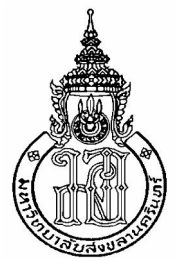


ลักษณะดินและน้ำท่าจากการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้นด้วยการบำบัดโดยดิน ในสวนปาล์มน้ำมัน

Soil and Runoff Characteristics from Treatment of Concentrated Latex Effluent by Land Treatment in Oil Palm Plantation

เพ็ญนภา ทองประไพ

Pennapa Tongprapai

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Prince of Songkla University
2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ลักษณะดินและน้ำท่าจากการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้นด้วยการบำบัดโดยดินในสวนปาล์มน้ำมัน

ผู้เขียน เพ็ญนภา ทองประไพ

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

……

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

……

(รองศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ ศรีแดง)

คณะกรรมการสอบ

……ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์)

……..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุวศา กานตวนิชกูร)

……..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิยา เกาศล)

……..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์)

……..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ ศรีแดง)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

……

(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ ลักษณะดินและน้ำท่าจากการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้นด้วยการบำบัดโดยดินในสวนปาล์มน้ำมัน

ผู้เขียน นางสาวเพ็ญนภา ทองประไพ

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะของดินก่อน ระหว่าง และหลังการทดลอง และวิเคราะห์คุณภาพน้ำท่าที่อยู่บริเวณใกล้เคียงทุกเดือน รวมทั้งเปรียบเทียบผลผลิตของปาล์มน้ำมันที่ได้จากการทดลองแต่ละแปลงจากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นโดยใช้การบำบัดบนดินในสวนปาล์มน้ำมันแบบ Slow-rate Irrigation โดยสร้างเป็นแปลงทดลองในพื้นที่สวนปาล์มของบริษัทวงศ์บัณฑิต จำกัด และน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นที่ผ่านการเติมอากาศ 2 บ่อมาแล้วรดแปลงทดลอง ทำการทดลองที่ค่า Hydraulic Loading Rate 0.5, 1, 2 และ 3 cm/wk ตามลำดับ โดยมี 2 ชุดการทดลองคือ แปลงที่รดทุกวันและแปลงที่รดสัปดาห์ละครั้ง และแปลงควบคุมมี 2 แปลงคือ แปลงที่ไม่รดน้ำ 1 แปลง และรดน้ำจากบ่อเก็บกักน้ำฝนสัปดาห์ละครั้ง 1 แปลง จากนั้นวิเคราะห์ลักษณะดิน

ผลการศึกษาลักษณะตัวอย่างดินหลังการทดลองรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นพบว่าค่า pH, อินทรียวัตถุ และไนโตรเจนทั้งหมดของดินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น ความอุดมสมบูรณ์ของดินก่อน ระหว่าง และหลังการทดลองอยู่ในระดับปานกลาง และไม่พบสารที่อาจส่งผลกระทบให้ดินและน้ำท่ามีคุณภาพด้อยกว่าเดิม เมื่อแบ่งคุณภาพน้ำโดยใช้มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน น้ำท่าจัดอยู่ในแหล่งน้ำประเภทที่ 4 การให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันสำหรับแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในช่วง 88.0-175.1 กิโลกรัม/ไร่/เดือน ซึ่งสูงกว่าแปลงที่ไม่รดด้วยน้ำทิ้ง และแปลงที่รดด้วยน้ำบ่อ และพบว่าที่ Hydraulic Loading Rate 2 cm/wk ของแปลงที่รดทุกวันให้ผลผลิตสูงที่สุด

Thesis Title	Soil and runoff characteristics from treatment of concentrated latex effluent by land treatment in oil palm plantation
Author	Miss Pennapa Tongprapai
Major Program	Environmental Engineering
Academic Year	2011

ABSTRACT

This research aims to investigate the effects of concentrated latex effluent treatment on the characteristic of soil and runoff and on plantation yield of oil palm. Slow-rate Irrigation land treatment system was conducted in oil palm plantation, Von Bundit Company Limited, Krabi, Thailand. Pre-treatment effluent was irrigated to the plantation at daily and weekly watering with different hydraulic loading rates of 0.5, 1, 2 and 3 cm/week, respectively. There were two control units, irrigated and Non- irrigated with well water. Soil characteristics before, during and after the experiment and monthly runoff monitory was investigated. Production of oil palm plantation in each experimental unit was investigated.

The results show that pH, Organic matter and TN in soil was increased after irrigation with concentrated latex effluent and soil fertility was moderate. No significance change of runoff characteristics was observed. The water quality at the study area was set as class 4 of surface water quality standard. However the production of oil palm plantation irrigated with concentrated latex effluent was found to be in a range of 88.0-175.1 kg/rai/month which was higher from control unit and irrigated with well water unit. Hydraulic loading rate 2 cm/wk of daily watering unit provided the maximum yield.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รศ.ดร.พรทิพย์ ศรีแดง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร.ศุวศา กานตวนิชกูร ผศ.ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์ ผศ.ดร.ธนิยา เกาศล และคณะกรรมการทุกท่าน ที่กรุณาให้โอกาส ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา คำแนะนำในการค้นคว้าวิจัยและความรู้ด้านอื่นๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นผลให้การทำวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ ENG530039S และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท วงศ์บัณฑิต จำกัด อ.อ่าวลึก จ.กระบี่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิจัย รวมทั้งให้ข้อมูลอื่นๆ อันเป็นประโยชน์ ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ และให้คำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุกคนที่ได้ให้คำแนะนำและให้การช่วยเหลือทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่คอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือด้านงานเอกสารและข้อควรปฏิบัติในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นักศึกษาปริญญาโท และปริญญาตรี ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้กันเสมอมา

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อบุญธรรม ทองประไพ และคุณแม่ละออง ทองประไพ อย่างหาที่เปรียบมิได้ ที่คอยให้ความรัก ความห่วงใย และเป็นแรงกายแรงใจให้เสมอมา ตลอดจนให้การสนับสนุนเงินทุนจนสำเร็จการศึกษา ขอมอบคุณความดี และประโยชน์ทั้งหลายที่เกิดจากการทำวิจัยนี้ แด่ทุกท่านที่มีส่วนร่วมทำให้งานวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เพ็ญนภา ทองประไพ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพ	(11)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.2.1 อุตสาหกรรมน้ำยางข้น	2
1.2.1.1 น้ำยางสดหรือน้ำยางธรรมชาติ	3
1.2.1.2 การผลิตน้ำยางข้น	5
1.2.1.3 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น	8
1.2.1.4 ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น	8
1.2.1.5 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น	9
1.2.2 วิธีบำบัดโดยดิน (land treatment systems)	11
1.2.2.1 ระบบอัตราไหลช้า (Slow-rate Irrigation)	11
1.2.2.2 ระบบไหลซึมเร็ว (Rapid Infiltration)	11
1.2.2.3 ระบบน้ำไหลนอง (Overland Flow)	11
1.2.2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดโดยดิน	15
1.2.3 ดิน	20
1.2.3.1 ส่วนประกอบของดิน	20
1.2.3.2 สมบัติของดิน	22
1.2.3.3 ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	29
1.2.3.4 มลพิษดิน	43
1.2.3.5.การเก็บตัวอย่างดิน	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.2.4 ปาล์มน้ำมัน	45
1.2.4.1 ลักษณะพฤกษศาสตร์ปาล์มน้ำมัน	45
1.2.4.2 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับปาล์มน้ำมัน	47
1.2.4.3 การประเมินความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน	49
1.2.4.4 วิธีการเก็บเกี่ยวผลปาล์มสดรวมถึงการรวมผลปาล์มส่งโรงงาน	53
1.2.5 น้ำท่า	54
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	57
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	57
2. วิธีการวิจัย	58
2.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	58
2.2 สถานที่ในการทำการวิจัย	69
2.2.1 สถานที่ในการทดลอง	69
2.2.2 สถานที่ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง	69
2.3 วัสดุ	69
2.3.1 ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นที่ใช้ในการทดลอง ที่ใช้ในการทดลอง	69
2.3.2 สารเคมี เครื่องแก้ว และวัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ	69
2.3.3 วัสดุสำหรับสร้างแปลงทดลอง	69
2.4 อุปกรณ์	70
2.4.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น	70
2.4.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน	70
2.4.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำท่า	70
2.4.4 อุปกรณ์สำหรับเก็บผลผลิตปาล์มน้ำมัน	70
2.4.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ	70
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	72
3.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น	72
3.2 ผลการศึกษาลักษณะของดิน	74

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำท่า	105
3.4 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำใต้ดิน	110
3.5 ผลการศึกษาผลผลิตปาล์มน้ำมัน	112
4. บทสรุป และข้อเสนอแนะ	117
4.1 บทสรุป	117
4.2 ข้อเสนอแนะ	118
บรรณานุกรม	120
ภาคผนวก	127
ประวัติผู้เขียน	139

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	องค์ประกอบของน้ำยางสด	3
1.2	ชนิดและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น	9
1.3	ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้น	10
1.4	วัตถุประสงค์ของแต่ละวิธีการบำบัดโดยดิน	12
1.5	ลักษณะสำคัญและเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการเลือกพื้นที่เพาะปลูกสำหรับการบำบัดโดยดินแบบอัตราการไหลช้า	14
1.6	แนวทางการพิจารณา เพื่อบอกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน	42
1.7	เกณฑ์ที่ใช้ประเมินสภาพพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน	48
1.8	ปริมาณธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมัน	49
1.9	ปริมาณความต้องการธาตุอาหารของปาล์มนั้นในช่วงอายุต่าง ๆ	50
1.10	การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน	56
2.1	พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น	59
2.2	ข้อมูลแปลงทดลองที่รดน้ำทิ้งทุกวัน	63
2.3	ข้อมูลแปลงทดลองที่รดน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง	63
2.4	พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะตัวอย่างดิน	65
2.5	พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะตัวอย่างน้ำท่า	67
3.1	ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำทิ้งของโรงงานน้ำยางข้น	73
3.2	ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อดิน	75
3.3	การประเมินความเหมาะสมของสมบัติทางฟิสิกส์ของดินสำหรับปลูกปาล์มน้ำมัน	76
3.4	ผลการวิเคราะห์ pH ของดิน	78
3.5	ผลการวิเคราะห์การนำไฟฟ้าของดิน	80
3.6	ผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนในน้ำทิ้งในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อปาล์มน้ำมัน	83
3.7	การประเมินอินทรียวัตถุในดิน และผลกระทบที่มีต่อพืช	89
3.8	ผลการวิเคราะห์อินทรียวัตถุในดิน	89
3.9	ผลการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนในดิน	91
3.10	ผลการวิเคราะห์อัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดิน	95
3.11	ผลการวิเคราะห์ลักษณะของดินสำหรับพิจารณาความอุดมสมบูรณ์ของดิน	99

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3.12	เกณฑ์ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน	100
3.13	ผลการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินก่อนการทดลอง	101
3.14	ผลการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินระหว่างการทดลอง	101
3.15	ผลการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินหลังการทดลอง	102
3.16	ผลการประเมินผลกระทบต่อลักษณะดิน	104
3.17	ผลการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำท่า	109
3.17	ปริมาณน้ำฝนในจังหวัดกระบี่เดือนพฤษภาคม 2553 – กุมภาพันธ์ 2554	109
3.19	คุณภาพน้ำใต้ดินจากบ่อน้ำบริเวณใกล้เคียง	111
3.20	ข้อมูลผลผลิตปาล์มน้ำมัน	114
3.21	ประสิทธิภาพของระบบการบำบัดโดยดินในแต่ละแปลง	114
3.22	ข้อมูลผลผลิตปาล์มน้ำมันเทียบกับปี 2551	115
3.23	ข้อมูลผลผลิตปาล์มน้ำมันแปลงควบคุม	116

ตารางภาคผนวก

ก-1	ผลการวิเคราะห์เนื้อดินก่อนการทดลอง	128
ก-2	ผลการวิเคราะห์เนื้อดินระหว่างการทดลอง	129
ก-3	ผลการวิเคราะห์เนื้อดินหลังการทดลอง	130
ก-4	ผลการวิเคราะห์Na Ca และMg ในตัวอย่างดินที่ทำการทดลอง	131
ค-1	ตารางปริมาณฝนในเดือนพฤษภาคม 2553 – เดือนกุมภาพันธ์ 2554	133

รายการภาพ

ภาพประกอบที่		หน้า
1.1	แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตน้ำยางข้น	8
1.2	สัดส่วนปริมาณน้ำเสียในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น	11
1.3	ระบบอัตราไหลช้า (Slow-rate Irrigation)	12
1.4	ระบบน้ำไหลนอง (Overland Flow)	13
1.5	ทางเลือกในการกระจายน้ำของระบบน้ำไหลนอง	13
1.6	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินและภาระบรรทุกของน้ำที่เหมาะสำหรับการบำบัดโดยดินแบบต่างๆ	14
1.7	ระบบอัตราไหลช้า	15
1.8	แสดงส่วนประกอบของดินที่เหมาะแก่การเพาะปลูก	22
1.9	สามเหลี่ยมที่ใช้ในการจำแนกประเภทเนื้อดิน	25
1.10	แสดงวิธีการเก็บตัวอย่างดินจากจุดที่กำหนด	46
2.1	บ่อเติมอากาศของ บ.วงศ์บัณฑิต อ.อ่าวลึก จ.กระบี่	58
2.2	แบบจำลองระบบทดลอง	61
2.3	พื้นที่แปลงทดลอง	62
2.4	คันดินกั้นระหว่างแปลง	62
2.5	แนวท่อที่ใช้ในการรดน้ำทิ้ง	62
2.6	รางรับน้ำ	60
2.7	แหล่งน้ำท่า	67
2.8	การชั่งผลผลิตปาล์ม	67
2.9	แผนที่ของโรงงานและสถานที่ที่ทำการวิจัย	68
3.1	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน	81
3.2	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง	82
3.3	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำบ่อ และไม่รดน้ำบ่อ	82
3.4	ปริมาณสังกะสี (mg/kg) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน	85
3.5	ปริมาณสังกะสี (mg/kg) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง	86
3.6	ปริมาณสังกะสี (mg/kg) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำบ่อ และไม่รดน้ำบ่อ	86

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่าง สังกะสี (mg/kg) กับ อินทรียวัตถุ (g/kg) ของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน	92
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่าง สังกะสี (mg/kg) กับ อินทรียวัตถุ (g/kg) ของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง	93

บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำ

น้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมรออบๆ พื้นที่ของโรงงาน น้ำเสียที่เกิดขึ้นถูกบำบัดเพื่อให้มีคุณภาพที่สามารถปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ โดยเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีอยู่หลายวิธีได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ (Aerated LagoonหรือAL) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetland) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge Process) ระบบบำบัดน้ำเสียคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor ; RBC) ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวมักต้องใช้การลงทุนที่สูงทั้งในด้านเครื่องจักรกลและพลังงาน ขณะที่เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบธรรมชาติ ได้แก่ วิธีบำบัดบนดิน (Land treatment systems) วิธีบึงประดิษฐ์ (Constructed wetland systems) และวิธีพืชลอยน้ำ (Floating aquatic plant treatment systems) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้งานสะดวก ดูแลง่าย เนื่องจากเป็นวิธีการทางธรรมชาติ โดยการอาศัยพืชช่วยดูดซับธาตุอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียไปใช้ในการเจริญเติบโต การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดี

วิธีการบำบัดบนดิน (Land treatment systems) เป็นวิธีการทางธรรมชาติที่ต้องอาศัยพืชร่วมด้วยในการบำบัดซึ่งไม่ซับซ้อนและไม่ต้องใช้เทคโนโลยีในการบำบัดสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นมาแล้ว นอกจากนี้วิธีบำบัดบนดินยังสามารถใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นที่ 2 (Secondary treatment) ได้ โดยพืชที่ใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียได้แก่ หญ้า Reed canary grass, Meadow foxtail, Smooth bromegrass (Geber, 2000) หญ้ามาเลเซีย ผักบุ้งจีน (Thongnuekhang, and Puetpaiboon, 2004), Eucalyptus (Eucalyptous camanulensis), Acacia (Acacia donax), Poplar (Populus nigra), Reed (Arundo donax) (Tzanakakis *et al*., 2003) และพืชตระกูลถั่ว (เฉลิมพล, 2530) โดยพบว่าพืชเหล่านี้มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียได้ โรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทในภาคใต้ที่มีการนำเสียจากโรงงานมาใช้ประโยชน์ในการรดพืช ได้แก่ โรงงานปาล์มน้ำมัน โรงงานอาหารทะเลแช่ง (เภสัชรัตน์, 2550) โรงงานน้ำยางข้น (Thongnuekhang and Puetpaiboon, 2003)

งานวิจัยนี้เลือกศึกษาการนำน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมัน โดยมีโรงงานน้ำยางข้นตั้งอยู่ในพื้นที่สวนปาล์มน้ำมัน มีการนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ประโยชน์ในพื้นที่ด้วย ซึ่งโรงงานน้ำยางข้นที่เข้าร่วมวิจัยนี้มีการดำเนินการอนุญาตให้มีการเลือกพื้นที่ในสวนปาล์มน้ำมัน และมีการสร้างแปลงทดลอง พืชที่ใช้ในการทดลองคือ ต้นปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นไม้ยืนต้น อายุยืน ให้ผลผลิตตลอดปี เป็นพืชที่ปลูกกันมากในภาคใต้ของประเทศไทย เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง ที่เหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้น บริเวณพื้นที่ที่ปลูกมากที่สุด คือจังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูลและตรัง เนื่องจากมีการขยายตัวของการใช้พื้นที่สวนปาล์มในการปลูกมากขึ้นและผลตอบแทนการปลูกปาล์มน้ำมันดีกว่าการปลูกพืชชนิดอื่นจึงเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูก คาดว่าปริมาณความต้องการน้ำมันปาล์มจะเพิ่มขึ้นมาก เนื่องจากราคาน้ำมันปาล์มในตลาดโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น

การนำน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมันนั้นเนื่องจากความต้องการใช้น้ำในพื้นที่สวนปาล์มน้ำมันสูง รวมทั้งในน้ำทิ้งมีสารอินทรีย์พวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ดังนั้น การใช้น้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมัน จึงมีโอกาสส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของดินในพื้นที่แปลงทดลอง (ปลูกปาล์ม) ทำให้ลักษณะของดินเปลี่ยนไปจนอาจส่งผลกระทบต่อผลผลิตของปาล์มน้ำมันได้ รวมถึงผลกระทบที่อาจเกิดกับน้ำท่าบริเวณใกล้ๆ พื้นที่แปลงทดลองด้วย

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้มุ่งศึกษาลักษณะของดินและน้ำท่า จากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำยางข้นโดยใช้การบำบัดโดยดินในสวนปาล์มน้ำมัน รวมถึงการประเมินผลผลิตของปาล์มน้ำมันโดยใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดของโรงงานน้ำยางข้นโดยใช้การบำบัดโดยดินในสวนปาล์มน้ำมัน

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 อุตสาหกรรมน้ำยางข้น

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญทางภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิต และ ส่งออกยางธรรมชาติรายใหญ่ โดยผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่มีการส่งออก ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่งมาตรฐานและน้ำยางข้นอุตสาหกรรมน้ำยางข้นเป็นการแปรรูปน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางข้นเพื่อเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆ เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรถยนต์

การผลิตน้ำยางข้นของประเทศไทยมีการขยายตัวเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา (2542-2551) คือมีการเพิ่มขึ้นจาก 300,640 ตันในปี 2542 เป็น 587,047 ตันในปี 2551 (http://www.rubberthai.com/rubberthai/) มีปริมาณเนื้อยาง (Dry rubber content : DRC) เฉลี่ยประมาณ 35% สารละลายที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber solid) 5% และน้ำ (Water) มาผ่านกระบวนการแปรรูปให้อยู่ในรูปของน้ำยางข้นที่มีเนื้อยางแห้งอย่างน้อย 60% โดยใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง เพื่อแยกน้ำและสารอื่นๆที่ละลายอยู่ออกไปบางส่วน น้ำยางที่ได้จะเรียกว่า Centrifuged Latex ซึ่งมีน้ำยางข้น 60% (http://www.dsfutures.co.th/?cid=3&pid=18) และในกระบวนการนี้จะมีส่วนของหางน้ำยางเกิดขึ้นมา หางน้ำยางที่ได้จากการผลิตน้ำยางข้นนั้นยังมีเนื้อยางอยู่ราว 4-8% DRC ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องปั่นและการปรับเครื่องปั่นน้ำยาง โดยเนื้อยางที่ได้จากหางน้ำยางเหล่านี้จะถูกแปรสภาพเป็น สกิมบล็อค หรือสกิมเครพ

1.2.1.1 น้ำยางสดหรือน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางสดได้จากการกรีดต้นยางพารา น้ำยางสดที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวขุ่น มีสภาพเป็นคอลลอยด์ หรือมีสารแขวนลอย มีอนุภาคขนาด 0.05-5 ไมโครเมตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.5-7.0 น้ำยางมีค่าความหนืดประมาณ 12-15 centipoise (น้ำบริสุทธิ์มีความหนืด 1 centipoise) และมีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัม/มิลลิลิตร ประกอบด้วยสารต่างๆ ซึ่งมีปริมาณที่ไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุยาง ฤดูกาลกรีด และวิธีการกรีดยาง ซึ่งองค์ประกอบของน้ำยางสด (ตารางที่ 1.1)

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบของน้ำยางสด

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
ของแข็งทั้งหมด (Total solids content, TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC)	33
สารพวกโปรตีน	1-1.5
เถ้า	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1
น้ำตาล	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100

ที่มา: วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2531

โดยปริมาณเนื้อยางของน้ำยางธรรมชาติอาจแปรปรวนตั้งแต่ 25 ถึง 45 % ปริมาณความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นของแข็งทั้งหมดในน้ำยางกับปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 3 % แต่ถ้าเป็นกรณีของน้ำยางที่ปั่นทำให้ข้นแล้ว ความแตกต่างดังกล่าวเหลือเพียงประมาณ 1-2 % เท่านั้น ทั้งนี้องค์ประกอบของน้ำยางสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

- ส่วนที่เป็นยาง (Dry rubber content) เป็นสารประกอบไฮโดรเจนที่มีคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม สูตรเคมีคือ $(C_5H_8)_n$ นี้อยางมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000,000 รูปร่างอนุภาคยางเป็นรูปทรงกลม หรือรูปลูกแพร์ มีขนาด 0.05-5 ไมโครเมตร มีประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบ และมีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนตลอดเวลา

- ส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยาง (Non rubber content*)* เป็นส่วนประกอบอื่นๆทั้งหมดที่ไม่ใช่ส่วนที่เป็นยาง ประกอบด้วย

1) ส่วนที่เป็นน้ำซีรัม (Serum)

เป็นส่วนที่เป็นน้ำใสของน้ำยาง ได้จากการแปรรูปเบื้องต้นของน้ำยางเป็นยางชนิดต่างๆ ได้แก่ น้ำยางข้น ยางแผ่น หรือแม้แต่การจับตัวกันตามธรรมชาติ เมื่อมีการแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกแล้ว จะเหลือส่วนที่เป็นน้ำใสเรียกว่า น้ำซีรัม ซึ่งมีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัม/มิลลิลิตร น้ำซีรัมที่ได้จากการทำน้ำยางข้น ประกอบด้วยสารชนิดต่างๆ คือ

