพืชที่ร่วงหล่นลงบนพื้นป่า ในช่วงฤดูแล้งของทุกปี โดยเฉพาะเศษซากพืชที่เป็นชิ้นส่วนของไม้ตระกูลสนซึ่งติดไฟง่าย และเป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี ดังนั้น การส่งเสริมการปลูกสร้างสวนป่าไม้สนคาร์ริเบียนจำเป็นต้องทราบถึงปริมาณการร่วงหล่นของเศษซากพืชเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดการสวนป่า และเพิ่มมูลค่าจากเศษซากพืชที่ร่วงหล่นในสวนป่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.3.3 อากาศ (atmosphere)

แก๊สเรือนกระจก เช่น มีเทน ไนตรัสออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ เป็นแก๊สที่พบทั่วไปในชั้นบรรยากาศ โดยแก๊สเหล่านี้ทำหน้าที่เก็บสะสมความร้อนเพื่อทำให้โลกอบอุ่นขึ้นนับจากยุคน้ำแข็ง หากไม่มีแก๊สเรือนกระจก อุณหภูมิของผิวโลกน่าจะต่ำมากจนถึง –20 องศาเซลเซียส แทนที่จะเป็น 15 องศาเซลเซียส (Kiehl and Trenberth, 1997) ตราบเท่าที่ปริมาณแก๊สเรือนกระจกอยู่ในระดับที่ค่อนข้างคงที่ และอุณหภูมิโลกยังคงสมดุล หากแต่ว่าในช่วงศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา กิจกรรมของมนุษย์โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และการใช้เชื้อเพลิงจากแหล่งฟอสซิล เป็นสาเหตุหลักทำให้ที่ดินเสื่อมโทรม และ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง การสลายตัวของอินทรียวัตถุและอินทรีย์สารในดินเกิดได้ดี (อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, 2550) คาร์บอนในรูปพลังงานจากฟอสซิลถูกนำมาใช้ประโยชน์เพิ่มมากขึ้น ทำให้คาร์บอนจากแหล่งสะสมเหล่านี้ปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบมีปริมาณความเข้มข้นสูงขึ้นมาก

เป็นเหตุให้วงจรคาร์บอนในธรรมชาติจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ มหาสมุทร พืชพรรณ ดิน และบรรยากาศ เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากสมดุลคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่มีปริมาณมากเกินเป็นเสมือนตัวขวางกั้นการสะท้อนของรังสีคลื่นยาว (รังสีอินฟราเรด) กลับสู่ชั้นบรรยากาศทำให้พลังงานความร้อนถูกเก็บสะสมไว้เพิ่มมากขึ้น (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2549) อุณหภูมิของผิวโลกเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น และเกิดเป็นภาวะโลกร้อน (global warming) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่รุนแรง (climate change) ได้

2.2.3.4 ดิน (soil)

ดินเป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งในวัฏจักรของคาร์บอนในโลก สัดส่วนของคาร์บอนที่พบมากที่สุดอยู่ในดิน โดยพบอินทรีย์คาร์บอนในดิน (soil organic carbon, SOC) ประมาณ 1,550 เพนตากรัมคาร์บอน (Pg C) ที่ระดับความลึก 1 เมตร และอนินทรีย์คาร์บอน (soil inorganic carbon, SIC) ประมาณ 750 เพนตากรัมคาร์บอน ที่ระดับ ความลึก 1 เมตร (Batjes, 1996) ดังนั้นสัดส่วนของคาร์บอนที่ถูกเก็บกักอยู่ในดินมีมากกว่าที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ (770 เพนตากรัมคาร์บอน) ถึง 3 เท่า และมีมากกว่า 3.8 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนชีวภาพ (610 เพนตากรัมคาร์บอน) อย่างไรก็ตามในส่วนของชั้นบรรยากาศโลกพบว่ามีการเพิ่มขึ้นนับตั้งแต่ ค.ศ. 1850 ในอัตราประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

การเคลื่อนที่ของคาร์บอน อัตราการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนจากอากาศไปสู่ดินซึ่งทำให้คาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น และลดการปลดปล่อยคาร์บอนจากดินกลับสู่ชั้นบรรยากาศ นอกจากนั้นการเคลื่อนย้ายคาร์บอนจากแหล่งที่ปลดปล่อยคาร์บอน (carbon emissions) ไปยังแหล่งดูดซับคาร์บอน (carbon absorptions) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะมีศักยภาพในการลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United State Geological Survey, 2006) ในขณะเดียวกัน การกักเก็บคาร์บอนสามารถนำไปสู่การเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน การเพิ่มขึ้นของผลผลิตซึ่งช่วยประชากรท้องถิ่นทางด้านเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อมและสังคม (อรรถชัย จินตะเวช, 2547) คาร์บอนเข้าสู่ดินโดยราก ซากพืช เศษวัสดุทางการเกษตร และมูลสัตว์ซึ่งเป็นการสะสมขั้นต้นของอินทรียวัตถุในดินและการสะสมคาร์บอนสูงสุดที่ใกล้ผิวหน้าดิน ส่วนใหญ่อินทรียวัตถุที่ถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว จะปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ คาร์บอนบางส่วนยังคงอยู่เฉพาะในชั้นดินที่อยู่ในระดับลึกลงไป (อรรถชัย จินตะเวช, 2547., Chidthaisong et al., 2004) การศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมและการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิในดินเขตร้อนที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินแตกต่างกัน พบว่า พื้นที่ป่าธรรมชาติมีปริมาณการสะสมคาร์บอนสูงสุด รองลงมาเป็นพื้นที่ป่าปลูก และพื้นที่เกษตรกรรม ตามลำดับ และพบว่าทุกพื้นที่จะมีปริมาณคาร์บอน และไนโตรเจนมากที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร คาร์บอนในดินแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ อนินทรีย์

คาร์บอน และอินทรีย์คาร์บอน โดยอนินทรีย์คาร์บอนส่วนมากจะพบในรูปของคาร์บอเนต (CO_3) และมักพบในพื้นที่ที่มีฝนตกน้อย อินทรีย์คาร์บอนจะพบอยู่ในรูปของอินทรียวัตถุในดินซึ่งมีค่าเป็น 1.724 เท่าของอินทรีย์คาร์บอน (Tippayachan, 2006)

2.3 การกักเก็บคาร์บอนในดิน (soil carbon sequestration)

คาร์บอนที่เข้าสู่ดินส่วนใหญ่มาจากเศษซากพืชที่ร่วงหล่น ปริมาณของเศษซากพืชที่ร่วงหล่นจะแปรผันตามแหล่งที่อยู่ของสิ่งมีชีวิต ปัจจัยที่ส่งผลต่อเศษซากพืชที่ร่วงหล่นนั้น ได้แก่ ชนิดของพืช สภาพแวดล้อม การปฏิบัติต่อการปลูกพืชชนิดนั้น และระยะเวลา โดยทั่วไปแล้วในพื้นที่ปกติผลผลิตที่ได้จากการปลูกพืชจะมากกว่าผลผลิตของเศษซากพืชที่ร่วงหล่น ซึ่งสิ่งนี้อาจมีสาเหตุมาจากอายุของพืชที่ปลูกเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของพืช (Lichaikul, 2004) การกักเก็บคาร์บอนในดินเป็นกระบวนการลดแก๊สเรือนกระจกจากอากาศมาสะสมไว้ในดินในรูปของอินทรีย์สาร พื้นที่ทางการเกษตรสามารถส่งผลต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินได้ ปัจจุบันแนวคิดเรื่องการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืน (sustainable agricultural development) ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางทางการเกษตร ดังนั้น การจัดการเกี่ยวกับคาร์บอนในดิน ไม่ว่าจะเป็นการใส่ปุ๋ยหมัก การปลูกพืชตระกูลถั่วเพื่อปรับปรุงดิน รวมทั้งมาตรการในการอนุรักษ์ดินและน้ำล้วนเป็นการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืน (คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, 2545)

ดินเป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนที่ใหญ่และสำคัญอีกแหล่งหนึ่ง ปริมาณคาร์บอนที่เก็บกักไว้ในดิน (soil carbon pool) มีประมาณ 3.3 เท่าของบรรยากาศ (atmospheric pool) และ 4.3 เท่าของที่เก็บกักไว้โดยมวลชีวภาพ (biotic pool) คาร์บอนในดินอยู่ในรูปสารอินทรีย์ (soil organic carbon, SOC) และอนินทรีย์ (soil inorganic carbon, SIC) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินมีค่าผันแปรสูงขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่และสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากสภาพธรรมชาติมาใช้ทำการเกษตรมีผลทำให้สารอินทรีย์ลดลงมากถึงร้อยละ 60 ในเขตหนาว และอาจมากถึงร้อยละ 75 หรือมากกว่าในเขตร้อน การลดลงของปริมาณสารอินทรีย์ทำให้ดินเสื่อมสภาพ จะเห็นได้ว่า วัฏจักรของคาร์บอนประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญสองกระบวนการอันได้แก่ (1) กระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ดึงเอาแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเข้ามาสู่พืช หรือเปลี่ยนรูปจากอนินทรีย์คาร์บอนเป็นรูปอินทรีย์คาร์บอน และ (2) กระบวนการหายใจ เผาไหม้ และการกร่อน (erosion) ซึ่งเป็นกระบวนการที่นำคาร์บอนกลับไปสู่วัฏจักรในน้ำและบรรยากาศ หรือเปลี่ยนรูปจากอินทรีย์คาร์บอนเป็นอนินทรีย์คาร์บอน

2.3.1 ความหมายของการกักเก็บคาร์บอน

Ecological Society of America (2007) กล่าวถึงการกักเก็บคาร์บอน หมายถึง การสะสมคาร์บอนเป็นระยะเวลานานในมหาสมุทร ดิน พืชพรรณ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในป่าไม้) และธรณีวิทยา ถึงแม้ว่ามหาสมุทรจะเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่มากที่สุดในโลก แต่ในดินก็สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ร้อยละ 75 ของระบบนิเวศพื้นดิน ซึ่งมีจำนวน 3 เท่าหรือมากกว่านั้นโดยเป็นคาร์บอนที่อยู่ในสิ่งมีชีวิตพืชและสัตว์ ดังนั้นดินจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยรักษาสมดุลของวัฏจักรคาร์บอนโลก

United State Department of Energy (2007) กล่าวถึงการกักเก็บคาร์บอน หมายถึง การกักเก็บคาร์บอนเป็นระยะเวลายาวนานในระบบนิเวศบนบก ใต้ดิน หรือมหาสมุทร ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นแก๊สเรือนกระจก ทำให้มีการปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศได้ช้าลงหรือลดปริมาณแก๊สเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศลง หรือหมายถึงการจับยึดและการกักเก็บคาร์บอนเนื่องจากมีคาร์บอนปลดปล่อยหรือหลงเหลืออยู่ในชั้นบรรยากาศ ได้แก่การกักเก็บคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกมาจากกิจกรรมของมนุษย์กลับสู่แหล่งที่สะสมคาร์บอน การเคลื่อนย้ายคาร์บอนจากชั้นบรรยากาศกลับสู่แหล่งที่สะสมคาร์บอน

Soil Science Society of America (2008) กล่าวถึงการกักเก็บคาร์บอน หมายถึง การสะสมคาร์บอนในรูปที่เป็นของแข็งที่มีความเสถียร โดยผ่านทั้งทางตรงและทางอ้อมจากการตรึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ การกักเก็บคาร์บอนทางตรงเกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาของอนินทรีย์เคมีซึ่งผันกลับของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารประกอบอนินทรีย์คาร์บอนในดิน เช่น แคลเซียมคาร์บอนเนต และแมกนีเซียมคาร์บอเนต การกักเก็บคาร์บอนทางตรงอีกทางเกิดขึ้นโดยการสังเคราะห์แสงของพืชโดยการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่มวลชีวภาพ ดังนั้น มวลชีวภาพของพืชจะเป็นการกักเก็บคาร์บอนทางอ้อมของอินทรีย์คาร์บอนดิน โดยผ่านกระบวนการย่อยสลาย ปริมาณคาร์บอนที่ถูกกักเก็บในแต่ละพื้นที่สะท้อนถึงความสมดุลในระยะยาวระหว่างกลไกการดูดซับและการปลดปล่อยคาร์บอนในทางเกษตรกรรม ป่าไม้ และการปฏิบัติเชิงอนุรักษ์รวมถึงการจัดการดินที่ดีจะนำไปสู่การตรึงคาร์บอนในดินที่ดีเช่นเดียวกัน

Lal (2004) กล่าวว่า การกักเก็บคาร์บอนในดิน (soil carbon sequestration) หมายถึง การเคลื่อนตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมาอยู่ในพืชโดยการเก็บในรูปอินทรียวัตถุเป็นวิธีในการเพิ่มความหนาแน่นของอินทรีย์คาร์บอนในดิน

2.3.2 การศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในดิน

ดินเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ จากการคำนวณปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บไว้ในดินและพืชทั่วโลกมีอยู่ประมาณ 2,300x1,015 กรัม (IPCC, 2001) ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บไว้ในดิน

มีปริมาณมากกว่าในอากาศประมาณ 3 เท่า (Lal, 2004) สำหรับประเทศไทยคาร์บอนในดินมีประมาณ 6.2x1,015 กรัม (พจนีย์ มอญเจริญ และ ทวีศักดิ์ เวียรศิลป์, 2541) โดยปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บไว้ในดินนี้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาระหว่างระบบนิเวศบนบกและบรรยากาศขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่าง 2 กระบวนการหลักคือ การสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ที่มีผลทำให้ดินเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนและการหายใจของดิน (soil respiration) ซึ่งเป็นการปลดปล่อยคาร์บอนจากผิวดินในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ โดยทั่วไปคาร์บอนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารคาร์บอนอินทรีย์ (soil organic carbon) ได้แก่สารประกอบฮิวมัสซึ่งเป็นคาร์บอนที่เสถียรเนื่องจากมีโครงสร้างที่ซับซ้อนจึงย่อยสลายได้ยากและส่วนน้อยพบในรูปสารคาร์บอนอนินทรีย์ (soil inorganic carbon) เช่น สารประกอบคาร์บอเนตเนื่องจากคาร์บอนอินทรีย์ในดินเป็นส่วนที่เกิดการเปลี่ยนรูปได้ง่ายกว่าคาร์บอนในรูปสารอนินทรีย์ทำให้คาร์บอนอินทรีย์เป็นเสมือนตัวควบคุมสมดุลการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในดิน ประเทศไทยมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมทั้งหมดประมาณ 6,211,706x106 กิโลกรัม หรือ 6,211.7 ล้านตัน และอนินทรีย์คาร์บอนรวมทั้งหมดประมาณ 184,049x106 กิโลกรัม หรือ 184 ล้านตัน ณ ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตร โดยปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่สะสมในดินมีความผันแปรขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความชื้นในดิน ลักษณะโครงสร้างของดิน และระดับความลึกของดิน (พจนีย์ มอญเจริญ และ ทวีศักดิ์ เวียรศิลป์, 2541) แหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน มีกำเนิดมาจากชีวมวลของพืชผ่านทางระบบการสังเคราะห์แสงของพืชในการเปลี่ยนรูปอนินทรีย์คาร์บอน (CO_2) ในบรรยากาศมาเก็บไว้ในรูปของอินทรีย์คาร์บอนในชีวมวล และกลายเป็นอินทรีย์คาร์บอน (SOC) สะสมไว้ในดิน เมื่อส่วนต่างๆของพืช ร่วงหล่นและย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน รวมทั้งสารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยออกมาทางรากพืช (root exudation) เซลล์ของจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว และสารที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ ยเก็บสะสมไว้ในดินในรูปของสารอินทรีย์คาร์บอนที่ไม่สามารถสลายตัวได้ง่าย เช่น ฮิวมัส (Lal, 2004)

พื้นที่การเกษตรที่ให้ผลผลิตสูง มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ดึงคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศมาใช้มาก โดยเฉพาะในพื้นที่เขตร้อนชื้นการกักเก็บคาร์บอนในดินพื้นที่การเกษตรจากการร่วงหล่นของเศษซากพืชจะช่วยเพิ่มอินทร์คาร์บอนในดิน ทางตอนใต้ของสหรัฐอเมริกามีการทำการเกษตรที่มีความเข้มข้นมาก รวมถึงการใช้เครื่องจักรช่วยทุ่นแรงในการไถพรวนดิน ซึ่งเป็นสาเหตุของการลดการกักเก็บคาร์บอนในดิน โดยพบว่าการทำการเกษตรที่มีการไถพรวนดินนั้นกักเก็บคาร์บอนในดิน (25.2±11.6 Mg ha^{-1}) พื้นที่ที่ไม่มีการไถพรวน หรือพื้นที่อนุรักษ์ดิน (28.28±11.3 Mg ha^{-1}) กล่าวได้ว่าการอนุรักษ์ดินโดยไม่ไถพรวนดินในพื้นที่การเกษตรช่วยกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินมากกว่าการไถพรวน (Franzluebbers, 2005) จึงกล่าวถึงการกักเก็บคาร์บอนในดินช่วยบรรเทาสภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ ทั้งจากกิจกรรมส่วนตัว โรงงาน

อุตสาหกรรมต่างๆ หรือการใช้พื้นที่ในทางที่ผิด เช่นการนำพื้นที่ป่ามาทำการเกษตร เป็นต้น อย่างไรก็ตาม พื้นที่ทางการเกษตรก็สามารถช่วยลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศ (CO_2) มาสะสมไว้ในดินหากมีการจัดการอย่างถูกต้อง จะช่วยการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม (Lal, 2004)

Kongrattanachok (2005) ได้ศึกษาปริมาณการสะสมคาร์บอนในมันสำปะหลังบริเวณพื้นที่จังหวัดระยอง เพื่อประเมินปริมาณการสะสมคาร์บอนในหนึ่งรอบการเพาะปลูกมันสำปะหลังทั้งส่วนเหนือดิน บนผิวดิน และใต้ดินเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอินทรีย์คาร์บอนในดินกับสมบัติของดินที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร พบว่า ในหนึ่ง รอบการเพาะปลูกมันสำปะหลังมีปริมาณการสะสมคาร์บอนทั้งสิ้น 8,369 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งประกอบด้วยการสะสมคาร์บอนในต้นมันสำปะหลัง พื้นผิวดินและในดิน 960, 154 และ 7,255 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ ตั้งแต่ระยะปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยวในไร่มันสำปะหลังมีการสะสมคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้น 1,631 กิโลกรัมต่อไร่ จึงกล่าวได้ว่า ในพื้นที่การเกษตรจะมีการสะสมคาร์บอนเพิ่มขึ้นจากการร่วงหล่นของพืชทางการเกษตรในพื้นที่นั้นเป็นจำนวนมาก

จากการศึกษาสมดุลคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของสบู่ดำที่ปลูกในดินเหนียวและดินร่วนปนทราย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปลูกสบู่ดำเพื่อกักเก็บคาร์บอนสู่ดินและสมดุลคาร์บอนในพื้นที่ปลูก วิเคราะห์หาปริมาณการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในรูปต่างๆ ในดิน ได้แก่ รูปคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (SOC) พาร์ทิคูเลตคาร์บอน (POM-C) และรูปที่อยู่ร่วมกับอนินทรีย์สารในดิน (MaOM-C) เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต พบว่า ปริมาณ SOC และ MaOM-C มีแนวโน้มลดลงในทุกระดับความลึกของดิน ในขณะที่ปริมาณ POM-C ในดินมีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะในดินชั้นบน (0-10 ซม.) ดินที่ปลูกสบู่ดำพันธุ์กำแพงแสนในพื้นที่สถานีวิจัยเขาหินซ้อนมีแนวโน้มสะสมคาร์บอนได้สูงกว่าพันธุ์ไร่สุวรรณ เบอร์ 80 ทั้งปริมาณ SOC และคาร์บอนในดินในรูปต่างๆ แต่ผลที่ได้ยังไม่ชัดเจนสำหรับพื้นที่ไร่สุวรรณวาจกสิกิจ แม้ว่าสบู่ดำพันธุ์กำแพงแสนจะสะสมคาร์บอนได้สูง แต่ก็มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินของสบู่ดำพันธุ์กำแพงแสนมีค่าสูงกว่าพันธุ์ไร่สุวรรณเบอร์80 เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าผลผลิตชีวมวลรวมและปริมาณการร่วงของเศษซากพืชที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาเบื้องต้นนี้แสดงให้เห็นว่าสบู่ดำพันธุ์กำแพงแสนมีแนวโน้มการสะสมคาร์บอนในระบบปลูกได้ดีกว่าพันธุ์ไร่สุวรรณเบอร์80 แต่ควรศึกษาเป็นระยะเวลานานขึ้นเพื่อให้ได้ผลที่ชัดเจน (สิริกานดา วัชราไทย, 2551)

2.3.3 ประโยชน์การกักเก็บคาร์บอนในดิน

การกักเก็บคาร์บอนในดินจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศลงได้ ในช่วงพัฒนาอุตสาหกรรม โลกปลดปล่อยคาร์บอนประมาณ 270±30 Pg. (Pg= pentagram=10^{15}g=1 billion ton) จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และ 136±55 Pg จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในการทำการเกษตร การปลดปล่อยคาร์บอนจากการทำการเกษตรโดยการตัดไม้ทำลายป่า, การเผามวล

ชีวภาพ, การเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศธรรมชาติมาทำการเกษตร การระบายน้ำจากพื้นที่ชุ่มน้ำและดินในการเพาะปลูกทำให้คาร์บอนในดิน (SOC) ลดลง 78±12 Pg ของคาร์บอนในอากาศ ดินที่ทำการเกษตรบางที่ ส่งผลให้คาร์บอนในดินหายไปเกินครึ่งหนึ่ง หรือ 2-3 ส่วน หายไป 30-40 Mg C/ha (Mg=megagram=10^6 g=1 ton) การทำให้คาร์บอนในดินลดลงมักเกิดจากการใช้ที่ดินในทางที่ผิด ดังนั้นการฟื้นฟูดินจึงต้องใช้เทคนิคการจัดการ RMPs (recommended management practices) บนพื้นที่การเกษตรที่จะลดคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศ การช่วยลดคาร์บอนไดออกไซด์ควรมีการอนุรักษ์การไถพรวนด้วยการปลูกพืชคลุมดินและทิ้งเศษซากที่เหลือจากการปลูกพืชไว้ การหมุนเวียนของธาตุอาหารรวมถึงการย่อยสลายปุ๋ยคอกและระบบอื่นๆ เป็นการจัดการรักษาทรัพยากรดินและน้ำ การวัดอัตราการกักเก็บคาร์บอนในดินของ RMPs อัตราจาก 50-1000 kg/ha/year การกักเก็บคาร์บอนในดิน (soil carbon sequestration) เป็นวิธีที่ได้รับประโยชน์ทั้งสองฝ่ายคือ สามารถฟื้นฟูดิน, ผลผลิตของมวลชีวภาพดีขึ้น, เกิดความบริสุทธิ์ที่ผิวน้ำและผิวดินและลดคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Lal, 2004)

การศึกษาศึกษาการใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมันอายุ 5 ปี ที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี พบว่าการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรส่งผลให้การเจริญเติบโต (พื้นที่ใบ ความยาวทางใบ พื้นที่หน้าตัดแกนทางและจำนวนทางใบเพิ่ม) ได้เท่าเทียมและดีกว่าการเติมปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.5$) นอกจากนี้การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรส่งผลให้ระดับโพแทสเซียมในปาล์มน้ำมันไม่แตกต่างทางสถิติกับปุ๋ยเคมี และสามารถรักษาระดับแมกนีเซียมในใบปาล์มน้ำมันให้สูงกว่าค่าวิกฤตได้ จึงกล่าวได้ว่า ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรสามารถนำมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมันได้ และสามารถที่จะลดปัญหามลพิษทางดินและทางน้ำจากของทิ้งเหล่านี้ได้ (ณัฐกานต์ ทู้ไพเราะ, 2554)

การศึกษาปริมาณคาร์บอนในดินของสวนป่าสักใน 5 ช่วงอายุ คือ 10, 14, 18, 27 และ 28 ปี พบว่า คาร์บอนสะสมในดินจะผกผันกับอายุของสวนป่า ในดินที่ต้นไม้อายุน้อยจะมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมาก ที่ช่วงอายุ 10, 14, 18, 27 และ 28 ปี มีการสะสมคาร์บอนในระดับชั้นดิน 0-15 ซม. มีค่า 37.1, 21.4, 28.8, 33.6 และ19.7 t Cha^{-1}ตามลำดับ เนื่องจากพืชยังนำไปใช้ประโยชน์น้อยและการผุพังสลายของอินทรียวัตถุต่างๆที่ลงมาสู่ดินสามารถสะสมอยู่ในดินได้นานกว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินหากแบ่งตามความลึกของดินจะมีแนวโน้มว่ามีอินทรีย์คาร์บอนสูงมากในดินชั้นบนสุด โดยสืบเนื่องมาจากปริมาณคาร์บอนในซากพืชซึ่งมีปริมาณมากกว่าคาร์บอนในไม้หนุ่มและไม้พื้นล่าง นั่นหมายถึงปริมาณคาร์บอนในซากพืชส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนในดินเพิ่มมากขึ้นด้วยจากการย่อยสลายผุพังของซากพืชกลายเป็นอินทรียวัตถุในดิน (นาฎสุดา ภูมิจำนงค์, 2550)

เช่นเดียวกับการศึกษาการสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในดินสวนป่าสนสามใบประกอบไปด้วยป่า 4 ชั้นอายุ คือ 21, 25, 29 และ 33 ปี เก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 11 ระดับ คือ 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-120, 120-140 และ 140-160 เซนติเมตร พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุและธาตุอาหารเพิ่มขึ้นตามอายุของสวนป่า โดยเฉพาะคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งดินชั้นบนที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร มีปริมาณการสะสมคาร์บอน อินทรียวัตถุและธาตุอาหารค่อนข้างสูง คือมี อินทรียวัตถุ, คาร์บอนในดิน, ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ที่สกัดได้ มีค่า 27.8-115.1g kg^{-1}, 16.1-66.8 g kg^{-1}, 2.0-6.5 g kg^{-1} และ 3.5-15.2 mg kg^{-1}ตามลำดับ แต่จะยกเว้นในป่าสนอายุ 33 ปี ที่มีค่อนข้างต่ำ เนื่องจากในช่วงเวลานั้น มีประชากรสนสามใบค่อนข้างหนาแน่นถึง 90.9% ในขณะที่สวนป่าอีก 3 ชั้นอายุมีไม้ใบกว้างขึ้นมาทดแทนมากกว่า และทำให้สนสามใบมีความหนาแน่นลดลงถึง 62.9-68.2 % ซึ่งเป็นผลมาจากเศษซากใบของป่าที่ถูกทดแทนด้วยไม้ใบกว้างมีศักยภาพในการสะสมคาร์บอนมากกว่าป่าสนสามใบ โดยเฉพาะในดินชั้นบนพบว่ามีสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่เปลี่ยนไปจากการย่อยสลายของซากพืชที่ร่วงหล่นเป็นฮิวมัส ส่งผลให้ดินมีการระบายน้ำและอากาศได้ดีและมีความพรุนมากขึ้น ดินชั้นบนจึงสะสมอินทรียวัตถุและคาร์บอนได้ดีตามอายุของสวนป่า (สมชาย นองเนือง และคณะ, 2555)

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการกักเก็บคาร์บอน

ปริมาณคาร์บอนในดินจะขึ้นอยู่กับสมดุลคาร์บอนในระบบ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดยขึ้นอยู่หลายปัจจัย ดังนี้

2.3.4.1 การหมุนเวียนของคาร์บอนในระบบนิเวศ

เนื่องจากในขั้นตอนของการเจริญเติบโตของพืชนั้น พืชได้ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) และแร่ธาตุต่างๆ เพื่อเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง ให้ได้มวลสารของพืช ที่ประกอบด้วยธาตุองค์ประกอบหลักได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) และไนโตรเจน (N) แล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆ ของพืช และเมื่อนำพืชหรือชีวมวลดังกล่าวมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเผาไหม้ให้ได้พลังงาน คาร์บอน (C) ที่สะสมอยู่ในชีวมวลจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืชต่อไป ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการนำพลังงานที่สะสมในชีวมวลมาใช้ประโยชน์จึงเป็นการใช้พลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจก (greenhouse gases) สามารถช่วยลดผลกระทบที่มีอยู่ในปัจจุบันจากปรากฏการณ์โลกร้อน (global warming) ได้

2.3.4.2 อินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter)

ในดิน มีความสำคัญต่อการปลูกพืชเนื่องจากเป็นที่สะสมธาตุอาหารพืช และช่วยปรับปรุงโครงสร้างทางด้านกายภาพของดินให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช ดังนั้นแหล่งที่มาของอินทรียวัตถุที่พอจะจำแนกได้คือ ได้จากการสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน ได้จากการสลายตัวของปุ๋ยอินทรีย์ เช่นปุ๋ยคอก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยหมัก เป็นต้น ได้จากการสลายตัวของสิ่งขับถ่ายจากสัตว์หรือจากผลิตภัณฑ์จากสัตว์หรือพืช เช่น กระดูกป่นและเมล็ดฝ้ายป่น เป็นต้น และได้จากเซลล์ของจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน อาจจะเป็นจุลินทรีย์ที่มีชีวิตหรือที่ตายแล้วรวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้น

ป่าไม้เป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนที่สำคัญ กล่าวคือมีปริมาณคาร์บอนสะสมคิดเป็นร้อยละ 80 ของที่สะสมอยู่ในพืชที่อยู่บนดิน และร้อยละ 40 ของที่สะสมอยู่ในดินทั้งหมด พบว่าป่าธรรมชาติซึ่งครอบคลุมพื้นที่เพียงร้อยละ 28 ของพื้นที่ประเทศสะสมคาร์บอนได้ถึงร้อยละ 86 ของคาร์บอนทั้งหมดในรูปของมวลชีวภาพ และที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 10 สะสมอยู่ในรูปมวลชีวภาพของสวนป่า ในส่วนของปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินของป่าธรรมชาติและสวนป่าพบว่ามีค่าเกินครึ่งหนึ่งของปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินทั้งหมด (จักรวาล วนานุรักษ์, 2555) อินทรียวัตถุหรือ soil organic matter (SOM) จึงเป็นวิธีการหลักที่คาร์บอนจะสะสมในดินเมื่อพืชตายลงและถูกย่อยสลายไปบางส่วนจะประกอบด้วยการย่อยสลายเนื้อเยื่อพืชและสัตว์, จุลินทรีย์ (โปรโตซัวไส้เดือนฝอย เชื้อราและ แบคทีเรีย) คาร์บอนยังสามารถเก็บไว้ในดินได้เป็นพันปีหรือได้รับการปล่อยกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศได้อย่างรวดเร็วขึ้นอยู่กับปัจจัยเช่น สภาพภูมิอากาศ, พืชพรรณธรรมชาติ, เนื้อดิน การระบายน้ำและระยะเวลาที่กักเก็บคาร์บอน ((William, 1999)

อินทรีย์คาร์บอนในดิน (SOC) เป็นคาร์บอนที่เก็บไว้ภายในดินเป็นส่วนหนึ่งของอินทรียวัตถุในดิน (SOM) ซึ่งรวมถึงองค์ประกอบที่สำคัญอื่น ๆ เช่น แคลเซียม ไฮโดรเจน ออกซิเจนและไนโตรเจน อินทรียวัตถุมีความสำคัญต่อองค์ประกอบของดินและมีบทบาทสำคัญในการสร้างสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินให้เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืชในแง่ของธาตุอาหาร อินทรียวัตถุเป็นแหล่งสำรองไนโตรเจนในดินในสภาพที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสมปฏิกิริยาของดินจะมีผลให้ไนโตรเจนถูกปลดปล่อยออกมาจากอินทรียวัตถุ อินทรียวัตถุในดินเกิดขึ้นจากวัสดุพืชและซากสัตว์ที่สลายตัวบนพื้นดิน เช่น ใบไม้, ซากสัตว์, เศษฟางข้าวเป็นต้น สิ่งเหล่านี้จะยังไม่ใช่ส่วนหนึ่งของอินทรียวัตถุจนกระทั่งได้รับการย่อยสลายเสียก่อน ซึ่งซากพืชซากสัตว์เมื่อลงสู่ดิน จะถูกสิ่งมีชีวิตย่อยสลายกลายเป็นกรดอมิโน หรือสารอื่น ขึ้นอยู่กับสภาวะ หากมีออกซิเจน ผลผลิตที่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และซัลเฟต หากเกิดในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ผลที่ได้คือ แอมโมเนีย

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ อินโดล (Indole) สเคทอล (Shatol) อะมีน (Amine) และเมอร์แคพแตน (Mercaptans) ทำให้มีกลิ่นเหม็นเน่าได้ (บุญเสริญ เตนุกุทร, 2005)

การย่อยสารโปรตีนจะได้ผลึกของยูเรีย ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายเป็นแอมโนเนียด้วยเอนไซม์ยูรีเอส (Urease) จากจุลินทรีย์และหากมีแบคทีเรียพวกบาซิลลัสพาสลียูริ (*Bacillus pasleurii*) ไมโครคอคคัสยูรีเอส (*Micrococcus urease*) โปรตีอัส (*Proteus*) และเอ็นเทอโรแบคเตอร์ (*Enterobacter*) จะเปลี่ยนยูเรียให้เป็นแอมโมเนียมคาร์บอเนต (Ammonium carbonate) และเป็นแอมโมเนีย (NH_3) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งแอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้จะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปอีกได้ 4 ทางคือ 1) จุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ 2) พืชชั้นสูง (higher plant) นำไปใช้ 3) ถูกตรึงอยู่ระหว่างผลึก (crystal lattice) ของอนุภาคดินเหนียว (clay mineral) 4) ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนไตรต์ และไนเตรต โดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, 2548)

2.3.4.3 เนื้อดิน (soil texture)

เนื้อดินเป็นสมบัติทางกายภาพพื้นฐานที่ควบคุมสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ของดิน เนื้อดินเกิดจากการรวมกันของอนุภาคดินที่มีขนาดต่างๆ กัน สามารถจำแนกได้ 3 กลุ่ม ได้แก่

1) อนุภาคดินทราย (sand particle) จัดเป็นอนุภาคดินที่มีขนาดใหญ่ที่สุด คือ ใหญ่กว่า 0.05 ถึง 0.20 มม. มีลักษณะเป็นเมล็ดหรือผลึก ร่วนไม่เกาะกันเป็นก้อน เมื่อรวมตัวกันทำให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่ในดิน ทำให้ระบายน้ำและอากาศได้ดี แต่อุ้มน้ำได้น้อย

2) อนุภาคทรายแป้ง (silt particle) มีลักษณะเป็นเม็ดปานกลางขนาด คือ 0.002 ถึง 0.050 มม.ร่วนไม่เกาะกันเป็นก้อน อนุภาคดินเรียงตัวกัน สามารถอุ้มน้ำได้ดี เนื้อดินมีความสำคัญต่อการกักเก็บคาร์บอนเป็นอย่างมาก

3) อนุภาคดินเหนียว (clay) เป็นอนุภาคขนาดเล็กที่สุด และให้ความรู้สึก “เหนียว” และแน่นยากที่จะบีบ ขนาด <0.002 มม. (USDA)

เนื้อดินมีผลต่ออินทรีย์คาร์บอนในดิน เพราะความเสถียรของสมบัติของดินเหนียวมีสารอินทรีย์ สารอินทรีย์สามารถที่จะยึดเกาะอยู่ในช่องว่างเล็กๆระหว่างอนุภาคดินเหนียว ซึ่งจุลินทรีย์เข้าไปได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงลดการย่อยสลายลงได้ อนุภาคดินเหนียวจะมีการปกป้องสารอินทรีย์ในดินผ่านการดูดซึมเข้าสู่ผิวหน้าของอนุภาคดินเหนียว ซึ่งจะเป็นการขัดขวางการย่อยสลายของแบคทีเรีย ดินที่มีอนุภาคดินเหนียวมาก จะอินทรีย์คาร์บอนมากกว่าดินที่มีอนุภาคดินเหนียวน้อย ภายใต้การใช้พื้นที่ที่เหมือนกันและสภาพอากาศเดียวกัน ฤดูกาลมีผลต่อการย่อยสลายของอินทรีย์คาร์บอนในดินและเกิดการหมุนเวียนคาร์บอนในดิน ในพื้นที่ทุ่งหญ้ามีสารอินทรีย์มากทำให้เพิ่มดินอินทรีย์คาร์บอน ในเขตอากาศที่ร้อนชื้น (tropical) พบการย่อยสลาย

และการหมุนเวียนคาร์บอน (carbon cycle) สูง ความจุของคาร์บอนอินทรีย์ในดินทรายมีน้อยกว่า 1% และอาจมีเกือบถึง 100% ในดินชุ่มน้ำ (Milne and Heimsath, 2009)

2.3.4.4 ความชื้น (soil moisture)

ความชื้นในดินมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับสิ่งมีชีวิตในดิน ได้แก่ สัตว์ พืช หรือจุลินทรีย์ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของพืชและสัตว์ เพื่อใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม เพื่อการเจริญเติบโต ความชื้นในดินมาจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาหรือน้ำที่ได้จากการชลประทาน ส่วนน้ำที่ไหลออกมาจากการระเหยของน้ำเนื่องจากอุณหภูมิ ซึ่งความชื้นในดินจะเป็นประโยชน์ต่อพืชมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับเนื้อดิน หากเป็นดินเหนียวเนื้อละเอียดจะอุ้มน้ำได้ดี และแตกต่างจากดินทรายที่จะเก็บกักความชื้นได้น้อยกว่า ความชื้นในดินมีผลต่ออัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ดินโดยตรง ในดินที่ขาดความชื้นจะส่งผลให้ดินเกิดการกร่อนของดิน (soil erosion) ดินจึงถูกพัดพาหรือเคลื่อนย้ายไปได้ง่ายทั้งจาก ลม น้ำ เป็นต้น ส่งผลต่อการย่อยสลายและจำนวนของจุลินทรีย์ในดินจุลินทรีย์ต้องการน้ำในการดำรงชีวิต ในขณะเดียวกันน้ำก็ช่วยละลายธาตุอาหารต่างๆ ที่อยู่ในดิน จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ความชื้นประมาณ 60-75% ของค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (water holding capacity) ส่วนจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในภาวะน้ำขัง ในพื้นที่ที่มีความชื้นมาก เช่น ในบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำ จะมีการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์น้อยมาก เนื่องจากความชื้นจากน้ำที่มากจะไม่สามารถทำให้ออกซิเจนในอากาศลงสู่ดินได้หรือลงสู่ดินได้น้อย จุลินทรีย์จึงไม่สามารถทำงานได้ตามปกติในพื้นที่ชุ่มน้ำจึงมีการสะสมของเศษซากพืชซากสัตว์มาก ปริมาณฝนตกจึงมีผลต่อความชื้นในดินและการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เพราะจุลินทรีย์จะย่อยสลายและปลดปล่อยคาร์บอนได้ดีในสภาพดินที่แห้งมากกว่าดินที่มีความชื้น โดยมีอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินด้วย (Bowden et al, 1998; Lomander et al, 1998)

2.3.4.5 เวลาในการกักเก็บคาร์บอนในดิน (time)

ในช่วงเวลาในการกักเก็บคาร์บอนในดินที่ยาวนาน ระดับของอินทรีย์คาร์บอนในดินจะมีความสมดุลในพื้นที่นั้น โดยทั่วไปดินนั้นมีความจุการเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินไม่มากนัก แสดงว่าดินมีค่ามากที่สุดในการกักเก็บคาร์บอนในดินให้กับพื้นที่นั้นและในสภาพแวดล้อมนั้น หากดินถูกรบกวนหรือเกิดการปลดปล่อยคาร์บอนสู่อากาศ การกักเก็บคาร์บอนนั้นจะลดลง อย่างไรก็ตามระดับของอินทรีย์คาร์บอนในดินจะมีความสมดุลเกิดขึ้นใหม่อีกครั้ง และเกิดอย่างช้าๆ

2.3.4.6 อุณหภูมิ (temperature)

อุณหภูมิเป็นตัวกำหนดอัตราการย่อยสลาย การย่อยสลายจะช้าในอุณหภูมิที่หนาว เย็น และจะย่อยสลายได้เร็วขึ้นในอุณหภูมิที่ร้อน ในพื้นที่ร้อนและเปียกในพื้นที่เขตศูนย์สูตร (tropical) จะมีอัตราการย่อยสลายสูง อินทรีย์คาร์บอนเกือบทั้งหมดถูกย่อยสลาย แต่

ถึงแม้ว่าระดับอินทรีย์คาร์บอนในดินจะลดลงจากการย่อยสลาย พืชบริเวณนั้นก็ยังเติมเศษซากให้กับดินเสมอ

2.3.4.7 ความเป็นกรดเบส (pH) ในดิน

กรดเบสของดิน มีความสำคัญต่อการปลูกพืชมาก เพราะเป็นตัวควบคุมการละลายธาตุอาหารในดิน ออกมาอยู่ในสารละลายหรือน้ำในดิน ถ้าดินมีกรดเบสไม่เหมาะสม ธาตุอาหารในดินอาจจะละลายออกมาได้น้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช หรือในทางตรงกันข้ามธาตุอาหารบางชนิดอาจจะละลายออกมามากเกินไป จนเป็นพิษต่อพืชได้ สำหรับพืชทั่วๆไปมักจะเจริญเติบโตในช่วงกรดเบส 6-7

นอกจากนี้ความเป็นกรดเบสของดินยังควบคุมการเจริญเติบโต และการทำหน้าที่ของจุลินทรีย์ดินด้วย จุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตในสภาพที่มีค่ากรดเบสสูงหรือต่ำ เนื่องจากกรดและด่างจะทำลายเอนไซม์และสารต่างๆ ภายในเซลล์ช่วงค่ากรดเบส ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 6-8 จุลินทรีย์บางชนิดจะอาศัยอยู่ในค่าความเป็นกรดเบสต่ำมาก เช่น *Euglena mutabalis* จะเจริญเติบโตระหว่างค่ากรดเบส 0-1 (Jopes, 2011)

2.3.4.8 การหายใจของดิน (soil respiration)

การหายใจของดิน หมายถึงกระบวนการของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ปล่อยออกมาจากพื้นดิน การหายใจของดินโดยทั่วไปหมายถึงดินปล่อย CO_2 สามารถแบ่งการหายใจออกเป็น autotrophic (รากหายใจและการหายใจของจุลินทรีย์รอบรากพืช) และ heterotrophic (จุลินทรีย์และการหายใจของสัตว์) การวัดความเข้มของการหายใจในดินเป็นตัวชี้วัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ทั้งหมดหรือเป็นหนึ่งในตัวชี้วัดของการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน เช่น อินทรีย์วัตถุในดิน ค่ากรดเบสในดิน อุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณธาตุอาหาร มีอิทธิพลต่ออัตราการหายใจของดินและการหายใจจากดิน (บุญเสริญ เตนุกุทร , 2005)

ปัจจัยต่อการหายใจของดิน โดยทั่วไปดินที่มีปริมาณจุลินทรียสูงมักจะเปนดินที่มีความอุดมสมบูรณสูง ทั้งนี้ เนื่องจากจุลินทรียดินมีผลชวยสงเสริมกระบวนการตางๆ ที่เปนประโยชนภายในดิน เชน กระบวนการยอยสลายอินทรียสาร กระบวนการตรึงไนโตรเจน เปนตน ซึ่งกิจกรรมของจุลินทรียดินที่เปนประโยชนไดแก การยอยสลายอินทรียวัตถุ สภาพแวดลอมที่สำคัญไดแก ความชื้น การถายเทอากาศ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดเบสของดิน ปริมาณและชนิดอินทรียสาร (organic substance) ในดิน ปริมาณและชนิดอนินทรียสาร (inorganic substance) ในดิน เปนตน กิจกรรมของจุลินทรียในดินสามารถวัดไดโดยการวัดปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเกิดในกระบวนการ

หายใจของจุลินทรียการยอยสลายอินทรียวัตถุโดยจุลินทรียดิน สวนใหญคารบอนในอินทรียวัตถุจะถูกปลอยออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) บางสวนจะรวมอยูในเซลลของจุลินทรีย และสวนที่ยอยสลายยากจะเหลืออยูในดิน ซึ่งจะเปนสิ่งที่ให่กําเนิดฮิวมัสตอไป ซึ่งจะสลายตัวไปอยางช่า ๆ (บุญเสริญ เตนุกุทร , 2005)