- คาร์โบไฮเดรต เป็นสารพวกแป้งและน้ำตาลมีอยู่ในน้ำยางประมาณ 1 % สารเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียใช้เป็นอาหาร เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายตัวให้กรดโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพและรวมตัวเป็นก้อน
- โปรตีนและกรดอะมิโน โปรตีนที่อยู่ในน้ำยางในปริมาณสูง คือ
  - แอลฟากลูบูลิน (α-globulin) เป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 200,000 มีสมบัติเป็น surface-active อยู่บนรอยต่อระหว่างน้ำกับอากาศ และน้ำมันกับน้ำ ซึ่งโปรตีนชนิดนี้จะไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในกรด ด่างและเกลือ
  - ฮีวิน (hevein) เป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10,000 hevein จะอยู่ที่ผิวอนุภาคยางและสามารถละลายน้ำได้ ส่วนประกอบของโมเลกุลมีกำมะถันประมาณ 5 % ดังนั้นขณะที่น้ำยางสูญเสียสภาพจะเกิดการบูดเน่า โดยโปรตีนนี้จะสลายตัวให้สารประกอบประเภทไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารเมอร์แคปแทน (mercaptan) ซึ่งทำให้มีกลิ่นเหม็น
- ไขมัน (lipid) ไขมันซึ่งอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่ในผิวของอนุภาคยาง

2) ส่วนของลูทอยด์และองค์ประกอบอื่นๆ

- ลูทอยด์ เป็นอนุภาคค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-3 ไมโครเมตร ห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ภายในมีทั้งสารละลายและสารแขวนลอย
- องค์ประกอบอื่นๆ มีสารพวกที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนอิสระ เช่น โคลีน (choline) แมธิลลามีน (methylamine) กรดอินทรีย์ (organic acid) กรดอนินทรีย์ (inorganic acid) อนุมูลของสารอินทรีย์โดยเฉพาะพวกฟอสเฟตและคาร์บอเนต และอนุมูลของโลหะ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเหล็ก แมกนีเซียม โซเดียม ทองแดง เป็นต้น (วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2536)

1.2.1.2 การผลิตน้ำยางข้น

น้ำยางข้น คือ น้ำยางที่มีเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content: DRC) ไม่ต่ำกว่า 60% การผลิตน้ำยางข้นสามารถทำได้ 4 วิธี คือ (1) วิธีระเหยด้วยน้ำ (Evaporation) (2) วิธีทำให้เกิดครีม (Creaming) (3) วิธีปั่นแยก (Centrifuging) และ (4) วิธีแยกด้วยไฟฟ้า (Electrodecantation) ซึ่งวิธีการผลิตน้ำยางข้นที่ใช้ในประเทศไทย คือวิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง (ภาพประกอบที่ 1.1) ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำยางข้นจะมีขั้นตอนโดยละเอียดดังต่อไปนี้

1. การรับน้ำยางสด น้ำยางสดจะถูกรักษาสภาพไม่ให้จับตัวด้วยแอมโมเนียและ Tetra-Methyl Thiuram Disulphide (TMTD)/ZnO และถูกถ่ายผ่านตะแกรงกรองลงสู่รางรับน้ำยางสด เก็บไว้ในบ่อรับน้ำยางสด ในการการรับน้ำยางสดต้องมีการล้างทำความสะอาดบ่อรับน้ำยางสดทุกวัน เนื่องจากมีการเติมสารเคมีช่วยในการตกตะกอนแมกนีเซียม และมีการจับตัวของยางที่ผนังบ่อ ซึ่งอาจทำให้น้ำยางสดมีการปนเปื้อนได้

2. การเตรียมน้ำยางสด มีการเติมแอมโมเนียเพื่อปรับสภาพของน้ำยางสดให้มีความเหมาะสมต่อกระบวนการปั่นแยก เพื่อให้น้ำยางมีปริมาณแอมโมเนียเกินกว่า 0.4% โดยน้ำหนักและเติม Diammonium Hydrogen Phosphate (DAP) เพื่อให้แมกนีเซียมตกตะกอนเป็น ขี้แป้ง ในกรณีที่น้ำยางที่มีแมกนีเซียมสูงให้เติม Diammonium Hydrogen Phosphate (DAP) ทิ้งไว้ 1 คืน โดยน้ำยางที่จะนำมาปั่นแยก ควรมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm และเมื่อปั่นแล้วไม่ควรมีปริมาณแมกนีเซียมเกิน 20 ppm นอกจากนี้ไม่ควรมีปริมาณกรด (Volatile Fatty Acid : VFA) เกิน 0.05% หากเกิน ให้นำไปผสมกับน้ำยางสดที่มีปริมาณกรด (Volatile Fatty Acid : VFA) ไม่เกิน 0.05%

3. การปั่นแยก มีหลักการคือ น้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยส่วนอนุภาคของยางแขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในเซรุ่ม อนุภาคยางเหล่านี้เบากว่าเซรุ่มจึงลอยตัวสู่ผิวหน้าน้ำยางและมีการเคลื่อนไหวแบบบราวเนี่ยน อัตราการเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ดังนั้นการปั่นจะช่วยเพิ่มแรงดึงดูด และเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง ทำให้

เนื้อยางแยกออกจากส่วนที่เป็นเซรุ่ม ในการปั่นแยกน้ำยางสดจะได้น้ำยาง 2 ส่วน คือ หางน้ำยาง และน้ำยางข้น โดยน้ำยางข้นจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 60% ในการปั่นแยกยางจะมีการล้างเครื่องปั่นยางทุกๆ 2 หรือ 3 ชั่วโมง เนื่องจากอาจมีการอุดตันของยาง และกากขี้แป้งบริเวณหัวปั่นของเครื่องปั่นยาง ในการล้างแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที

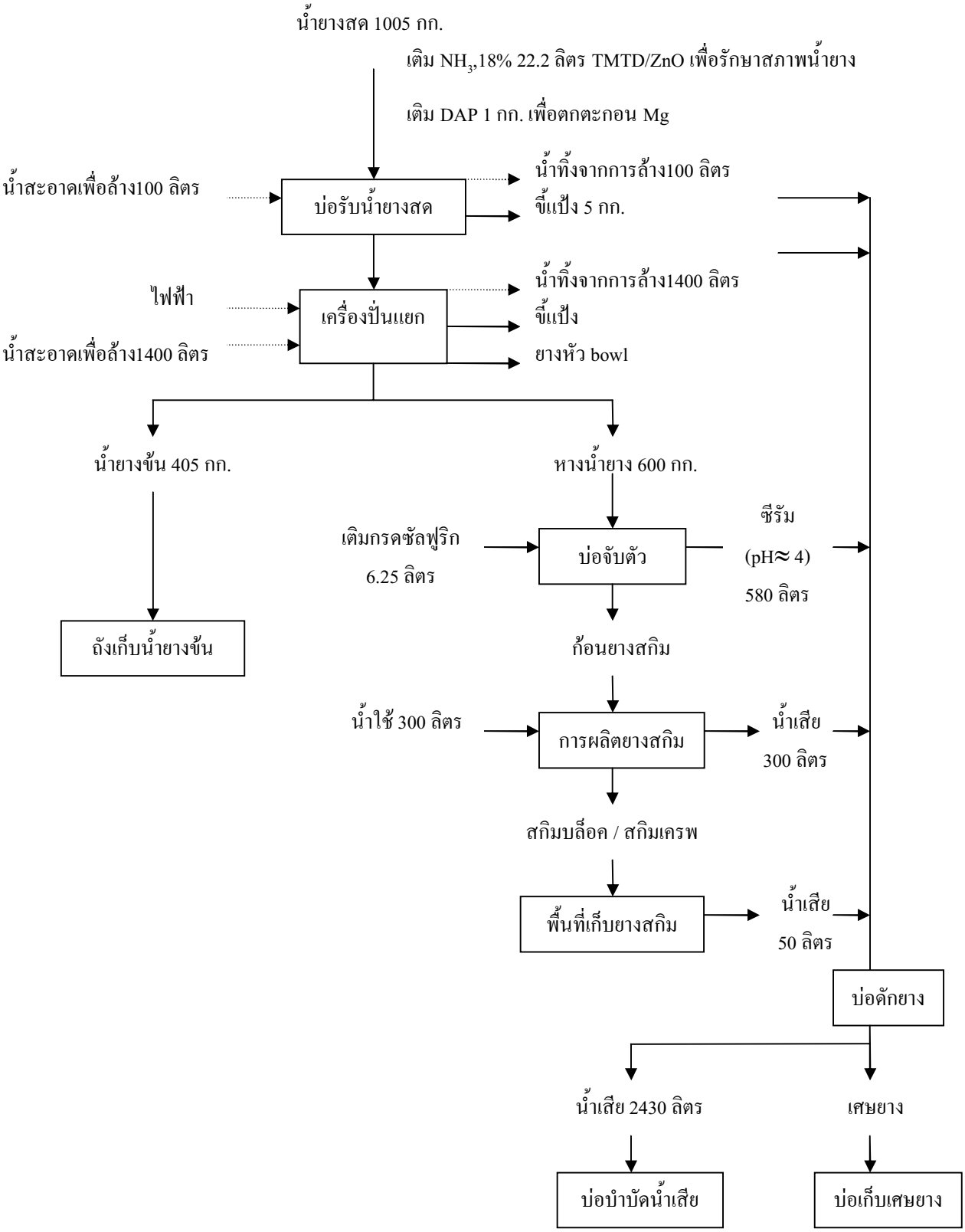
4. การไล่แอมโมเนียในหางน้ำยาง หางน้ำยางที่ได้จากกระบวนการปั่นยางจะมีแอมโมเนียผสมอยู่ จึงต้องนำไปไล่แอมโมเนียออก เพื่อลดปริมาณการใช้กรดซัลฟูริกในการตกตะกอนของกระบวนการผลิตยางสกิม ถ้าหากหางน้ำยางมีปริมาณแอมโมเนียสูง จะต้องใช้กรดในการตกตะกอนเป็นปริมาณมาก การไล่แอมโมเนียในหางน้ำยาง ทำได้โดยการการใช้ถาดไล่แอมโมเนีย หรือเครื่องกวน

5. การผลิตยางสกิม ทำได้โดยการเติมกรดซัลฟูริกลงในหางน้ำยางที่ผ่านการไล่แอมโมเนียแล้ว ทำให้เนื้อยางจับตัวกันก้อน เรียกว่า ยางสกิม ซึ่งสามารถนำไปขายได้ นอกจากนี้ก้อนยางสกิมเหล่านี้ยังสามารถนำไปผลิตเป็นยางสกิมเครพ หรือสกิมบล็อคต่อไป ดังนี้

- การผลิตยางสกิมเครพ โดยนำก้อนยางสกิมผ่านเครื่องตัดให้เป็นก้อน และล้างน้ำ เพื่อล้างกรดออก จากนั้นรีดยางให้เป็นแผ่นและนำไปอบในเตาอบแล้วบรรจุหีบห่อ
- การผลิตยางสกิมบล็อค โดยนำก้อนยางสกิมผ่านเครื่องตัดให้เป็นก้อน และล้างน้ำเพื่อล้างกรดออก จากนั้นรีดยางให้เป็นแผ่นและนำยางไปตัดด้วยเครื่องตัดย่อยแล้วนำไปอบในเตาอบ นำมาอัดแท่งและบรรจุหีบห่อ

6. การดักยาง (แยกยางขายจากบ่อ) เป็นการดักจับเนื้อยางที่ปะปนมากับน้ำเสียจากขบวนการต่างๆ เช่น การตกค้างในบ่อรับน้ำยางสด เครื่องปั่นยาง และบ่อเก็บน้ำยางข้น ด้วยการเติมโพลิเมอร์ต่างๆ ยางที่ได้จะสามารถนำไปขายในราคาที่ต่ำ เนื่องจากมีคุณภาพไม่ดี

7. การเตรียมสารละลายแอมโมเนีย หากโรงงานใช้แอมโมเนียในรูปสารละลายแอมโมเนียหรือน้ำแอมโมเนีย โรงงานจะต้องเตรียมสารละลายแอมโมเนีย ให้อยู่ในรูปสารละลายเข้มข้นประมาณ 10% ซึ่งในการเตรียมสารละลายแอมโมเนียผสมกับน้ำจะเกิดความร้อน และส่งผลให้แอมโมเนียระเหยออกจากสารละลายได้ง่ายขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)



ภาพประกอบที่ 1.1 กระบวนการผลิตน้ำยางข้น วัตถุและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิต
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2548

1.2.1.3 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

1. ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอตเฟต (DAP) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสดให้เป็นขี้แป้ง ซึ่งจะต้องทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 1 คืน โดยปริมาณการใช้ DAP นั้นขึ้นกับปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสด คือ ถ้าในน้ำยางสดมีปริมาณแมกนีเซียมมากจะต้องใช้ DAP มากและปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดจะมีมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับดินที่ปลูกยางพารา คือ ถ้าดินมีปริมาณแมกนีเซียมสูง จะทำให้น้ำยางมีปริมาณแมกนีเซียมสูงด้วย โดยน้ำยางสดที่นำมาปั่นควรมีปริมาณแมกนีเซียมน้อยกว่า 50 ppm ในของแข็งทั้งหมด และปริมาณการใช้แมกนีเซียมต่อปริมาณ DAP คือ Mg : DAP = 1:5.5

2. แอมโมเนีย เป็นสารเคมีที่ใช้ในการรักษาสภาพน้ำยางโดยการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย การเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพน้ำยางแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

(1) การรักษาสภาพน้ำยางสดที่กรีดได้ก่อนส่งโรงงานซึ่งจะใช้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้นประมาณ 15-20% โดยน้ำหนัก

(2) การรักษาคุณภาพน้ำยางข้นซึ่งจะเติมหลังจากการปั่นแยก โดยในการเติมปริมาณแอมโมเนียแบ่งตามประเภทการผลิตน้ำยางข้น คือ น้ำยางข้นชนิด Low Ammonia (LA): เติมแอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่นในปริมาณแอมโมเนียที่น้อยกว่า 0.29 % ของน้ำยาง และน้ำยางข้นชนิด High Ammonia (HA): เติมปริมาณแอมโมเนีย 0.3-0.7 % ของน้ำยาง

3. กรดซัลฟูริก เป็นสารเคมีที่ใช้ในการจับตัวของหางน้ำยาง แต่การใช้กรดซัลฟูริกที่มากเกินไปจะทำให้ยางเปื่อยและเสื่อมง่าย ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ยางสกิมไม่ได้คุณภาพ นอกจากนี้ปริมาณกรดซัลฟูริกมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางที่เข้าบ่อจับตัว คือ ถ้ามีปริมาณแอมโมเนียในหางน้ำยางมากจะต้องเติมปริมาณกรดซัลฟูริกมากด้วย ส่วนระยะเวลาที่เหมาะสมในการจับตัวของยางสกิม คือ 24 ชั่วโมง ถ้าจำเป็นต้องจับตัวด้วยเวลาที่น้อยกว่านี้จะต้องใช้ปริมาณกรดซัลฟูริกมากขึ้น

1.2.1.4 ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น คือ ของเสียในรูปต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต (ตารางที่ 1.2) ได้แก่ กากขี้แป้งของยางหลังจากบ่มน้ำยางก่อนปั่นแยก เศษยางที่รวบรวมไว้จำหน่ายซึ่งมักบูดเน่าส่งกลิ่นเหม็น กลิ่นสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางซึ่งโรงงานน้ำยางข้นส่วนใหญ่มักมีปัญหาเรื่องกลิ่นของแอมโมเนียในโรงงาน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ก๊าซไข่เน่า: H_2S) จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศแบบปิด ในขณะที่ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากน้ำทิ้งต่างๆในขั้นตอนการผลิต (ภาพประกอบที่1.1) รวมถึงน้ำทิ้งของ

หางน้ำยางที่มีความเข้มข้นกรดซัลฟูริกสูงถูกรวบรวมเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย จึงทำให้ปัญหาน้ำเสียเป็นประเด็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นเป็นอันดับต้นๆของอุตสาหกรรมน้ำยางข้นที่ทำให้เกิดมลพิษน้ำในแหล่งน้ำใกล้เคียงที่รับน้ำทิ้งจากโรงงาน (สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, 2545) โดยลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น แสดงดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.2 ชนิดและปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

ชนิดของเสีย	ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น
1. น้ำเสีย	40-320 ลบ.ม./วัน หรือ 2.30-9.14 ลบ.ม./ตันน้ำยางข้น
2. กากของเสียที่เป็นของแข็ง	
- ในรูปเนื้อยางที่ตกค้างในทางระบายน้ำเสียและภาชนะบรรจุต่างๆ	10-100 ตัน/เดือน
- ในรูป “ขี้แป้ง”	0.7-500 ตัน/เดือน หรือ 0.6-50 กก.กากขี้แป้ง/ตันน้ำยางข้น

ที่มา: นฤมล, 2552

1.2.1.5 น้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

กระบวนการผลิตน้ำยางข้นในแต่ละขั้นตอนจะมีน้ำเสียออกมา โดยสามารถจำแนกน้ำเสียตามแหล่งที่มาได้ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

1) บ่อรับน้ำยางสด
   - น้ำล้างทำความสะอาดรถบรรทุกน้ำยางสดของชาวสวน
   - น้ำล้างทำความสะอาดบ่อรับน้ำยาง
   - น้ำเสียจากการล้างทำความสะอาดน้ำยางสดที่หก ขณะถ่ายน้ำยางสดลงบ่อรับน้ำยางสด

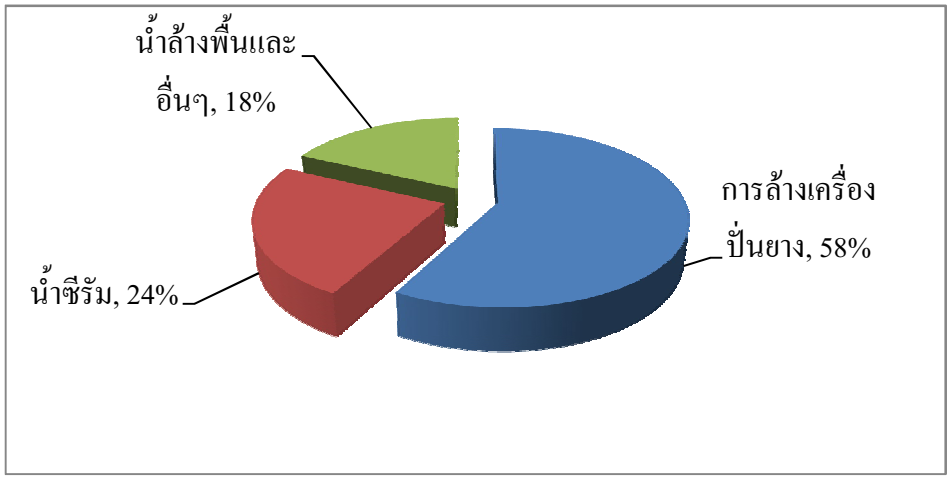
2) การปั่นยาง
   - น้ำล้างหัวปั่นน้ำยาง
   - น้ำเสียจากการล้างน้ำยางที่ล้นจากเครื่องปั่นน้ำยางระหว่างกระบวนการปั่นยาง

3) กระบวนการสกิม
   - น้ำซีรัม ซึ่งมีปริมาณเนื้อยาง DRC 4-6 % ส่วนประกอบที่เหลือเป็นน้ำหลังจากตกตะกอนยางสกิมแล้ว

- น้ำจากเครื่องรีดยาง เป็นน้ำที่ฉีดพ่นในการรีดยางเพื่อล้างกรดซัลฟูริกที่ติดอยู่ที่ยางสกิม เพื่อให้ยางสกิมที่ได้มีคุณภาพดี
- น้ำล้างจากการทำฝอย เป็นน้ำที่ฉีดสู่ถาดรับยางฝอยเพื่อรักษาสภาพยางฝอยให้เหมาะก่อนเข้าถาดอบแห้ง

4) ถังน้ำยางข้น

- น้ำจากการล้างทำความสะอาดถัง เพื่อลดการปนเปื้อนของน้ำยางข้น



ภาพประกอบ 1.2 สัดส่วนปริมาณน้ำเสียในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2548

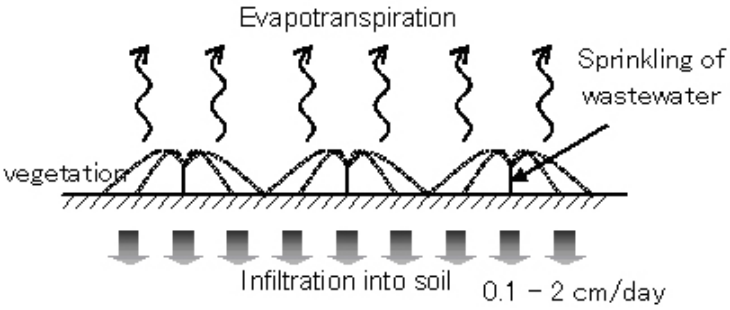
ตารางที่ 1.3 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานน้ำยางข้น

พารามิเตอร์	ลักษณะน้ำเสีย
พีเอช	5.72
อุณหภูมิ (°C)	30.0
บีโอดี (มก./ลิตร)	4,430
ซีโอดี (มก./ลิตร)	7,996
ของแข็งแขวนลอย (มก./ลิตร)	1,128
ซัลไฟด์ทั้งหมด (มก./ลิตร)	น้อยกว่า 1
ซัลไฟด์ที่ละลายน้ำ (มก./ลิตร)	น้อยกว่า 1
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มก./ลิตร)	น้อยกว่า 1
ซัลเฟต (มก./ลิตร)	1,102

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2548

1.2.2 วิธีบำบัดโดยดิน (Land treatment systems)

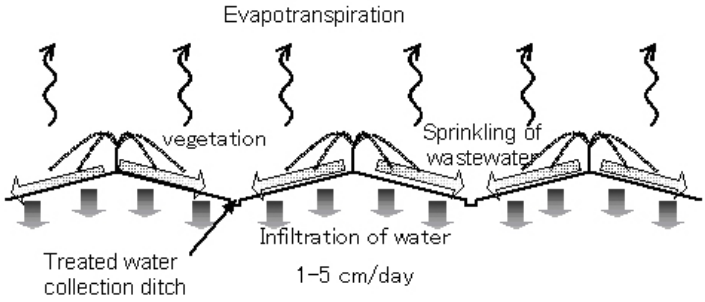
1.2.2.1 ระบบอัตราไหลช้า (Slow-rate Irrigation) การปล่อยน้ำเสียลงสู่ดินที่มีการปลูกพืชอย่างช้าๆ เพื่อให้เกิดการบำบัดและให้พืชเจริญเติบโต กระบวนการบำบัด ที่เกิดขึ้น ได้แก่ กระบวนการกรอง การแลกเปลี่ยนประจุ กระบวนการออกซิเดชั่น/รีดักชั่น และการดูดติดผิว ในขณะเดียวกันพืชจะดึงสารอาหารในน้ำเสียไปใช้ นอกจากนี้ยังมีกระบวนการคายน้ำร่วมด้วย กลไกการกำจัดน้ำเสียนี้มีทั้งวิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพที่จะช่วยให้เกิดกระบวนการบำบัดน้ำเสีย สำหรับความลาดชันของพื้นที่ที่เหมาะสมกับระบบอัตราไหลช้า (Slow-rate Irrigation) คือควรต่ำกว่า 15% วิธีการให้น้ำจะให้แบบทำเป็นร่องหรือแบบพ่นเป็นฝอย น้ำที่ไหลออกมา (Run off) จะต้องมีการออกแบบบำบัดให้มีที่รองรับ