ลิขิต พลยศ (2555) ศึกษา พบว่าการปลดปล่อยแก๊คาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินมีแนวโน้มแปรผันไปตามการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดิน โดยช่วงใดที่มีความชื้นในดินสูงจะมีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูง โดยเฉพาะในช่วงหน้าฝนหรือช่วงที่มีฝนตก ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จะสูงกว่าในช่วงหน้าแล้งหรือช่วงที่ไม่มีฝน แต่อัตราการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างแปลงที่มีการไถพรวนแบบต่างๆ ไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มว่าในแปลงที่มีการไถพรวนแบบปกติและไถพรวนครั้งเดียวมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าแปลงที่ไม่มีการไถพรวน เมื่อคำนวณเป็นปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนสุทธิเฉลี่ย พบว่าปริมาณคาร์บอนสุทธิจะถูกปลดปล่อยออกจากระบบในแปลงไถพรวนปกติและแปลงไถพรวนครั้งเดียวมากกว่าในแปลงไม่ไถพรวน เฉลี่ย 4.804, 4.803 และ3.994 ตันคาร์บอนต่อไร่ต่อปีตามลำดับ การมา ดอรจิ (2553) ผลกระทบของความชื้นในดินและอุณหภูมิตอการหายใจของดินในเขตร่อน บริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สถานีวิจัยสิ่งแวดลอมสะแกราช และสถานีวัฒนวิจัยสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา พบว่า คาเฉลี่ยของอัตราการหายใจของดินในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมีคาสูงสุดในแปลงปลูกขาวโพด รองลงมา คือ แปลงปลูกทานตะวันและมีคาต่ำสุดในสวนปายูคาลิปตัส ซึ่งมีคาเทากับ 4.2 3.7 และ 1.9 $\mu mol\ CO_2\ m^{-2} d^{-1}$ ตามลําดับ สําหรับคาเฉลี่ยของอัตราการหายใจของดินในพื้นที่สถานีวิจัยสิ่งแวดลอมสะแกราช และสถานีวัฒนวิจัยสะแกราช พบวา พื้นที่ปาดิบแลงมีคาสูงสุด ตามดวยสวนปากระถินณรงค แตมีคาต่ำสุดในพื้นที่ปาดิบแล่ง ซึ่งมีคาเทากับ 4.3 3.5 และ 2.8 $\mu mol\ CO_2\ m^{-2} d^{-1}$ ตามลําดับ โดยความชื้นของดินมีความสัมพันธกับการหายใจของดิน ขณะที่ความชื้นของดินที่เพิ่มขึ้นมีผลตอการเพิ่มการหายใจของดินจากบางพื้นที่ แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นไมได่สงผลตออัตราการหายใจของดินมากนัก (สําเริง ปานอุทัย, สิริรัตน์ จันทร์มหาเสถียร และ สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, 2548) สําเริง และคณะ (2548)

สำหรับผลกระทบจากการหายใจของดินพบว่า การแลกเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างดินและอากาศเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ในดินและการหายใจของรากพืช การปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นี้จะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และการระเหยของน้ำ ดินที่มีปริมาณจุลินทรีย์สูงมักจะเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เนื่องจากจุลินทรีย์ดินมีผลช่วยส่งเสริมกระบวนการต่างๆที่เป็นประโยชน์ภายในดิน เช่น กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สาร กระบวนการตรึงไนโตรเจน เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินที่เป็นประโยชน์ ได้แก่

การย่อยสลายอินทรียวัตถุ เป็นต้น กิจกรรมของจุลินทรีย์ดินสามารถวัดได้ โดยการวัดปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเกิดในกระบวนการหายใจของจุลินทรีย์ การย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์ดิน ส่วนใหญ่คาร์บอนในอินทรียวัตถุจะถูกปล่อยออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ บางส่วนจะรวมอยู่ในเซลล์ของจุลินทรีย์ และส่วนที่ย่อยสลายยากจะเหลืออยู่ในดิน ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ให้กำเนิดฮิวมัสต่อไปซึ่งจะสลายตัวไปอย่างช้าๆ ดินจึงมีบทบาทในการเป็นตัวกลางสำคัญในการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสู่อากาศ ดินที่มีความพรุนปานกลางจะทำให้เกิดการไหลของแก๊สได้มากและดินที่มีความพรุนน้อยจะส่งผลต่อความดันในการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างดินและอากาศ ส่งผลให้การไหลเวียนคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสู่อากาศน้อยลง

2.4 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน (oil palm) เป็นไม้ยืนต้นจำพวกปาล์มอยู่ในวงศ์ (*Arecaceae*) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis Jacq*. เป็นพืชที่มีอายุยืนยาวถึง 100 ปี มีลำต้นสูงถึง 6-15 เมตร ปาล์มน้ำมันเป็นพืชผสมข้ามประเภทที่มีช่อดอกตัวผู้และตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน แต่ช่วงของการออกดอกจะไม่พร้อมกัน จัดอยู่ในสกุล *Elaeis* สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ *E.guineensis*, *E.Oleifera* และ *E.odora* โดยที่ *E.guineensis* เป็นสายพันธุ์ที่นิยมปลูก มีต้นกำเนิดดั้งเดิมมาจากแอฟริกา อาจเรียกว่าเป็น African oil palm และสามารถจำแนกได้ 3 แบบคือ ดูร่า เทเนอร่า และพิสิเฟอร่า โดยอาศัยการแยกตามความหนาของกะลา เส้นใยและความหนาของเนื้อปาล์ม ส่วน *E.Oleifera* มีถิ่นกำเนิดจากประเทศต่างๆ ทางเหนือของลุ่มน้ำอเมซอน ของทวีปอเมริกาใต้และอเมริกากลาง บริเวณประเทศคอสตาริกา อาจเรียกว่า American oil palm ไม่นิยมปลูกเป็นการค้า เนื่องจากโตช้า ให้ผลเล็ก และให้ผลผลิตน้ำมันต่ำกว่าชนิด *E.guineensis* แต่มีการใช้ลักษณะต้นเตี้ยในการนำมาปรับปรุงพันธุ์ และ***E.odora*** พบบริเวณเดียวกับ *E.Oleifera* คือบริเวณลุ่มน้ำอเมซอน และการนำมาใช้ประโยชน์ยังไม่มีข้อมูลแน่นอน

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis*) มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงให้เป็นน้ำมัน เป็นพืชยืนต้นที่มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปีโดยไม่มีระยะพักตัว ผลิตทางใบเดือนละประมาณ 2 ทางใบ ในแต่ละทางใบจะมีตาดอกเกิดขึ้นและจะพัฒนาต่อไปเป็นทะลายปาล์ม ระยะเวลาตั้งแต่เกิดตาดอกถึงระยะที่เก็บเกี่ยวทะลายปาล์มใช้เวลา 39-40 เดือน ซึ่งขึ้นกับสภาพแวดล้อมด้วย เนื่องจากปาล์มน้ำมันต้องการสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม โดยเฉพาะเรื่องน้ำ ธาตุอาหารและแสงแดด ปาล์มน้ำมันจะเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่เหมาะสมและการบำรุงรักษาที่ดี โดยปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเติบโตและให้ผลผลิต

2.4.1 การเติบโตของปาล์มน้ำมัน

การเติบโตของปาล์มน้ำมันและการพัฒนาของต้นปาล์มน้ำมัน เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน รวมถึงปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมและธาตุอาหารที่จะช่วยให้ปาล์มน้ำมันสามารถเติบโตและให้ผลผลิตมาก (เอกชัย พฤกษ์อำไพ, 2548) ดังนี้

2.4.1.1 ปริมาณฝน ปัจจัยที่อิทธิพลสำคัญอันดับ 1 ในการจำกัดผลผลิตของปาล์มน้ำมัน คือความชื้น ปาล์มควรได้รับความชื้นสม่ำเสมอตลอดปี ไม่ว่าจะเป็นความชื้นจากน้ำฝน ความชื้นจากทะเล หรือความชื้นจากแหล่งน้ำที่ขุดขึ้น ปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 120 มิลลิเมตรต่อเดือน หรือ 2,500-3,000 มิลลิเมตรต่อปี ขึ้นไป และไม่ควรขาดน้ำติดต่อกันนาน 6 เดือน การขาดน้ำที่ยาวนานในช่วง 1 ปีส่งผลให้ดอกตัวเมียลดลง และมีผลให้ปาล์มมีดอกตัวผู้มากขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลให้ดอกตัวเมียเป็นหมัน ส่งผลกระทบต่อการให้ผลผลิตที่น้อยลง

2.4.1.2 แสงแดด เป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันรองจากน้ำฝน โดยทั่วไปควรจะมีแสงประมาณ 4-5 ชั่วโมงต่อวัน พืชสีเขียวจะใช้รงควัตถุพวกคลอโรฟิลล์ในการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี นำมาสร้างอาหารจากโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ รวมทั้งปลดปล่อยแก๊สออกซิเจนออกมา ปริมาณพลังงานแสงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux) (10.76 lux=1 ft-c) ในแต่ละพื้นที่จะมีความเข้มแสงแตกต่างกันทำให้พืชต้องปรับตัวทางพันธุกรรมต่างกัน หากได้รับความเข้มข้นแสงต่ำพืชจะสังเคราะห์แสงต่ำไปด้วย แต่อัตราการหายใจจะเท่าเดิม ความเข้มแสงจะสูงสุดในเดือนเมษายนและต่ำสุดในเดือนพฤจิกายน ความต้องการแสงของปาล์มยังไม่เป็นที่แน่ชัด แต่โดยทั่วไปแล้วเราทราบว่าจำนวนใบย่อยของปาล์มจะเปลี่ยนแปลงเมื่อปาล์มอายุมาก การจัดการอย่างถูกต้องจึงต้องมีการตัดแต่งทางใบเพื่อให้ใบปาล์มได้รับแสงอย่างเพียงพอในแต่ละช่วงอายุซึ่งจะเป็นผลถึงการให้ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย

2.4.1.3 อุณหภูมิ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน จากการศึกษาที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส มีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันและเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 20 และ 25 องศาเซลเซียส ทำให้ต้นปาล์มกลับเติบโตได้อย่างรวดเร็วเป็น 3 และ 7 เท่า โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อต้นปาล์มคือ 24-30 องศาเซลเซียส ต่ำสุดไม่ควรต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียสและสูงสุดไม่ควรเกิน 33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สูงมีผลต่ออัตราการคายน้ำของต้นปาล์มสูงขึ้นและมีผลต่อการสูญเสียความชื้นในดิน

2.4.1.4 สภาพดินที่เหมาะสม คือ ดินร่วนเหนียวถึงดินเหนียว มีความลึกของชั้นหน้าดินมากกว่า 75 เซนติเมตร อุ้มน้ำได้ดี ระดับน้ำใต้ดินลึก 75-100 เซนติเมตร มีธาตุอาหารสูง มีความเป็นกรดอ่อน pH 4.0-6.0 สูงกว่าระดับน้ำทะเลไม่เกิน 500 เมตร มีความลาดชันไม่เกิน 12 % พื้นที่ไม่มีน้ำท่วมขัง มีการระบายน้ำดีถึงปานกลาง

2.4.1.5 ธาตุอาหาร มีความสำคัญต่อการเติบโตและการให้ผลผลิตเป็นอย่างมาก การจัดการสวนปาล์มน้ำมันตั้งแต่ระยะอนุบาลจนถึงระยะให้ผลผลิตควรคำนึงถึงธาตุอาหารที่เพียงพอ ระยะที่ปาล์มน้ำมันเติบโตนับจาก 3 ปี หลังจากปลูกไปจนถึงปีที่ 9 ของการปลูก จัดเป็นระยะที่ให้ผลผลิตสูงสุด ปาล์มที่ได้รับการดูแลอย่างเหมาะสมและให้ธาตุอาหารเพียงพอในปีแรกอาจให้ผลผลิตได้มากถึง 2.4-3.2 ตันต่อไร่

2.4.1.6 ลม ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ไม่ทนต่อลมแรง จึงไม่ควรปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ที่เกิดพายุบ่อยๆ แต่ปาล์มน้ำมันต้องการลมอ่อนๆ เพื่อระบายความร้อน โดยเฉพาะในช่วงที่มีแดดจัด และลมอ่อนๆ ยังช่วยส่งเสริมการหายใจของปาล์มน้ำมันด้วย

2.4.1.7 คาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นจากระดับปกติที่มีในอากาศ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย จนถึงระดับหนึ่ง ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้น แต่อัตราการสังเคราะห์แสงไม่ได้เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย เมื่อพืชได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงเป็นเวลานานๆ จะมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดต่ำลงได้ คาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่อการสังเคราะห์แสงมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย เช่น ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น แต่ความเข้มของแสงน้อยและอุณหภูมิของอากาศต่ำ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดต่ำลงตามไปด้วย ซึ่งจะมีผลทำให้พืชมีอาหารมากขึ้น ดังนั้น พืชจึงสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วและออกดอกออกผลเร็ว (คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555) ความแตกต่างระหว่างพืช C3 และC4 ในแง่ของคาร์บอนไดออกไซด์คือ ถ้าคาร์บอนไดออกไซด์ ลดลงต่ำกว่าสภาพปกติแต่แสงยังอยู่ในระดับเข้มข้นเหนือจุด Light Compensation พบว่าพืช C3 จะมีการสังเคราะห์แสงเป็น 0 ถ้ามีความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 50-100 ส่วนต่อล้านส่วน แต่พืช C4 จะยังสังเคราะห์แสงได้ต่อไป ถึงแม้ว่าคาร์บอนไดออกไซด์จะต่ำถึง 0-5 ส่วนต่อล้านส่วน ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไวด์ที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงเท่ากับอัตราการหายใจ เรียกว่า จุดชดเชยของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 compensation point) (Jones, 2003)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับต้นปาล์มน้ำมัน เป็นการศึกษาวิจัยแบบทดลอง (experimental research) ที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ตำบลท่าอุแท อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ดำเนินการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ (สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7) อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.1.1 การรวบรวมข้อมูล

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลทางวิชาการและผลการศึกษาวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เช่น การกักเก็บคาร์บอนในดิน การหายใจของดิน ของทิ้งอุตสาหกรรมยางพาราและปาล์มน้ำมัน การเจริญเติบโตและผลผลิตปาล์มน้ำมันจากศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

3.1.2 การสำรวจภาคสนามและกำหนดพื้นที่วิจัย

สำรวจพื้นที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี และกำหนดพื้นที่ศึกษาวิจัยบริเวณพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอรา อายุ 6-7 ปีของศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี

3.2 การวางแผนการศึกษาวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ วางแผนการวิจัยแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design) 4 ซ้ำ 6 ตำรับการทดลอง (ตารางที่ 3 . 1) การศึกษาวิจัยนี้จึงมี 24 หน่วยทดลอง โดยหนึ่งหน่วยทดลองคือต้นปาล์มน้ำมันสายพันธุ์เทเนอรา อายุ 6-7 ปี จำนวน 9 ต้น ดังนั้นจำนวนต้นปาล์มน้ำมันในการศึกษาครั้งนี้เท่ากับ 216 (9x24) ต้น

ตารางที่ 3 . 1 ตำรับการทดลองในการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารและการกักเก็บคาร์บอนโดยดิน

ตำรับทดลอง	สิ่งทดลอง
1	ดินเดิม (ควบคุม)
2	ดินเดิม + ปุ๋ยเคมีตามคำแนะนำของศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี
3	ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)
4	ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (1: 3: 1 :1)
5	ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1)
6	ดินเดิม + กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)

3.3 ขั้นตอนการศึกษา

3.3.1 การเตรียมการทดลอง

3.3.1.1 สุ่มเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่ทดลองก่อนเติมสิ่งทดลอง โดยนำมาผึ่งลม (air dry) แล้วทุบ ร่อนผ่านตะแกรง 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ตามพารามิเตอร์ที่กำหนด (ตารางที่ 3 . 2)

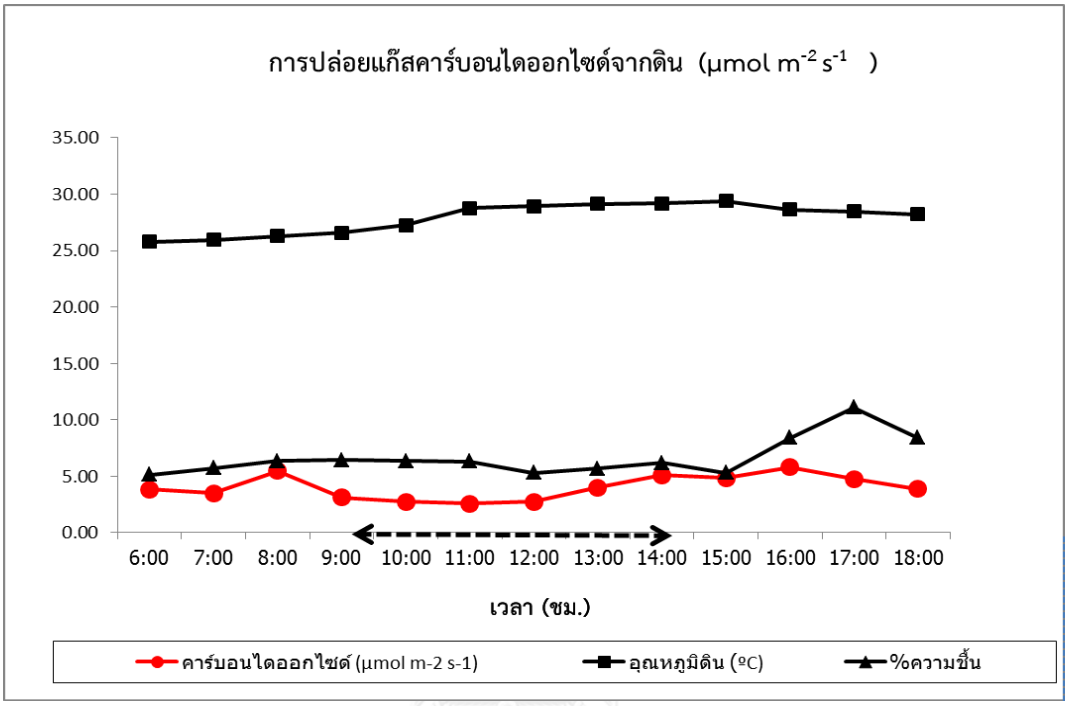
3.3.1.2 เตรียมสิ่งทดลอง นำกากขี้แป้งและกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นมาผึ่งแดดให้แห้ง ทุบ และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ส่วนเส้นใยปาล์มน้ำมันเตรียมโดยนำเส้นใยปาล์มน้ำมันมาตากแดดให้แห้งโดยระวังไม่ให้มีการปนเปื้อนและเก็บเส้นใยที่แห้งแล้วในถุงพลาสติกที่สะอาดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเตรียมโดยนำมาผึ่งแดดให้แห้งระวังไม่ให้มีการปนเปื้อน เมื่อแห้งแล้วเก็บขี้เถ้าปาล์มน้ำมันไว้ในถุงพลาสติกสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป (ภาพที่ ผ. 1) และนำไปวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการตามพารามิเตอร์ที่กำหนด (ตารางที่ 3 . 2)

ตารางที่ 3 . 2 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ดิน	ของทิ้งอุตสาหกรรม	ผลผลิตปาล์มน้ำมัน
อินทรีย์คาร์บอน (organic carbon)	Walkley and Black method	+	+	+
อินทรียวัตถุ (organic matter)	Walkley and Black method	+	+	+
ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	Kjeldahl method	+	+	+
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus)	Bray II	+	+	+
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ exchangeable potassium)	1 N NH_4OAc pH 7.0	+	+	+
% ความชื้นดิน (soil moisture content %)		+	+	+
ค่ากรดเบส (pH)	pH meter	+	+	+
อุณหภูมิ (soil temperature)	thermometer	+	-	-
ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density of soil)	Core method	+	-	-
การหายใจของดิน (soil respiration)	LI-cor6400-09 soil respiration chamber	+	-	-
ผลผลิตปาล์มน้ำมัน (yields)	ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทะลายปาล์มแบบแขวน	-	-	+

หมายเหตุ (+) หมายถึง ทำการวิเคราะห์, (-) หมายถึง ไม่ทำการวิเคราะห์

3.3.1.3 วัดการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในรอบวัน ตั้งแต่ช่วงเวลา 06.00-18.00 นาฬิกา (ภาพที่ 3 . 1) พบว่าค่าการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีค่าคงที่ใน ช่วงเวลา 10.00-14.00 นาฬิกา จึงเลือกช่วงเวลานี้เป็นตัวแทนในการตรวจวัดในทุกตำรับทดลอง



ภาพที่ 3 . 1 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากดินทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 06.00-18.00 นาฬิกา และช่วงเวลาที่เลือกเป็นตัวแทนของการวัดในแต่ละตำรับทดลอง (←-→)

3.3.2 การศึกษาผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินสวนปาล์มน้ำมัน

3.3.2.1 นำของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรที่เตรียมไว้ (ข้อ 3.3.1.2) มาคลุกเคล้าตามตำรับการทดลอง (ตารางที่ 3.1) และบรรจุลงถุงพร้อมนำไปทดลอง

3.3.2.2 นำสิ่งทดลองที่เตรียมไว้ตามตำรับทดลอง (ตารางที่ 3.1) ในข้อ 3.3.2.1 เติมลงดินสวนปาล์มน้ำมันที่กำหนดจำนวนต้นตามแผนการทดลอง เติมในวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2554 โดยหว่านที่พื้นผิวดินภายในทรงพุ่มปาล์มน้ำมันซึ่งมีรัศมี 2 เมตร

3.3.2.3 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง มีดังนี้ ถุงเก็บตัวอย่าง (ถุงพลาสติกใสขนาด 10x15 นิ้ว) ถัง เครื่องชั่ง จอบ เสียม พลั่ว (ภาพที่ ผ. 2)

3.3.2.4 เก็บตัวอย่างดินภายหลังการเติมสิ่งทดลอง เมื่อวันที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 โดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร สุ่มเก็บรอบรัศมีทรงพุ่มซึ่งมีรัศมี 2 เมตร ของทุกหน่วยทดลอง (หนึ่งหน่วยทดลองมี 9 ต้น) มาทำตัวอย่างดินรวม (composite sample)

จากนั้นนำไปผึ่งลม (air dry) ทุบและร่อนดินผ่านตระแกรงขนาด 1 และ 2 มิลลิเมตร เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน (ตารางที่ 3.2)

3.3.3 การศึกษาการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสวนปาล์มภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

ศึกษาการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากดินโดยการตรวจวัดการหายใจของดิน (soil respiration) ด้วยเครื่องมือ LI-6400-09 soil respiration chamber ตรวจวัดในวันที่ 20-23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 เลือกตำแหน่งการวัดบริเวณรัศมีทรงพุ่ม 2 เมตร วัดการหายใจของดินใน ช่วงเวลา 10:00- 14:00 นาฬิกา ซึ่งเป็นช่วงเวลาวัดการหายใจของดินที่เหมาะสม ตามที่ได้เตรียมการทดลองในช่วงเวลา 06.00-18.00 นาฬิกา (ข้อ 3.3.1.3) ทั้งนี้การเลือกตำแหน่งการวางเครื่องมือ Li-cor 6400-09 soil respiration chamber เพื่อวัดการหายใจของดินแต่ละจุดกำหนดการวางในทิศเหนือของต้นปาล์มเหมือนกันทุกจุด เพื่อลดความแปรปรวนของพื้นที่ทดลอง การวัดจะวางเครื่องมือ (soil respiration chamber) ลงดิน โดยใน 1 จุดทดลอง ทำการวัดทั้งหมด 30 ค่า

3.3.4 การศึกษาผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน

การเก็บตัวอย่างผลผลิตปาล์มน้ำมัน เก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มน้ำมันทุก 20 วัน ตั้งแต่วันที่ 21 พฤศจิกายน พ. ศ. 2554 ถึงวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2555 การเก็บเกี่ยวจะใช้เสียมตัดทะลายปาล์มแต่หากเป็นต้นที่สูงมากจะใช้เคียวตัดทะลายปาล์ม ชั่งน้ำหนักแต่ละทะลายด้วยเครื่องชั่งแบบแขวนซึ่งรับน้ำหนัก 100 กิโลกรัม บันทึกน้ำหนักทะลายปาล์ม (ภาพที่ ผ. 3)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลผลการวิเคราะห์เกี่ยวกับการกักเก็บคาร์บอนในดินและผลผลิตปาล์มน้ำมัน ทุกพารามิเตอร์ที่วางแผนและกำหนดไว้ มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) หากพบว่าค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ใดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จะเปรียบเทียบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS 16.0

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินและผลผลิตของต้นปาล์มน้ำมัน ดำเนินการศึกษาวิจัยแบบทดลอง ประกอบด้วย ดินเดิมไม่เติมสิ่งทดลอง, การเติมปุ๋ยเคมี และการเติมกากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน 6 ตำรับทดลอง 4 ซ้ำ รวม 24 หน่วยทดลอง หนึ่งหน่วยทดลองมีปาล์มน้ำมันสายพันธ์เทเนอรา อายุ 6–7 ปี จำนวน 9 ต้น ภายใต้สภาพแวดล้อมของพื้นที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ตำบลท่าอุแท อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ผลการวิจัยครอบคลุมการศึกษาสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารในของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรและในดิน การให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน การกักเก็บคาร์บอนในดินและการหายใจของดิน เพื่อประเมินการใช้ประโยชน์ในด้านธาตุอาหารสำหรับการให้ผลผลิตปาล์มน้ำมัน และการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินจากการนำของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเติมลงดินสวนปาล์ม รวมถึงประเมินถึงผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรที่เป็นวัสดุอินทรีย์ต่อการหายใจของดิน

4.1 สมบัติทางเคมีทั่วไปและปริมาณธาตุอาหารของของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร สำหรับการศึกษาประโยชน์จากของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารแก่ปาล์มน้ำมันและการกักเก็บคาร์บอน ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้แก่ กากขี้แป้งจากโรงงานผลิตน้ำยางข้น, กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐาน, เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรมีดังนี้

4.1.1 สมบัติทางเคมีทั่วไป

กากขี้แป้งจากกระบวนการตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางข้น กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐาน เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมันจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม มีลักษณะและสมบัติทางเคมี ดังนี้ กากขี้แป้ง มีลักษณะเป็นผงสีขาวขุ่นหรือเหลืองอ่อนคล้ายแป้ง สมบัติและองค์ประกอบทางเคมี มีความเป็นกรดเบส (pH) เท่ากับ 5.4 (ตารางที่ 4.1) ซึ่งไม่กระทบต่อการเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันเนื่องจากปาล์มน้ำมันสามารถเติบโตได้ดีในช่วงกรดเบสของดินในช่วง 4.2-5.5 (Rankine and Fairhurst, 1998) (ตารางที่ ผ.3) มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) 8.79 กากขี้แป้งจึงสลายตัวได้ดีและไม่ส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช กากขี้แป้งมีปริมาณอินทรียวัตถุสูง (ร้อยละ 22.30) เมื่อเทียบกับเกณฑ์ของ

กรมวิชาการเกษตร (2553) (ตารางที่ ผ.2) นอกจากอินทรียวัตถุจะเป็นธาตุอาหารแก่จุลินทรีย์ในดิน ส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของดินดีขึ้น ช่วยทำให้ธาตุอาหารพืชอยู่ในสภาพที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากเกิดกรดอินทรีย์เป็นตัวทำละลายให้ธาตุอาหารในดินละลายออกมาเป็นประโยชน์ได้มากขึ้น (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2548) อีกทั้งยังเป็นธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ปนัดดา คำรัตน์, 2545; วราศรี แถกประสิทธิ์, 2543)

กากตะกอนน้ำเสียเกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาของโรงงานผลิตยางแท่งมาตรฐานของบริษัทยางไทยปักษ์ใต้ จังหวัดนครศรีธรรมราช มีลักษณะร่วน เนื้อค่อนข้างละเอียด สีน้ำตาลคล้ำ และไม่มีกลิ่น เนื่องจากกากตะกอนค่อนข้างแห้งในขณะเก็บตัวอย่าง อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) สูงถึง 96.66 และมีปริมาณอินทรียวัตถุ (%OM) สูงด้วยเช่นกันจึงส่งผลต่อกระบวนการ immobilization อาจส่งผลให้พืชขาดธาตุไนโตรเจนได้ (คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา, 2548) ทั้งนี้กากตะกอนน้ำเสียมีค่ากรดเบส เท่ากับ 6.96 จัดว่าเป็นกลาง หากเติมลงดินสวนปาล์มจึงไม่ส่งผลต่อการเติบโตของปาล์มน้ำมัน ซึ่งเติบโตได้ดีในดินที่มีค่าความเป็นกรดเบส 4.2-5.5 (Rankine and Fairhurst, 1998) อีกทั้งกากตะกอนมีอินทรียวัตถุสูงกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 (ตารางที่ ผ.8) ถึงร้อยละ 30 (ตารางที่ 4 . 1) กากตะกอนน้ำเสียจึงสามารถเป็นแหล่งอินทรียวัตถุให้กับดินได้ ซึ่งอินทรียวัตถุมีอิทธิพลต่อคุณภาพของดินทั้งทางกายภาพ ทางชีวภาพ และทางเคมี มีผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินและการเจริญเติบโตของพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม (ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์, 2536) การใส่อินทรียวัตถุในดินนอกจากจะช่วยเพิ่มช่องว่างขนาดใหญ่ในดินเนื้อละเอียดและเพิ่มช่องว่างขนาดเล็กในดินเนื้อหยาบ ทำให้ช่องว่างพอเหมาะทั้งการดูดยึดน้ำและการระบายอากาศ (ศุภมาศ พนิชศักดิ์, 2527) ทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์ในดินช่วยเปลี่ยนอนินทรีย์สารในดินจากรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ และช่วยควบคุมการละลายได้ของธาตุบางชนิด ที่จะส่งผลต่อความเป็นพิษต่อพืชหากมีมากเกินไป อินทรียวัตถุเป็นสารแขวนลอย มีสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity : CEC) สูง ทำให้สามารถจับสารอาหารที่ส่วนมากเป็นประจุบวกได้มาก เป็นต้น

เส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นของทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เกิดขึ้นภายหลังจากโรงงานรีดเอาน้ำมันออกแล้วเหลือเส้นใยปาล์มที่มีลักษณะแห้ง สีน้ำตาล มีค่าความเป็นกรดเบส (pH) เท่ากับ 6.13 (ตารางที่ 4 . 1) จัดเป็นกรดเล็กน้อย เมื่อเติมเส้นใยปาล์มลงดินจึงไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ซึ่งเติบโตได้ดีในช่วงความเป็นกรดเบส 5.5-4.2 (Rankine and Fairhurst, 1998) มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) 28.83 จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันลงดินจะไม่เกิดการขาดไนโตรเจนจากการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ จึงทำให้มีไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ปลดปล่อยออกมาสู่ดินด้วยกระบวนการ mineralization (คณาจารย์

ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) เส้นใยปาล์มมีอินทรียวัตถุ (%OM) สูงถึงร้อยละ 60.03 จึงช่วยให้ดินมีสมบัติทางกายภาพที่สามารถระบายอากาศได้ดี ซับน้ำได้มาก เป็นธาตุอาหารพืชและปกป้องหน้าดินไม่ให้เกิดการชะละลายของลมหรือน้ำได้ง่าย

ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ลักษณะเป็นผงฝุ่นน้ำหนักเบา สามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย โครงสร้างมีรูพรุน มีเหลี่ยมมุม รูปร่างไม่แน่นอนมีขนาด 15.9-7.4 µm (Foo and Hameed, 2009) สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีค่าความเป็นกรดเบสสูงมาก คือ 9.23 (ตารางที่ 4 . 1) ซึ่งจะมีประโยชน์กับบริเวณดินที่มีความเป็นกรดเบสต่ำ จะช่วยฟื้นฟูให้มีความเป็นกรดเบสที่เหมาะสมมากขึ้นสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) 15.72 จึงแสดงถึงการย่อยสลายทางชีวภาพที่ไม่ส่งผลให้เกิดการขาดไนโตรเจนในดิน และยังเป็นแหล่งอินทรียวัตถุ (%OM) ให้กับดินได้ดี เมื่อเทียบกับมาตรฐานดินปลูกปาล์มเบื้องต้น ขี้เถ้าปาล์มจึงเป็นประโยชน์หากมีการนำมาเติมลงดินสวนปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 4 . 1 สมบัติทางเคมีของของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

สมบัติทางเคมี	กากขี้แป้ง	กากตะกอน	เส้นใยปาล์ม	ขี้เถ้าปาล์ม
ความเป็นกรดเบส (กากขี้แป้ง : น้ำ= 1:2)	5.4	6.96	6.13	9.23
อินทรียวัตถุ (%)	22.30	56.66	60.30	5.15
อินทรีย์คาร์บอน (%)	12.93	32.87	58.08	2.98
ไนโตรเจนทั้งหมด (%)	1.47	0.34	1.19	0.19
อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)	8.79	96.6	28.83	15.72

สมบัติทางเคมีทั่วไปของของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร จึงมีความสำคัญกับการเติบโตของปาล์มน้ำมัน โดยต้องคำนึงถึงการเติมเพื่อไม่ให้มีผลต่อผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ซึ่งของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรทั้งสี่ชนิด มีค่าความเป็นกรดเบส (pH) อยู่ในช่วง 5.4-9.23 จึงไม่ส่งผลต่อการเติบโตของปาล์มน้ำมัน ปาล์มเติบโตได้ดีช่วงความเป็นกรดเบส 4.2-5.5 (Rankine and Faurhrust, 1998) มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ที่สามารถสลายตัวได้ดี ไม่ส่งผลต่อการขาดไนโตรเจนในดินและขี้เถ้าปาล์มยังมีมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ คือ 20:1 แต่กากตะกอนน้ำเสียมี อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) มากถึง 96.66 อาจมีผลต่อการขาดไนโตรเจนได้ จึงต้องคำนึงถึงการเติมในอัตราส่วนที่เหมาะสมหรือเติมแหล่ง

คาร์บอนเพิ่มลงดินด้วย ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรมีอินทรียวัตถุในดิน (%OM) อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเป็นธาตุอาหารแก่ปาล์มน้ำมันเป็นอย่างดี และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ด้วย

4.1.2 ปริมาณธาตุอาหาร

ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นวัสดุอินทรีย์ที่สามารถสลายตัวแล้วแล้วช่วยเพิ่มธาตุอาหารในดิน เพิ่มความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารพืช เพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงกรดเบสของดิน และช่วยลดความเป็นพิษของธาตุอาหารพืชบางชนิด ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K)

4.1.2.1 ไนโตรเจนทั้งหมด

ไนโตรเจนจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) กระบวนการ สังเคราะห์แสงและการสร้างโปรตีนของปาล์มน้ำมัน ช่วยเสริมสร้างการเจริญเติบโต ทำให้ต้นใหญ่ เจริญเติบโตเร็ว หากได้รับในปริมาณมากเกินไปทำให้ต้นอ่อนแอ ทางใบอวบน้ำ มีความต้านทานโรคน้อยลง ถ้ามีไนโตรเจนน้อยเกินไปจะมีลักษณะใบสีเหลืองซีดและมีสีเหลืองทั่วทั้งต้น ทางใบสั้นไม่สมบูรณ์ ลำต้นโตช้า ทะลายเล็กลง มีปริมาณน้ำมันน้อย มักเกิดกับดินน้ำท่วมขัง ดินระบายน้ำไม่ดี ดินทรายจัด ดินที่มีหญ้าคาปกคลุมเยอะ จะแสดงอาการขาดไนโตรเจน ปาล์มน้ำมันจะใช้ไนโตรเจนในรูปของไนเตรท ซึ่งจะมีประโยชน์ในการพ่วงเอาโพแทสเซียมขึ้นไปพร้อมกัน เรียกว่าโพแทสเซียมไนเตรท ช่วยให้ปาล์มน้ำมันที่ติดลูกแล้วลูกเบ่งโต ทะลายใหญ่ เปอร์เซ็นต์น้ำมันสูง มีน้ำหนักดี (ชัยรัตน์ นิลนนท์และคณะ, 2554)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อศึกษาปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนในของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร (ตารางที่ 4 . 2) พบว่ากากขี้แป้งมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 1.68 และเส้นใยปาล์มน้ำมันมีไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 1.19 ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหารหลักมากกว่าในมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ซึ่งกำหนดว่าต้องมีไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก จึงเห็นได้ว่ากากขี้แป้งและเส้นใยปาล์มสามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งไนโตรเจนเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนกากตะกอนน้ำเสียและขี้เถ้าปาล์มน้ำมันพบว่า มีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.34 และ 0.19 ตามลำดับ เมื่อศึกษาปริมาณไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4^+-N) และ ไนเตรทในโตรเจน (NO_3^- -N) ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย พบว่า กากขี้แป้งมีแอมโมเนียมไนโตรเจน 8,577.52 mg/kg และมีไนเตรทไนโตรเจนเท่ากับ 1,689.70 mg.kg กากตะกอนน้ำเสียมีแอมโมเนียมไนโตรเจนเท่ากับ 31.53 mg/kg มีไนเตรท 693.77 mg/kg เส้นใยปาล์มน้ำมันมีแอมโมเนียมไนโตรเจน 189.21mg/kgและไนเตรทไนโตรเจนเท่ากับ 2,396.66 mg/kg ส่วนขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีแอมโนเนียมไนโตรเจนเท่ากับ 0.31 mg/kg และมีไนเตรทไนโตรเจนเท่ากับ 819.91 mg/kg ดังนั้นของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรนี้สามารถใช้เป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนให้แก่ปาล์มน้ำมันได้

ตารางที่ 4 . 2 ปริมาณธาตุอาหารของของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

ธาตุอาหาร	กากขี้แป้ง	กากตะกอน	เส้นใยปาล์ม	ขี้เถ้าปาล์ม
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

4.1.2.2 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันต้องการมากเป็นอันดับ 4 ช่วยกระตุ้นการแตกรากฝอย ทำให้ปาล์มสามารถดูดดึงปุ๋ยได้ดีขึ้น และทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงไปสะสมในลำต้น มีส่วนทำให้ปาล์มน้ำมันออกดอกได้ดีขึ้น และการติดดอกของปาล์มน้ำมันจะไม่สมบูรณ์ถ้าขาดฟอสฟอรัส จะทำให้ปาล์มน้ำมันชะงักการเจริญเติบโต ทรงพุ่มมีลักษณะคล้ายพีรามิด ใบสีเขียว ด้านเหลือบม่วงขอบใบม่วง ออกดอกน้อย ยอดสั้นลง ฟอสฟอรัสถูกตรึงได้ง่ายจากดินที่เป็นกรด ดินที่มีธาตุอลูมิเนียม และธาตุเหล็ก เมื่อศึกษาปริมาณฟอสฟอรัสในของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร (ตารางที่ 4 . 2) พบว่ากากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมันมีปริมาณฟอสฟอรัส ร้อยละ 24.94, 0.88, 0.58 และ 5.51 ตามลำดับ มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) เท่ากับ 244, 190, 173 และ 209 mg/kg ตามลำดับ จึงเห็นได้ว่าของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรสามารถเป็นแหล่งฟอสฟอรัสได้ดีเมื่อเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งต้องมีฟอสเฟตทั้งหมด (total P_2O_5) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ของน้ำหนัก และปริมาณฟอสฟอรัสในของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรนี้มีความเหมาะสมในการเป็นแหล่งฟอสฟอรัสแก่ปาล์มน้ำมันที่อายุมากกว่า 6 ปี ได้เป็นอย่างดีโดยปาล์มน้ำมันในช่วงอายุนี้ต้องการฟอสฟอรัสในปริมาณที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 0.15-0.18 (เอกชัย พฤกษ์อำไพ, 2548) จึงกล่าวได้ว่า กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมันสามารถใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุฟอสฟอรัสให้แก่ปาล์มน้ำมันได้

4.1.2.3 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันต้องการมากที่สุด ช่วยเพิ่มผลผลิตทำให้ปาล์มน้ำมันสะสมแป้งและเปลี่ยนเป็นน้ำมันได้มาก ให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูงและมีบทบาทสำคัญในการเปิดปิดปากใบ ทำให้ทนแล้งได้ดี ถ้าขาดโพแทสเซียมจะมีจุดสีเหลืองส้มเป็นจ้ำๆ บริเวณทางใบเมื่อเป็นมากๆ เนื้อใบส่วนที่มีสีเหลืองจะแห้ง การผลิตดอกตัวเมียจะหยุดชะงัก ดอกตัวผู้ไม่สมบูรณ์ ทางใบหดสั้น ทะลายเล็ก เปอร์เซ็นต์น้ำมันลดลง ไม่ทนแล้ง เมื่อศึกษาปริมาณโพแทสเซียมในของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร (ตารางที่ 4 . 2) พบว่า กากขี้แป้ง, กากตะกอนน้ำเสีย , เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน มีโพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 0.57, 0.48, 1.13 และ 6.16 ตามลำดับ มีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (K_2O) เท่ากับ 1,223.5, 336.5, 532.24 และ24,540 mg/kg ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์พบว่า ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรนี้มีสมบัติในการเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ดี ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2550 ต้องมีโพแทสเซียมไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5 ของน้ำหนัก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550) อีกทั้งสามารถตอบสนองต่อความต้องการโพแทสเซียมในปาล์มน้ำมันอายุมากกว่า 6 ปี ที่ต้องการโพแทสเซียม ในช่วงร้อยละ 0.15 - 0.18 ด้วย (เอกชัย พฤกษ์อำไพ, 2548) จึงกล่าวได้ว่า กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน และขี้เถ้าปาล์มน้ำมันสามารถเป็นแหล่งโพแทสเซียมให้แก่ปาล์มน้ำมันได้เป็นอย่างดี

4.2. สมบัติทางเคมีทั่วไปและปริมาณธาตุอาหารของดินก่อนเติมของทิ้งอุตสาหกรรมเกษตร

สมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ทดลองก่อนการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรพบว่า ดินก่อนเติมสิ่งทดลอง (กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน) มีความเป็นกรดเบส (pH) เท่ากับ 4.69 (ตารางที่ 4 . 3) จัดได้ว่าเป็นดินที่มีความเป็นกรดเบสจัดมาก (ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, 2548) แต่ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีค่ากรดเบสอยู่ในช่วง 5.5 - 4.2 (Rangkine and Fairhurst, 1988) และในกรณีประเทศไทยปาล์มน้ำมันยังเจริญเติบโตได้ดีเมื่อค่ากรดเบาประมาณ 4 (สมาน พานิชย์พงส์, 2519) หรือ 4.5 (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2554) ดังนั้นการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร จึงไม่มีผลกระทบต่อการเติบโตของปาล์มน้ำมัน และอัตราส่วนคาร์บอนตอไนโตรเจน (C:N ratio) มีค่าร้อยละ 0.96 จึงทราบได้ว่าอาจมีอินทรียวัตถุในดินน้อยแต่ไม่เกิดการแย่งไนโตรเจนระหว่างจุลินทรีย์และพืช

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่เติบโตได้ดีในดินที่ความลึกซึ่งอุดมด้วยอินทรียวัตถุและธาตุอาหารพืช โดยหน้าดินควรลึกไม่น้อยกว่า 90 ซม. ไม่ควรมีน้ำขัง ดินควรมีความสามารถในการอุ้มน้ำดี การระบายน้ำดี ค่ากรดเบสประมาณ 4 ถึง เป็นกลาง (สมาน พานิชย์พงส์, 2519) จากการทดลองพบว่า ดินก่อนเติมสิ่งทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุร้อยละ 1.14 ซึ่งเป็นระดับอินทรียวัตถุในดินที่ค่อนข้างต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) และต่ำกว่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่เหมาะสมกับการปลูกปาล์มน้ำมัน จึงส่งผล

ให้ดินมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่ำด้วยเช่นกัน ดังนั้นดินในพื้นที่ทดลองนี้จึงต้องการอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันตามที่ต้องการ