ภาพประกอบที่ 1.3 ระบบอัตราไหลช้า (Slow-rate Irrigation)
ที่มา: Reed, et al., 1995

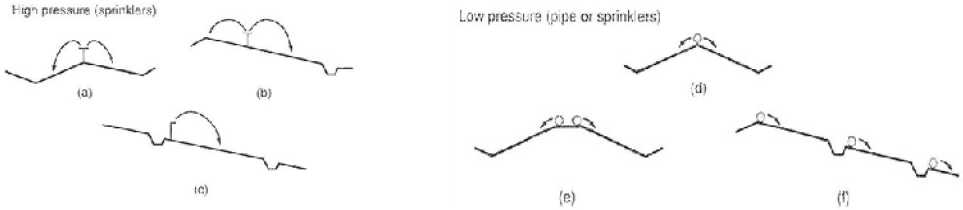
1.2.2.2 ระบบไหลซึมเร็ว (Rapid Infiltration) น้ำเสียจะถูกปล่อยตรงลงบนพื้นดินอย่างรวดเร็ว โดยการกระจายลงในแอ่งน้ำ (Basin) หรือวิธีการโปรย ดินที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นดินทราย เมื่อน้ำเสียผ่านชั้นดินจะถูกบำบัด ภายใต้บ่อกระจายน้ำจะมีระบบท่อรองรับน้ำเพื่อนำน้ำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น การเติมน้ำใต้ดิน การเติมน้ำผิวดิน การเก็บกักน้ำที่ผ่านการบำบัดไว้ใต้พื้นที่เพาะปลูกเพื่อนำกลับมาใช้ในระยะเพาะปลูกต่อไป ซึ่งระบบนี้ไม่จำเป็นต้องปลูกพืชช่วย ยกเว้นบางกรณี

1.2.2.3 ระบบน้ำไหลนอง (Overland Flow) เป็นปล่อยน้ำเสียลงบนพื้นที่ที่มีการปลูกพืชที่มีลักษณะลาดเอียงให้น้ำเสียไหลผ่านพื้นที่ที่มีการปลูกพืชลงสู่ร่องรองรับน้ำด้านล่าง ซึ่งมีหลักการคล้ายระบบอัตราไหลช้า ใช้สำหรับในพื้นที่ที่ดินซึมน้ำได้ต่ำ การซึมลงดินมีเพียงส่วนน้อย กลไกการบำบัดส่วนใหญ่จะเกิดระหว่างที่น้ำไหลผ่านพื้นที่ที่มีการปลูกพืช สำหรับการให้น้ำสามารถใช้หัวกระจายน้ำได้หลายแบบ (ภาพประกอบที่ 1.5)



ภาพประกอบที่ 1.4 ระบบน้ำไหลนอง (Overland Flow)

ที่มา: Reed, et al., 1995



ภาพประกอบที่ 1.5 ทางเลือกในการกระจายน้ำของระบบน้ำไหลนอง

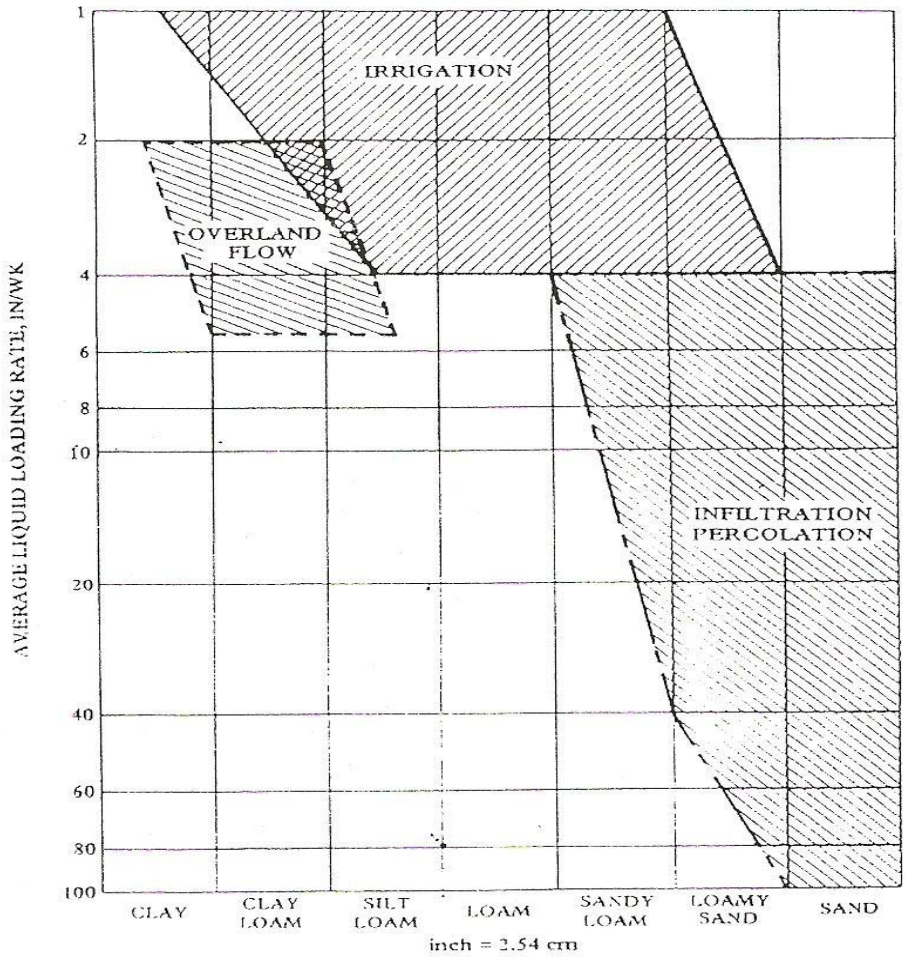
ที่มา: US.EPA, 2006

ตารางที่ 1.4 วัตถุประสงค์ของแต่ละวิธีของการบำบัดโดยดิน

การบำบัดโดยดิน	วัตถุประสงค์
ระบบอัตราไหลช้า (Slow-rate Irrigation)	1. บำบัดน้ำเสีย 2. นำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในทางเกษตรกรรมแทนการทิ้ง และเป็นการอนุรักษ์น้ำ 3. การใช้ประโยชน์จากสารอาหารในน้ำเสียให้กับพืช
ระบบไหลซึมเร็ว (Rapid Infiltration)	1. การบำบัดน้ำเสียเป็นวัตถุประสงค์หลัก 2. การเติมน้ำใต้ดิน (Ground recharge) 3. การฟื้นฟูน้ำที่บำบัดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ 4. การปล่อยทิ้งหรือการเติมน้ำผิวดิน 5. การเก็บกักน้ำบำบัดไว้ใต้พื้นที่เพาะปลูก เพื่อนำกลับมาใช้ในระยะเพาะปลูกต่อไป
ระบบน้ำไหลนอง (Overland Flow)	1. ประยุกต์ให้เกิดการบำบัดขั้นที่สองหรือขั้นที่สาม 2. เพื่อผลิตหญ้าซึ่งเป็นอาหารสัตว์ 3. เพื่อการอนุรักษ์พื้นที่สีเขียว

ที่มา: เภสัชรัตน์, 2550

ทางเลือกในการใช้กระบวนการต่างๆ เหล่านี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การบำบัด และชนิดของดิน (Pescod, 1992) โดยความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินและภาระบรรทุกของน้ำที่เหมาะสำหรับการบำบัดโดยดินแบบต่างๆ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1.6

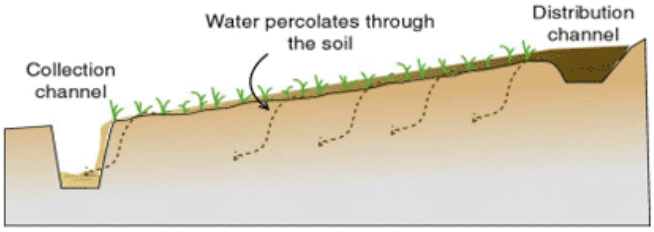


ภาพประกอบที่ 1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของดินและภาระบรรทุกของน้ำที่เหมาะสำหรับการบำบัดโดยดินแบบต่างๆ

ที่มา: Polprasert, 1989

สำหรับงานวิจัยนี้ศึกษาในแปลงทดลองที่มีการศึกษาการบำบัดโดยดินวิธีแบบระบบอัตราไหลช้า (Slow-rate Irrigation) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น (น้ำเสียผ่านบ่อเติมอากาศ 2 บ่อ) มาแล้ว สามารถนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในทางเกษตรกรรม เนื่องจากพืชสามารถใช้ประโยชน์จากสารอาหารในน้ำเสียได้ โดยวิธีการปล่อยน้ำเสียลงสู่ดินที่มีการปลูกพืชอย่างช้าๆ เพื่อให้เกิดการบำบัดและให้พืชเจริญเติบโต เมื่อน้ำเสียผ่านชั้นดินจะเกิด

กระบวนบำบัดซึ่งได้แก่ การกรอง การแลกเปลี่ยนประจุ กระบวนการออกซิเดชั่น/รีดักชั่น และการดูดติดผิว และการนำสารอาหารในน้ำเสียไปใช้โดยพืช กลไกการกำจัดน้ำเสียนี้มีทั้ง วิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ อัตราการให้น้ำและพืชที่ปลูกจะขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ วิธีการให้น้ำจะให้แบบทำเป็นร่อง (ภาพประกอบที่ 1.7) หรือแบบพ่นเป็นฝอยก็ได้



ภาพประกอบที่ 1.7 ระบบอัตราไหลช้า
ที่มา: UNEP, 2009

ตารางที่ 1.5 ลักษณะสำคัญและเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการเลือกพื้นที่เพาะปลูกสำหรับการบำบัดโดยดินแบบอัตราการไหลช้า

คุณลักษณะ	ระดับการยอมรับได้		
	ยอมรับได้	พอจะยอมรับได้	ยอมรับไม่ได้
Soil			
pH (1:5)	5.5-8.4	5.2-5.5	<5.2;>8.4
ESP (%)	<5	5.0-10.0	>10[a]
EC (S/cm)	<0.4	0.4-0.8	>0.8
Depth of groundwater (m)	>1.52	0.61-1.52[b]	<0.61
Slope grade (%)	0.0-2.0	2.0-15.0	>15[c]
Land use	เกษตรกรรม	มีการใช้ประโยชน์น้อย	ในเขตเมือง/อุตสาหกรรม[d]
Hydrology	น้ำไม่ท่วม	มีน้ำท่วมน้อย	มีน้ำท่วมมาก

[a] > 20 สำหรับดินที่เสื่อม, [b] อาจต้องการการระบายน้ำใต้ผิวดิน, [c] > 30% สำหรับพื้นที่ที่เป็นป่าไม้,
[d] การรดน้ำในบริเวณภูมิทัศน์ และ สนามกอล์ฟอาจจะต้องมีการบำบัดน้ำในขั้นสูงกว่าการบำบัดขั้นปฐมภูมิ

ที่มา: Tchobanoglous and Burton, 1991

1.2.2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดโดยดิน

นอกจากระบบบำบัดโดยดิน 3 แบบ ข้างต้นแล้ว Lim Kim Huan (1986) ยังได้ศึกษาระบบบำบัดโดยดินที่มีการปรับเปลี่ยนวิธีการที่แตกต่างกันได้ 4 แบบ คือ

1. ระบบ Sprinkler น้ำทิ้งจากโรงงานน้ำมันปาล์ม (Palm Oil Mill Effluent: POME) ที่ผ่านการย่อยสลายแล้วจะถูกส่งไปตาม channel ที่มีตะแกรงละเอียดเพื่อกรองอนุภาคสารแขวนลอยที่อาจทำให้หัว sprinkler อุดตัน น้ำเสียที่ผ่านตะแกรงละเอียดแล้วจะถูกส่งไปยังบ่อคอนกรีต ซึ่งมีปั๊มคอยส่งไปยังพื้นที่ที่จะใช้บำบัด โดยผ่านทางท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10-15 เซนติเมตร ท่อเหล่านี้มีการต่อแบบแขนงออกเป็นหลายท่อ แต่ละท่อจะต่อกับหัว sprinkler ที่มี หัว nozzle ขนาดกว้าง เพื่อลดปัญหาการอุดตัน

ระบบ Sprinkler ที่ใช้ในระบบบำบัดโดยดินมี 2 แบบ คือ

- แบบที่ท่อส่งน้ำติดตั้งถาวรอยู่ในพื้นที่บำบัด แต่หัว sprinkler สามารถถอดย้ายได้

- แบบที่มีท่อ Main ติดตั้งถาวร แล้วมีท่อแขนง 2 ชุด ที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ โดย 2 ชุดนี้จะสลับกันใช้งาน ระบบที่เคลื่อนย้ายได้นี้จะประกอบด้วย ท่ออลูมิเนียมขนาด 10 เซนติเมตร และ 5 เซนติเมตร โดยท่อ 5 เซนติเมตรจะเชื่อมต่อออกจากด้านข้างของท่อ 10 เซนติเมตร

2. ระบบ Flatbed ระบบนี้นิยมใช้กับสวนปาล์มที่ปลูกแบบ 3 เหลี่ยม และมีระยะห่างระหว่างต้น 8.8 เมตร ระยะห่างระหว่างแถวเท่ากับ 7.7 เมตร ระบบนี้จะประกอบด้วย Flatbed (แอ่งรับน้ำ) ที่เรียงกันเป็นแบบขั้นบันได ตามความชันของพื้นที่ โดยแอ่งรับน้ำแต่ละแอ่งจะกว้างประมาณ 1 ใน 3 ของระยะห่างระหว่างแถวปาล์ม ส่วนความยาวขึ้นอยู่กับความชันของพื้นที่ แต่ละแถวของแอ่งรับน้ำนั้นจะมีทางน้ำไหลเชื่อมต่อกัน เพื่อให้น้ำทิ้งไหลจากแอ่งหนึ่งไปยังอีกแอ่งหนึ่งโดยอาศัยความชันของพื้นที่ โดยแอ่งรับน้ำนี้อาจใช้คนขุดหรือรถแบคโฮขุดก็ได้

ระบบจะเริ่มจากการปล่อยน้ำทิ้งไปตามท่อที่อยู่ด้านบนสุดซึ่งวางตัวในแนวขนานกับความลาดชันของพื้นที่โดยน้ำทิ้งที่ไหลผ่านท่อจะถูกปล่อยไปยังแอ่งรับน้ำแต่ละแถว ซึ่งน้ำเสียจะไหลลงมาตามความลาดชันจากแอ่งด้านบนลงไปยังแอ่งด้านล่าง เมื่อแอ่งด้านล่างสุดรับน้ำทิ้งเต็มแล้ว ช่องน้ำทิ้งระหว่างแอ่งจะถูกปิดเพื่อให้น้ำทิ้งขังอยู่ในแอ่งชั้นที่อยู่สูงถัดขึ้นไป และเมื่อแอ่งน้ำเต็มแล้วช่องทางน้ำไหลที่เชื่อมระหว่างแอ่งรับน้ำก็จะถูกปิด เป็นอย่างนี้เรื่อยๆ จนแต่ละแอ่งมีน้ำเต็ม

ระบบนี้มีข้อดีว่าระบบ Sprinkler เนื่องจากไม่มีปัญหาการอุกตันของหัว sprinkler โดยระบบนี้ใช้กับน้ำทิ้งที่มีปริมาณตะกอนของแข็งอยู่มาก โดยไม่ต้องผ่านการกรอง

3. ระบบ Furrow ระบบนี้จะประกอบด้วยร่องน้ำแบบซิกแซก และร่องน้ำแบบเส้นตรง ซึ่งเหมาะสำหรับพื้นที่ที่สูงชัน ระบบนี้จะช่วยลดความเร็วของการไหลของน้ำทิ้ง และช่วย

ลดการเกิดการเซาะของผิวดิน และป้องกันปัญหาน้ำขังในพื้นที่ที่อยู่ต่ำสุด โดยน้ำทิ้งจะถูกปล่อยมาจากร่องน้ำที่อยู่สูงสุดของพื้นที่ แล้วปล่อยให้ไหลลงมาตามร่องน้ำซิกแซก เพื่อลดความเร็วของกระแสน้ำ โดยแต่ละช่องจะมีความลึกประมาณ 20-30 เซนติเมตร และกว่างประมาณ 30 เซนติเมตร

ข้อเสียของระบบนี้คือ ควบคุมอัตราน้ำเข้าระบบได้ยาก ทำให้มีน้ำล้นออกเสมอ วิธีนี้จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยม

4. ระบบ Tractor-tanker-centrifugal pump ระบบนี้เป็นการนำ สลัดจ์ดิบ หรือสลัดจ์ที่ผ่านการบำบัดแล้วจากถังย่อยสลายที่ไม่มีการกวนส่งไปยังสวนปาล์มน้ำมัน โดยใช้รถบรรทุกบรรทุกสลัดจ์ที่อยู่ในรูปของ slurry (กึ่งแข็งกึ่งเหลว) ไปยังสวนปาล์ม จากนั้นจะถูกส่งโดยใช้ปั้มมากองไว้ระหว่างต้นปาล์ม 4 ต้น แล้วเอาทางปาล์มมาคลุมปิดไว้ ให้เกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติ

นอกจากการออกแบบระบบบำบัดที่สามารถปรับเปลี่ยนให้ต่างกันได้แล้วยังสามารถใช้พืชที่ต่างกันในการบำบัดได้ด้วยเพื่อให้เหมาะกับสภาพพื้นที่ของแต่ละที่ โดย Geber (2000) ได้ทำการศึกษาเรื่องการกำจัดสารอาหารด้วยการบำบัดโดยดิน แบบอัตราการไหลช้า (Slow-rate Irrigation) โดยใช้หญ้า 3 ชนิด คือ Reed canary grass, Meadow foxtail และ Smooth bromegrass น้ำที่ใช้รด เป็นน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วผสมกับน้ำที่มีส่วนผสมของไนโตรเจน จากการทดลองพบว่าความสามารถในการกำจัดสารอาหารด้วยหญ้า 3 ชนิดนี้ไม่แตกต่างกัน และมีความเป็นไปได้ที่ระบบ land treatment แบบซึมช้าสามารถกำจัด ไนโตรเจนและ ฟอสฟอรัสจากน้ำเสียชุมชนได้ (นริศรา และวิไล, 2531)

Tzanakakis et al. (2003) ได้ดำเนินการทดลองปลูกพืชอายุ 1 ปี จำนวน 4 ชนิด คือ eucalyptus (Eucalyptous camanulensis), acacia (Acacia donax), poplar (Populus nigra) และ reed (Arundo donax) โดยให้น้ำแบบอัตราไหลช้าและใช้น้ำเสียครัวเรือนที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นจากถังตกตะกอน (septic tank) ก่อนแล้วจึงสูบน้ำไปใส่ไว้ในถังตกตะกอนอีกครั้ง ก่อนนำไปรดต้นไม้ เก็บตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึก 15 30 และ 60 cm จากการทดลองพบว่าสามารถกำจัดซีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัสทั้งหมด แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด และแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มได้ 95.0%, 94.0%, 85.0%, 99.9% และ 99.9% ตามลำดับ จากทุกระดับความลึก แต่ค่าไนเทรตที่ตรวจจากตัวอย่างน้ำที่ระดับความลึก 60 cm มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยไม่พบความแตกต่างในประสิทธิภาพการบำบัดโดยดินแบบอัตราไหลช้าระหว่างพืชแต่ละชนิด

วิกาญดา และ อุดมผล (2547) ได้ศึกษาการบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นด้วยวิธีการบำบัดโดนดิน โดยสร้างเป็นแปลงทดลองซึ่งประกอบด้วย แปลงหญ้ามาเลเซีย แปลงผักบุ้งจีน และมีแปลงควบคุมเป็นแปลงที่ไม่มีการปลูกพืช น้ำที่ใช้รดเป็นน้ำเสีย

จากโรงงานผลิตน้ำยางข้นในจังหวัดสงขลา ที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบ่อปรับเสถียร จากการทดลองพบว่าระบบนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนสูง และแปลงหญ้ามาเลเซีย มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนสูงกว่าแปลงทดลองอื่น สำหรับแปลงผักบุ้งจีน และแปลงควบคุมให้ผลไม่ต่างกันมากนัก และยังได้ศึกษาสมดุลของไนโตรเจนในระบบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการนำไนโตรเจนไปใช้ของพืชเป็นกลไกหลักในการกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียด้วยระบบบำบัดโดยดิน

เภสัชรัตน์ (2550) ได้ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนในน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งด้วยการบำบัดโดยดิน โดยสร้างเป็นแปลงทดลองซึ่งประกอบด้วย แปลงหญ้ามาเลเซีย แปลงผักบุ้งจีน และมีแปลงควบคุมเป็นแปลงที่ไม่มีการปลูกพืช น้ำที่ใช้รดเป็นน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งที่ผ่านถังตกตะกอนของโรงงานมาแล้ว อัตราการให้น้ำ คือ 7.7 และ 12.6 cm/week จากการทดลองพบว่าที่อัตราการให้น้ำ 12.6 cm/week มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนสูงกว่า จากการศึกษาสมดุลของไนโตรเจนในระบบ พบว่าการบำบัดโดยดินจะให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นหากใช้พืชร่วมด้วย ซึ่งไนโตรเจนส่วนใหญ่จะถูกกำจัดผ่านกระบวนการระเหยสู่บรรยากาศ

นริศรา และวิไล (2531) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำเสียชุมชนมาใช้แทนปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ได้ทำการศึกษาความเป็นไปทั้งสองด้านคือ การนำน้ำเสียชุมชนมาใช้แทนปุ๋ยวิทยาศาสตร์ และความสามารถในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของแปลงผักคะน้า ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งของระบบ land treatment แบบซึมช้า ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตของผักคะน้ากับน้ำรด 4 ชนิด คือ น้ำประปาผสมปุ๋ยยูเรีย น้ำเสียชุมชน น้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดแบบตะกอนเร่งจากโรงบำบัดน้ำทิ้งของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และน้ำประปาเป็นตัวเปรียบเทียบ โดยมีการลดน้ำผักคะน้าด้วยอัตรา 10 ลิตร/ตารางเมตร-วัน พบว่าผักคะน้าที่ถูกรดด้วยน้ำเสียชุมชน มีการเจริญเติบโตสูงสุด ผักคะน้าที่ถูกรดด้วยน้ำประปาผสมปุ๋ยยูเรียมีการเจริญเติบโตเป็นอันดับสอง ตามด้วยการเจริญเติบโตของผักคะน้าที่ถูกรดด้วยน้ำเสียชุมชนที่โรงงานบำบัดแบบตะกอนเร่ง และผักคะน้าที่ถูกรดด้วยน้ำประปามีการเจริญเติบโตต่ำที่สุด สำหรับผลทางด้านการบำบัดน้ำเสีย พบว่าแปลงผักคะน้าสามารถลดปริมาณไนโตรเจนจากน้ำเสียชุมชนได้ โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 82.62% และประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสโดยเฉลี่ยเท่ากับ 90.97% โดยใช้อัตราน้ำรดเท่ากับ 8 ลิตร/ตารางเมตร-วัน จากผลการศึกษาแสดงว่ามีความเป็นไปได้ในการนำน้ำเสียชุมชนมาใช้แทนปุ๋ยวิทยาศาสตร์และมีความเป็นไปได้ที่ระบบ land treatment แบบซึมช้าสามารถกำจัด ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียชุมชนได้