ตารางที่ 4 . 3 สมบัติทางเคมีทั่วไปและปริมาณธาตุอาหารของดินก่อนเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

สมบัติทางเคมีทั่วไป		**ดิน**
ความเป็นกรดเบส		4.69
อินทรียวัตถุ (%)		1.14
อินทรีย์คาร์บอน (%)		0.66
ปริมาณธาตุอาหาร		
ไนโตรเจน (%)		0.69
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)		33.54
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (mg/kg)		70.44
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio)	0.96	

ธาตุอาหารในดินเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเติบโตของปาล์มน้ำมันและส่งผลถึงการให้ผลผลิต จึงควรมีธาตุอาหารในดินเพียงพอต่อความต้องการของปาล์มน้ำมันในช่วงอายุ 6-7 ปี ซึ่งเป็นช่วงให้ผลผลิต ปาล์มน้ำมันต้องการธาตุไนโตรเจน เพื่อช่วยให้ผลผลิตมีทะลายใหญ่ มีปริมาณน้ำมันมาก ฟอสฟอรัสมีผลต่อการติดดอกที่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดปริมาณผลผลิต และโพแทสเซียมมีเป็นธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันต้องการมากที่สุด ช่วยเพิ่มผลผลิตทำให้ปาล์มสะสมแป้งและเปลี่ยนเป็นน้ำมันได้มาก ให้ผลผลิตและเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูง หากขาดโพแทสเซียมจะส่งผลให้ทะลายเล็กและเปอร์เซ็นต์น้ำมันน้อย การศึกษาครั้งนี้ ศึกษาธาตุอาหารในดินก่อนการเติมของทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่า

ธาตุอาหารในดินก่อนเติมสิ่งทดลอง มีไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.69 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) 33.54 mg/kg (ตารางที่ 4 . 3) เป็นปริมาณธาตุอาหารที่สูงสำหรับการเติบโตของปาล์มน้ำมัน แต่โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับ 70.44 mg/kg เป็นปริมาณโพแทสเซียมในดินที่ค่อนข้างต่ำและไม่เหมาะสมต่อการเติบโตและให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ ผ.4) ดังนั้นดินจึงจำเป็นต้องได้รับการเพิ่มธาตุโพแทสเซียมเพื่อการเติบโตและให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันที่มีคุณภาพ

4.3 ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน

การกักเก็บคารบอน (carbon sequestration) ในดินของพื้นที่เกษตรเปนแนวทางหนึ่งที่หลายประเทศนำไปใชเพื่อประโยชนในการลดปริมาณแก๊สคารบอนไดออกไซดในบรรยากาศ เนื่องจากเปนวิธีที่มีประสิทธิภาพดี ตนทุนต่ำ โดยผ่านการสังเคราะห์แสงของพืช (photosynthesis) ตรึงคาร์บอนไดออกไซด์เก็บไว้ในเนื้อเยื่อพืช เมื่อเศษพืชเหลานี้หลุดรวงตายลง สารอินทรียเหลานั้นจึงถูกยอยสลาย และบางสวนที่ยอยสลายได้ยาก เชน สารฮิวมัส คงเก็บสะสมอยูในดินตอไปในรูปของอินทรียวัตถุ (soil organic matter) ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นวัสดุอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นธาตุอาหารแก่พืชและเมื่อเติมลงดินจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน รวมไปถึงสารอินทรีย์ที่พืชปลดปลอยออกมาทางรากพืช (root exudation) เซลลของจุลินทรียที่ตายแลว และสารที่จุลินทรียสังเคราะหขึ้นมาใหม กระบวนการกักเก็บคารบอนไวในดินดังกลาว เรียกวา “การกักเก็บคารบอนในดิน” (soil carbon sequestration) (พจนีย์ มอญเจริญ และ ทวีศักดิ์ เวียรศิลป์, 2541)

ปริมาณอินทรีย์สารทุกชนิดที่มีอยู่ในดิน เกิดมาจากซากพืช ซากสัตว์ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่กำลังสลายตัวทับถมอยู่ในดิน แหล่งที่มาของอินทรียวัตถุในดินตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่มาจากพืช ดังนั้นการสลายตัวของเศษซากพืช จึงจัดเป็นกระบวนการหลักที่สำคัญในดิน และมีผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) อินทรียวัตถุในดินจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่จะบ่งบอกว่าพบการสะสมของคาร์บอนในดิน

สำหรับการศึกษาครั้งนี้นอกจากศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในดินในรูปของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน ซึ่งเป็นผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรตามตำรับทดลองต่างๆ แล้ว ยังศึกษาต่อเนื่องถึงปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของการหายใจของดินตามตำรับทดลอง รวมทั้งปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องด้วย

4.3.1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดิน (soil organic carbon; SOC)

สภาพแวดล้อมมีความสำคัญต่อคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ซึ่งมีปริมาณการสะสมและกระจายตัวในดินในสัดสวนที่แตกตางกันไปตามปจจัยที่เกี่ยวของ เชน ชนิดดิน ลักษณะภูมิอากาศ และชนิดพืช เปนตน โดยคารบอนอินทรีย์นี้สามารถใชเพื่อศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้ การประเมินปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่กักเก็บในดินภายหลังจากการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรและปุ๋ยเคมี ทั้งหมด 6 ตำรับการทดลองที่แตกต่างกัน โดยคำนวณหาค่าปริมาณของคาร์บอนอินทรีย์ที่กักเก็บในดินต่อหน่วยพื้นที่ (กรัมต่อตารางเมตร) ที่ระดับความลึกดิน 0 -15 เซนติเมตร ที่วิเคราะห์ได้นำมาคำนวณให้อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (percent by weight) ค่าที่ได้แต่ละค่านั้นนำมาคูณด้วยค่าความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) แล้วคูณด้วยความหนาของดินตาม

ระดับความลึก (soil depth interval) ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินต่อพื้นที่นั้น จึงเป็นปริมาณคาร์บอนที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร จากผิวดิน

หลังจากการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรพบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อยู่ในช่วงร้อยละ 0.75–0.89 (ตารางที่ 4 . 4) ตำรับการเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน และเส้นใยปาล์ม (4: 1: 1) อัตรา 15 กก./ต้น มีการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้สูงที่สุด (ภาพที่ 4 . 1) ซึ่งสอดคล้องกับค่าอินทรียวัตถุ (organic matter) จากของทิ้งอุตสาหกรรม คือ กากขี้แป้งและเส้นใยปาล์มมีอินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 22.30 และ 60.3 ตามลำดับ และมีอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ร้อยละ 12.93 และ 58.06

ตารางที่ 4 . 4 อินทรีย์คาร์บอนในดินภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ตำรับทดลอง	อินทรียวัตถุ (%)	อินทรีย์คาร์บอน (%)	pH	ความชื้น (%)	ความหนาแน่นรวม (kg./m^3)	อินทรีย์คาร์บอนสะสม (g/m^2)
T1	1.31^{a}	0.76^{a}	4.74^{a}	13.12^{a}	0.0062^{a}	0.066^{a}
T2	1.30^{a}	0.75^{a}	4.70^{a}	11.83^{a}	0.0061^{a}	0.063^{a}
T3	1.38^{a}	0.80^{a}	4.86^{a}	12.51^{a}	0.0063^{a}	0.079^{a}
T4	1.37^{a}	0.79^{a}	4.79^{a}	12.95^{a}	0.0061^{a}	0.084^{a}
T5	1.39^{a}	0.81^{a}	4.76^{a}	13.61^{a}	0.0063^{a}	0.076^{a}
T6	1.53^{a}	0.89^{a}	4.82^{a}	13.22^{a}	0.0060^{a}	0.081^{a}
F-Value	0.60^{ns}	0.6^{ns}	4^{ns}	1.69^{ns}	0.80^{ns}	0.40^{ns}
%CV	7.14	5.97	1.28	4.85	1.61	11.34

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05
ns หมายถึงไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ 0.05

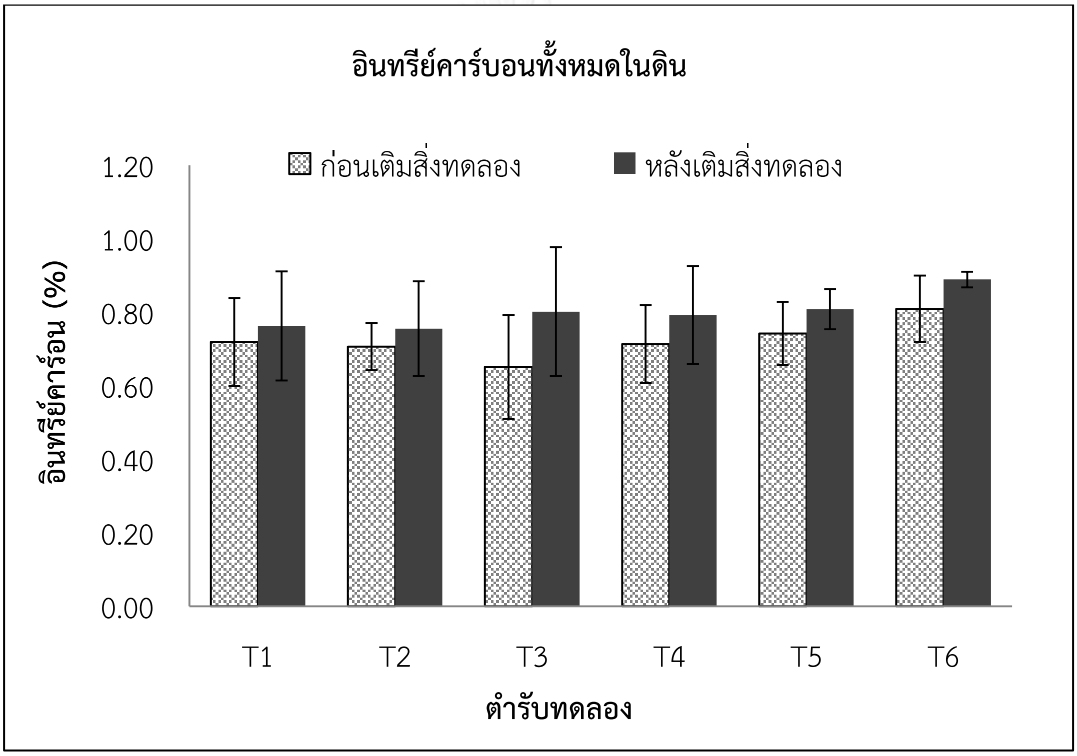
หมายเหตุ T1 = ดินเดิม
T2 = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี
T3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)
T4 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (1: 3: 1 :1)
T5 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1)
T6 = ดินเดิม + กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)
(T3-T6 เติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรอัตราส่วน 15 กก./ต้น)

ความหนาแน่นรวมของดินมีผลต่อการชอนไชของรากพืชและการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการกักเก็บคาร์บอนในดินที่เพิ่มขึ้นหากมีความหนาแน่นดินรวมสูง จากการศึกษาพบว่า ความหนาแน่นดินรวมไม่มีความแตกต่างกันสถิติในแต่ละตำรับทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

มีค่าอยู่ในช่วง 0.0060-0.0063 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 4 . 4Error! Reference source not found.) และมีค่าอินทรีย์คาร์บอนสะสมในดินที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร อยู่ในช่วง 0.066-0.084 กรัมต่อตารางเมตร (ตารางที่ 4 . 4) ไม่แตกต่างทางสถิติในแต่ละตำรับทดลอง

เมื่อพิจารณาปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมต่อการกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) พบว่า เนื้อดินเป็นชุดดินคอหงษ์ทุกตำรับทดลอง ชุดดินคอหงษ์มีเนื้อดินเป็นดินทรายปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย มีสีน้ำตาล มีความเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดปานกลาง (5.0-6.0) สามารถระบายน้ำได้ดี ถ่ายเทอากาศได้ดี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) จึงเป็นปัจจัยที่ส่งผลดีต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน แต่ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมไม่เป็นตัวแปรที่ทำให้เกิดการกักเก็บของอินทรีย์คาร์บอนในดินแต่ละตำรับต่างกัน



หมายเหตุ T1 = ดินเดิม
T2 = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี
T3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)
T4 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (1: 3: 1 :1)
T5 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1)
T6 = ดินเดิม + กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)
(T3-T6 เติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรอัตราส่วน 15 กก./ต้น)

ภาพที่ 4 . 1 เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินก่อนและหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

4.3.2 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกจากดิน (soil efflux)

การปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากดินวัดจากการหายใจของดิน (soil respiration) เป็นผลมาจากการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 efflux) จากดิน โดยมีเศษซากพืช (litter), อินทรียวัตถุ (soil organic matter), รากพืช (root), กิจกรรมของสิ่งมีชีวิตบนผิวดิน (controlled by soil faunal activity), สิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิดิน, อุณหภูมิอากาศ, ความชื้นในดินและการสังเคราะห์แสง เป็นต้น (Hanson et al, 2010) จากการประมาณค่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในจากดินของโลก พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 50-75 พันล้านตันคาร์บอนต่อปี (Reymant and Jarvis, 2000) ปัจจัยที่ควบคุมการหายใจของดินจะผันแปรไปตามสมบัติของดิน พืชพรรณที่ขึ้นปกคลุม เมื่อมีอินทรียวัตถุในดินจำนวนมาก จำนวนจุลินทรีย์ในดินสูง อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม และการถ่ายเทอากาศดีจะทำให้การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสูง (อโนชา และคณะ, 2553) การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรลงดินสวนปาล์มจึงส่งเสริมการเพิ่มของอินทรียวัตถุในดินที่เป็นปัจจัยหลักในการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากดิน จึงพิจารณาดังนี้

การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร (กากขี้แป้ง, ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน, เส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน) ลงดินด้วยสัดส่วนต่างๆ ในอัตรา 15 กิโลกรัม/ต้น ส่งผลให้มีอินทรียวัตถุและความอุดมสมบูรณ์ของดินเพิ่มมากขึ้น ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงและมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์จะส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากดินมากกว่าดินที่มีปัจจัยข้างต้นน้อยกว่า จึงได้ทำการศึกษาวัดการหายใจของดิน (soil respiration) โดยการวัดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากการหายใจของดินด้วยเครื่องมือวัดการหายใจของดิน Li 6400-09 soil respiration chamber โดยใช้ท่อพีวีซีกดลงไปในดินลึก 5 เซนติเมตร (ภาพที่ ผ.4) ค่าที่วัดได้จึงเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากผิวดิน

จากการทดลองพบว่าการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน มีค่าอยู่ในช่วง 4.51 – 11.12 µmol m^{-2} s^{-1} การเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (4: 1: 1) มีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด (4.15 µmol m^{-2} s^{-1}) โดยที่การเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอน ขี้เถ้าปาล์ม และเส้นใยปาล์ม (3:1:1:1) ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด (11.12 µmol m^{-2} s^{-1}) และแตกต่างทางสถิติกับทุกตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (F-value 21.78*, ตารางที่ 4 . 6) ความแตกต่างที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นผลโดยตรงของสมบัติทางเคมีของของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร ซึ่ง กากขี้แป้ง กากตะกอน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน และเส้นใยปาล์มน้ำมัน มีอินทรีย์คาร์บอนเป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 12.93, 32.57, 5.15 และ 58.08 ตามลำดับ นั่นหมายถึงการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรลงดินมีความสัมพันธ์กับ ปริมาณการปล่อยแก๊ส

ตารางที่ 4 . 5 คาร์บอนไดออกไซด์ภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรอุตสาหกรรมการเกษตรและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ตำรับทดลอง	ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน	อุณหภูมิดิน	ความชื้นในดิน
	(μmol m^{-2} s^{-1})	(C°)	(%RH)
T1	8.60^{cb}	27.73^{a}	4.75^{a}
T2	5.66^{ab}	28.36^{a}	4.95^{a}
T3	4.51^{a}	29.36^{a}	4.27^{a}
T4	7.13^{bc}	30.23^{a}	4.03^{a}
T5	11.12^{e}	30.06^{a}	5.66^{a}
T6	$9.61c^{de}$	27.26^{a}	6.12^{a}
%CV	31.93	4.32	16.24
F-value	21.78*	1.09^{ns}	5.96^{ns}

ตัวอักษรพิมพ์เล็กต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึงความแตกต่างกันของการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ตามตำรับทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีของ DMRT

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 าาร

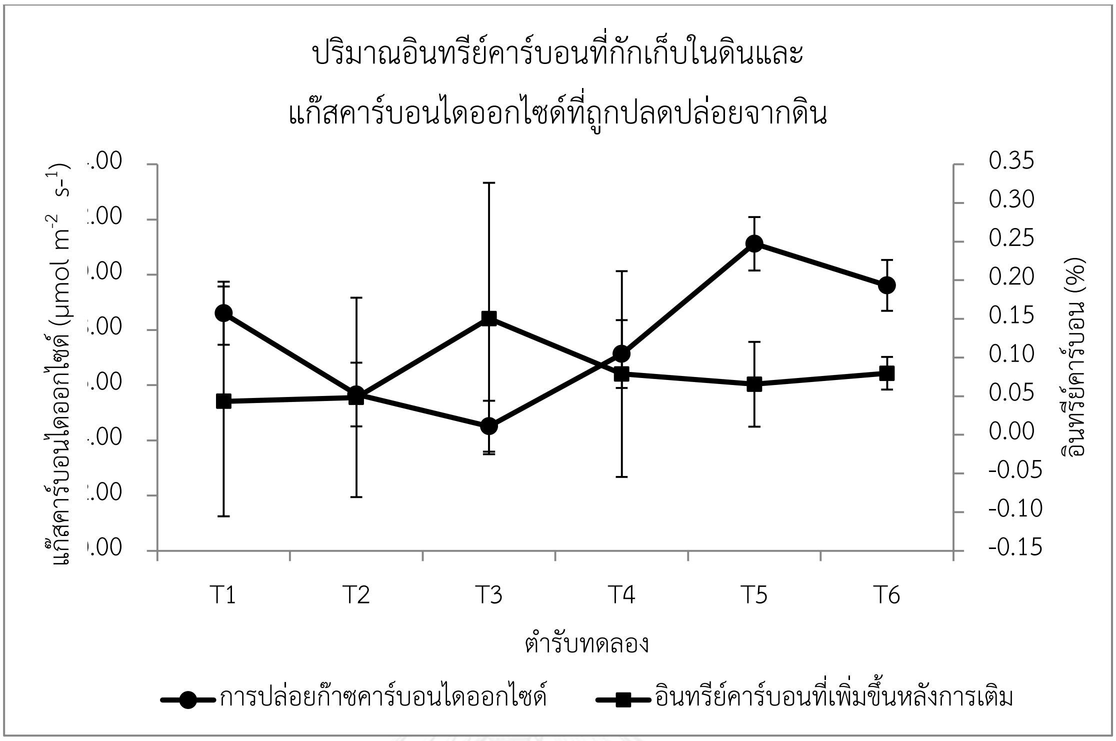
ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

หมายเหตุ T1 = ดินเดิม
T2 = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี
T3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1) ไว้
T4 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (1: 3: 1 :1)
T5 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1)
T6 = ดินเดิม + กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)
(T3-T6 เติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรอัตราส่วน 15 กก./ต้น)

ภาพทิ 4 . 2จะทรายถิงความสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนในดินและการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ซึ่งพบว่าในตำรับเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (4: 1: 1) มีการกักเก็บคาร์บอนเพิ่มขึ้น ในขณะที่การปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลง เช่นเดียวกับในตำรับอื่นๆ ซึ่งหากมีการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น การกักเก็บคาร์บอนจะน้อยลง ดังนั้นกากขี้แป้งเมื่อเติมลงดินจะเก็บกักคาร์บอนไว้ในดินมากกว่าการปล่อยคาร์บอนในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์

ตารางที่ 4 . 6 ปริมาณการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากดินภายหลังการเติมของทิ้ง



หมายเหตุ T1 = ดินเดิม
T2 = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี
T3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)
T4 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (1: 3: 1 :1)
T5 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1)
T6 = ดินเดิม + กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)
(T3-T6 เติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรอัตราส่วน 15 กก./ต้น)

ภาพที่ 4 . 2 เปรียบเทียบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากดินภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน

การปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านการหายใจของดิน(soil respiration) ที่มีความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมต่างๆหลายอย่าง ซึ่งรวมถึงลักษณะของพื้นที่ และฤดูกาลด้วย ซึ่งพบว่าในเขตพื้นที่ต่างกัน มีอุณหภูมิและชนิดของพืชหลักที่ต่างกันส่งผลให้การหายใจของดิน (รายปี) แต่งต่างกัน โดยในเขตพื้นที่ร้อนชื้น จะเกิดการหายใจของดินสูงกว่าในพื้นที่อื่นๆ ถึง 1,260 (g C m^{-2} y^{-1}) (Luo and Zhou, 2006, ตารางที่ ผ.5) ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอากาศร้อนชื้น มี 3 ฤดูกาล แต่ในพื้นที่วิจัยอยู่ทางภาคใต้ของประเทศ ซึ่งมีฝนตกชุกและมีเพียง 2 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน อยู่ในช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคมและฤดูฝน อยู่ในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึง

กลางเดือนกุมภาพันธ์ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2546) ฤดูกาลและพื้นที่จึงเป็นส่วนสำคัญต่อการหายใจของดิน

การศึกษาวิจัยการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการกักเก็บคาร์บอนในดินและผลผลิตของปาล์มน้ำมัน ได้ทำการศึกษากับพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันอายุ 6-7 ปี ในพื้นที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยมีพื้นที่ การทำวิจัย 3,154 ไร่ บริเวณพื้นที่วิจัยเป็นดินชุดดินคอหงส์ ซึ่งมีลักษณะดินที่มีลักษณะทางกายภาพของดินที่ค่อนข้างระบายน้ำได้ดี เป็นดินร่วนปนทราย ซึ่งลักษณะดินที่ส่งผลให้มีอัตราการหายใจของดินเกิดขึ้นได้สูงกว่าดินเหนียว ขนาดและปริมาณช่องว่างในดินมีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศได้ดีจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อระดับการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อยู่ในช่วง 4.51 – 11.12 μmol m^{-2} s^{-1}

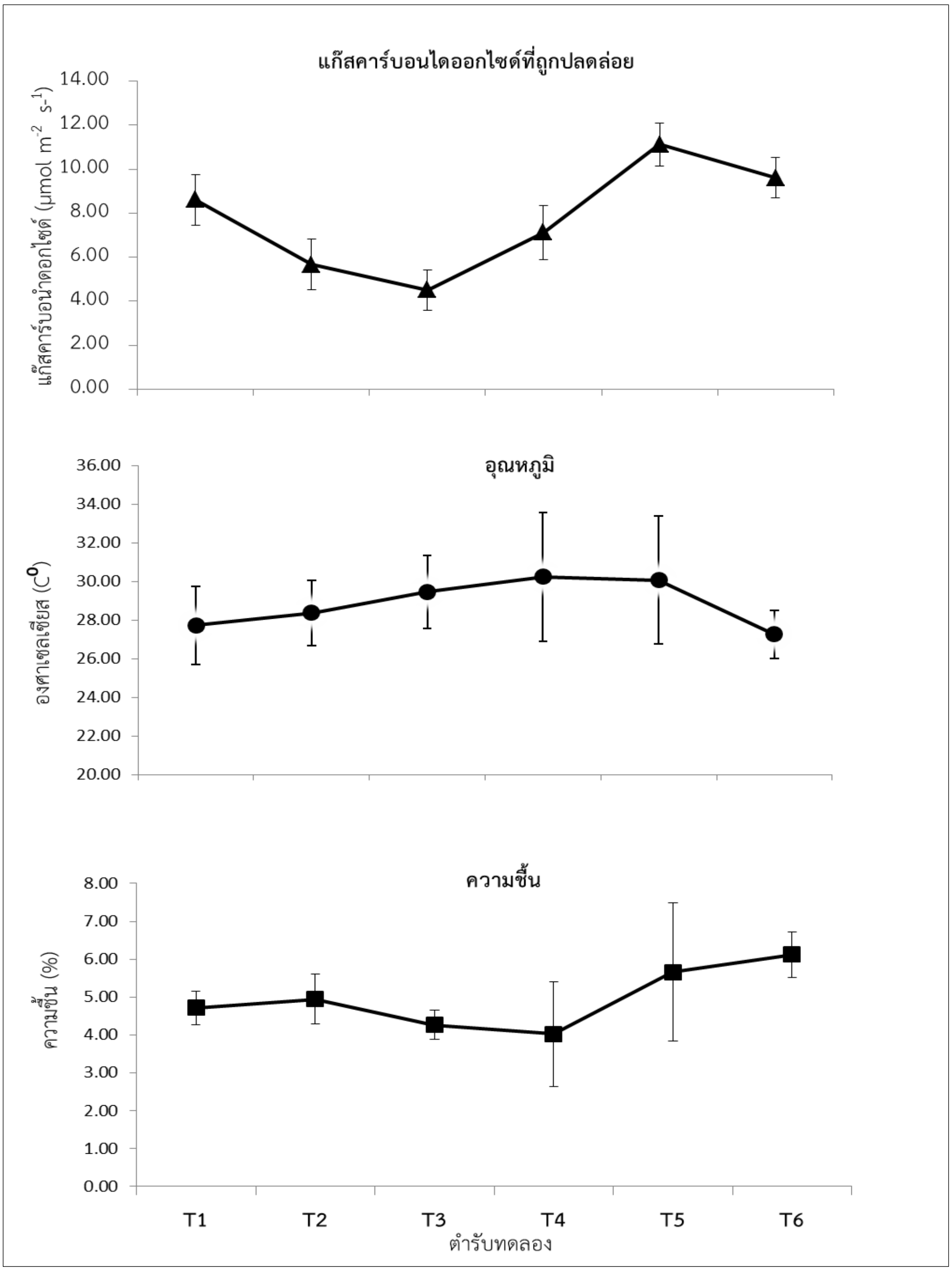
อย่างไรก็ตาม สภาพอากาศในเขตภาคใต้ฝั่งตะวันออกในช่วงฤดูฝนจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในเดือน พฤษภาคม - ตุลาคม และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในเดือนตุลาคม - ธันวาคม ทำให้มีฤดูฝนค่อนข้างยาวนาน ซึ่งมีผลต่อความชื้นในดินที่สามารถลดการหายใจของดิน โดยไปยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ในดิน, ลดการแพร่ของแก๊สหรือลดการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน (Jonathan et al., 2005) และมีปริมาณฝนน้อยในเดือนมกราคมถึงเมษายน ซึ่งจะมีการขาดน้ำรุนแรงในเดือนมีนาคมด้วย (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2555, ตารางที่ ผ. 6) โดยลักษณะการขาดน้ำนี้อาจส่งผลต่อการหายใจดินที่ลดลง เนื่องจากความชื้นในดินน้อยทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินน้อยลง นำไปสู่การสะสมเพิ่มอินทรีย์คาร์บอน ลดอัตราการย่อยสลายและลดการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สู่อากาศ (คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, 2545)

อุณหภูมิและความชื้นในขณะวัดการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อุณหภูมิ และความชื้นเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการหายใจของดิน ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิดิน (6000-09TC spare soil probe thermocouple) โดยเชื่อมต่อ soil temperature probe เข้ากับ li6400-09 soil respiration chamber นำแท่งวัดอุณหภูมิใส่ลงดินลึกประมาณ 15 เซนติเมตร บริเวณเดียวกับอุปกรณ์วัดการหายใจของดิน (ภาพที่ ผ. 4)

จากการศึกษา พบว่า อุณหภูมิดินอยู่ในช่วง 27.26-30.23 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4 . 6) ในแต่ละตำรับทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (F-Value = 1.09^{ns}) (ภาพที่ 4 . 3) มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของของ Lioyd and Taylor (1994) มีรายงานถึงผลการทดลองที่สอดคล้องกันระหว่างการหายใจของดินและอุณหภูมิดินซึ่งไปในทิศทางเดียวกัน แต่ในตำรับทดลองอื่นๆ นั้นอุณหภูมิดินไม่มีความสอดคล้องกับการหายใจของดินดังนั้น

อุณหภูมิดินของแต่ละตำรับทดลองจึงกล่าวได้ว่า เป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการหายใจของดิน แต่ไม่ส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงการหายใจของดิน ในแต่ละตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิดินค่อนข้างเปลี่ยนแปลงได้ง่ายต่อสภาพแวดล้อม (Lioyd and Taylor, 1994) รวมถึงความชื้นในขณะวัดการหายใจของดิน มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 4.03-6.12 ไม่แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 (F-Value = 5.96^{ns}) (ภาพที่ 4 . 3)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



หมายเหตุ T1 = ดินเดิม

T2 = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี

T3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)

T4 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (1: 3: 1 :1)

T5 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1)

T6 = ดินเดิม + กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)

(T3-T6 เติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรอัตราส่วน 15 กก./ต้น)

ภาพที่ 4 . 3 การปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากดินและปัจจัยที่เกี่ยวข้องขณะตรวจวัด

4.4 ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน

การศึกษาในครั้งนี้ ทำการศึกษา ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร (กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมัน ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน) และปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน ดำเนินการทดลองในแปลงทดลองปาล์มน้ำมันพันธุ์เทเนอราอายุ 6-7 ปี ณ ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ตำบลท่าอุแท อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยข้อมูลผลผลิตปาล์มน้ำมันเป็นส่วนหนึ่งที่บ่งชี้ศักยภาพของของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการเป็นแหล่งธาตุอาหารให้กับปาล์มน้ำมัน การศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการวัดผลผลิตปาล์มน้ำมันโดยชั่งน้ำหนักผลผลิตปาล์มน้ำมันทุก 15-20 วัน เป็นเวลา 1 ปี ในช่วงปี 2555 มีผลการศึกษาดังนี้

4.4.1 ปริมาณธาตุอาหารในดินภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

4.4.1.1 ปริมาณธาตุไนโตรเจนทั้งหมด (total N)

ไนโตรเจนเป็นธาตุสำคัญในการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนและเอนไซม์หลายชนิด ซึ่งไนโตรเจนจะส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หากได้รับไนโตรเจนเพียงพอจะเพิ่มพื้นที่ทางใบ น้ำหนักใบ สร้างทางใบเพิ่ม จะส่งผลถึงการออกดอกและให้ผลผลิตที่ที่สมบูรณ์ (สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, 2554ก) พืชสามารถนำไนโตรเจนไปใช้ได้ดีในรูปของ NH_4^+-N จากกระบวนการ ammonification และ NO_3^--N ที่เกิดจากกระบวนการ nitrification ในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2550)

ผลการศึกษาพบว่าภายหลังการทดลองมีไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.47-0.68 (Error! Reference source not found.) ความเหมาะสมของธาตุไนโตรเจนที่ปาล์มน้ำมันต้องการอยู่ที่ร้อยละ 0.15 (เอกชัย พฤกษ์อำไพ, 2548) โดยทุกตำรับที่เติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร มีไนโตรเจนเทียบเท่าการเติมปุ๋ยเคมี (T2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F-Value =2.30*) เมื่อเทียบกับความต้องการปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนในดินที่เหมาะสมต่อปาล์มน้ำมันจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม (ตารางที่ ผ. 3) ดังนั้นการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรทุกตำรับทดลองช่วยเพิ่มธาตุไนโตรเจนได้

ตารางที่ 4 . 7 ปริมาณธาตุอาหารในดินภายหลังการเติมสิ่งของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

ตำรับทดลอง	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม
	(%)	mg/kg	mg/kg
T1	0.47[a]	34.58[a]	157.24[a]
T2	0.64[b]	73.73[b]	393.19[b]
T3	0.68[b]	87.49[b]	291.14[ab]
T4	0.63[b]	49.85[a]	214.65[ab]
T5	0.68[b]	77.95[b]	161.26[a]
T6	0.67[b]	37.33[a]	238.59[ab]
%CV	13.05	37.39	36.73
F-Value	2.30*	12.74*	3.43*

ตัวอักษรพิมพ์เล็กต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึงความแตกต่างกันของธาตุอาหารในดินตามตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีของ DMRT

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

หมายเหตุ T1 = ดินเดิม
T2 = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี
T3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)
T4 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (1: 3: 1 :1)
T5 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1)
T6 = ดินเดิม + กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)
(T3-T6 เติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรอัตราส่วน 15 กก./ต้น)

4.4.1.2 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่พืชมีความต้องการ ส่วนใหญ่ได้จากการแปลสภาพมาจากอินทรียวัตถุ และจากการสลายสารฟอสเฟสต่างๆในดินออกมาในรูปของสารละลายดิน ซึ่งอยู่ในสภาพสมดุจกัน เมื่อพืชดูดดึงฟอสเฟตไปใช้จะทำให้ปริมาณในส่วนนี้ลดลง และฟอสเฟตในรูปของแข็งจะค่อยๆถูกปล่อยออกมาชดเชย ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นวัสดุอินทรีย์ เมื่อเติมลงดินจึงเกิดการสบายตัวจากกิจกรรมของจุลินทรีย์และปล่อยปล่อยธาตุอาหารแก่ปาล์มน้ำมันเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต

ผลการศึกษาพบว่าฟอสฟอรัสในดินอยู่ในช่วง 34.58 – 87.49 mg/kg ซึ่งไม่ต่ำกว่าความต้องการของปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ ผ. 4) การเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม อัตรา 4: 1: 1 และตำรับเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอน, ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์มอัตรา 3: 1: 1: 1 พบฟอสฟอรัสในดิน 87.49 mg/kg และ 77.95mg/kg ตามลำดับ

(Error! Reference source not found.ตารางที่ 4 . 7) ส่งผลให้ดินมีฟอสฟอรัสสูงเทียบเท่ากับตำรับเติมปุ๋ยเคมี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (F-Value = 12.74*) ในตำรับเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอน, ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม อัตรา 1: 3: 1 :1 และตำรับเติมกากตะกอนร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์มเส้นใยปาล์ม อัตรา 4: 1: 1 1 ไม่แตกต่างจากตำรับควบคุม (ดินเดิม) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.05 เนื่องจากกากขี้แป้งมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบถึง 244 mg/kg ซึ่งมีฟอสฟอรัสมากกว่าของทิ้งชนิดอื่นๆ จึงส่งผลให้ในตำรับการทดลองเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (4: 1: 1) และตำรับเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอน, ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1) ซึ่งมีการเติมกากขี้แป้งในอัตราส่วนที่มากกว่าตำหรับทดลองอื่นๆ ให้มีฟอสฟอรัสสูง ดังนั้นการเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์มอัตรา 4: 1: 1 สงผลให้มีฟอสฟอรัสในดินมากที่สุด และการเติมกากขี้แป้งลงดิน เป็นทางเลือกในการจัดการใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นแหล่งฟอสฟอรัสได้

4.4.1.3 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

โพแทสเซียมมีความสำคัญต่อการเติบโตและผลผลิตของปาล์มน้ำมัน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง การหายใจ มีส่วนช่วยให้ปาล์มน้ำมันทนต่อความแห้งแล้งและโรค ช่วยให้ปาล์มน้ำมันมีทะลายใหญ่ หากปาล์มน้ำมันเกิดการขาดโพแทสเซียมแล้ว จะทำให้ทะลายเล็ก ปริมาณน้ำมันจะลดลง จึงไม่ควรปลูกปาล์มน้ำมันแน่นจนเกินไปเพราะจะทำให้ได้รับแสงแดดไม่เพียงพอและปาล์มน้ำมันจะตอบสนองต่อโพแทสเซียมได้น้อยลงด้วย (เอกชัย พฤกษ์อำไพ, 2548)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดลองพบว่ามีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในช่วง 157.24 – 393.19 mg/kg (ตารางที่ 4 . 7) ซึ่งตำรับเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม อัตรา 4: 1: 1, ตำรับเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอน, ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและ เส้นใยปาล์ม อัตรา 1: 3: 1 :1 และตำรับเติมกากตะกอนร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม อัตรา 4: 1: 1 ส่งผลให้ดินมีโพแทสเซียมเทียบเท่าการเติมปุ๋ยเคมี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (F-Value = 3.43*) เมื่อพิจารณาจากของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรที่เติมลงดินแต่ละตำรับแล้ว พบว่า ขี้เถ้าปาล์มเส้นใยปาล์มและกากขี้แป้งมีปริมาณโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบสูง จึงส่งผลให้ตำรับเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (4: 1: 1) เติมในอัตรา อัตรา 15 กก./ต้น มีโพแทสเซียมในดินสูงที่สุดถึง 291.14 mg/kg ดังนั้นการการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรในอัตราดังกล่าวจะเป็นทางเลือกในการนำของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรไปใช้เป็นธาตุอาหารพืชได้

4.4.2 ผลผลิตปาล์มน้ำมันภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้น ที่ให้ผลผลิตน้ำมันสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ ปาล์มน้ำมันมีการเติบโตทางลำต้นได้อย่างรวดเร็ว มีอายุการให้ผลผลิตยืนยาว สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ที่เป็นเขตมรสุมแถบเส้นศูนย์สูตรที่มีความชื้นสูง เป็นที่ราบใกล้ชายฝั่งทะเล เนื้อดินสมบูรณ์ เป็นดินเหนียวปนทราย จึงเหมาะสมกับภาคใต้ของประเทศไทย และสามารถให้ผลผลิตได้คุ้มค่ากับการลงทุนหากดูแลรักษาอย่างเหมาะสม จากการศึกษาพบว่าผลผลิตปาล์มน้ำมัน ภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร มีผลผลิตเฉลี่ยอยู่ในช่วง 146.68 – 179.60 กิโลกรัม/ต้น/ปี (ตารางที่ 4 . 8) เมื่อพิจารณาเห็นได้ว่า ตำรับเติม กากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอน, ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1, T5) ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันได้สูงที่สุด คือ 179.60 กิโลกรัม/ต้น/ปี และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับตำรับทดลองอื่นๆ (F-Value = 3.85*) แต่ให้ผลผลิตเทียบเท่าการเติมปุ๋ยเคมี (T2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งเมื่อพิจารณาจำนวนทะลายในแต่ละตำรับทดลอง พบว่า ตำรับการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอน, ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1, T5) มีจำนวนทะลายมากที่สุดและเทียบเท่าการเติมปุ๋ยเคมี (T2) เช่นกัน

จึงกล่าวได้ว่า น้ำหนักผลผลิตปาล์มน้ำมันปาล์มน้ำมันภายหลังการเติมสิ่งทดลองปี 2555 ในตำรับเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอน, ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1, T5) สามารถให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันและจำนวนทะลายสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำรับทดลองอื่นๆ และมีน้ำหนักรวมได้เทียบเท่าการเติมปุ๋ยเคมี (T2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่งผลให้ผลผลิตต่อไร่ในหนึ่งปีมีค่ามากที่สุดคือ 4094.93 กิโลกรัม/ไร่/ปี นั่นหมายถึงการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรอย่างเหมาะสมสามารถทำให้ต้นปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตได้เท่าเทียมกับการเติมปุ๋ยเคมี อย่างมีนัยสำคัญ จึงเป็นแหล่งอาหารให้แก่ปาล์มน้ำมัน

Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 . 8 ผลผลิตปาล์มน้ำมันหลังเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

ตำรับทดลอง	ผลผลิตปาล์มน้ำมัน		
	จำนวนทะลาย/ต้น/ปี	ผลผลิต/ต้น/ปี	ผลผลิต/ไร่/ปี
T1	10.86[a]	146.68[a]	3344.36[a]
T2	16.34[cd]	170.53[bc]	3888.16[bc]
T3	14.72[bc]	167.24[bc]	3813.09[bc]
T4	13.90[bc]	151.48[ab]	3453.82[ab]
T5	17.50[c]	179.60[c]	4094.93[c]
T6	12.09[ab]	156.84[ab]	3576.01[ab]
ผลผลิตสูงสุด	17.50	179.60	4094.93
ผลผลิตต่ำสุด	10.86	146.68	3344.36
%CV	17.61	7.72	7.72
F-Value	8.26*	3.85*	3.85*

ตัวอักษรพิมพ์เล็กต่างกันแต่ละสดมภ์ หมายถึงความแตกต่างกันของผลผลิตตามตำรับทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ตามวิธีของ DMRT

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

หมายเหตุ T1 = ดินเดิม

T2 = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี

T3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)

T4 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (1: 3: 1 :1)

T5 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1)

T6 = ดินเดิม + กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)

(T3-T6 เติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรอัตราส่วน 15 กก./ต้น)

4.4.3 ผลของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมต่อผลผลิตปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่เติบโตได้ดีในเขตร้อนชื้นฝนตกชุก อยู่ในเขตที่ราบต่ำแถบเส้นศูนย์สูตรที่ราบใกล้ชายทะเลจะทำให้พื้นที่มีความชื้นสูงเหมาะสมต่อการเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน พื้นที่ปลูกควรมีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 300 เมตร ความลาดชันของพื้นที่ร้อยละ 1-12 ไม่ควรเป็นพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขัง ดินควรระบายน้ำได้ดี ปาล์มน้ำมันจึงควรอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม เช่น ฝนและการกระจายตัวของฝนมีความสัมพันธ์กับความชื้นในอากาศและดิน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันมากที่สุด ปริมาณฝนที่เหมาะสม ควรมีปริมาณระหว่าง 1,800 - 3,000 มิลลิเมตรต่อปี มีระยะฝนทิ้งช่วงไม่เกิน 2 เดือน และในแต่ละเดือนควรมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 120 มิลลิเมตร (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, 2548) จะทำให้ดินมีความชื้นที่

เหมาะสม เมื่อปาล์มน้ำมันได้รับปริมาณฝนเพียงพอจะช่วยให้การพัฒนาตาดอกและการสุกของผลเป็นไปอย่างปกติ ซึ่งมีผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำมันต่อทะลายสูงขึ้น ควรมีอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 22 - 32 องค์ศาเซลเซียส อีกทั้งปัจจัยทางด้านแสงแดดที่ปาล์มควรได้รับในแต่ละวันอย่างเพียงพอต่อการเจริญโต (ตารางที่ ผ. 7)

ในช่วงปี 2555 พื้นที่ทดลองที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีปริมาณน้ำฝน 1635.40 มิลลิเมตรต่อปี มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในแต่ละเดือนอยู่ที่ 136.2 มิลลิเมตรต่อเดือน (ตารางที่ ผ.7) เป็นปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในช่วงเหมาะสมปานกลางสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง พบว่า ในเดือน กุมภาพันธ์และมีนาคม มีฝนตก 44.60 และ 38.10 มิลลิเมตรต่อเดือน ตามลำดับ เป็นช่วงที่มีฝนน้อย แต่จำนวนเดือนที่แห้งแล้ง 1-2 เดือน จึงไม่กระทบต่อการปลูกปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ ผ.7)

ตารางที่ 4 . 9 การเปรียบเทียบปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ตรวจวัด เมื่อ พ.ศ. 2555 (เกริกชัย ธนรักษ์., 2554)

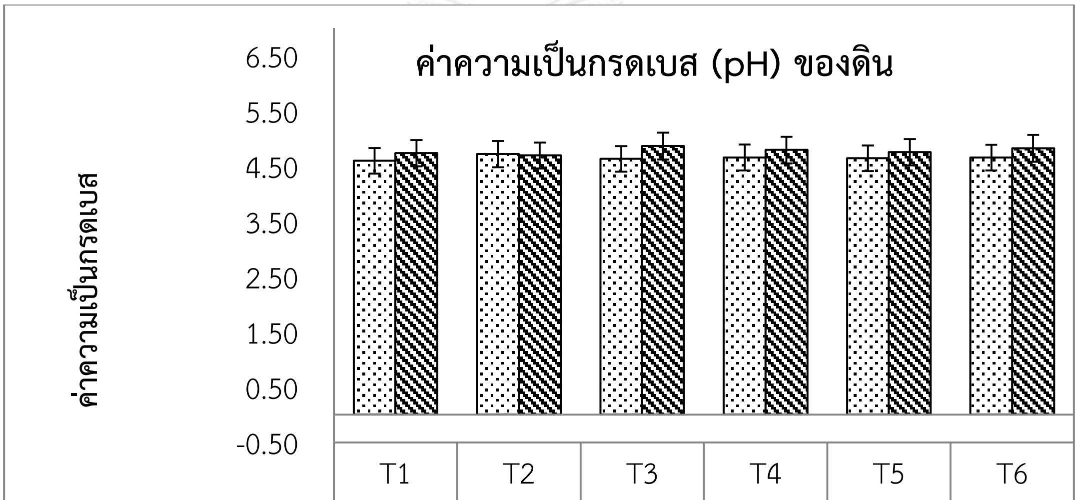
พารามิเตอร์	ปริมาณที่เหมาะสม	ปริมาณที่ตรวจวัด
น้ำฝน (มิลลิเมตร/เดือน)	>120	136.28
ความชื้น (%)	75	77.98
อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี (องศาเซลเซียส)	20-32	27.60
ความเป็นกรดเบสของดิน (pH)	4.5-6	4.6-4.8
ความเร็วลม (เมตร /วินาที)	<8	1-2