Kiziloglu et al. (2008) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการชลประทานมารดกะหล่ำดอกและกะหล่ำปลีสีม่วงในดินที่มีเนื้อดินที่มีหินปูนเพื่อเป็นวิธีการลดความเสื่อมโทรมของดินและการเป็นการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่ดินดิน จากการศึกษาพบว่า คุณสมบัติของดินมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญของการเพิ่มขึ้นของความเค็ม สารอินทรีย์ Na, K, Ca, Mg ฟอสฟอรัสที่แลกเปลี่ยนได้ และการลดลงของ pH ของดินที่ความลึกของชั้นดิน 0-30 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มของ N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni และเนื้อเยื่อ ในกะหล่ำดอกและกะหล่ำปลีสีม่วง การดูดซึมสารอาหารของกะหล่ำดอกและกะหล่ำปลีสีม่วงทำให้เกิดกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และตรวจพบว่าไม่มีการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและในพืช รวมทั้งไม่พบผลข้างเคียงที่เกิดจากความเค็มที่เพิ่ม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถใช้น้ำเสียในการรดกะหล่ำดอกและกะหล่ำปลีสีม่วงได้ในระยะเวลาสั้นโดยไม่มีผลกระทบต่อดิน ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในกรณีที่พื้นที่ขาดแคลนทรัพยากรน้ำ รวมทั้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการใช้ปุ๋ย อย่างไรก็ตามการใช้น้ำเสียในการเกษตรต้องใช้ในระยะยาว จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

Zahida et al. (20011) ได้ศึกษาผลกระทบจากความเค็ม และความเป็นดินโซดิกของดินการบำบัดน้ำเสียจากการชลประทานในตะวันออกเฉียงใต้ของออสเตรเลีย น้ำเสียนี้มาจากการทำฟาร์มซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจมากที่จะนำมาใช้ในพื้นที่แห้งแล้ง และกึ่งแห้งแล้ง ซึ่งขาดแคลนน้ำ และเพื่อเป็นการเพิ่มการผลิตอาหารให้ท้องถิ่น

Jalali et al. (2008) ได้ศึกษาการกลายเป็นดินโซดิก และการถูกชะล้างธาตุอาหารในดินที่มีหินปูนจากการใช้น้ำเสียในการรด โดยสร้างเป็นคอลัมน์ 2 คอลัมน์ ศึกษาการแลกเปลี่ยนของโซเดียม (Na^+) และประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ ($Ca^{2+,}$ Mg^{2+}, K^+) ประจุบวกเหล่านี้ถูกปล่อยเข้าไปในการแก้ปัญหา ที่การรดด้วยน้ำเสีย 5 ลิตร มีเปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ระหว่าง 9-21 และที่การรดด้วยเสีย 3.5 ลิตร มีเปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ระหว่าง 28.8-29.7 ซึ่งการรดด้วยน้ำเสียด้วยอัตราที่สูง จะทำให้เกิดการชะล้างธาตุอาหารที่สูง เกิดการสูญเสีย Mg^{2+} และ K^+ ไปจากดิน หากเกิดการสูญเสียประจุบวกไปมากจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้ลดลง การที่ดินมีความอิ่มตัวด้วยเบสต่ำจะมีปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากเบสิกแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจะเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชหลายธาตุ ปริมาณของเบสิกแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

Rosa et al. (2008) ได้ศึกษาผลจากการใช้น้ำเสียมารดดินที่มีการปลูกมะเขือเทศโดยการรดแบบระบบน้ำหยด ในช่วงฤดูการปลูกปี 2004 ในซิลีตะวันออก (อิตาลี) โดยใช้อัตราการหยดที่ต่างกัน การทดลองนี้มีการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมที่สุด มีการศึกษาคุณสมบัติของไฮโดรลิค

และการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในดินก่อนและหลังการรดด้วยน้ำเสีย จากการทดลองพบว่าการนำน้ำเสียมาใช้สำหรับรดมะเขือเทศเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสม

Magesan et al. (2008) ผลของ C/N ในน้ำเสียต่อการนำไฟฟ้าในดิน และกลไกการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ การรดด้วยไฮโดรลิคสูง ทำให้อัตรา C/N เพิ่มขึ้น เนื่องจากชีวมวล และกิจกรรมของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้ประโยชน์จากสารอาหารในดิน และเป็นแหล่งพลังงาน เมื่อเกิดการขับถ่ายและการย่อยสลายทำให้เกิดการอุดตันของช่องว่างในดิน โดยปกติการอุดตันจะมีความสัมพันธ์กับชนิดของแบคทีเรีย ซึ่งทำให้ไฮโดรลิคจะลดลงเมื่อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น

Akber et al. (2008) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำเสียชุมชนมาบำบัดโดยดินธรรมชาติในพื้นที่ฟาร์มในคูเวต จากการศึกษาพบว่าสามารถกำจัดของแอมโมเนียมากกว่า 90%, เหล็กมากกว่า 80%, อินทรีย์คาร์บอนมากกว่า 90%, BOD ได้ 100% และแบคทีเรีย 50-100% ขึ้นอยู่กับแต่ละประเภท, สามารนำไปใช้ในระยะยาว มีปริมาณของแข็งละลายทั้งหมดเพิ่มขึ้น และไนเตรทเพิ่มขึ้นจากกระบวนการ nitrification

Satnam et al. (2009) ได้ศึกษาผลกระทบของการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมผงชูรสต่อการเจริญเติบโตของพืชและคุณลักษณะของดิน จากการศึกษาพบว่า น้ำเสียอุตสาหกรรมผงชูรสมีธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช

Rafael et al. (2010) ได้ศึกษาวัฏจักรคาร์บอน และไนโตรเจนในดินเขตร้อนของบราซิลโดยการบำบัดน้ำเสียในไร่อ้อย ในการศึกษาได้ประเมินผลกระทบของการบำบัดน้ำทิ้งออกระบบเป็นระยะเวลา 16 เดือน ได้วิเคราะห์ความเข้มข้นของไนโตรเจนในอ้อย (ใบ เหง้า และน้ำ) คาร์บอนทั้งหมด ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ไนเตรต และสารละลายอินทรีย์คาร์บอนในดิน จากการศึกษาพบว่าคาร์บอน และไนโตรเจนในการเกษตรเกิดจากการบำบัดน้ำทิ้งออกระบบ ซึ่งพบว่าไนโตรเจนในดินสะสมอยู่ในปริมาณสูง แต่ไนโตรเจนเหล่านี้จะถูกชะล้างให้ลงไปอยู่ในดินชั้นลึกลงไป และยังพบว่าสารละลายอินทรีย์คาร์บอนในดินก็มีปริมาณสูงด้วยซึ่งสารละลายอินทรีย์คาร์บอนในดินนี้จะเป็นตัวช่วยแก้ปัญหาให้แก่ดิน อย่างไรก็ตามการสะสมของไนโตรเจน และสารละลายอินทรีย์คาร์บอนในดินที่มีปริมาณสูงนี้ยังไม่ส่งผลกระทบต่อดินในระยะเวลาอันสั้น นอกจากนี้พบว่าพืชได้รับไนโตรเจนสูงเมื่อเทียบกับความต้องการของพืช เนื่องจากมีปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินไป และยังพบว่ามีการท่วมขังของน้ำที่เกิดจากการบำบัดน้ำทิ้งออกระบบในระยะแรก ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการปลูกในระยะแรก แต่การท่วมขังนี้ไม่ส่งผลกระทบต่ออ้อย

1.2.3 ดิน

ดิน คือ วัตถุตามธรรมชาติที่เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินและแร่ต่างๆ ผสมคลุกเคล้ารวมกับอินทรียวัตถุหรืออินทรีย์สารที่ได้มาจากการสลายตัวของเศษซากพืชและสัตว์จนเป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะร่วนไม่เกาะกันแข็งเป็นหิน เกิดขึ้นปกคลุมพื้นผิวโลกอยู่เป็นชั้นบางๆ และเป็นที่ยึดเหนี่ยวในการเจริญเติบโตของพืช รากของพืชจะเติบโตชอนไชแพร่กระจายลงไปในดินอย่างกว้างขวางทั้งแนวลึกและแนวราบ ดินที่ร่วนซุยและมีชั้นดินลึก รากพืชจะเจริญเติบโตแข็งแรง สามารถเกาะยึดดิน ต้านทานต่อลมพายุไม่ทำให้ต้นพืชล้มหรือถอนโคนได้เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากในดินมีอินทรียวัตถุ และแร่ธาตุต่างๆ ในรูปที่รากพืชสามารถดึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ง่าย เป็นแหล่งที่เก็บกักน้ำหรือความชื้นให้อยู่ในรูปที่รากพืชสามารถดึงดูดได้ง่าย เพื่อนำไปหล่อเลี้ยงลำต้นและสร้างการเจริญเติบโต น้ำในดินจะต้องอยู่ในสภาพที่เหมาะสมเท่านั้น รากพืชจึงจะสามารถดูดมาใช้ประโยชน์ได้ การรดน้ำพืชจนขังแฉะรากพืชไม่สามารถดูดน้ำขึ้นไปใช้ประโยชน์ได้ จะทำให้พืชเหี่ยวเฉาและตายในที่สุด ดินเป็นแหล่งที่ให้อากาศที่รากพืชใช้เพื่อการหายใจ รากพืชประกอบด้วยเซลล์ที่มีชีวิต ต้องการออกซิเจนสำหรับการหายใจทำให้เกิดพลังงานเพื่อการดูดน้ำ ธาตุอาหารและการเจริญเติบโต ดินที่มีการถ่ายเทอากาศดี รากพืชจะเจริญเติบโตแข็งแรง ดูดน้ำ และธาตุอาหารได้มาก ทำให้ต้นพืชเจริญเติบโตแข็งแรงและให้ผลิตผลสูง

1.2.3.1 ส่วนประกอบของดิน

โดยธรรมชาติดินจะมีส่วนประกอบ 4 ชนิด คือ อินทรียสาร (oganic matter) อนินทรียสาร (inorganic matter or mineral constituents in soils) น้ำในดิน (Soil water) และอากาศในดิน (Soil air) ซึ่งสัดส่วนของส่วนประกอบทั้ง 4 ชนิด แสดงดังภาพประกอบที่ 1.8

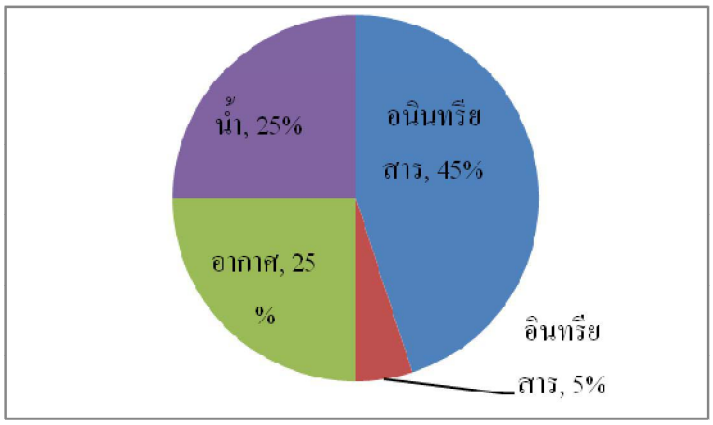
1. อินทรียสาร (oganic matter) หรืออินทรียวัตถุ องค์ประกอบส่วนนี้เป็นซากพืช ซากสัตว์ที่ผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในดิน ตลอดจนสารที่มีการสร้างขึ้นมาใหม่จากการสลายตัวของซากเหล่านั้นรวมทั้งเซลล์ของจุลินทรีย์ ปริมาณอินทรียวัตถุในดินแร่ทั่ว ๆ ไปมีน้อยมาก โดยมากจะมีเพียง 3-5 % โดยน้ำหนักเท่านั้น บทบาทสำคัญของอินทรียวัตถุคือ เป็นแหล่งของธาตุอาหารแก่พืชและจุลินทรีย์โดยเฉพาะ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน (C) ของจุลินทรีย์ ส่งเสริมสมบัติทางกายภาพของดิน ช่วยให้ดินร่วนซุยระบายน้ำและอากาศได้ดี และช่วยในการอุ้มน้ำของดิน

2. อนินทรียสาร (inorganic matter or mineral constituents in soils) องค์ประกอบส่วนนี้ได้มาจากการสลายตัวผุพังของหินและแร่ซึ่งอาจมีได้หลายขนาดตั้งแต่ขนาดใหญ่ซึ่งสามารถ

มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจนถึงขนาดเล็กซึ่งจะต้องอาศัยอุปกรณ์หรือเครื่องมือโดยเฉพาะในการตรวจดูลักษณะ ประโยชน์ของอนินทรียสารต่อการเจริญเติบโตของพืชคือ เป็นแหล่งที่มาของธาตุอาหารพืชชนิดต่างๆ เป็นตัวควบคุมลักษณะของเนื้อดินหรือความหยาบความละเอียดของดิน เป็นส่วนสำคัญในการเกิดกระบวนการทางเคมีต่าง ๆ ในดินโดยเฉพาะส่วนที่เป็นอนุภาคขนาดดินเหนียว เนื่องจากขนาดอนุภาคเล็กจึงมีพื้นที่สัมผัสมาก ประกอบกับที่ผิวสัมผัสจะมีประจุ

3. น้ำในดิน (Soil water) น้ำในดินจะอยู่บริเวณช่องว่างของดิน และถูกดูดยึดโดยอนุภาคดิน และแรงจากช่องว่างที่เกิดจากการเรียงตัวของอนุภาคดิน ถ้าน้ำในดินมีปริมาณน้อยลงแรงดูดยึดของดินที่มีต่อน้ำจะมากขึ้น น้ำในดินช่วยละลายธาตุอาหารพืช และเป็นตัวกลางในการในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารเหล่านั้นมาสู่รากพืชจึงมักเรียกน้ำในดินว่าสารละลายดิน (soil solution) น้ำที่อยู่ในช่องว่างทั้งหมดไม่ได้หมายความว่าพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งหมด น้ำที่ถูกดูดยึดโดยอนุภาคดินด้วยแรงที่ไม่มากนักซึ่งพืชเอาชนะแรงดูดยึดเหล่านั้นได้ จัดเป็นน้ำที่มีประโยชน์ต่อพืช ซึ่งปริมาณน้ำหรือความชื้นที่มีประโยชน์ต่อพืชจะแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดของเนื้อดิน

4. อากาศในดิน (Soil air) อากาศในดินจะอยู่ในช่องว่างของดิน ซึ่งสัมพันธ์กับน้ำในดิน ถ้ามีน้ำมากอากาศก็น้อยถ้ามีน้ำน้อยอากาศก็มาก อากาศในดินประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ คล้ายคลึงกับในบรรยากาศ ก๊าซส่วนใหญ่ที่เป็นส่วนผสมในอากาศคือ ก๊าซออกซิเจน (O_2) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ในบรรยากาศจะมีก๊าซออกซิเจนประมาณ 21 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.003% และก๊าซไฮโดรเจนประมาณ 78% ส่วนในดินปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะสูงกว่าในบรรยากาศ และออกซิเจนจะมีปริมาณต่ำกว่าเล็กน้อย อากาศในดินมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่มีอยู่ในดินโดยเฉพาะจุลินทรีย์ซึ่งมีบทบาทในการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์และมีความสำคัยต่อกระบวนการแปรสภาพของธาตุต่างๆ ในดิน รากพืชซึ่งเป็นส่วนที่มีชีวิตก็ต้องการอากาศในการหายใจเพื่อให้ได้พลังงานในการดูดน้ำธาตุอาหาร ตลอดจนใช้ในกิจกรรมทางชีวเคมีต่างๆ (อิสริยาภรณ์, 2548)



ภาพประกอบที่ 1.8 แสดงส่วนประกอบของดินที่เหมาะแก่การเพาะปลูก
ที่มา: อิสริยาภรณ์, 2548

1.2.3.2 สมบัติของดิน

1. เนื้อดิน คือ ความหยาบหรือความละเอียดของดิน โดยพิจารณาจากขนาดของชิ้นส่วนเดียวที่เป็นอนินทรียสารที่ประกอบกันขึ้นเป็นดิน เนื้อดินมีสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก โดยจะมีผลทางอ้อมคือ เนื้อดินจะเป็นปัจจัยควบคุมปัจจัยอื่นๆ ของดิน เช่น การอุ้มน้ำ การระบายน้ำ การดูดยึดธาตุอาหารในดิน เป็นต้น

1.1 อนุภาคดิน (soil separate)

ชิ้นส่วนที่เป็นอนินทรีย์สารของดิน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ อนุภาคปฐมภูมิ (Primary particles) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนเดี่ยว ๆ แต่ละชิ้นของดิน และอนุภาคทุติยภูมิ (Secondary particles) เป็นชิ้นส่วนที่ประกอบกันขึ้นจากชิ้นส่วนเดี่ยว ๆ หลาย ๆ ชิ้นยึดเกาะกันอยู่เป็นเม็ดหรือเป็นก้อนดิน การพิจารณาเนื้อดินจะพิจารณาจากขนาดของอนุภาคปฐมภูมิ นักวิทยาศาสตร์จึงได้คิดค้นวิธีที่ง่ายและสะดวกเพื่อวัดขนาดของอนุภาคที่มีรูปทรงต่าง ๆ เหล่านี้ขึ้นมา โดยการนำอนุภาคเหล่านี้มาเปรียบเทียบให้เป็นอนุภาคทรงกลม โดยถือว่าอนุภาคใดที่จมในของเหลวที่กำหนดให้ด้วยความเร็วเท่ากับอนุภาคทรงกลมที่มีคุณสมบัติอื่น ๆ เหมือนอนุภาคนั้นทุกประการยกเว้นรูปร่าง อนุภาคนั้นจะถูกสมมุติให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทรงกลมนั้น เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคดินที่สมมุติขึ้นมานี้เรียกว่า “เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลย์” (Equivalent diameter) มาตรการที่กำหนดขึ้นมานี้ทำให้สามารถวัดขนาดของอนุภาคดินได้ไม่ว่ารูปร่างเป็นแบบไหน ขนาดของอนุภาคของดินก็คือ อนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 2 มม. การจัดขนาดของอนุภาคดินออกเป็นกลุ่มสามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่มขนาดคือ

1) ทราย (Sand) เป็นกลุ่มอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลย์ระหว่าง 0.02–2.00 มม.

2) ทรายแป้งหรือตะกอน (Silt) เป็นกลุ่มอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลย์ระหว่าง 0.002–0.02 มม.

3) ดินเหนียว (Clay) เป็นกลุ่มอนุภาคที่เล็กที่สุดมีเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลย์น้อยกว่า 0.002 มม.

1.2 การประเมินเนื้อดิน

การประเมินเนื้อดินเป็นวิธีการปฏิบัติเพื่อให้ทราบว่าดินแต่ละชนิดเป็นเนื้อดินประเภทใด แบ่งวิธีประเมินเป็น 2 วิธี คือ

1. การประเมินเชิงคุณภาพ (Qualitative methods)

เป็นการประเมินเนื้อดินโดยตรง แต่ไม่สามารถที่จะบอกปริมาณที่แน่ชัดของอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวได้ เป็นวิธีการที่ทำได้สะดวกแม้แต่ในระดับไร่นา เรียกว่าวิธีการภาคสนาม (Field method) เช่น การใช้ความรู้สึกสัมผัส ทำได้โดยใช้มือบี้ดินที่บดละเอียดและชื้น หากมีความรู้สึกว่าสากมือแสดงว่าดินนั้นเป็นดินเนื้อหยาบ (Coarse textured soil) ถ้ารู้สึกนุ่มคล้ายแป้ง จะเป็นเนื้อปานกลาง (ดินร่วน) หากรู้สึกเหนียวเหนอะหนะ แสดงว่าเป็นเนื้อดินละเอียด (Fine textured soil) ส่วนวิธีทำให้เป็นแผ่น (Ribbon method) โดยการทำให้ดินชื้นพอที่จะปั้นได้ ปั้นให้เป็นก้อนกลม ๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณครึ่งนิ้ว จับก้อนดินด้วยหัวแม่มือและนิ้วชี้ และบี้ดินให้เป็นแผ่นบาง ๆ โดยการกดหัวแม่มือและไถไปข้างหน้า ถ้าดินนั้นเป็นแผ่นได้ง่ายและยาวไม่หักง่ายรู้สึกเหนียวติดมือ ดินนั้นจัดอยู่ในประเภทดินเหนียว ถ้าดินนั้นทำเป็นแผ่นได้ไม่เกิน 1 นิ้ว รู้สึกนุ่มมือคล้ายแป้ง ดินนั้นจัดอยู่ในประเภทดินร่วน ถ้าดินนั้นทำเป็นแผ่นไม่ได้รู้สึกหยาบ ดินนั้นจัดเป็นดินทราย วิธีการนี้จะได้ผลแน่นอนต้องอาศัยความชำนาญมาก และนิยมสำรวจและจำแนกดินในนาม

2. วิธีเชิงปริมาณ (Quantitative method)

เป็นการประเมินเนื้อดินโดยสามารถทราบปริมาณของอนุภาคทราย ทรายแป้งและดินเหนียวได้แน่นอน เป็นวิธีการที่ละเอียดอาศัยเครื่องมือต่าง ๆ และปฏิบัติกันในห้องปฏิบัติการ วิธีที่นิยมใช้กันเรียกว่า วิธีการวิเคราะห์แบบเชิงกล (Mechanical analysis) มีวิธีวิเคราะห์อยู่ 5 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ