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันรองจากน้ำฝน ปาล์มน้ำมันต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตและให้ผลผลิตอยู่ในช่วง 20 - 32 องสาเซลเซียส หากอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องสาเซลเซียส จะมีผลต่อการพัฒนาทางใบและตาดอกตลอดจนส่งผลให้ปาล์มน้ำมันเติบโตช้า และหากอุณหภูมิเกิน 33 องศาเซลเซียส จะส่งผลต่อการคายน้ำและการสูญเสียความชื้นในดิน โดยปกติแล้วทางภาคใต้ของไทยจะมีแสงแดดในช่วงที่เหมาะสมและมีอุณหภูมิระหว่าง 23-29 องศาเซลเซียส จึงไม่เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน เมื่อศึกษาพบว่าในปี 2555 ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 27.60 องศาเซลเซียส มีความเหมาะสมต่อปาล์มน้ำมัน มีความเร็วลม ประมาณ 1-2 เมตร/วินาที ไม่ส่งผลกระทบต่อการเติบโตและให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปาล์มน้ำมันอีกปัจจัยคือกรดเบสของดิน เมื่อพิจารณาค่ากรดเบสของดินแล้ว พบว่าอยู่ในช่วง 4.69 - 4.86 ซึ่งเป็นช่วงที่ปาล์มน้ำมันต้องการ (pH 4.5 – 6, ตาราง ผ. 1) ดังนั้นความเป็นกรดเบสของดินจึงไม่ส่งผลต่อการเติบโตและให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน กล่าวได้ว่าปัจจัยสิ่งแวดล้อม ทั้งปริมาณฝน ความเร็วลม อุณหภูมิ กรดเบส โดยรวมของพื้นที่ทำการทดลองมีความเหมาะสมต่อการเติบโตและการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 4 . 9) อีกทั้งภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรค่ากรดเบสของดินเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4.76-4.86 ซึ่งยังคงเหมาะสมต่อการเติบโตของปาล์มน้ำมัน (ภาพที่ 4 . 4)

กล่าวได้ว่า การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรในพื้นที่สวนปาล์มน้ำมัน อายุ 7 ปี ไม่เป็นข้อจำกัดต่อการเติบโตของปาล์มน้ำมัน อีกทั้ง ส่งเสริมให้เพิ่มผลผลิตอย่างไม่แตกต่างจากการเติมปุ๋ยเคมีอีกด้วย



	T1	T2	T3	T4	T5	T6
pH ก่อนเติมสิ่งทดลอง	4.60	4.72	4.63	4.66	4.64	4.66
pH หลังเติมสิ่งทดลอง	4.74	4.70	4.86	4.79	4.76	4.82

หมายเหตุ T1 = ดินเดิม
T2 = ดินเดิม + ปุ๋ยเคมี
T3 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)
T4 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (1: 3: 1 :1)
T5 = ดินเดิม + กากขี้แป้ง: กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1)
T6 = ดินเดิม + กากตะกอน: ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน: เส้นใยปาล์ม (4: 1: 1)
(T3-T6 เติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรอัตราส่วน 15 กก./ต้น)

ภาพที่ 4 . 4 เปรียบเทียบความเป็นกรดเบสของดินก่อนและหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นแหล่งธาตุอาหารและกักเก็บคาร์บอนในดิน ได้ทำการศึกษาที่ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อคสมบูรณ์ ทำ 4 ซ้ำ 6ตำรับทดลอง หนึ่งหน่อยทดลองมีต้นปาล์มน้ำมันพันธ์เทเนอร่า อายุ 6-7 ปี จำนวน 9 ต้น โดยของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย กากขี้แป้ง กากตะกอนน้ำเสีย เส้นใยปาล์มน้ำมันและขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน ทำการวัดการหายใจของดินด้วยเครื่อง Li6400-09 soil respiration chamber

5.1.1 สมบัติทางเคมีทั่วไปและปริมาณธาตุอาหารของของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร

กากขี้แป้งเป็นของทิ้งจากการตกตะกอนน้ำยางข้นมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด มีค่าร้อยละ 1.47 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 24.94 โพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 0.57 ความเป็นกรดเบส 5.4 อินทรียวัตถุร้อยละ 22.30 มีอินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 12.93 และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) 8.79

กากตะกอนน้ำเสียเป็นของทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตยางแท่งมีไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.34 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 0.88 โพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 0.84 ความเป็นกรดเบส 6.96 อินทรียวัตถุร้อยละ 56.66 อินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 32.87 และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) สูงมากถึง 96.6

เส้นใยปาล์มน้ำมัน มีปริมาณไนโตรเจน ทั้งหมดร้อยละ 1.19 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 0.58 โพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 1.13 ความเป็นกรดเบส 9.23 อินทรียวัตถุร้อยละ 60.30 อินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 58.08 และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) 28.83

ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน มีปริมาณไนโตรเจน ทั้งหมดร้อยละ 0.19 ฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 5.51 มีโพแทสเซียมที่ทั้งหมดสูงกว่าสิ่งทดลองอื่น มีค่าร้อยละ 6.16 ความเป็นกรดเบส 6.13 อินทรียวัตถุร้อยละ 5.15อินทรีย์คาร์บอนร้อยละ 2.98 และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) 15.72

5.1.2 ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน

การเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร (กากขี้แป้ง, กากตะกอน, ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน, เส้นใยปาล์มน้ำมัน) อัตรา 15 กิโลกรัมต่อต้น ส่งผลให้มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน อยู่ในช่วงร้อย

ละ 0.75–0.89 ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตำรับทดลองซึ่งเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรด้วยสัดส่วนแตกต่างกัน ทั้งนี้การเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (4: 1: 1) ส่งผลให้มีอินทรีย์คาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นสูงที่สุดถึงร้อยละ 0.15 ซึ่งเพิ่มสูงกว่าตำรับควบคุม และการเติมปุ๋ยเคมี และมีอินทรีย์คาร์บอนสะสมอยู่ระหว่าง 0.066-0.084 g/m^3

5.1.3 ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์

การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากดินภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรอยู่ในช่วง 4.51-11.12 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ โดยการเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (4: 1: 1) มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากดินน้อยที่สุด (4.51 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (F-Value=21.78*) และการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอน, ขี้เถ้าปาล์ม และเส้นใยปาล์ม (3:1:1:1) ปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากดินมากที่สุด (11.12 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 (F-Value=21.78*) เมื่อเทียบกับตำรับทดลองอื่น

ทั้งนี้สภาพแวดล้อมในปีที่ศึกษาวิจัย (พ.ศ. 2555) ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในเดือน พฤษภาคม - ตุลาคม และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในเดือนตุลาคม - ธันวาคม มีฤดูฝนค่อนข้างยาวนาน และมีปริมาณฝนน้อยในเดือนมกราคม – เมษายน ร่วมกับมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีอยู่ในช่วง 22.86 - 32.35 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 136.29 มิลลิเมตร ต่อปี อุณหภูมิดินระหว่างการตรวจวัดการหายใจของดินมีค่าอยู่ในช่วง 27.26- 30.29 องศาเซลเซียส และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างตำรับทดลอง

5.1.4 ผลของการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรต่อผลผลิตของปาล์มน้ำมัน

ผลผลิตของปาล์มน้ำมันเชื่อมโยงกับปริมาณธาตุอาหารในดิน ภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ศึกษาวิจัย

5.1.4.1 ผลของการเติมของทิ้งทางอุตสาหกรรมการเกษตรปริมาณธาตุอาหารในดิน ปริมาณธาตุอาหารในดิน พบว่ามีไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.47 - 0.68 ซึ่งเพิ่มมากกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 พบฟอสฟอรัสในดินอยู่ในช่วง 34.58 – 87.49 mg/kg โดยการเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (4: 1: 1) และการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอน, ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1) ส่งผลให้ดินมีฟอสฟอรัสไม่แตกต่างทางสถิติจากการเติมปุ๋ยเคมี การเพิ่มฟอสฟอรัสในดินมากที่สุดเกิดจากการเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (4: 1: 1) ส่วนโพแทสเซียมทั้งหมดในดินมีอยู่ในช่วง 157.24 – 393.19 mg/kg โดยที่การเติมกากขี้แป้งร่วมกับขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (4: 1: 1) ส่งผลให้มีโพแทสเซียมสูงถึง 291.14 mg/kg และไม่แตกต่างทางสถิติกับการเติมปุ๋ยเคมี

5.1.4.2 ผลผลิตปาล์มน้ำมันภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรภายหลังการเติมของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตร พบว่ามีจำนวนทะลายปาล์ม อยู่ในช่วง 10.86-17.50 ทะลาย/ต้น/ปี โดยการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอน, ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1) ให้จำนวนทะลายมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับตำรับอื่น สำหรับผลผลิตเฉลี่ยปาล์มน้ำมันอยู่ในช่วง 146.68 – 179.60 กิโลกรัม/ต้น/ปี ซึ่งการเติมกากขี้แป้งร่วมกับกากตะกอน, ขี้เถ้าปาล์มน้ำมันและเส้นใยปาล์ม (3: 1: 1: 1) ให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันได้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่เมื่อเทียบกับตำรับอื่น อีกทั้งมีน้ำหนักรวมเท่าเทียมการเติมปุ๋ยเคมี

5.1.4.3 ผลของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมในช่วงปี 2555 พื้นที่ทดลอง มีปริมาณน้ำฝน 1635.40 มิลลิเมตรต่อปี มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในแต่ละเดือนอยู่ที่ 136.2 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนที่อยู่ในช่วงเหมาะสมปานกลางสำหรับความเหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมัน ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อการเติบโตและให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมัน แต่ปริมาณน้ำฝนในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม มีฝนตก 44.60และ 38.10 มิลลิเมตรต่อเดือน ตามลำดับ เป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยมากติดต่อกัน 2 เดือน จึงส่งผลให้ผลผลิตช่วงนี้น้อยกว่าเดือนอื่นๆ โดยมีแสงแดดและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตและให้ผลผลิตอยู่ในช่วง 27.60 องศาเซลเซียส

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและธาตุอาหารในของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรก่อนการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเสมอ เนื่องจากกระบวนการในการผลิต ฤดูกาลและระยะเวลาการเก็บมีผลต่อปริมาณธาตุอาหาร และอาจไม่เกิดประโยชน์ต่อการเกษตรอย่างเหมาะสม

5.2.2 ควรศึกษากระบวนการและระยะเวลาการเก็บรักษากากขี้แป้ง เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ได้สูงสุด เนื่องจากโปรตีนในกากขี้แป้งเป็นสาเหตุให้ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและบูดเน่าตามกระบวนการธรรมชาติ ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติทางเคมีของกากขี้แป้ง

5.2.3 ควรศึกษาความคุ้มค่าในการนำของทิ้งอุตสาหกรรมมาใช้ เพื่อให้เกิดต้นทุนในการนำมาใช้ได้อย่างคุ้มค่า ทั้งการขนส่ง แรงงาน และพื้นที่ใช้เก็บรักษา อีกทั้งการกักเก็บคาร์บอนในดินที่เป็นข้อมูลที่บ่งบอกให้ทราบถึง คุณค่าของการเกษตรและพื้นที่การเกษตรที่มีต่อภาวะโลกร้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Atlas,R.M. and R. Bartha., 1998. Microbial Ecology: Fundamental and Application 4 edition. Menlo Park. Benjamin/Cummings. Science Plubishing.

Basheer, S., O.M. Kut, J.E. Prenosil, and J.R. Bourne. 1992. Kinetic of emzymatic degradation of cyanide. Biotechnology and Bioengineering. Venomous Animals and Toxins 39 : 629- 634.

Batjes, N.H. 1996. Total C and N in soil of the world. Eur.J. Soil Sci. 47: 151 – 163.

Bhattacharya S.C., Shrestha R.M. and Suchitra Ng. (1989). Potential of biomass resideue availability: The case of Thailand, Energy sources, Vol. 11.

Bowden R.D., Newkirk K.M. and Rullo G.M. (1998). Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions. Soil Biol. Biochem. 30: 1591-1597.

C.Correia Guerrero, J. Carrasco de Brito, Nuno Lapa and J.F.Santos Oliverira. 1995. Re-Use of industrial orange wastes as organic fertilizers. Bioresource technology 53: 43-51.

Chidthaisong, A., C. Wachrinrat, N. W. Harvey and N. Lichaikul. 2004. Carbon Stocks and CO2 Exchange in Tropical Soils Under Different Land Use. The Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE) Hua Hin Thailand” (1-3 December 2004): 839-842.

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): 353-362.

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

Ecological Society of America. 2007. What is carbon sequestration?. Retrieved May, 2007, from http://www.esa/teaching - learning/pdfDocs/carbon sequestrationinsoils.pdf.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

Hanson P.J., Edwards N.T., Garten C.T. and Anderws J.A. 2000. Separating root and soil microbial conreibutions to soil respiration: A review of methods and observation. Kluwer Academic Publishers. 48. 115-146.

Houghton, R.A. 1995. Changes in the storage of terrestrial carbon since 1850. In: Lal, R., Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) .1996. IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC.95 pp.

Huang, L.P. Cheng, S.A. Chen, G.H. 2011b. Evalution of carbon-base materials in tubular biocathode microbial fuel cells in therms of hexavalent chromium reduction and electricity generation. Chem. Eng. J. 166, 652-661.

Hutchinson J.J., Campbell, C.A. and Desjardin R.L. 2007. Some perapectives on carbon sequestration in agriculture.Agricultural and forest meteorology142: 288-302.

Jonathan G. Martin and Paul V. Bolstand. .(2005). Annual soil respiration in broadleaf of northern winconsin: Influence of moisture and site boilogical, chemical and physical charecteristics. Springer. Vol.73, No.1 Mar. 149-182.

Jones, J. B. Jr. 2003. Agronomic Handbook : Management of crops, soil, and their fertility. New York : CRC Press.

jopes Dc. Facetors of grow microbial [online] . 2011. Available from:http://smallorganearth. blogspot .com/2012/07/blog-post.html. [29, October, 2012]

Kiehl, J.T. and K.E. Trenberth. 1997. Earth's annual global mean energy budget. Bull. Amer. Meteor. Soc.78 2: 197-208

Kongrattanachok, P., 2005. Carbon Sequestration in Cassava and Para Rubber Plantation, Rayong Province. Unpublished master's thesis, Mahidol University, Faculty of Environment and Resource Studies. 98 pp.

Lal R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change, geoderma.123. 1-22.

Lal R., 2005. Forest soils and carbon sequestration. Forest ecology and management. 242-258.

Lichaikul, N. 2004. Change of Soil Carbon Stock and Sequestration after Conversion of Forest to Reforestation and Agricultural Lands. Unpublished master's thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi, The Joint Graduate School of Energy and Environment. 76 pp.

Lioyd.J and Taylor.J.A. 1994. On The Temperature dependence of soil respiration. British Ecological Society. Vol.8, No.3: 315-323.

Lomander A., Katterer T. and Andren O. 1998. Modeling the effects of temperature and moisture on CO2 evolution from top- and subsoil using a multi-compartment approach. Soil Biol. Biochem. 30: 2023-2030.

Luo, Y and Zhou, X. 2006 Soil respiration and the environment. Elsevier, Amsterdam: 316.

McGraw-Hill, 2008. Environmental Science. dictionary of environmental science & technology

Milne, E., and Heimsath, A., (2009). Soil organic carbon. Encyclopedia of Earth. http://www. eoearth. org/article/Soil_organic_carbon (accessed 2 Feb. 2011).

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

Rankine and Fairhurst T.H. 1998. Oil Palm Series (Volume 3). Singapore: Mature. Oxford Graphic Printer. Raymant, M.B. and Jarvis, P.G. Temperal and special variation of soil CO2 efflux in a Canadian boreal forest. Soil Biol. Biochem.32 (2000): 35-48.

Sarmiento, F.L. and N. Gruber. 2002. Sinks for Anthropogenic carbon. Physics today, August 2002. 55 (8)

Soil Science Society of America., 2008. What is Carbon sequestration. Retrieved June 10, 2008, from Scopus database. 250 pp.

Tim Arkebauer, Brigid Amos, Hui Shen and Dave Scoby. 2012. Leaf and Soil Surface Carbon Dioxide Exchange. [Online]. Available from: http://csp.unl.edu /Public/G_srfco2. htm [10, August, 2012]

Tippayachan, H. 2006. The Determination of Carbon Loss by Soil Erosion and Sediment Transport Process in Mea Thang Watershed, Rong Kwang district, Phrae provincr. Unpublished master's thesis, Mahidol University, Faculty of Environment and Resource Studies, Department of Appropriate Technology for Resource and Environment Development. 169 pp

United State Geological Survey. 2006. Carbon Sequestration (workshop 1999). Retrieved December 2, 2006, from http://edcintl.cr.usgs.gov/carbonseq/ workshop.html.

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

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

West, T.O, and G. Marland. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emission and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. Agric. Ecosyst. Environ.91: 217-232.

William H. Schlesinger. 2000. Carbon sequestration in soil. Science. Vol 284.

Yu-Hui Huanga et all. 2011. Controls of litter quality on the carbon sink in soils through partitioning theproducts of decomposing litter in a forest succession series in South China. Forest Ecology and Management.261. 1170–1177.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. เรื่องผลสำเร็จของโรงงานที่เข้าร่วมโครงการพัฒนาศักยภาพการใช้กากของเสียประจำปี 2555. สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม พฤศจิกายน 2555

กรมวิชาการเกษตร . 2553 . คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี. กรมพัฒนาที่ดิน

กรมวิชาการเกษตร. 2531. การผลิตยางธรรมชาติ. กรุงเทพฯ. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ.

กรมวิชาการเกษตร. 2552. ทำเนียบแปรรูปน้ำยางดิบ. กรุงเทพฯ: สำนักงานตลาดกลางยางพารา สงขลา สถาบันวิจัยยางพารา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

กรมวิชาการเกษตร. (2548). วัสดุอินทรีย์และปุ๋ยคอกในพื้นที่ทำการเกษตร. เอกสารวิชาการลำดับที่ 19/2548. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมวิชาการเกษตร. 2552. ทำเนียบโรงงานแปรรูปน้ำยางดิบ. กรุงเทพฯ: สำนักงานตลาดกลางยางพารา สถาบันวิจัยยางพารา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมวิชาการเกษตร. ปาล์มน้ำมันวิกฤตหรือโอกาส. [ออนไลน์]. 2553. แหล่งที่มา: http://it.doa.go.th/pibai/pibai/n14/v_8-sep/rai.html. [01 กรกฎาคม 2558]

กรุงเทพฯ.

การ์มา ดอร์จิ. 2553. ผลกระทบของความชื้นในดินและอุณหภูมิตอการหายใจของดินในเขตรร้อน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาชีววิทยา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เกริกชัย ธนรักษ์, 2554. เทคโนโลยีการผลิตปาล์มน้ำมันแบบครบวงจร สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรที่ 7 กรมวิชาการเกษตร

เกริกชัย ธนรักษ์. (2554). คู่มือการเก็บตัวอย่างดินและใบปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุม สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

ขจร รอดแก้ว และสมมาตร แสงประดับ. (2553). ต้นทุนการปลูกสร้างสวนยางในเขตภาคใต้ตอนบน. รายงานผลการวิจัยยางพารา. จำนวน 14 หน้า.

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2555. การสังเคราะห์ด้วยแสง (Photo Synthesis). [ออนไลน์]. 2555. แหล่งที่มา:http://www.sc.chula.ac.th/courseware/2305103/add_topics/add3 /2_photosynt.hesis.html. [30 มิถุนายน 2558]

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์., 2545. การศึกษาและจัดทำรายงานแห่งชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศ. มหาวิทยาลัยมหิดล. เอส พีเอส พริ้นติ้ง จำกัด. กรุงเทพฯ. 185 น.

คณาจารย์ภาคปฐพีวิทยา. (2548). ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยาคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตร.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2541). ปฐพีวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 8 . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณาวุฒิ อินแก้ว และนฤมล ทิมทอง. (2554). การทดแทนปุ๋ยเคมีด้วยกากขี้แป้งเพื่อการเพาะต้นกล้าปาล์มน้ำมันระยะอนุบาลแรก. วิชาการและวิจัย มทร., หน้า 41-50. พระนคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

คณิต รัตนะวัฒน์กุล, สมชาย นองเนือง และ อำไพ พรลีแสงสุวรรณ. 2542. การร่วงหล่นและการผุสลายของซากพืชในป่าสนสามใบ อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่. ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 28 น.

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

จักรวาล วนานุรักษ์. (2555). การสะสมคาร์บอนในดิน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www. lookforest. com/00_new alook/ rticle.php?id_send=29[12/06/55].

จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุทธยา. (2548). การใช้กากน้ำมันปาล์มเป็นอาหารโคกระบือ. รายงานผลวิจัยประจำปี 2548. หน้า 383-395. กรุงเทพฯ: กองอาหารสัตว์กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

จุฑารัตน์ แสงเสถียร, อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์, พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ, สมชาย นองเนือง และวิชนี บุญญะปฏิภาค,การกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในซากพืชที่ร่วงหล่นของสวนป่าสนคาริเบีย. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

เจษฎา เหลืองแจ่ม. (2551). โครงการปลูกป่า CDM. เอกสารประกอบการอภิปรายการสัมมนาด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้กรมป่าไม้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (เอกสารไม่ได้ตีพิมพ์).

ฉกรรจ์ สังข์ทอง. (2542). ปาล์มน้ำมัน. พิมพ์ครั้งที่2 . สงขลา: สำนักพิมพ์เซาท์เทิร์นเพรสแอนด์พับลิเคชั่น.