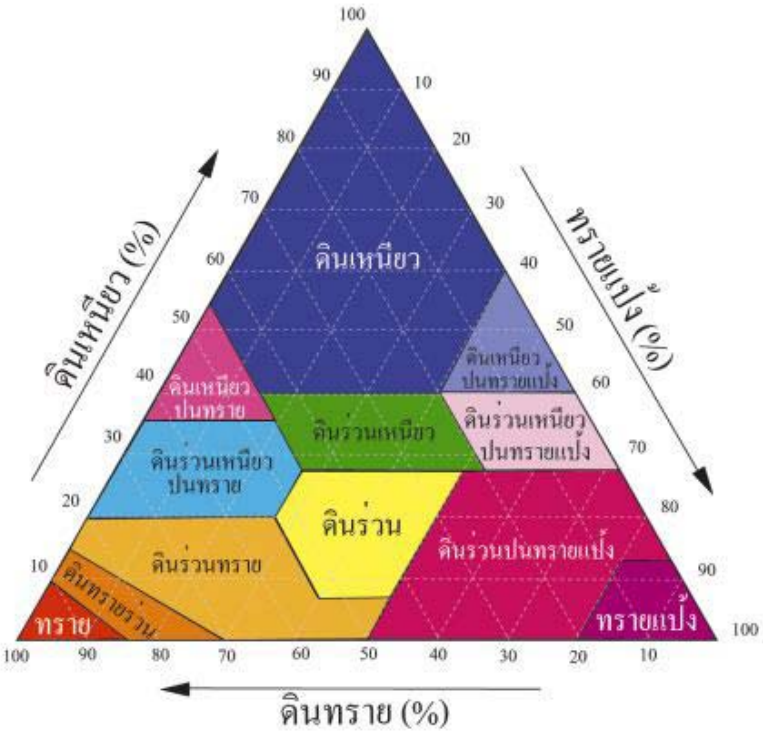
1) การแยกส่วนที่เป็นอนินทรีย์สาร (หินแร่) ออกจากส่วนอื่น ๆ ของดินให้หมด

2) บดดินที่แห้งให้เม็ดดินแตกตัวอยู่ในรูปของอนุภาคปฐมภูมิ (Primary particle)

3) ทำการแยกอนุภาคทั้ง 3 กลุ่มขนาดออกจากกัน

4) ชั่งน้ำหนักของอนุภาคทั้ง 3 กลุ่ม ขนาดที่แยกออกมา ได้แล้วเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

5) นำเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ได้ไปเทียบหาประเภทของเนื้อดิน โดยใช้สามเหลี่ยมจำแนกประเภทเนื้อดิน (ภาพประกอบที่ 1.9)



ภาพประกอบที่ 1.9 สามเหลี่ยมที่ใช้ในการจำแนกประเภทเนื้อดิน

ที่มา: http://krudaeng.wikispaces.com

1.3 กลุ่มของเนื้อดิน

ชนิดของเนื้อดินจะเป็นแบบไหนนั้นจะขึ้นอยู่กับอนุภาคของทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว การที่จะทราบประเภทเนื้อดิน สามารถหาได้โดยการนำดินไปแยกเอาอนุภาคทั้งสามไปเปรียบเทียบค่าในตารางมาตรฐาน จะทำให้ทราบประเภทของเนื้อดินได้ อย่างไรก็ตามเนื้อดินสามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. ดินเนื้อหยาบ (Course-textured soil)

เนื้อดินประเภทนี้ ได้แก่ ดินทราย (Sand) และดินทรายร่วน (Loamy Sand) เป็นเนื้อดินที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำและธาตุอาหารพืชไว้ได้น้อย มีความสามารถในการระบายน้ำได้เร็วเกินไป จึงทำให้มีการชะธาตุอาหารพืชออกไปจากดินได้มาก ทำการไถพรวนง่าย เราเรียกดินประเภทนี้ว่า ดินเบา (Light soil)

2. ดินเนื้อปานกลาง (Medium-textured soil)

เป็นประเภทเนื้อดินปานกลาง หรืออยู่ระหว่างดินเนื้อหยาบและดินเนื้อละเอียด ตัวอย่างของเนื้อดินในกลุ่มนี้ได้แก่ ดินร่วนปนทราบ (Sandy Loam) ดินร่วน (Loam) ดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam) ดินทรายแป้ง (Silt) ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy Clay Loam) ดินร่วนเหนียว (Clay Loam) และดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (Silty Clay Loam) เนื้อดินกลุ่มนี้สามารถอุ้มน้ำและธาตุอาหารพืชไว้ได้มากพอควร การระบายน้ำและอากาศมีความเหมาะสมกับการปลูกพืช การไถพรวนทำได้สะดวก โดยทั่วไปดินในกลุ่มนี้เป็นดินที่เหมาะกับการปลูกพืช

3. ดินเนื้อละเอียด (Fine textured soil) หรือดินเหนียว (Clay)

ตัวอย่างของดินเนื้อละเอียด ได้แก่ ดินเหนียวปนทราย (Sandy Clay) ดินเหนียวปนทรายแป้ง (Silty clay) และดินเหนียว (Clay) ดินในกลุ่มนี้มีความสามารถในการอุ้มน้ำและธาตุอาหารพืชไว้ได้มาก มีความอุดมสมบูรณ์สูงแต่มีการระบายน้ำและอากาศได้ไม่ดี เมื่อเปียกชื้นจะเหนียวเหนอะหนะ เมื่อแห้งจะแข็งทำให้ยากแก่การไถพรวน จึงเรียกดินประเภทนี้ว่า ดินหนัก (Heavy soil)

1.4 ความสำคัญและการจัดการเกี่ยวกับเนื้อดิน

เนื้อดินเป็นตัวการในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC: Cation Exchange Capacity) ซึ่งแสดงว่าดินนั้น มีความจุในการดูดซับหรือแลกเปลี่ยนธาตุอาหารได้มากหรือน้อย เช่น ดินที่มี %clay สูงจะมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้สูงกว่าดินที่มี %clay ต่ำ เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวจะมีพื้นที่ผิวในการดูดยึดประจุบวกหรือแร่ธาตุอาหารต่างๆ ได้มากกว่า นอกจากนี้ยังบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินเนื้อหยาบจะมีระดับธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำกว่าดินเนื้อละเอียด บอกความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ดินเนื้อหยาบจะมีความต้านทานน้อยกว่าดินเนื้อละเอียด บอกให้ทราบถึงสภาพการถ่ายเทอากาศในดิน เช่น ดินทรายจะมีการถ่ายเทอากาศในดินดีกว่าดินเหนียว บอกให้ทราบถึงปริมาณความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น ดินทรายจะมีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยกว่าดินเหนียวและดินร่วน

2. สีของดิน คือ สีที่เกิดจากสารประกอบในดิน ทำให้เดินมีสีต่างกัน สีของดินช่วยบอกให้ทราบถึงลักษณะบางประการของดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และลักษณะน้ำในดิน เช่น ดินที่มีฮิวมัสปนอยู่มากจะมีสีคล้ำ ดินที่มีเหล็กปนอยู่มากจะมีสีน้ำตาลแดง ปกติการระบุสีดินจะใช้สมุดเทียบสีมาตรฐานสากล Munsell soil color chart เป็นตัววัดสี

(http://krudaeng.wikispaces.com)

3. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน หรือเป็นความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (Cation Exchange Capacity; CEC) คือปริมาณไอออนบวกทั้งหมดที่ดินสามารถดูดยึดเอาไว้ได้ ซึ่งไอออนบวกเหล่านี้สามารถแลกเปลี่ยนได้ ส่วนที่สามารถดูดยึดไอออนบวกไว้ได้คือ คอลลอยด์ดิน เนื่องจากโดยปกติที่ผิวของคอลลอยด์มีประจุลบจำนวนมาก ดังนั้นดินจะมีค่า CEC มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณคอลลอยด์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในดินนั้น ๆ ไอออนบวกที่ถูกดูดยึดโดยคอลลอยด์ดินอยู่เป็นสัดส่วนมากเมื่อเปรียบเทียบกับไอออนบวกชนิดอื่น ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) ค่า CEC ดินสามารถนำไปประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินได้เนื่องจากไอออนบวกที่ดูดซับด้วยคอลลอยด์ดินใหญ่เป็นธาตุอาหารพืช และพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดินที่มีค่า CEC สูง โอกาสที่จะสูญเสียธาตุอาหารทั้งที่อยู่โดยธรรมชาติหรือเติมให้ในรูปของปุ๋ย โดยการชะละลาย (leaching) น้อยกว่าดินที่มีค่า CEC ต่ำเนื่องจากไอออนบวกต่าง ๆ ถูกดูดยึดโดยคอลลอยด์ดินได้มากกว่า นอกจากนี้ค่า CEC บ่งบอกถึงปริมาณปูนที่ต้องใส่ในกรณีที่ดินนั้นเป็นกรด ดินที่มีค่า CEC สูงต้องเติมปูนในปริมาณมากกว่าดินที่มีค่า CEC ต่ำ ดังจะเห็นได้ว่าดินเนื้อละเอียดมีความต้องการปูนสูงกว่าดินเนื้อหยาบ (อิสริยาภรณ์, 2548)

4. ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน คือ ปริมาณของไฮโดรเจนที่มีอยู่ในดินทำให้ดินมีสภาพเป็นกรดหรือเบส ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะเป็นตัวควบคุมการละลายธาตุอาหารในดินออกมาอยู่ในสารละลายหรือน้ำในดิน ถ้าดินมีสภาพเป็นกรดหรือเบสไม่เหมาะสมธาตุอาหารในดินอาจจะละลายออกมาได้น้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช หรือในทางตรงกันข้ามธาตุอาหารบางชนิดอาจจะละลายออกมามากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืชได้ พืชแต่ละชนิดชอบที่จะเจริญเติบโตในดินที่มีช่วง pH ต่างๆ กันสำหรับพืชทั่วๆ ไปมักจะเจริญเติบโตในช่วง pH 6-7 ซึ่งเป็นช่วงที่ธาตุอาหารพืชต่างๆ มีความเป็นประโยชน์สูงกว่าช่วง pH อื่น ๆ โดยทั่วไปดินในเขตร้อนชื้นมีแนวโน้มเป็นกรด เนื่องจากในสภาพที่มีฝนตกมากเอื้ออำนวยให้เกิดการชะละลาย (leaching) ไอออนประจุบวกที่เป็นด่าง เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} และNa^{+} ออกไปจากดิน โดยไอออนเหล่านี้ถูกแทนที่ด้วย H^{+} ได้มากกว่าเขตที่มีฝนตกน้อย และการใช้พื้นที่ทำการเกษตรจะเร่งให้ดินเกิดความเป็นกรดเร็วขึ้น

- ดินที่มีความเป็นกรด มีคุณสมบัติคล้ายกรดอ่อนมากกว่ากรดแก่ เนื่องจากเมื่อละลายน้ำอนุภาคดินจะปลดปล่อย H^{+} ออกมาเพียงบางส่วนเท่านั้น H^{+} ส่วนใหญ่จะถูกดูดยึดโดยคอลลอยด์ดิน H^{+} ส่วนที่อยู่ภายใต้อำนาจการดูดยึดของคอลลอยด์ดินเรียกว่า ความเป็นกรดแฝง (Potential acidity) และส่วนที่ละลายอยู่ในสารละลายดินเรียกว่า ความเป็นกรดจริง (Active acidity)

ซึ่งส่วนที่เป็นกรดจริงเป็น H^+ ที่สามารถตรวจวัดได้โดยการวัด pH ดินทั่ว ๆ ไป ความเป็นกรดของดินเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น เกิดจากน้ำ (H_2O) ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เกิดจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ และการหายใจของรากพืชเกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) เกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซิสของสารประกอบอลูมินัม เกิดจากขบวนการสลายตัวของอินทรียวัตถุซึ่งก่อให้เกิดกรดอินทรีย์ และกรดอนินทรีย์ เกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมีที่ให้ผลตกค้างเป็นกรด เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินที่ตกตะกอนทับถมจากตะกอนน้ำกร่อย มีสารประกอบไพไรต์ (Pyrite; FeS_2) สูง และเมื่อสารประกอบไพไรต์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จะทำให้เกิดกรดซัลฟิวริก ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดดินเปรี้ยวจัดหรือดินกรดจัด เกิดจากวัตถุกำเนิดดินซึ่งเป็นหินที่มีสมบัติเป็นกรด (acid rock) เช่น หินแกรนิต และหินไรโอไลต์ เมื่อพัฒนาเป็นดินก็จะทำให้ดินนั้นมีสมบัติเป็นกรด

- ดินที่มีความเป็นด่าง เป็นดินที่เมื่อละลายน้ำแล้วมี OH^- มากกว่า H^+ หรือมีค่า pH มากกว่า 7 สำหรับความเป็นด่างของดินเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น เกิดจากการสลายตัวผุพังของหิน และแร่ที่มีสมบัติเป็นด่าง เกิดจากการใส่ปุ๋ยมาเกินไป (Over limimg) และการใช้น้ำชลประทานที่มีเกลือเป็นองค์ประกอบสูง ในเขตแห้งแล้งดินมีการสะสมของเกลือเนื่องจากประจุบวกที่เป็นด่างที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ (Weathering) ของหิน และแร่ไม่ได้ถูกชะล้างไปไหน ยังคงสะสมอยู่ในดิน เนื่องจากมีฝนตกน้อย ทำให้ดินเป็นด่าง

5. ความเค็มของดิน ในสภาพที่มีฝนตกน้อย มีการระเหยของน้ำมากมักจะทำให้เกิดการสะสมของเกลือจนเป็นอันตรายต่อพืช เกลือที่มีอยู่ในดินส่วนมากเป็นพวกคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตของแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโพแทสเซียม ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างที่มีการสลายตัวผุพังของหิน และแร่ เมื่อมีฝนตกโซเดียม (Na) และโพแทสเซียม (K) จะถูกละลายไปคงเหลือแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) เป็นจำนวนมาก ทำให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกลางถึงด่าง กรณีที่ไม่ค่อยมีฝนตกเช่น เขตทะเลทรายเกิดการสะสมของเกลือคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม และถ้ามีโซเดียมคาร์บอเนตเหลืออยู่ในดินด้วย pH จะสูงมาก (pH>8)

การที่จะทราบว่าดินนั้นเค็มหรือไม่สามารถพิจารณาได้จากค่าการนำไฟฟ้าของดิน (Electrical Conductivity; EC) ทำได้โดยสกัดสารละลายดินในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และนำไปอ่านค่า EC ที่อุณหภูมิ 25 ºC โดยถ้าดินนั้นมีค่า EC > 2 mS/cm ถือว่าเป็นดินเค็ม (อิสริยาภรณ์, 2548)

6. ความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง (Base saturation)

1) ชนิดของแคตไอออนที่ดูดซับในดิน แคตไอออนที่ดูดซับในดินแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- แคตไอออนที่มีสมบัติเป็นกรด (acid cations) ได้แก่ H^+ และ Al^{3+} แคตไอออนเหล่านี้ เมื่อดูดซับอยู่เป็นจำนวนมากที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวและฮิวมัสในดินจะมีผลทำให้ดินเป็นกรด

- แคตไอออนที่มีสมบัติเป็นด่าง (basic cations) ได้แก่ Ca^{2+} Mg^{2+} K^+ และ Na^+ แคตไอออนเหล่านี้เมื่อดูดซับอยู่เป็นจำนวนมากที่ผิวของอนุภาคดินเหนียว จะมีผลให้ความเป็นกรดลดลง เนื่องจากแคตไอออนเหล่านี้เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ (hydrolyse) แล้วจะให้ OH^- ดังสมการ

$$\boxed{\text{clay micelle}}\ Ca^{++} + 2H_2O \longrightarrow \boxed{\text{clay micelle}}\ H^+ + Ca^{++} + OH^- \quad (1.1)$$

2) ความหมายของความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่าง หมายถึงความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินที่อิ่มตัวด้วยเบสิกแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (เช่น Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) สามารถคำนวนได้จาก การนำจำนวน Milliequivalent ของเบสิกแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งหมดหารด้วยค่าความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินแล้วคูณด้วย 100 ดังสูตร

$$\text{อัตราร้อยละของความอิ่มตัวด้วยเบส} = \frac{\text{ปริมาณเบสิกแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งหมด}}{\text{ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน}} \times 100 \quad (1.2)$$

3) ความอิ่มตัวด้วยประจุบวกที่เป็นด่างกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ความอิ่มตัวด้วยเบสจะบ่งบอกถึงสัดส่วนระหว่างเบสิกแคตไอออน และแคตไอออนที่เป็นกรดที่ดูดซับอยู่ในดิน เนื่องจากเบสิกแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจะเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชหลายธาตุ ปริมาณของเบสิกแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช หรืออาจกล่าวได้ว่าหากดินมีความอิ่มตัวด้วยเบสสูงจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช แต่ถ้า pH ของดินมีค่าสูงเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาการขาดเหล็ก แมงกานีสและจุลธาตุอื่นๆ และถ้าเบสิกแคตไอออน ที่แลกเปลี่ยนได้ในดินส่วนใหญ่เป็น Na จะทำให้การเจริญเติบโตของพืชไม่ดีเนื่องจากดินจะมี pH สูงและแน่นทึบ ร้อยละของความอิ่มตัวด้วยเบสยังมีผลต่อความยากง่ายในการ ปลดปล่อยธาตุอาหารพืช เช่น ถ้าดินมีร้อยละของความอิ่มตัวด้วยเบสสูงจะ

ทำให้เบสิกแคตไอออนถูกแทนที่โดยแคตไอออนอื่นๆ ได้ง่ายและรวดเร็วขึ้นซึ่งจะทำให้พืชสามารถดูดธาตุอาหารพืชได้ง่ายและเร็วขึ้น (สมพร, 2554)

การใส่ปุ๋ยทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนไปเช่น การใส่ปุ๋ยพืชสดในนาข้าวสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของดินทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ เนื่องจากปุ๋ยพืชสดเพิ่มอินทรียวัตถุ และไนโตรเจนแก่ดิน ส่งผลให้ชีวมวลของจุลินทรีย์ในดิน ปรับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน สู่สภาพความเป็นกลางทั้งในดินกรดและดินด่าง ปรับปรุงการเก็บกักน้ำ ลดการอัดแน่น และการพังทลายของดิน (สมพร, 2546) การใส่วัสดุอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยเคมีทำให้ความเป็นกรดเป็นด่างของดินลดลงตามแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอัตราการใส่ปุ๋ย (อภิเชษฐ, 2553)

1.2.3.3 ความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ความอุดมสมบูรณ์ของดิน หมายถึง ความสามารถ และศักยภาพของดินในการให้ธาตุอาหาร สารประกอบที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอื่น ๆ เช่น ฮอร์โมนพืช นอกจากนี้ยังรวมถึงศักยภาพด้านสิ่งแวดล้อมของดินทางกายภาพ และชีวภาพที่มาสามารถเอื้อให้มีปัจจัยที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชด้วย ดังนั้นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งที่มีผลกระทบต่อผลิตผล (Productivity) ของพืชในระบบนิเวศน์หนึ่ง ๆ ก็คือ ธรรมชาติของดินทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ในระบบนั้น (อรวรรณ, 2552)

1. อินทรียวัตถุ

อินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของดินซึ่งมีอิทธิพลต่อสมบัติของดินทั้งสมบัติทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ แหล่งที่มาที่สำคัญของอินทรียวัตถุในดินคือ เนื้อเยื่อพืช ในสภาพป่าธรรมชาติส่วนประกอบของพืชทุกส่วนไม่ว่าจะเป็น ใบ กิ่งก้าน ลำต้น ราก ผล ของพืชพรรณเมื่อร่วงหล่นลงดินจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่มากมายในดิน กลายเป็นอินทรียวัตถุจำนวนมหาศาล ในพื้นที่เพาะปลูกก็สามารถให้อินทรียวัตถุได้เช่นเดียวกัน ถึงแม้จะมีการนำผลผลิตออกไปจากพื้นที่แต่ก็ยังมีส่วนของตอซังเหลืออยู่และถูกย่อยสลายกลับลงไปในดินโดยจุลินทรีย์เช่นเดียวกัน สำหรับสัตว์จัดเป็นอินทรียวัตถุอันดับสองรองจากพืช เนื่องจากสัตว์กินพืชเป็นอาหาร เมื่อสัตว์ขับถ่ายของเสียออกมา รวมทั้งร่างกายของมันเมื่อหมดอายุขัย ก็จะถูกย่อยสลายทั้งจากสัตว์ขนาดเล็กที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจนถึงจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในดิน นอกจากนี้เซลล์ของจุลินทรีย์เองที่ตายแล้ว และยังมีชีวิตอยู่ก็ถือว่าเป็นอินทรียวัตถุเช่นเดียวกัน

เนื้อเยื่อพืชสีเขียวจะเป็นส่วนของน้ำประมาณ 75% ส่วนที่เหลือเป็นน้ำหนักแห้งซึ่งประกอบไปด้วยธาตุต่างๆ เช่น คาร์บอน ออกซิเจน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และธาตุอื่นๆ ที่พืชดูด

ขึ้นมาจากดิน โดยมากกว่า 90% ของน้ำหนักแห้งเป็นธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน อย่างไรก็ตามธาตุที่เหลือซึ่งมีจำนวนเมื่อเทียบกับ 3 ธาตุข้างต้น จะแสดงบทบาทสำคัญต่อพืชในแง่เป็นธาตุอาหารเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส กำมะถัน โพแทสเซียม และแมกนีเซียม โดยเฉพาะไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่ได้มาจากอินทรียวัตถุ อินทรียวัตถุมีผลต่อลักษณะของดิน และการเจริญเติบโตของพืชพอสรุปได้ดังนี้

1) ช่วยปรับปรุงสภาพทางกายภาพของดิน ส่งเสริมการเกาะกันของอนุภาคดินกลายเป็นก้อนดิน ลดสมบัติการอาจแปรรูปได้ (Plasticity) และการดูดยึดระหว่างอนุภาค (Cohesion) ทำให้ดินเหนียวร่วนซุย ระบายน้ำระบายอากาศดีขึ้น และช่วยให้ดินทรายสามารถอุ้มน้ำเอาไว้ได้มากขึ้น เนื่องจากในระหว่างการย่อยสลายมีการปลดปล่อยสารเหนียวซึ่งเป็นพวกโพลีแซคคาร์ไรด์ออกมาอย่างช้าๆ ทำหน้าที่คล้ายสารเชื่อมยึดอนุภาคดินให้จับตัวกันเป็นก้อน แต่ไม่คงทน ส่วนใหญ่อยู่ได้เพียงประมาณ 1 ปี ดังนั้นจึงควรเพิ่มอินทรียวัตถุลงไปในดินที่ทำการเพราะปลูกอยู่เสมอ

2) ทำให้ดินมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากขึ้น เนื่องจากอินทรียวัตถุมีค่า CEC สูงเมื่อเปรียบเทียบกับคอลลอยด์ดินชนิดอื่น ในดินทั่ว ๆ ไป ประมาณ 30-90% เป็นไอออนบวกที่ถูกดูดซับโดยอินทรียวัตถุ ดินที่มี CEC สูงจึงสามารถดูดยึดธาตุอาหารพืชที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติคือ สลายตัวมากจากแร่ หรือการย่อยสลายของอินทรียวัตถุเอง และที่เติมลงไปในรูปแบบของปุ๋ยอินทรีย์

3) ช่วยต้านทาการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน เนื่องจากอินทรียวัตถุช่วยทำให้ดินมี CEC เพิ่มขึ้น

4) เป็นแหล่งที่มาของธาตุต่าง ๆ โดยเฉพาะไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน นอกเหนือจากนี้ยังให้ธาตุอาหารอื่น ๆ ทุกชนิดกับพืช ธาตุอาหารเหล่านี้จะเป็นประโยชน์กับพืชก็ต่อเมื่ออินทรียวัตถุถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แล้วปลดปล่อยออกมาสู่ดิน