ชนวน รัตนวราหะ. 2540. เกษตรกรรมเชิงระบบ ความสำคัญของความหลากหลายทางชีวภาพในระบบเกษตร. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ชัชชาย แจ่มใส และ จักรกฤษณ์ หอมจันทร์. 2554. ผลของกากตะกอนน้ำเสียจากโรงพยาบาลชุมชนอุบลรัตน์ที่มีต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพด. วารสารวิชาการเกษตร 23(3): 252-262.

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

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. (2536). ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม, 2555. อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม http://www.ryt9.com/tag

ณัฐกานต์ ทู้ไพเราะ. (2555). “การใช้ของทิ้งอุตสาหกรรมการเกษตรเพื่อนเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับปาล์มน้ำมัน” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554).

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

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

ทัศนีย์ เศรษฐ์บุญสร้าง . (2554). เกษตรอินทรีย์ก้าวหน้ากู้วิกฤตโลกได้อย่างไร. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www. dnaf.org/news/data-001.html. [15/06/55].

นคร สารคุณ, สมยศ สินธุรหัสและ สุทัศน์ ด่านสกุลผล. (2541). การวิเคราะห์พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันภาคใต้ของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นาฏสุดา ภูมิจำนง. (2007). ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ในราก และคาร์บอนในดินของสวนป่าสัก, Environment and Natural Resources Journal.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2549. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกและผลกระทบที่เกิดขึ้นในประเทศไทย. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ. 21(3): 20-34

บุญเสริญ เตนุกุทร. (2548). อินทรียวัตถุในดิน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.nsru.ac.th/e-learning/soil/lesson_6_2.php. [01/06/55].

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปนัดดา คำรัตน์. (2545). ประสิทธิภาพของถ่านกำมันต์ที่เตรียมจากขี้แป้งของโรงงานน้ำยางข้นในการกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สหสาขาวิชาสภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประภาส ทรงหงษา. 2555. กสิกรใต้ร่มยางพารา. [ออนไลน์]. แหล่งที่ม http://it.doa.go.th/kasikorn/year-55/sep_oct_55/part-2.pdf

ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล, วิชัย ใจภัคดี, สุรสิทธ์ สุทธิสงค์ และจักรี เสื่อนราม. 2545. การบำบัดน้ำเสียโรงงานนำร่องผลิตยางแท่ง STR 20 ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยยาง. กรมวิชาการเกษตร.

ปวรี สุวรรณอินทร์. (2550). การศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ของดินที่ต่างชนิดกันและการหาค่า correction factor ของวิธี Walkley-Black โดยใช้เทคนิคการเผาให้แห้ง. วิทยานิพนธ์ ปริญญา มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ปัทมา วิทยากร. (2555). soil fertility and plant nutrition.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา. http://ag.kku.ac.th/academic/new/file/pattama/132351%20Lec%206%20%20SOM.pdf. [29/05/55].

ป่าไม้, กรม. (2554). การทำลายป่าฝนเขตร้อน. [ออนไลน์].แหล่งที่มา: http://chm.forest.go.th/th/?p =1761.. [11/06/55] [ออนไลน์]

พจนีย์ มอญเจริญ และ ทวีศักด์ เวียรศิลป์. (2541). คาร์บอนในดินของประเทศไทย.กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์,กรุงเทพฯ

พจนีย์ มอญเจริญและทวีศักดิ์ เวียรศิลป์. (2541). คาร์บอนในดินของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน,

พลังงาน, กระทรวง. 2557. โครงการส่งเสริมการผลิตแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.dede.go.th/ewt_w3c/ewt_news.php?nid=471. [01 กรกฎาคม 2558]

พัฒนาที่ดิน, กรม. (2550). มาตรฐานปุยอินทรีย์ (ปุยหมก ปุ๋ยอุนทรียคุณภาพสูง). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา. www.ldd.go.th/Fertilizer/Organic_Fertilizer.pdf. [28 ธันวาคม 56].

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.). กรม. ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=486.
[01 กรกฎาคม 2558)

พิมพ์พิดา โยธาสมุทร. (2548). พื้นที่การเกษตรไทย กับการก้าวสู่ความเป็นครัวของโลก.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา:http://thainews.prd.go.th/view.php?m_newsid=255206300001&tb=N55206 .[25/05/55].

ฟาร์มเกษตร. (2554). ความเป็นกรด-ด่างของดิน.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา. http://www.ilab.asia/ilab/iLab_library.aspx?content=00412. [2555 มีนาคม 31].

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. (2554). หลักปฏิบัติเพื่อการป้องกันมลพิษ ๖เทคโนโลยีการผลิตที่สพอาด) สำหรับอุตสาหกรรมรายสาขา. กรุงเทพฯ: อุตสาหกรรมน้ำยางข้นอุตสาหกรรมยางแท่ง มาตรฐานเอสอาที 20.

วราวุธ ชูธรรมธัชและคณะ. คู่มือปาล์มน้ำมัน ชุดที่ 1. กรุงเทพ.พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด. 2554.

วราศรี เถกประสิทธิ์. (2543). การนำกากขี้แป้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมาใช้ประโยชน์เพื่อทำเป็นวัสดุบำรุงดิน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สหสาขาวิชาสภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วสันต์ สินธุนนท์. 2010. การเก็บเกี่ยวปาล์มน้ำมัน. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ; กรมวิชาการเกษตร). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.การเกษตร.com

วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2556. จากปาล์มน้ำมัน สู่น้ำมันปาล์ม : วิกฤตหรือโอกาสในการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (Session II) วันพุธที่ 3 เมษายน 2556 เวลา 09:00 – 17:00 น. ห้องประชุม CO-113 อาคารสำนักงานกลาง (CO) อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย จ. ปทุมธานี การประชุมวิชาการประจำปี 2556 สวทช. (NAC2013)

ศิรินทรา วันดี และ ธนิยา เกาศล. 2551. การศึกษาการเป็นไปได้ในการนำของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาหมักปุ๋ย. สงขลา: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ศุภธิดา อ่ำทอง. (2553). การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ Permanganate Oxidizable Carbon เพื่อใช้ในการวัดปริมาณอินทรียวัตถุในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน,วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณ-ฑิตภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. (2527). ปุ๋ยอินทรีย์กับดินและพืช. ว.ดินและพืช 6 : 155-166.

ศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีการปลูกปาล์มและยางพาราแบบมาเลเซีย. (2557.) การจัดการธาตุอาหารสำหรับปาล์มน้ำมัน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา.https://www.facebook.com/media/set/?set=a.179619495416677.43431.179441305434496&type=3. [8 ธันวาคม 56].

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2547. วิชาการปาล์มน้ำมัน . [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/oilpalm.html. [29 มิถุนายน 2558]

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. (2554). คู่มือปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. (2555). ขอมูลอุตุของศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ประจำปี 2555. เอกสารการเก็บข้อมูลสภาพอากาศประจำปี 2555.

ศูนยบริการขอมูล PIC สิ่งแวดลอมอุตสาหกรรม, 2550. สืบคนเมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2552. http://www2.diw.go.th/PIC/plan_01.html

สถาบันวิจัยยาง. 2553. ข้อมูลวิชาการยาง2553 . สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พิมพ์ครั้งที่ 1 โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด : 3000 เล่ม

สถาบันวิจัยยาง. 2553. อุตสาหกรรมยางและเทคโนโลยีในการผลิต, อุตสาหกรรมยางแผ่นรมควันและยางแท่ง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/para/used/01-02.php. [29 มิถุนายน 2558]

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2555. การสกัดน้ำมันปาล์ม. http://fieldtrip.ipst.ac.th/intro_sub_content.php?content_id=20&content_folder_id=235

สมชาย นองเนือง, สุนทร คำยอง, นิวัติ อนงค์รักษ์ และเกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง.(2555). การสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในดินสวนป่าสนสามใบหน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่. วารสารเกษตร 28(1): 31-40.

สมาน พานิชย์พงส์. (2519). ปาล์มน้ำมัน (oil palm). วารสารพัฒนาที่ดินปีที่ 13 ฉบับที่ 130 หน้า 49-52 (อ้างอิง จากหน้า 32).

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

สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ธิติ วิสารัตน์, สำเริง ปานอุทัย, ภาณุมาศ ลาดปาละ, สิริจันทร์ จันทร์มหเสถียร และศุภารัตน์ สำราญ. (2548). วัฏจักรคาร์บอนในป่าดิบแล้งสแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มแม่น้ำกลอง, น.77-94 รายงานประชุมวิชาการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ "ศึกยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต", โรงแรมมารวยการ์เด้นต์ กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 4-5 สิงหาคม 2548. กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธ์พืช, กรุงเทพฯ.

สารานุกรมเสรี. (2555). พืชไร่. [ออนไลน์].แหล่งที่มา.http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9E%E0%%B7%E0%B8%8A%E0%B9%84%E0%B8%A3%E0%B9%88. [30/05/55].

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2552. http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:nvTPCUsmENUJ:www.arda.or.th/kasetinfo/south/palm/controller/index.php+&cd=1&hl=th&ct=clnk&gl=th

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2552. อุตสาหกรรมยางและเทคโนโลยีในการผลิต. http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/para/used/01-02.php

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. (2554). อุตสาหกรรมยางและเทคโนโลยีในการผลิต.[ออนไลน์]. :แ ห ล่ ง ที่ ม า . http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/para/used/01-02.php. [2555 มีนาคม 31].

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2554. เทคโนโลยีการแยกเนื้อยางและสารอินทรีย์ออกจากตะกอนน้ำยางธรรมชาติ. ปทุมธานี.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2554. เทคโนโลยีการแยกเนื้อยางและสารอนินทรีย์ออกจากกากตะกอนน้ำยางธรรมชาติ. ปทุมธานี.

สำนักงานเศรษฐกิจ. ข้อมูลการนำเข้า-ส่งออกน้ำมันปาล์ม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.oae.or.th [14 กันยายน 2557]

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2552. เอกสารสถิติการเกษตรที่ 414. กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

สำนักเศรฐกิจการเกษตร. (2552 ก). ข้อมูลพื้นฐานเศรฐกิจการเกษตร ปี 2552. เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 414. กรุงเทพฯ: สำนักเศรฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักเศรษฐกิจการเกษตร. (2553). การใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรของประเทศไทย ปี 2553. รายงานยุธทศาสตร์ กรมพัฒนาที่ดิร ฉบับที่ 11 ปี 2555-2559.

สำนักสำรวจทรัพยากรดินกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2555). ความรู้เรื่องดินสำหรับเยาวชน.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา.http://oss101.ldd.go.th/web_soilsfor_youth/s_prop_ph2.htm [29 ตุลาคม2555].

สำเริง ปานอุทัย, (2548). การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินของป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง. ม.ป.พ. : ม.ป.ท

สิริกานดา วัชราไทย. (2551). การศึกษาสมดุลคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของสบู่ดำที่ปลูกในดินเหนียวและดินร่วนปนทราย.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, ภิญโญ มีเดช,สุรชาติศรีกุลและชาย โฆรวิส. (2543). ความต้องการปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมของปาล์มน้ำมันที่ปลูกในชุดดินอ่าวลึก. รายงานการวิจัยประจำปี 2542-2543 ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี.

สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, สุรกิตติ ศรีกุล, ภิญโญ มีเดช, ชาย โฆรวิส. (2543). ความต้องการปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียมของปาล์มน้ำมันที่ปลูกในชุดดินอ่าวลึก. ในรายงานผลงานวิจัยประจำปี 2542-2543, หน้า 66-98. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร.

สุรกิตติ ศรีกุล. (2554). ประวัติความเป็นมาของปาล์มน้ำมัน. เทคโนโลยีการผลิตปาล์มน้ำมันครบวงจร. หน้า 1-10. สำนักวิจัยการพัฒนาการเกษตรเขตที่7 กรมวิชาการเกษตรสุราษฎร์ธานี.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, 2543. การผลิตยางธรรมชาติ, จังหวัดสงขลา. World Bank, 1984. Environmental Guidelines, Washington D.C. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. หน้า 16

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. 2543. การผลิตยางธรรมชาติ. พิมพ์รังที่ 2. ปัตตานี: ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตปัตตานี.

องค์การตลาดเพื่อการเกษตร. (2553). ปาล์มน้ำมัน.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.mof.or.th/ web/ agriculture.php ?id=46&cat=24. [25/05/55].

องค์การตลาดเพื่อเกษตรกร. (2555). พืชเศรษฐกิจ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา. http://www.mof.or.th/economic _plant/ oilpalm/doa/oilpalm-importance.html. [28/05/55].

อรรคเดชฤฤกดิ์พิบูรณ์. (2555). เถ้าชานอ้อยและเถ้าปาล์มน้ำมัน. [Powerpoint]. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.kmutt .ac.th/mecmat/concrete/?q=node/19. [2555, พฤศจิกายน 01].

อรรถชัย จินตะเวช. 2547. การสะสมคาร์บอน. คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 63 น.

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ, สุธน ช่วยเกิด และสัตพงศ์ ชอบกตัญญู และคณะ. 2552. การทดแทนปุ๋ยด้วยกากตะกอนน้ำเสียและกากขี้แป้งเพื่อการเพาะชำยางชำถุง. รายการวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ: ยางพาราฝ่ายอุตสาหกรรมสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2550. ทรัพยากรดินกับภาวะโลกร้อน. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ. 22 (3): 22-32.

เอกชัย พฤกษ์อำไพ. (2548). คู่มือปาล์มน้ำมัน. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เทพพิทักษ์ พิมพ์ครั้งที่ 1.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ตารางประกอบงานวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ ผ. 1 ระดับค่ากรดเบสของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน 2547)

ระดับ	ค่าความเป็นกรดเบส
กรดรุนแรงมากที่สุด	<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 alkaline)	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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ผ. 2 มาตรฐานระดับอินทรียวัตถุในดิน (กรมพัฒนาที่ดิน 2547)

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

สมบัติทางเคมี	**ระดับความเหมาะสมที่ใช้ประเมิน**			
	ต่ำมาก	**ต่ำ**	**ปานกลาง**	**สูง**
กรดเบส (pH)	<3.5	4.0	4.2	5.5
อินทรียวัตถุ (%)	<8.0	1.2	1.5	2.5
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N%)	<0.08	0.12	0.15	0.25
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ppm)	<0.8	15.5	20.0	25.0
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (ppm)	<32.0	80.0	100.0	120.0
โพแทสเซียม (ppm)	<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
ทองแดกที่เป็นประโยชน์ (ppm)	<4.0	<5.0	5.0	>6.0
C.E.C (meq/100g)	<6.0	12.0	15.0	18.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ผ. 4 การแปรผลการวิเคราะห์ดิน (กรมวิชาการเกษตร, 2553)

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ผ. 5 อัตราการหายใจของดิน (soil respiration rate) ในเขตพื้นที่ที่มีชนิดของพืชชนิดหลักที่ต่างกันในเขตพื้นที่ต่างๆของโลก (Modified from Luo and Zhou, 2006).

Vegetation type	**Mean soil respiration rate** ($g\ C\ M^{-2}\ Y^{-1}$)
Tundra	60
Boreal forests and woodlands	322
Temperate grassland	442
Temperate conifereste	681
Temperate deciduous forests	647
Mediteranean woodland and heath	713
Cropland and field	544
Desert scrub	224
Tropical savannas and grasslands	629
Tropical dry forests	673
Tropical moist forests	1,260
Northen bogs and mires	94
Marshes	413

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ผ.6 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ประจำปี 2555

ขอมูลอุตุของศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี ประจำปี 2555							
ปี 2555	อุณหภูมิ ต่ำ-สูง	อุณหภูมิ	ความชื้น	ปริมาณฝน	ระเหย	ลม	แสงแดด
มกราคม	21.58 - 29.92	25.75	81.84	462.40	73.70	9.00	149.30
กุมภาพันธ์	22.13 - 32.18	27.15	76.03	44.60	116.30	17.00	229.40
มีนาคม	22.34-33.14	27.74	75.82	38.10	123.10	5.00	214.70
เมษายน	22.92 - 33.64	28.28	76.03	147.50	116.20	1.00	184.70
พฤษภาคม	23.79 - 33.52	28.65	76.11	56.70	130.70	26.00	254.40
มิถุนายน	23.34-32.37	27.85	77.95	124.70	146.30	36.00	216.30
กรกฎาคม	23.65 - 33.18	28.42	75.05	26.10	130.80	28.00	183.90
สิงหาคม	22.97 - 33.86	28.41	72.40	94.60	146.90	37.00	217.80
กันยายน	23.37 - 31.99	27.68	78.27	99.50	106.30	39.00	136.70
ตุลาคม	22.73 - 31.71	27.22	80.55	120.60	86.30	20.00	166.20
พฤศจิกายน	22.96 - 31.43	27.20	84.08	138.80	70.90	15.00	142.30
ธันวาคม	22.48 - 31.32	26.90	81.65	281.80	71.60	18.00	179.70
รวม	**274.2-388.25**	**331.26**	**935.79**	**1635.40**	**1319.10**	**251.00**	**2275.40**
เฉลี่ย	**22.86-32.35**	**27.60**	**77.98**	**136.28**	**109.93**	**20.92**	**189.62**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ผ.7 แสดงลักษณะของฝน ภูมิอากาศและความชื้นของดินที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมัน

ลักษณะ	ข้อจำกัดและความเหมาะสม				
พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน	เหมาะสม	เหมาะสมเล็กน้อย	เหมาะสมปานกลาง	ไม่เหมาะสม (รุนแรง)	ไม่เหมาะสม (รุนแรงมาก)
ปริมาณน้ำฝนต่อปี (มม./ปี)	มากกว่า 2,000	1,700-2,000	1,450-1,700	1,250-1,450	น้อยกว่า 1,250
จำนวนเดือนที่แห้งแล้ง	-	1-2	2-3	3-4	4 เดือนขึ้นไป
อุณหภูมิตลอดปี	มากกว่า 29	27-29	24-27	22-24	น้อยกว่า 22
เปอร์เซนต์ความลาดเทของพื้นที่ (%)	0-12	12-13	13-20	มากกว่า 20	มากกว่า 38-50
การระบายน้ำของดิน	ดี	ปานกลาง	ง่าย	ยาก	ไม่ดี
การท่วมขังของพื้นที่	ไม่มี	เล็กน้อย	ไม่มี	ปานกลาง	มาก
แสงแดด ชม./วัน	4-5	-	-	-	-

ตารางที่ ผ. 8 มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ตามประกาศกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2548

คุณลักษณะ	**เกณฑ์กำหนด**
1. ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 มิลลิเมตร
2. ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35% โดนน้ำหนัก
3. ปริมาณหินและกรวดขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร	ไม่เกิน 5% โดยน้ำหนัก
4. พลาสติก แก้ว วัสดุมีผมและโลหะมีคนอื่นๆ	ต้องไม่มี
5. ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30% โดยน้ำหนัก
6. ค่ากรดเบส (pH)	5.5-8.5
7. อัตราคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20:1
8. ค่าการนำไฟฟ้า (EC:Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 6 เดซิเมน/เมตร
9. ปริมาณธาตุอาหารหลัก -ไนโตรเจน (total N) -ฟอสฟอรัส (tatal K_2O_5) -โพแทสเซียม (tatal K_2O)	 ไม่น้อยกว่า 1.0% โดยน้ำหนัก ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก ไม่น้อยกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก
10. การย่อยสลายสมบูรณ์	มากกว่า 80%
11. สารหนู (Asenic) แคดเมียม (Cadmium) โครเมียม (Chromium) ทองแดง (Copper) ตะกั่ว (Lead) ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 50 mg/kg ไม่เกิน 5 mg/kg ไม่เกิน 300 mg/kg ไม่เกิน 500mg/kg ไม่เกิน 500 mg/kg ไม่เกิน 2 mg/kg

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

ภาพประกอบงานวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ ผ. 1 ของทิ้งอุตสาหกรรมที่ใช้ในการทดลอง

1	2
3	4
5	6

1. กากขี้แป้ง
2. กากตะกอนน้ำเสีย
3. เส้นใยปาล์มน้ำมัน
4. ขี้เถ้าปาล์มน้ำมัน
5. ขนาดต้นปาล์มและบริเวณทดลอง
6. การติดป้ายต้นปาล์มน้ำมัน

ภาพที่ ผ. 2 การเก็บตัวอย่างดินและการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์

1	2
3	4
5	6

1. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน
2. คลุกคล้าดินให้ผสมกัน
3. นำดินมาผึ่งที่อุณหภูมิห้อง
4. บดดินให้ละเอียด
5. กรองดินละเอียดและหยาบ
6. เก็บตัวอย่างดินไว้เพื่อวิเคราะห์

ภาพที่ ผ. 3 อุปกรณ์และการเก็บเกี่ยวตัวอย่างผลผลิตทะลายปาล์มน้ำมัน

1	2
3	4
5	6

1. กิโลชั่งน้ำหนักทะลายปาล์ม
2. เสียมแทงทะลายปาล์ม
3. การชั่งน้ำหนักทะลายแต่ละทะลาย

4. การตัดทะลายปาล์มน้ำมัน

5. ขนทะลายปาล์มออกจากพื้นที่

6 ทะลายปาล์ม ที่พร้อมเก็บเกี่ยว

ภาพที่ ผ. 4 อุปกรณ์ในการวัดการหายใจดิน

1	
2	3

1. อุปกรณ์วัดการหายใจของดิน (li 6400-09 soil respiration chamber) และที่วัดอุณหภูมิดิน (soil temperature probe)
2. สารเคมีที่ใช้ในการวัดการหายใจดิน
3. การวัดการหายใจดินในพื้นที่จริง

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภณิดา เจริญผล ภูมิลำเนาอยู่ที่จังหวัดกาญจนบุรี เกิดเมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2531 เป็นบุตรของ นายมะแนะ เจริญผล และนางน้ำฝนเจริญผล มีพี่น้อง 1 คน คือ นายกัณตภณ เจริญผล สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนเขารักษ์ ในปี พ.ศ. 2543 สำเร็จการศึกษาจากระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสมเด็จพระปิยมหาราชรมณียเขต ในปี 2549 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิตย์ สาขาเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ในปี 2553ในปี 2554 ได้ศึกษาต่อในหลักสูตรสหสาขาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University