5) สามารถสกัดธาตุจากแร่ต่าง ๆ ที่อยู่ในดินโดยกรดฮิวมิค นอกจากนี้ในระหว่างการย่อยสลายเกิดกรดอินทรีย์ ซึ่งช่วยในการละลายของสารประกอบอินทรีย์เพื่อปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้เป็นประโยชน์ต่อพืชอีกทางหนึ่ง

6) ให้สารช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่สร้างขึ้นมาในระหว่างการย่อยสลาย แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าดินอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมก็อาจทำให้เกิดสารประกอบที่เป็นพิษในระหว่างการย่อยสลายเช่น กรดดีไฮดรอกซี สเตียริก (Dehydroxy stearic acid) แต่ถ้าปรับสภาพดินโดยการใส่ปูน ปุ๋ย มีการไถพรวนให้เกิดการระบายน้ำระบายอากาศสารพิษชนิดนี้จะหายไป

7) เป็นแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะพวกที่ใช้แหล่งคาร์บอนจากสารอินทรีย์ (heterotophic) ซึ่งจุลินทรีย์มีบทบาทมากในเรื่องของการย่อยสลาย การแปรสภาพธาตุอาหารพืช ตลอดจนการตรึงไนโตรเจน

2. ไนโตรเจน

ไนโตรเจนจัดเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก (Macronutrient elements) บางทีเรียกธาตุอาหารกลุ่มนี้ว่า มหธาตุ หรือ ธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสารประกอบหลายชนิดในพืช เช่น โปรตีน คลอโรฟิลล์ กรดนิวคลิอิก และวิตามิน เป็นต้น เมื่อพืชได้รับธาตุนี้เป็นปริมาณที่พอเพียงแล้วพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี มีความแข็งแรง โดยเฉพาะที่ใบจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีสีเขียวเข้ม ไนโตรเจนเป็นธาตุที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้ตั้งตัวได้เร็วในระยะแรก นอกจากนั้นยังช่วยทำให้ผลผลิตของพืชมีคุณภาพด้วย เช่น พืชผักสวนครัว ที่ใช้ใบลำต้นและหัวเป็นอาหาร พืชให้น้ำตาล พืชให้เส้นใย จะเห็นว่าไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่มีความสำคัญต่อผลผลิตและคุณภาพของพืช ซึ่งพืชต้องการธาตุนี้ในปริมาณมากรองลงมาจากคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน อาการผิดปกติของพืชเมื่อขาดธาตุไนโตรเจน เนื่องจากไนโตรเจนเป็นธาตุที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ภายในพืช อาการผิดปกติเมื่อพืชขาดจะแสดงออกที่ใบแก่ก่อน กล่าวคือ ใบจะสูญเสียสีเขียวโดยเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีเหลืองอมส้ม หรือสีเขียวอ่อนหรือสีขาว ซึ่งลักษณะอาการดังกล่าวนี้เรียกว่าคลอโรซีส (Chlorosis) นอกจากนี้ที่ปลายใบและขอบใบจะค่อย ๆ แห้งและลุกลามเข้ามาเรื่อยๆ จนในที่สุดใบที่แสดงอาการผิดปกติจะร่วงหล่นจากลำต้นก่อนเวลาอันสมควร นอกจากอาการผิดปกติจะเกิดขึ้นที่ใบแล้ว ที่ส่วนอื่นๆ เช่น ลำต้นยังอาจมีสีเหลือง บางครั้งก็มีสีชมพูเจือปน ลำต้นผอมสูง กิ่งก้านลีบเล็กและมีจำนวนน้อยกว่าปกติ พืชเจริญเติบโตช้ามาก

รูปของไนโตรเจนในดินแบ่งออกเป็น 2 รูปใหญ่ๆคือ อินทรียไนโตรเจน พบว่ามีอยู่ประมาณร้อยละ 97–98 ของไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน และกรดนิวคลิอิก แต่ไนโตรเจนรูปที่กล่าวถึงนี้ พืชไม่อาจนำไปใช้ได้โดยตรง จะต้องถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอนินทรียไนโตรเจนเสียก่อน และรูปอนินทรียไนโตรเจน พบว่ามีประมาณร้อยละ 2-3 ของไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ได้แก่ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ไนเตรตไอออน (NO_3^-) และไนไตรต์ไอออน (NO_2^-) รูปของก๊าซต่างๆ ประกอบด้วย ไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ไดไนโตรเจนออกไซด์ (N_2O) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ซึ่งรูปของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรงคือ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ไนเตรตไอออน (NO_3^-) และไนไตรต์ไอออน (NO_2^-) ไนโตรเจนในดินได้มาจากกระบวนการตรึงไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ดิน และสิ่งมีชีวิตและได้มากับน้ำฝน ซึ่งเกิดขึ้น

จากการที่ก๊าซไนโตรเจนในอากาศจะถูกออกซิไดส์ให้เปลี่ยนรูปเป็นไนตรัสออกไซด์ (NO) และไนตริกออกไซด์ (NO_2) ไนโตรเจนทั้งสองรูปนี้จะละลายในน้ำฝนที่ตกลงมาสู่พื้นดิน มีการประมาณไว้ว่าปีหนึ่งๆ ไนโตรเจนในดินที่ได้รับโดยกระบวนการนี้ ถ้าอยู่ในเขตอบอุ่นประมาณ 0.4 กิโลกรัม/ไร่ และถ้าอยู่ในเขตร้อนชื้นจะได้รับประมาณ 1.6 กิโลกรัม/ไร่

การได้มาของไนโตรเจนในดินที่ทำการเกษตรมีได้หลายทาง เช่น

1) ได้จากบรรยากาศ ไนโตรเจนในบรรยากาศมีหลายรูปเช่น ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ไนโตรเจนออกไซด์หรือไนตริกออกไซด์ (NO) ไดไนโตรเจนออกไซด์ หรือไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และแอมโมเนีย ซึ่งสารประกอบไนโตรเจนเหล่านี้บางส่วนถูกปลดปล่อยจากดิน พืช และการเผาไหม้ของถ่านหิน และผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ก๊าซแอมโมเนียส่วนใหญ่มาจากโรงงานอุตสาหกรรม และบางส่วนได้จากการระเหยไปจากผิวดิน ดินที่อยู่ในสภาพน้ำขังไนโตรเจนในรูปไนเตรตถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซ N_2, NO, N_2O ปลดปล่อยสู่บรรยากาศโดยกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ในบรรยากาศเมื่อมีการถ่ายเทประจุในระหว่างเกิดฟ้าแลบฟ้าผ่า กลายเป็น NO และ N_2O และกลับสู่พื้นดินโดยถูกชะมากับน้ำฝนในรูปกรดไนตริก พบปริมาณไนโตรเจนในน้ำฝนอยู่ในช่วง 1.12-56 กิโลกรัม/แฮกแตร์/ปี ขึ้นอยู่กับพื้นที่ ในบางพื้นที่ที่เป็นแหล่งอุตสาหกรรมน้ำฝนที่ตกลงมาอาจเป็นฝนกรดจะมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำผิวดิน ทำให้ไนโตรเจนในแหล่งน้ำมากเกินไปส่งผลให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเมื่อพืชตายทำให้เกิดภาวะน้ำเสียได้

2) ได้จากการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ดิน จุลินทรีย์ในดินบางชนิดสามารถแลกเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจน (N_2) ให้เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งมีทั้งชนิดที่ตรึงไนโตรเจนได้เมื่อต้องอาศัยร่วมกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น และที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้โดยอิสระ โดยกระบวนการทางเคมี โดยขั้นแรกก๊าซไนโตรเจนจะถูกรีดิวซ์เป็นแอมโมเนียและมีเอ็นไซม์ไนโตรจิเนสเป็นตัวกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกับกรดอินทรีย์ได้เป็นกรดอะมิโน และเปลี่ยนเป็นโปรตีนต่อไป

3) ได้จากการใส่ลงไปในดินในรูปของปุ๋ย ในพื้นที่ทางการเกษตร สำหรับการเพาะปลูกย่อมมีการใส่ปุ๋ยไม่มากก็น้อยในรูปของปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมี ปุ๋ยเคมีที่เป็นแหล่งของไนโตรเจน เช่น ปุ๋ยยูเรีย แอมโมเนียซัลเฟต แอมโมเนียไนเตรต และปุ๋ยผสมชนิดต่าง ๆ ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ปุ๋ยอินทรีย์ทุกชนิดมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของสารที่สำคัญในสิ่งที่มีชีวิต เช่น เป็นองค์ประกอบในกรดอะมิโน โปรตีน และคลอโรฟิลล์ เป็นต้น

4) วัสดุพืชที่เหลือตกค้างอยู่บนผิวดิน การปลูกพืชเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตไปแล้วจะเหลือเศษตอซังอยู่ในพื้นที่ปลูก เศษซากพืชหรือซากสัตว์ที่เหลือตกค้างอยู่ในดินเมื่อถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ อินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปแอมโมเนีย (NH_4^+) และไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งพืชและจุลินทรีย์สามารนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นจึงไม่ควรเผาตอซังหรือเศษกิ่งไม้หรือใบไม้ที่ร่วงหล่นลงดิน ควรปล่อยให้ย่อยสลายโดยธรรมชาติหรือนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักจะได้ประโยชน์มากกว่า

การสูญเสียไนโตรเจนไปจากดิน ซึ่งมีโอกาสสูญเสียได้หลายทาง ดังนี้

1) พืช และจุลินทรีย์ในดินนำไปใช้ประโยชน์ ไนโตรเจนโดยเฉพาะในรูปอนินทรีย์ทั้งพืช และจุลินทรีย์นำไปใช้ในการเจริญเติบโต ดังนั้นจุลินทรีย์จึงเป็นตัวแก่งแย่งธาตุอาหารไปจากพืช ดังเช่นกรณีใส่วัสดุอินทรีย์ที่มีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงให้กับพืช เมื่อเกิดการย่อยสลายจุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้ไนโตรเจนอย่างมากในการสร้างเซลล์ซึ่งไนโตรเจนจากสารอินทรีย์มีไม่เพียงพอจึงต้องใช้ไนโตรเจนที่มีอยู่ในดิน ในกรณีเช่นนี้อาจพบอาการผิดปกติของพืชเนื่องจากขาดไนโตรเจน แต่การสูญเสียในลักษณะนี้เป็นการสูญเสียชั่วคราว เมื่อเซลล์จุลินทรีย์ตายก็จะเกิดการย่อยสลาย และปลดปล่อยไนโตรเจนรวมทั้งธาตุอื่น ๆ ออกมาให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้อีก กระบวนการที่จุลินทรีย์นำธาตุอาหารพืชในรูปอนินทรีย์ไปใช้ในการสร้างเซลล์กลายเป็นสารประกอบอินทรีย์เรียกว่า อิมโมบิไลเซชัน (immobilization) ซึ่งเป็นกระบวนการตรงกันข้ามกับบิลเนอรัลไลเซชัน (bineralization)

2) สูญเสียโดยการชะละลาย และการชะล้างพังทลาย เป็นการสูญเสียธาตุอาหารในรูปของไอออนโดยถูกชะลงไปกับน้ำที่ไหลซึมลงด้านล่าง ซึ่งเมื่อเคลื่อนที่เลยเขตรากพืชไปแล้วจะไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช สำหรับไนโตรเจนที่สูญเสียได้ง่ายโดยการชะละลายคือ NO_3^- เนื่องจากเป็นประจุลบซึ่งไม่ถูกดูดยึดโดยคอลลอยด์ดิน และจะสูญเสียได้ง่ายในดินที่มีเนื้อหยาบ ไนโตรเจนในรูป NH_4^+ ก็เกิดการชะละลายได้เช่นกัน เมื่อมีการแลกเปลี่ยนไอออนออกมาอยู่ในสารละลายดิน ส่วนการสูญเสียโดยการชะล้างพังทลายเป็นการสูญเสียธาตุอาหารร่วมไปกับมวลของดิน มักเกิดกับดินที่ขาดสิ่งปกคลุม และโดยเฉพาะพื้นที่ลาดชัน

3) สูญเสียในรูปของก๊าช ไนโตรเจนสามารถสูญเสียออกไปจากดินในรูปของก๊าชจากสองสาเหตุคือ การระเหิด (volalization) เป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนซึ่งเป็นองค์ประกอบในรูปของแข็งเป็นก๊าช เช่น เกิดในกรณีที่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตในสภาพที่ดินเป็นด่าง ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) จะเปลี่ยนเป็นก๊าชแอมโมเนีย (NH_3) อีกสาเหตุหนึ่งของการสูญเสีย

ไนโตรเจนในรูปของก๊าซคือ กระบวนการดีไนตริฟิเคชันจากการกระทำของจุลินทรีย์เปลี่ยนไนเตรต (NO_3^-) เป็นไนโตรเจนก๊าซทั้ง N_2, NO และ N_2O

4) สูญเสียไปกับผลผลิต การปลูกพืชติดต่อกันเป็นเวลานาน พืชจะดูดธาตุอาหารที่มีอยู่ในดินมาใช้ เมื่อนำผลผลิตหรือส่วนต่าง ๆ ของพืชออกจากพืชที่ปลูกก็เป็นการนำเอาธาตุอาหารออกไปด้วย โดยเฉพาะการปลูกพืชในเชิงเศรษฐกิจ เมื่อมีการจำหน่ายผลผลิตไปสู่ต่างประเทศก็เป็นการจำหน่ายความอุดมสมบูรณ์ของดินไปด้วย (อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, 2548)

2.1 กระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนีย เป็นสารประกอบไนเตรตด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของแบคทีเรียในดิน เรียกแบคทีเรียเหล่านี้ว่า แบคทีเรียประเภทไนตริไฟอิง (Nitrifying bacteria) สำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชั่น มี 2 ขั้นตอน คือ

1. ไนโตรซิฟิเคชั่น (Nitrosification) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรต์ ดังสมการ

$$2NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2HNO_2 + 2H_2O + Energy \qquad (1.3)$$

หรือ

$$NH_4^+ + 1O_2 \longrightarrow NO_2 + H_2O + 2H^+ + Energy \qquad (1.4)$$

แบคทีเรียที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียเป็นไนไตรต์ ได้แก่ ไนโตโซซีส-ทีส (Nitrosocystis) และไนโตรโซสไปรา (Nitrosospira) ในกรณีที่แอมโมเนีย หรือแอมโมเนียม ถูกแบคทีเรียเปลี่ยนไปเป็นไนโตรต์นั้น ทำให้เป็นพิษต่อพืช หากสะสมไว้ในดินเป็นเวลานานทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต

2 ไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) เป็นการเปลี่ยนแปลงไนไตรต์เป็นไนเตรต ดังสมการ

$$HNO_2 + O_2 \longrightarrow HNO_3 + Energy \qquad (1.5)$$

แบคทีเรียที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลงได้แก่ไนโตรแบคเตอร์ และไนโตรซีสทีส นอกจากนี้ยังมีพวกฟังไจ พวกแอสเพอร์จิลลัส อีกด้วย

ไนเตรตเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี จึงถูกพืชดูดซึมไปใช้ได้ง่าย แต่ไนเตรตบางส่วนอาจซึมลงสู่ใต้ดินไปเป็นส่วนประกอบของน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล ถ้าหากมนุษย์ได้รับไนเตรตเข้าสู่ร่างกายจะก่อให้เกิดอันตรายได้ เนื่องจากไนเตรตถูกเปลี่ยนแปลงเป็นไนไตรต์ที่ลำไส้ และไนไตรต์จะรวมกับฮีโมโกลบินในเลือดเป็นเมทีโมโกลบิน (Methemoglobin) ทำให้ฮีโมโกลบินไม่สามารถจับออกซิเจน ดังนั้นถ้าร่างกายได้รับไนเตรตในปริมาณมากจะทำให้เสียชีวิตได้

2.2 กระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงไนเตรตเป็นก๊าซไนโตรเจน โดยแบคทีเรียประเภทดีไนตริไฟด์ (Denitrifying bacteria) ดังสมการ

$$NO_3^- \longrightarrow NO_2^- \longrightarrow NO \longrightarrow N_2O \longrightarrow N_2 \qquad (1.6)$$

แบคทีเรียประเภทดีไนตริไฟด์ (Denitrifying bacteria) มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงได้ดี แบคทีเรียประเภทดีไนตริไฟด์ เจริญได้ดีทั้งในที่มีและไม่มีออกซิเจนในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะใช้ไนเตรตเป็นตัวรับอิเล็คตรอนในกระบวนการหายใจ แบคทีเรียบางชนิดเจริญได้ทั้งสภาวะที่มี และไม่มีออกซิเจน ในการเจริญจะใช้ไฮโดรเจนหรืออินทรียสารเป็นแหล่งของพลังงาน และใช้ออกซิเจนหรือไนเตรตเป็นตัวรับอิเลคตรอนในกระบวนการหายใจ ส่วนไทโอบาซิลลัสดีไนตริฟิเคนส์ (Thiobacillus denitrificans) ใช้กำมะถันหรือไธโอซัลเฟตที่สะสมไว้ในเซลล์เป็นแหล่งของพลังงานโดยการเปลี่ยนให้เป็นซัลเฟต ส่วนไนเตรตจะถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ดังสมการ

$$5S + 6KNO_3 + H_2O \longrightarrow 3N_2 + K_2SO_4 + 4KHSO_4 \qquad (1.7)$$

หรือ

$$5K_2S_2O_3 + 8KNO_4 + H_2O \longrightarrow 4N_2 + 9K_2SO_4 + H_2SO_4 \qquad (1.8)$$

3. ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จัดอยู่ในกลุ่มธาตุอาหารหลักเช่นเดียวกับไนโตรเจนและโปตัสเซียม แต่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินมีน้อยกว่าไนโตรเจน และโปตัสเซียม โดยมีอยู่ในช่วง 0.02-0.15% (ชัยฤกษ์, 2536) แต่พืชมีความต้องการฟอสฟอรัส 0.3-0.5% โดยน้ำหนักแห้ง เพื่อให้การเจริญเติบโตเป็นไปตามปกติ หากพืชขาดธาตุฟอสฟอรัสการเจริญเติบโตจะหยุดชะงักใบ

มีสีแดงแซม เนื่องจากพืชมีการสังเคราะห์รงค์วัตถุ แอนโทไซยานินเพิ่มขึ้น จึงทำให้สีของใบกลายเป็นสีม่วงเข้ม โดยเฉพาะเกิดที่ใบแก่ อย่างไรก็ตามในช่วงแรกของการขาดธาตุนี้อาจพบว่าใบมีสีเขียวเข้มเกิดขึ้นก่อน เนื่องจากผลด้านการลดการเจริญของพื้นที่ผิวใบมีมากกว่าการลดอัตราการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ ทำให้ขณะนั้นความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ต่อหน่วยพื้นที่ผิวใบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย นอกจากฟอสฟอรัสจะมีบทบาทในการควบคุม การสังเคราะห์ด้วยแสง และเมเทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตแล้ว ยังมีบทบาทต่อสมดุลของฮอร์โมนพืชด้วย เนื่องจากพืชที่ขาดฟอสฟอรัสมักออกดอกช้า และจำนวนดอกน้อยกว่าปกติ ฟอสฟอรัสในพืชสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปใหญ่ๆ คือ อินทรียฟอสฟอรัส (rganic phosphorus) ได้แก่สารประกอบอินทรีย์ พวกกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) ฟอสฟอลิปิด (phospholipids) และไพติน (phytin) พืชสามารถเอาสารประกอบเหล่านี้ไปใช้ได้ต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$) และไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{2-}) เสียก่อน และอนินทรียฟอสฟอรัส (inorganic phosphorus) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือคัลเซียมฟอสเฟต อลูมินัมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต การละลายออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช คัลเซียมฟอสเฟตจะละลายออกมาได้ง่ายกว่าอลูมินัมฟอสเฟต และเหล็กฟอสเฟต ในสภาพดินด่าง ในสภาพดินกรด อลูมินัมฟอสเฟตจะละลายออกมาได้ง่ายกว่าคัลเซียม และเหล็กฟอสเฟต

3.1 การตรึงฟอสฟอรัสในดิน

การตรึงฟอสฟอรัสในดินหมายถึง ฟอสเฟตที่ถูกเปลี่ยนรูปจากรูปที่ละลายน้ำได้ (soluble form) ไปอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble form) ขบวนการตรึงฟอสฟอรัสในดินขึ้นอยู่กับขบวนการที่สำคัญ 3 ขบวนการคือ

1. การตกตะกอนเชิงเคมี (Chemical precipitation)

เป็นปฏิกิริยาระหว่างแคตไอออน (cation) พวก เหล็ก อลูมินัม คัลเซียมและแมกนีเซียมกับฟอสเฟตไอออนที่ไม่ละลายน้ำ สามารถแบ่งปฏิกิริยาออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

1.1 ในสภาพของดินกรดเหล็กและอลูมินัมทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออนเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ ดังสมการ

$$Fe^{2+} + H_2PO_4^- + 2H_2O \rightleftharpoons FePO_4 \cdot 2H_2O + 2H^+ \qquad (1.9)$$

$$Al^{3+} + H_2PO_4^- + 2H_2O \rightleftharpoons AlPO_4 \cdot 2H_2O + 2H^+ \qquad (1.10)$$

1.2 ในสภาพของดินด่าง คัลเซียมและแมกนีเซียมทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออนเกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ ดังสมการ

$$Ca^{2+} + HPO_4^{2-} + 2H_2O \rightleftharpoons CaHPO_4 \cdot 2H_2O \qquad (1.11)$$

$$Mg^{2+} + HPO_4^{2-} + 2H_2O \rightleftharpoons MgHPO_4 \cdot 2H_2O \qquad (1.12)$$

2. ปรากฏการณ์การดูดซับ (adsorption phenomena)

ประจุลบของฟอสเฟตไอออนจะถูกดูดยึดอยู่กับไอออนบวกบริเวณผิวของ แร่ดินเหนียว (clay mineral) ด้วยแรงยึดเหนี่ยวทางด้านไฟฟ้า (electrostatic bonding) คือ ประจุลบของฟอสเฟตไอออนจะดูดยึดอยู่กับประจุบวกของแร่ดินเหนียว

3. ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนแอนไอออน (anion exchange reaction)

เป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) กับฟอสเฟตไอออนในสารละลายดิน เมื่อฟอสเฟตเข้าไปแทนที่ สามารถเกิดพันธะเคมีกับโครงสร้างของแร่ดินเหนียวได้ ฟอสเฟตชนิดนี้ยากที่จะถูกปลดปล่อยออกมาทำให้เกิดเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ไม่ละลายน้ำ

3.2 การจัดการเกี่ยวกับธาตุฟอสฟอรัสในดินที่ใช้ปลูกพืช

การจัดการเกี่ยวกับธาตุฟอสฟอรัสในดินเพื่อให้พืชได้ใช้ประโยชน์มากที่สุดทั้งจากส่วนของฟอสฟอรัสที่มีอยู่เดิม และส่วนที่ใส่เพิ่มเติมในรูปของปุ๋ยนับว่ามีความสำคัญ ทั้งนี้เพราะ ดินโดยทั่วไปมีความจุในการดูดตรึงฟอสฟอรัสไว้ได้มาก จึงจำเป็นต้องควบคุมปัจจัยบางประการเพื่อลดการดูดตรึงฟอสฟอรัสของดิน และช่วยส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัส ซึ่งมีการ จัดการได้ดังนี้

1. รักษาระดับ pH หรือ ปรับระดับ pH ของดินให้อยู่ในช่วง 6-7

2. รักษาระดับอินทรียวัตถุในดินให้สูงอยู่เสมอ เนื่องจากอินทรียวัตถุเมื่อผ่านการย่อยสลาย นอกจากจะปลดปล่อยให้ฟอสฟอรัสแก่พืชแล้วสารที่เกิดจากการย่อยสลายยังช่วยลดการตรึงของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่มีอยู่โดยธรรมชาติ และที่เติมลงไป

3 การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสในรูปปุ๋ยเคมีให้ลดพื้นที่การสัมผัสระหว่างปุ๋ยกับดินโดยวิธีโรยเป็นแถวขนานกับแถวของพืช และควรใช้ปุ๋ยในรูปปุ๋ยเม็ดมากกว่าชนิดผง ยกเว้นปุ๋ยหินฟอสเฟตซึ่งต้องการให้อนุภาคดินสัมผัสกับอนุภาคปุ๋ยมาก ๆ เพื่อช่วยในการละลายปลดปล่อยธาตุอาหารในดินกรด (บุญแสน, 2554)

4. ธาตุโปตัสเซียม

4.1 คุณสมบัติของธาตุโปตัสเซียมในดิน

ในดินโดยทั่วไปจะมีธาตุโปตัสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่มากกว่าธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เนื่องจากหินและแร่หลายชนิดเป็นวัตถุต้นกำเนิดดินจะมีโปตัสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ดินประเภทต่าง ๆ จะมีโปตัสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ ประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วัตถุต้นกำเนิดดิน กล่าวคือ ถ้าวัตถุต้นกำเนิดดินมีสัดส่วนและปริมาณของแร่เฟลด์สปาร์และไมกาอยู่จำนวนมาก จะทำให้ดินมีปริมาณโปตัสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่มากด้วย ทั้งนี้เพราะแร่ทั้งสองชนิดนี้เมื่อสลายตัวกลายเป็นดินจะให้โปตัสเซียมตกค้างอยู่ในดินในส่วนที่เรียกว่า ดินเหนียว หรือ แร่ดินเหนียว จึงมักพบอยู่เสมอว่าดินที่มีเนื้อละเอียดหรือมีอนุภาคดินกลุ่มขนาดดินเหนียวเป็นองค์ประกอบอยู่มากจะมีโปตัสเซียมในปริมาณมากกว่าดินที่มีเนื้อดินหยาบกว่า โปตัสเซียมที่เป็นองค์ประกอบในดินเนื้อหยาบ หรือดินทราย ปริมาณส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเศษแร่ที่อยู่ในลักษณะกำลังผุพังสลายตัวอยู่ หรือ ยังมีสภาพเป็นเศษแร่ก้อนเล็ก ๆ ที่ยังไม่ได้ผุพัง ส่วนในดินเนื้อละเอียด หรือ ดินเหนียว โปตัสเซียมปริมาณส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่เป็นองค์ประกอบอยู่ร่วมกับอนุภาคขนาดดินเหนียว ทั้งนี้ส่วนหนึ่งจะเป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้างของแร่ดินเหนียว และโปตัสเซียมบางส่วนจะอยู่ในสภาพไอออนบวก (K^+) ดูดยึดอยู่กับผิวของคอลลอยด์ตรงส่วนที่มีประจุไฟฟ้าลบ ซึ่งไอออนส่วนนี้ถือว่าอยู่ในสภาพที่แลกเปลี่ยนได้ และอีกส่วนหนึ่งอยู่ในสภาพที่ถูกตรึงอยู่ในดินอาจกล่าวได้ว่า แหล่งของโปตัสเซียมที่สำคัญคือ หินและแร่ชนิดต่างๆ ที่มีโปตัสเซียมเป็นองค์ประกอบ และเป็นวัตถุต้นกำเนิดดินนั่นเอง โปตัสเซียมที่มีอยู่ในดินแบ่งออกเป็น 3 รูป ที่สำคัญคือ

1. รูปที่ละลายน้ำได้ (water soluble forms) โปตัสเซียมรูปนี้จะอยู่ในสภาพของไอออนที่มีประจุไฟฟ้าบวกละลายอยู่ในสารละลายดิน พืชสามารถใช้ประโยชน์ของโปตัสเซียมรูปนี้ได้ทันที โดยดูดกินเข้าไปทางราก แต่โปตัสเซียมรูปนี้ก็มีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปอื่นๆ

2. รูปไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable forms) โปตัสเซียมรูปนี้จะดูดยึดอยู่กับผิวของคอลลอยด์ดินโดยเฉพาะแร่ดินเหนียว และบางส่วนจะถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในสภาพไอออนในสารละลายดินและเป็นประโยชน์ต่อพืช

3. รูปที่ไม่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (non–exchangeable forms) โปตัสเซียมรูปนี้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ยากมาก ได้แก่ โปตัสเซียมที่เป็นองค์ประกอบของแร่ชนิดต่างๆ ในดิน และโปตัสเซียมส่วนที่ถูกตรึงเอาไว้โดยอนุภาคดินเหนียว

4.2 การตรึงโปตัสเซียมในดิน

การตรึงโปตัสเซียมในดินเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปของโปตัสเซียม ที่พืชใช้ประโยชน์ได้ทันทีไปอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ไม่ได้โดยตรง ซึ่งโปตัสเซียมส่วนที่ถูกตรึงอยู่นี้จะอยู่ในสภาพไอออนที่ถูกดูดยึดเอาไว้ด้วยแรงจำนวนมากระหว่างแร่ดินเหนียว 2 อนุภาค ดังนั้นการที่จะทำให้โปตัสเซียมถูกปลดปล่อยออกมาอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ดินเหนียวที่ตรึงโปตัสเซียมไอออนเอาไว้ และขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของดินเองด้วย กล่าวคือ ดินที่มีแร่ดินเหนียวหรือดินเหนียวชนิดอิลไลต์ เป็นองค์ประกอบอยู่ในปริมาณมากก็จะทำให้การปลดปล่อยโปตัสเซียมกลับคืนมาได้ยากกว่าแร่ดินเหนียวชนิดมอนท์มอริลโลไนต์ สำหรับสภาพแวดล้อมที่จะส่งเสริมให้โปตัสเซียมที่ถูกตรึงอยู่ถูกปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืช ได้แก่ สภาพที่ดินมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น หรือ ดินอยู่ในสภาพน้ำขังเป็นเวลานาน เช่น ดินที่ใช้ทำนา

4.3 การจัดการเกี่ยวกับธาตุโปตัสเซียมในดินที่ใช้ปลูกพืช

ดินโดยทั่วไปที่มีเนื้อดินละเอียดและอยู่ในกลุ่มของดินเหนียวส่วนใหญ่มักมีปริมาณธาตุโปตัสเซียมเพียงพอต่อการปลูกพืช ไม่จำเป็นต้องเพิ่มเติมโดยการใส่ปุ๋ยโปตัสเซียมอีก แต่ถ้าต้องการจะใส่ก็ใส่ปริมาณเพียงเล็กน้อยก็พอ ส่วนในกรณีดินเนื้อหยาบ เช่น ดินร่วนและดินทราย อาจจะต้องใส่ปุ๋ยโปตัสเซียมในปริมาณที่มากกว่าในดินเหนียว โดยเฉพาะในดินทรายอาจจะต้องใส่ปุ๋ยโปตัสเซียมเพิ่มมากขึ้นไปอีก นอกเหนือจากการใส่ปุ๋ยโปตัสเซียมโดยตรงแล้ว การจัดการดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ก็ช่วยลดการใส่ปุ๋ยโปตัสเซียมให้น้อยลงได้บ้าง การป้องกันการสูญเสียหน้าดินโดยการชะล้างและพังทลายของดินโดยน้ำพัดพาไป ก็จะช่วยรักษาธาตุโปตัสเซียมเอาไว้ได้อีกทางหนึ่ง (บุญแสน, 2554)

5. แคลเซียม

ธาตุแคลเซียมเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อพืชธาตุหนึ่ง โดยถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของธาตุรอง ซึ่งมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช รองมาจากธาตุอาหารหลัก เนื่องจากธาตุแคลเซียมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ ที่อยู่ในรูปของแคลเซียมเพคเตต (calcium pectate) ช่วยในการแบ่งเซลล์ ช่วยในการสร้างโปรตีน และช่วยในการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดเช่น ฟอสฟอไลเปส (phospholipase) รูปของแคลเซียมในดิน แคลเซียมที่อยู่ในดินแบ่งออกเป็น 2 รูปใหญ่ๆ คือ อินทรียแคลเซียม พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไพติน และ แคลเซียมเพคเตต ถ้าพืชสามารถนำเอาไปใช้ประโยชน์ได้จะต้องถูกจุลินทรีย์ย่อยสลาย

เปลี่ยนจากอินทรียแคลเซียมไปเป็นอนินทรียแคลเซียมซึ่งอยู่ในรูปของแคลเซียมไอออน และอนินทรียแคลเซียมประกอบด้วย (อิสริยาภรณ์, 2548)

1. แคลเซียมที่ละลายยากได้แก่ แคลเซียมที่มาจากหินและแร่ เมื่อแร่ผุพังสลายตัวจะให้แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ลงไปในดินพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2. แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แคลเซียมประเภทนี้จะถูกยึดติดบริเวณผิวของคอลลอยด์ เมื่อแคลเซียมไอออนในสารละลายในดินสูญหายไปโดยพืชหรือจุลินทรีย์แคลเซียมชนิดนี้จะถูกปลดปล่อยออกมาเพื่อรักษาภาวะสมดุล ดังสมการ

อนุภาคดิน เหนียว — Ca^{2+}, Ca^{2+} $\rightleftharpoons$ Ca^{2+} ในสารละลายดิน (1.13)

3. สารละลายแคลเซียมไอออนในดิน พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ดินที่มีโดยตรง ดินที่มีธาตุแคลเซียมสะสมอยู่มาก ได้แก่ ดินเหนียวประเภทดินด่างจัด (calcareous soil) ส่วนใหญ่พบในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งละลายน้ำได้ยาก พืชนำเอาไปใช้ประโยชน์ได้น้อย แต่ถ้าดินมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่มาก และมีความชื้น แคลเซียมคาร์บอเนตก็จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ง่ายขึ้น ดังสมการ

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2 \quad (1.14)$$

แคลเซียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต
ละลายน้ำได้ง่าย

คาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนไปทำปฏิกิริยากับน้ำได้แก่ กรดคาร์บอนิก ดังสมการ

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3 \quad (1.15)$$

กรดคาร์บอนิก

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + CO_3^- \quad (1.16)$$

ไฮโดรเจนไอออน ที่ได้จะไปไล่ที่แคลเซียมไอออน ที่ดูดซับบริเวณผิวของคอลลอยด์ดินให้หลุดออกมาอยู่ในสารละลาย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืช ในดินทรายที่เป็นกรดจัดหรือดินพีต (Peat) ที่เป็นกรดจัดจะมีแคลเซียมไอออนอยู่น้อยมาก (บุญแสน, 2554)

6. แมกนีเซียม

แมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์โดยจะอยู่ในตำแหน่งจุดศูนย์กลางของโมเลกุล ช่วยในการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสในพืช เกี่ยวของกับการสังเคราะห์โปรตีน ทำงานในระบบเอ็นไซม์คือ เป็นโคแฟคเตอร์ของเอ็นไซม์ต่างๆ เช่น กลูโคไคเนส (glucokinase) ฟลุกโตไคเนส (fructokinase) กาแลคโตไคเนส (galactokinase) เฮกโซไคเนส (hexokinase) 6 โฟเพนโตไคเนส (6-phosphopentokinase)

7. สังกะสี

สังกะสีเป็นองค์ประกอบของเอ็นไซม์ที่ช่วยลดพิษซุปเปอร์ออกไซด์ ที่เกิดจากกระบวนการหายใจแสง (Photorespiration) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสร้างอินโดลอะซิติกแอซิด (IAA) และกระตุ้นเอ็นไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวกับการสร้างโปรตีน ดังนั้นจึงจำเป็นสำหรับการสร้างเสริมการเจริญเติบโต สังกะสี (Zn) เกิดขึ้นในดินในแร่ปฐมภูมิ และดินเหนียว สังกะสีถูกดูดซับไว้อย่างเหนียวแน่นกับอินทรียวัตถุและดินเหนียว และตกตะกอนในรูปของ hydroxide phosphate carbonate และ silicate ในระดับ pH เป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่าง ในดินส่วนใหญ่มีสังกะสีระหว่าง 10-300 mg/ kg

ตารางที่ 1.6 แนวทางการพิจารณาเพื่อบอกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

การประเมิน	**ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน**		
	ต่ำ	**ปานกลาง**	**สูง**
การเจริญเติบโตของพืช	โตช้า มีอาการผิดปกติ หรือตาย	การเจริญเติบโตค่อนข้างปานกลาง	เจริญเติบโตดี
ผลผลิตพืช	ผลผลิตต่ำมากหรือไม่ได้ผลผลิต	ผลผลิตค่อนข้างต่ำ	ผลผลิตสูง
ธาตุอาหารแต่ละธาตุที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์	มีน้อยเกินไปถึงขาดแคลนมาก นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงจากรูปที่ไม่เป็นประโยชน์มาเป็นประโยชน์แก่พืชก็ช้าเกินไป	มีปานกลาง ไม่ขาดแคลนนัก ดินชดเชยธาตุอาหารแก่พืชในอัตราที่เกือบจะเพียงพอแก่พืช	ทุกธาตุมีเพียงพอและดินชดเชยธาตุอาหารแก่พืชเร็วเพียงพอแก่พืช
ธาตุอาหารที่เข้าข่ายขาดแคลน และสมดุลของธาตุอาหาร	อาจขาดแคลนหลายธาตุและขาดแคลนหรือบางธาตุมีมากแต่บางธาตุมีสมดุลน้อยเกินไปจึงไม่สมดุล	อาจขาดแคลนเพียง 1 ธาตุ และขาดแคลนไม่มากนัก อาจมีปัญหาด้านความสมดุลของธาตุอาหารในดินบ้าง	ดินมีธาตุอาหารเพียงพอและสมดุลกัน
ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืช	มีต่ำมาก	ค่อนข้างต่ำ	อยู่ในชั้นเพียงพอ
ปริมาณปุ๋ยแต่ละชนิดที่ต้องใช้ เพื่อให้พืชได้รับธาตุอาหารเหล่านั้นอย่างเพียงพอ	ต้องใช้ปุ๋ยมาก	ใช้ปุ๋ยไม่มากนัก	ใช้เพียงเล็กน้อยเพื่อชดเชยส่วนที่ติดไปกับพืชที่สูญหายไประหว่างฤดูปลูกพืช
ปัญหาอื่นๆ ที่อาจพบ	ดินเป็นกรดหรือด่างจัด เป็นดินเค็มหรือดินโซดิก มีกษัยการของดินอย่างรุนแรง หรือมีสารพิษในดิน	ดินเป็นกรดหรือด่างปานกลาง เป็นดินเค็มหรือดินโซดิกอย่างอ่อน อาจมีกษัยการของดินบ้าง และมีสารเป็นพิษในดินไม่มากนัก	ดินไม่มีปัญหาใดๆ

ที่มา : ยงยุทธ, 2527

1.2.3.4 มลพิษดิน

มลพิษดิน หมายถึงดินที่เสื่อมค่าไปจากเดิม และหรือมีสารมลพิษเกินขีดจำกัดจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพ และพลานามัย ตลอดจนการเจริญเติบโตของพืช และสัตว์

1. **ดินเสียโดยธรรมชาติ** ตัวอย่าง เช่น ปัญหาดินเปรี้ยว ดินเค็ม ดินพรุ หรือดินอินทรีย์ ดินที่มีสารกัมมันตรังสี และดินที่เจือปนด้วยโลหะหนัก เป็นต้น

2. **ดินเสียเพราะการกระทำของมนุษย์** ดังเช่น

2.1 การใช้ปุ๋ยเคมีทางวิทยาศาสตร์ เพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตรแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ปุ๋ยเคมีที่ประกอบด้วยธาตุหลักสำคัญของพืชได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแตสเซียม (K) เมื่อใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้ดินเปรี้ยว มีสภาพความเป็นกรดสูง

2.2 การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช (pesticides) ทำให้ดินเป็นแหล่งสะสมสารเคมีที่มีผลตกค้างนาน เช่น สารประเภทคลอรีนอินทรีย์ (organochlorine) เป็นต้น และสารประเภทอนินทรีย์ที่ใช้ธาตุพิษเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น สารหนู ทองแดง ปรอท ฯลฯ

2.3 การปล่อยให้น้ำเสียจากกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นน้ำเสียที่เกิดจากการชะล้างผ่านสารเคมีต่างๆ ในอุตสาหกรรม เช่น สารพีซีบี (PCB) ที่ใช้ในการผลิตสี และพลาสติก สารเอชซีบี (HCB) ที่ใช้ในการผลิตยางสังเคราะห์

2.4 การใช้ดินเป็นแหล่งทิ้งวัสดุเหลือใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทิ้งวัสดุเหลือใช้อันตรายซึ่งยากต่อการย่อยสลาย จะเกิดการสะสมในดินจนทำให้เกิดภาวะมลพิษดิน

2.5 การรั่วไหลสารกัมมันตรังสี จากการทดลองหรือจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือจากเตาปฏิกรณ์ปรมาณู สารกัมมันตรังสีจะถูกดูดซึมไปอยู่ในใบและดอกของพืช แล้วผ่านทางห่วงโซ่อาหารมาจนกระทั่งถึงตัวมนุษย์

2.6 การทำเหมืองแร่แทบทุกชนิดจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นทรัพยากรดินหรือทรัพยากรน้ำที่จะต้องเกิดการปนเปื้อนและก่อให้เกิดมลพิษในอากาศด้วย

มลสารที่ก่อให้เกิดมลพิษดิน

มลสารในดินสามารถจำแนกได้ 3 พวกคือ

1. มลสารที่มีชีวิต (Biological Contaminants) เช่น พยาธิ แบคทีเรีย ไวรัสต่างๆ ซึ่งสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในดิน

2. มลสารเคมี (Chemical Contaminants) เช่น สารอนินทรีย์บางชนิด ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เกิดดินเค็ม หรืออินทรีย์สารประเภทยาฆ่าแมลง ซึ่งจะถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารและจะเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามลำดับชั้นของผู้บริโภค

3. มลสารกัมมันตรังสี (Rediological Contaminants) เช่น สารจากโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ และเตาปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งหากมีสารเหล่านี้ตกค้างในดินสูง จะมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตบางชนิดเกิดการกลายพันธุ์ได้

1.2.3.5.การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินที่ถูกต้อง ควรจะคำนึงถึง ปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ช่วงเวลาที่เหมาะสม การเก็บตัวอย่างดินสามารถทำได้ตลอดปี สำหรับช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือภายหลังจากเก็บเกี่ยวพืชผลไปแล้วหรือตอนปลายฤดูปลูก

2. ความชื้นในดิน ไม่ควรเก็บตัวอย่างดินในขณะที่ดินยังเปียกมาก หรือมีน้ำขังอยู่ เพราะจะยากแก่การคลุกเคล้าดินให้เข้ากันได้สนิท ความชื้นที่เหมาะสมแก่การเก็บตัวอย่างดินอาจสังเกตได้ คือ เอาดินนั้นมาบีบและ กำให้แน่น เมื่อแบมือออก ดินจะไม่ติดมือ คงจับกันเป็นก้อนและเมื่อบิดออกจะร่วน

3. สถานที่เก็บตัวอย่างดิน ไม่ควรเก็บตัวอย่างดินในบริเวณที่เป็นบ้านเก่า คอกสัตว์เก่า หรือบริเวณที่มีปุ๋ยตกค้างอยู่ เพราะจะทำให้ได้ตัวอย่างที่ไม่แน่นอน

4. เครื่องมือที่ใช้เก็บตัวอย่างดิน

- เครื่องมือสำหรับขุดตัวอย่างดิน เป็นเครื่องมือที่หาได้ทั่วไปตามบ้านเรือน เช่น พลั่ว จอบ และ เสียม หรือ เครื่องมือสำหรับเจาะเก็บ ตัวอย่างดินโดยเฉพาะ เช่น สว่านเจาะ หลอดเจาะ และกระบอกเจาะ เป็นต้น

- ภาชนะสำหรับเก็บตัวอย่างดิน ได้แก่ ถัง กระบุง ฯลฯ ใช้สำหรับเก็บรวบรวมตัวอย่างดิน ที่ขุดแต่ละหลุมและกล่องกระดาษแข็ง หรือถุงพลาสติก สำหรับบรรจุตัวอย่างดิน เพื่อส่งไปห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน

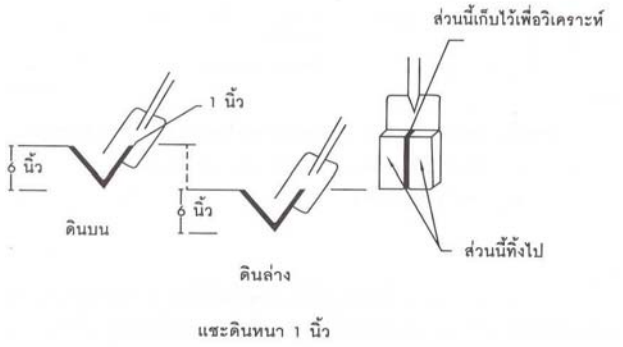
เครื่องมือที่ใช้ขุดดิน และภาชนะบรรจุดิน จะต้องสะอาดไม่มีดิน ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช และวัชพืช หรือผงสกปรกอื่นๆ ติดอยู่ แม้จะเข้าไปปะปนเพียงน้อยนิดก็ตาม

5. ขนาดของแปลงที่จะเก็บตัวอย่างดิน ไม่จำกัดขนาดที่แน่นอน พื้นที่ที่มีความลาดเทแตกต่างกัน ปลูกพืชต่างชนิดกัน เคยใส่ปุ๋ยหรือ หินปูนต่างกัน (หรือกรณีที่มีเนื้อที่มาก) ต้องเก็บแยกกันเป็นคนละตัวอย่าง โดยแบ่งพื้นที่เป็นแปลงแปลงละ 10-20 ไร่

วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

ต้องถางหญ้าหรือกวาดเศษพืชและใบไม้ที่ คลุมดินอยู่ออกทิ้งเสียก่อนแล้วใช้จอบเสียม หรือพลั่วขุดหลุมเป็นรูปตัว V ลึกประมาณ 6 นิ้วฟุต จากผิวดิน (สำหรับการปลูกพืชทุกชนิด)

หลังจากนั้น แล้วจึงแซะเอาดินข้างด้านหนึ่ง หนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร จากปากหลุมขนานลงไปตามหน้าดินที่ขุดไว้ลึกถึงก้นหลุมแล้วงัดขึ้น ดินที่ต้องการก็จะติดตามมากับ พลั่ว จอบ หรือเสียม เอาดินนี้ใส่ถัง หรือกระบุงไว้ ทำอย่างนี้จนครบทุกหลุมโดยปกติแปลง (ภาพประกอบที่ 1.10) ขนาดเนื้อที่ 10-20 ไร่ ควรขุดประมาณ 10-20 หลุม ในที่ต่างๆ กันให้กระจายทั่วแปลงหลังจากขุดดินครบทุกหลุมตามที่ต้องการแล้วทำดินเหล่านี้ให้เป็นก้อนเล็กๆ คลุกเคล้าให้ทั่วสม่ำเสมอแล้วแบ่งดินออกประมาณ 1 กิโลกรัม ใส่กล่องกระดาษแข็ง หรือถุงพลาสติกพร้อมกับเขียนรายละเอียดต่างๆ ใส่ไว้ข้างในและปิดข้างนอกกล่อง หรือถุงพลาสติกด้วย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)



ภาพประกอบที่ 1.10 แสดงวิธีการเก็บตัวอย่างดินจากจุดที่กำหนด
ที่มา : พัชรี, 2549

1.2.4 ปาล์มน้ำมัน

1.2.4.1 ลักษณะพฤกษศาสตร์ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและเป็นพืชยืนต้น (perennial crop) ได้จำแนกปาล์มน้ำมันให้อยู่ในวงศ์ (family) Palmae หรือ Arecaceae (monocotyledon) ปาล์มน้ำมันเป็นพืชผสมข้ามประเภทที่มีช่อดอกตัวผู้และตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน แต่ช่วงเวลาการออกดอกจะไม่พร้อมกัน เป็นพืชดิพลอยด์มีจำนวนโครโมโซม 2n = 2x = 32 และในสกุล (genus) Elaeis ประกอบด้วยปาล์มน้ำมัน 2 ชนิด (species) ได้แก่ ปาล์มน้ำมันชื่อวิทยาศาสตร์ Elaeis guineensis Jacq. ให้ผลผลิตทะลายสูง มีน้ำหนักผล เปลือกนอกต่อผลและผลผลิตน้ำมันสูงส่วนอีก สายพันธุ์ (Species) หนึ่งคือปาล์มน้ำมัน ชื่อวิทยาศาสตร์ Elaeis oleifera มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้และอเมริกากลาง ลักษณะต้นเตี้ยและต้านทานต่อโรคตาเน่า (Lethal bud rot) เปอร์เซ็นต์กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง (unsaturated fatty acid) ค่าไอโอดีนสูง (iodine value) ประมาณ 77-78% รวมทั้งมีวิตามินเอและ

วิตามินอีสูงแต่ให้ผลผลิตและปริมาณน้ำมันน้อยกว่าปาล์มน้ำมัน E.guineensis ปัจจุบันมีประโยชน์ในการเป็นเชื้อพันธุกรรมสำหรับปรับปรุงพันธุ์ โดยการผสมข้ามระหว่าง สายพันธุ์ (Species)

1. ราก ปาล์มน้ำมันมีระบบรากฝอย รากอ่อนจะงอกออกจากเมล็ดเป็นอันดับแรก เมื่อต้นกล้าอายุได้ประมาณ 2-4 เดือน รากอ่อนจะหยุดเจริญเติบโตและหายไป ระบบรากจริงจะงอกจากส่วนฐานของลำต้น ต้นปาล์มที่เจริญเติบโตเต็มที่นั้น ประกอบด้วย รากแรกที่หยั่งลึกลงผิวดิน ช่วยยึดลำต้นบ้างเล็กน้อย และมีรากสอง สามและสี่ที่แตกแขนงออกมาตามลำดับ ทอดไปตามแนวนอน จะเป็นระบบรากสานกันอย่างหนาแน่นอยู่บริเวณผิวดินระดับลึก 30-50 เซนติเมตร

2. ลำต้น ปาล์มน้ำมันมีลำต้นตั้งตรง มียอดเดี่ยวรูปกรวย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-12 เซนติเมตร สูง 2.5-4 เซนติเมตร ประกอบด้วยใบอ่อนและเนื้อเยื่อเจริญ ต้นปาล์มน้ำมันในระยะ 3 ปีแรกจะเจริญเติบโตทางด้านกว้าง หลังจากนั้นลำต้นจะยืดขึ้นปล้องฐานโคนใบ และข้อจะปรากฏให้เห็นก็ต่อเมื่อปาล์มน้ำมันอายุมากแล้ว ทางใบจะติดอยู่กับลำต้นอย่างน้อย 12 ปี หรือมากกว่านั้นแล้วเริ่มหลุดจากใบล่างขึ้นไปทางใบบนลำต้นมีการจัดเรียงตัวเวียนตามแกนลำต้น รอบละ 8 ทางใบ 2 ทิศทาง คือเวียนซ้ายและเวียนขวา เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น ประมาณ 20-75 เซนติเมตร โดยทั่วไปลำต้นมีความสูงเพิ่มขึ้นประมาณ 35-60 เซนติเมตรต่อปี ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและพันธุกรรม ปาล์มน้ำมันมีความสูงได้มากกว่า 30 เมตร และมีอายุยืนนานมากกว่า 100 ปี แต่การปลูกปาล์มน้ำมันเป็นการค้า ไม่ควรมีความสูงเกิน 15-18 เมตร หรืออายุประมาณ 25 ปี

3. ใบ ใบของปาล์มน้ำมันเป็นใบประกอบรูปขนนก (pinnate) แต่ละใบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแกนกลางที่มีใบย่อยอยู่ 2 ข้าง และส่วนก้านทางใบ ซึ่งมีขนาดสั้นกว่าส่วนแรกและมีหนามสั้น ๆ อยู่ 2 ข้างแต่ละทางมีใบย่อย 100-160 คู่ แต่ละใบย่อยยาว 100-120 เซนติเมตร กว้าง 4-6 เซนติเมตร

4. ดอก ปาล์มน้ำมันเป็นพืชผสมข้าม มีดอกเพศเมียและดอกเพศผู้แยกช่อดอกภายในต้นเดียวกัน (monoecious) ที่ตำแหน่งของทางใบมีตาดอก 1 ตา อาจจะพัฒนาเป็นช่อดอกเพศผู้หรือเพศเมีย บางครั้งจะพบว่ามีช่อดอกกะเทยซึ่งมีทั้งดอกเพศผู้และเพศเมียอยู่รวมกัน (hermaphrodite) การบานของดอกปาล์มน้ำมันแต่ละดอกไม่พร้อมกัน การพัฒนาจากระยะตาดอกจนถึงดอกบานพร้อมที่จะรับการผสม (anthesis) ใช้เวลาประมาณ 33-34 เดือน การเปลี่ยนเพศของตาดอก (sex differentiation) จะเกิดขึ้นในช่วง 20 เดือนก่อนดอกบาน ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมช่อดอกจะพัฒนาเป็นช่อดอกเพศเมียเป็นส่วนใหญ่ การผสมเกสรมีลมและแมลงเป็นพาหะ

5. ทะลาย ทะลายปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วย ก้านทะลาย ช่อทะลายย่อย และผล ในแต่ละทะลายมีปริมาณผล 45-70 เปอร์เซ็นต์ ทะลายปาล์มน้ำมันเมื่อสุกแก่เต็มที่ มีน้ำหนักประมาณ 1-60 กิโลกรัม แปรไปตามอายุของปาล์มน้ำมัน และปัจจัยสิ่งแวดล้อมแบบการปลูกเป็นการค้า

ต้องการทะลายที่มีน้ำหนัก 10-25 กก. จำนวนทะลายต่อต้นก็มีความแตกต่างเช่นกัน โดยมีสหสัมพันธ์ทางลบกับน้ำหนักทะลาย

6. ผล ผลปาล์มน้ำมันไม่มีก้านผล (sessile drup) รูปร่างมีหลายแบบ ตั้งแต่รูปเรียวแหลมจนถึงรูปไข่หรือรูปยาวรี ความยาวผลอยู่ระหว่าง 2-5 เซนติเมตร น้ำหนักผลมีตั้งแต่ 3 กรัม จนถึงประมาณ 30 กรัม ประกอบด้วยผิวเปลือกนอก (exocarp) ชั้นเปลือกนอก (mesocarp) เป็นเนื้อเยื่อเส้นใย สีส้มแดงเมื่อสุกและมีน้ำมันอยู่ในชั้นนี้ ปาล์มน้ำมันที่ปลูกเป็นการค้าโดยทั่วไปพบว่ามีสีผลที่ผิวเปลือกนอก 3 ลักษณะ คือ เมื่อผลดิบเป็นสีเขียว จะเปลี่ยนเป็นสีส้มเมื่อสุก (light reddish-orange) เรียกลักษณะนี้ว่า virescens โดยทั่วไปพบน้อยกว่าแบบที่ 2 เรียกว่า nigrescens ผลดิบมีสีดำ ปลายผลมีสีงาช้างจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อสุกแล้ว (deep reddish-orange) แบบที่ 3 เรียกว่า albescens มีสีผิวเปลือกเมื่อสุกเป็นสีเหลืองซีด โดยทั่วไปพบน้อยมาก ผลปาล์มน้ำมัน Elaeis guineensis Jacq. อาจปรากฏว่าต้นปาล์มน้ำมันที่มีลักษณะของผลแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลจากยีนควบคุมความหนาของกะลา 1 คู่ (single gene) จำแนกลักษณะผล (fruit type) ได้ 3 แบบ ดังนี้

1. ดูรา (Dura) มีกะลาหนา 2-8 มิลลิเมตร และไม่มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา มีชั้นเปลือกนอกบาง 35-60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผล มียีนควบคุมเป็นลักษณะเด่น (dominent) $Sh^{+}Sh^{+}$

2. เทเนอรา (Tenera) มีกะลาบาง ตั้งแต่ 0.5-4 มิลลิเมตร มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา มีชั้นเปลือกนอกมาก 60-90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผล ลักษณะเทเนอรา ($Sh^{+}Sh^{-}$) เป็นพันธุ์ทาง (heterozygous) เกิดจากการผสมข้ามระหว่างลักษณะดูรากับพิสิเฟอรา

3. พิสิเฟอรา (Pisifera) ยีนควบคุมลักษณะผลแบบนี้เป็นลักษณะด้อย (recessive, $Sh^{-}Sh^{-}$) ลักษณะผลไม่มีกะลาหรือมีกะลาบาง มีข้อเสีย คือ ช่อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน (abortion) ทำให้ผลฝ่อลีบ ทะลายเล็ก เนื่องจากผลไม่พัฒนา ผลผลิตทะลายต่ำมาก ไม่ใช้ปลูกเป็นการค้า

7. เมล็ด เมล็ดของปาล์มน้ำมันมีลักษณะแข็ง ประกอบด้วย กะลา (endocarp) และเนื้อใน ซึ่งเจริญมาจากไข่ 1-3 อัน บางครั้งพบ 4 อัน ขนาดของเมล็ดขึ้นอยู่กับความหนาของกะลาและขนาดของเนื้อใน บนกะลาจะมีช่องสำหรับงอก (germ pore) 3 ช่อง ในกะลานั้นประกอบด้วยอาหารต้นอ่อน (endosperm) หรือเนื้อใน สีขาวอมเทาซึ่งมีน้ำมันสะสมอยู่ และมีเยื่อ (testa) สีน้ำตาลแก่หุ้มอยู่ โดยมีเส้นใยรองรับระหว่างเยื่อหุ้มกับกะลาอีกชั้นหนึ่งภายในเนื้อในตรงกันข้ามกับช่อง

1.2.4.2 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับปาล์มน้ำมัน

ความสูงจากน้ำทะเลไม่เกิน 300 เมตร ความลาดเอียง 1-12 % ไม่มากกว่า 28 % พื้นที่ไม่มีน้ำท่วมขัง มีการระบายน้ำดี ถึงปานกลาง ลักษณะดิน เป็นดินร่วน หรือดินร่วนปนดิน

เหนียว หรือดินเหนียว มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง ชั้นดินมีความลึกของหน้าดิน มากกว่า 75 เซนติเมตร ไม่มีชั้นดินดาน ความเป็นกรดด่างของดิน 4-6 ระดับน้ำใต้ดินลึก 75-100 เซนติเมตร อุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส เกณฑ์ที่ใช้ประเมินสภาพพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน และปริมาณธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมัน ดังตารางที่ 1.7 และ 1.8

สำหรับความต้องการแสงแดดนั้นโดยทั่วไปปาล์มน้ำมันต้องการแสงแดดอย่างน้อย 5 ชั่วโมง หรือประมาณ 18,000 ชั่วโมงต่อปี ถ้าปลูกปาล์มในสถานที่มีร่มเงา หรือปลูกในสภาพชิดกันเกินไป จะทำให้การผลิตช่อดอกเพศเมียลดลง ทำให้ผลผลิตลดลง ปริมาณน้ำฝนไม่น้อยกว่า 1,800-2,000 มิลลิเมตรต่อปี มีการกระจายของน้ำฝนสม่ำเสมอ มีช่วงแล้งต่อเนื่อง น้อยกว่า 3 เดือนต่อปี มีแหล่งน้ำใกล้เคียงเพื่อใช้ในช่วงแล้ง ในสภาพพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 1,800 มิลลิเมตรต่อปี และมีฤดูแล้งยาวนาน 3–5 เดือน ควรมีการให้น้ำเสริมเพื่อเพิ่มผลผลิตทะลายให้สูงขึ้น สาหรับการติดตั้งระบบน้ำควรพิจารณา ดังนี้

- พื้นที่ที่มีขนดใหญ่ มีแหล่งน้ำเพียงพอ ควรติดตั้งระบบน้ำแบบหยด (Drip Irrigation)
- พื้นที่ที่มีแหล่งน้ำมากเกินพอควรติดตั้งระบบน้ำแบบโปรยน้ำ (Mini Sprinkler)

ตารางที่ 1.7 เกณฑ์ที่ใช้ประเมินสภาพพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน

สมบัติ	สภาพพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน		
	เหมาะสม	ค่อนข้างเหมาะสม	ไม่เหมาะสม
ความลาดชัน (%)	0-12	12-20	>20
การท่วมขังของน้ำ	ไม่มี-เล็กน้อย	เล็กน้อย	มี
การระบายน้ำ	ปานกลาง	ดี	ดีหรือยากเกินไป
ความสามารถในการซึมน้ำของดิน	ปานกลาง	เร็วหรือช้า	เร็วมากหรือช้ามาก
เนื้อดิน	ดินร่วนถึงดินเหนียว	ดินร่วนปนทราย	ดินทรายปนร่วนถึงดินทราย
ความลึกของชั้นหน้าดิน	>75 ซม.	40-75 ซม.	<40 ซม.

ที่มา: ชัยรัตน์ และธีระพงศ์, 2551

ตารางที่ 1.8 ปริมาณธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมัน

ธาตุอาหาร	ปริมาณธาตุอาหารในดิน			
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
pH (1:5, ดิน:น้ำ)	<3.50	4.00	4.20	5.50
Organic C (%)	<0.80	1.20	1.50	2.50
Total N (%)	<0.08	0.12	0.15	0.25
Available P (mg/kg)	<8	15	20	25
Exchangeable K (cmol/kg)	<0.08	0.2	0.25	0.30
ECEC (cmol/kg)	<6	12	15	18

หมายเหตุ: mg/kg = ppm และ cmol/kg = meq/100g.

ที่มา: ดัดแปลงมาจากชัยรัตน์ และธีระพงศ์, 2551

1.2.4.3 การประเมินความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันต้องการธาตุอาหารในปริมาณที่สูง และค่าใช้จ่ายในการใส่ปุ๋ยมีราคาแพง จึงจำเป็นต้องทราบชนิดและอัตราความต้องการปุ๋ย รวมถึงวิธีการและระยะเวลาที่เหมาะสมในการใส่ปุ๋ย เพื่อลดต้นทุนการผลิต วิธีการพื้นฐานในการประเมินความต้องการปุ๋ยของปาล์มน้ำมัน มีดังนี้

วิธีที่ 1: ใช้ลักษณะที่มองเห็นที่ต้นปาล์มแสดงอาการขาดธาตุอาหาร

วิธีที่ 2: ใช้วิธีทางวิทยาศาสตร์ คือ การใส่ปุ๋ยเคมีตามผลการวิเคราะห์ใบปาล์มน้ำมัน

การประเมินความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันโดยวิธีที่ 2 เป็นวิธีที่นิยมและแพร่หลายในปัจจุบัน เพราะสามารถบอกระดับปริมาณความต้องการปุ๋ยของปาล์มน้ำมัน โดยจะต้องเก็บใบที่ถูกต้องมาวิเคราะห์ และพิจารณาปริมาณผลผลิต ติดต่อกันอย่างน้อย 3–4 ปี นอกจากนี้ยังต้องใช้ข้อมูล การใส่ปุ๋ย การสังเกตอาการขาดธาตุอาหารของพืช การเจริญเติบโต และข้อมูลการวิเคราะห์ดิน เพื่อประกอบ การพิจารณาใส่ปุ๋ยต่อไป

ปริมาณความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันจะน้อยในช่วงแรก เนื่องจากต้นปาล์มน้ำมันยังมีขนาดเล็กและอยู่ในระยะตั้งตัว หลังจากนั้นความต้องการธาตุอาหารเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนปาล์มน้ำมันมีอายุ 5 ปี ขึ้นไป ปริมาณธาตุอาหารที่ปาล์มน้ำมันต้องการจะเริ่มคงที่ ซึ่งปริมาณความต้องการธาตุอาหารของปาล์มนั้นในช่วงอายุต่างๆ ดังตารางที่ 1.9

ตารางที่ 1.9 ปริมาณความต้องการธาตุอาหารของปาล์มนั้นในช่วงอายุต่าง ๆ

ช่วงอายุ (ผลรวมปี)	ธาตุอาหาร (กิโลกรัม/เฮกตาร์)				
	N	P	K	Mg	Ca
0-3	39.8	6.1	55.4	7.4	12.9
3-9	191-267	32-42	287-387	48-67	85-114
0-9	1,231-1,720	204-272	1,850-2,487	314-423	361-721

ที่มา: Von Uexkull and Fairhurst, 1991

1. ไนโตรเจน (N)

1.1 ลักษณะอาการขาดไนโตรเจน

ปาล์มน้ำมันที่มีอาการขาดธาตุไนโตรเจน จะมีอัตราการเจริญเติบโตช้า โดยเฉพาะอัตราการผลิตใบใหม่จะลดลง อาการที่พบได้ชัดเจนคือ ใบย่อยของทางใบล่างจะเหลือง ใบจะมีขนาดเล็กลง ถ้าขาดรุนแรงใบจะมีสีเหลือง

1.2 ระยะเวลาของการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

การสูญเสียธาตุอาหารไนโตรเจนอาจเกิดได้จาก การซึมผ่านระบบรากของปาล์มน้ำมัน (Leaching) การไหลบ่าไปกับน้ำบนผิวดิน (Surface runoff) และการระเหิด (Volatilization) ดังนั้นการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนจึงควรต้องใส่อย่างระมัดระวัง

การลดการสูญเสียของไนโตรเจนโดยการระเหิด สำหรับยูเรียไม่ควรใส่ในดินที่แห้ง หรือช่วงที่คาดว่ามีน้ำฝนน้อย (น้อยกว่า 5 มม./วัน) หลังใส่ยูเรีย ทางที่ดีควรใช้ยูเรียในช่วงที่มีฝนชุกพอสมควร (ตั้งแต่ 20 มม./วัน) การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนควรใส่ก่อน 3 - 4 เดือนก่อนเข้าฤดูแล้ง ในการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในแต่ละครั้งไม่ควรเกิน 0.5กก.N/ต้น/ครั้ง (ยูเรียไม่เกิน 1 กก./ต้น/ครั้ง, แอมโมเนียซัลเฟตไม่เกิน 2.5 กก./ต้น/ครั้ง) และไม่ควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในช่วงฝนตกชุกมาก ๆ หรือช่วงน้ำหลากเพื่อลดความสูญเสียจากการซึมผ่านรากไป

เพื่อให้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีประสิทธิภาพมากขึ้น ควรมีข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เช่น ปริมาณน้ำฝน (มม./วัน), จำนวนวันที่ฝนตก เพื่อใช้ในการตัดสินใจ

1.3 บริเวณที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

การสูญเสียไนโตรเจนจะสูญเสียค่อนข้างมากถ้าใส่บนกองซากพืช ในปาล์มน้ำมันอายุไม่เกิน 5 ปี ควรใส่ไนโตรเจนบริเวณรอบโคนต้นที่กำจัดวัชพืชแล้ว ในปาล์มน้ำมันที่มีทรงพุ่มเริ่มชนกัน สามารถหว่านปุ๋ยไนโตรเจนให้กระจายให้ทั่วแม้ในบริเวณระหว่างแถวปาล์มน้ำมันก็ตาม pH ของดินที่ใช้ไนโตรเจนอย่างต่อเนื่องยาวนานจะลดลง เนื่องจากการลดลงของการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity) ซึ่งอาจเป็นผลให้ความสามารถในการเก็บ

ประจุบวก (K^+ และ Mg^+) ลดลงด้วย การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนไม่ควรใส่เป็นแถว หรือ แนวแคบ ๆ เพราะทำให้การสูญเสียสูงขึ้น และทำลายระบบรากของปาล์มน้ำมัน ควรใส่ไนโตรเจนโดยการกระจายให้ทั่ว

2. ฟอสฟอรัส (P)

2.1 ลักษณะอาการขาดฟอสฟอรัส

ปาล์มน้ำมันที่มีอาการขาดธาตุฟอสฟอรัสจะชะงักการเจริญเติบโต ทางใบสั้น สามารถสังเกตจากวัชพืชที่อยู่บริเวณใกล้เคียง เช่น หญ้าคามีสีม่วงอมแดง วัชพืชแคระแกรน พืชคลุมดินจะมีใบเล็กกว่าปกติ

2.2 ระยะเวลาของการใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

เนื่องจากฟอสฟอรัสอาจถูกตรึงไว้โดยอนุภาคของดิน (Clay particle, soil organic matter) การสูญเสียปุ๋ยฟอสฟอรัสจากการซึมผ่านระบบราก (leaching) น้อย ยกเว้นในดินทรายหยาบที่มีส่วนประกอบของอนุภาคดินเหนียว และอินทรียวัตถุน้อย หลังจากใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัสแล้ว ปริมาณฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ยังคงเหลืออยู่บริเวณผิวหน้าดินเป็นส่วนใหญ่ การสูญเสียปุ๋ยฟอสฟอรัสมาจากการพังทลาย (Erosion) และการไหลบ่า (Runoff) ควรให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสในช่วงที่ดินมีความชื้ออย่างพอเพียง เพราะฟอสฟอรัสเคลื่อนที่ได้ช้ามากในดิน

2.3 บริเวณที่ใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส

ในปาล์มน้ำมันอายุไม่เกิน 3 ปีหลังปลูก ควรให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสบริเวณรอบโคนต้นที่มีการกำจัดวัชพืชแล้ว และควรเป็นบริเวณที่มีรากฝอยที่แข็งแรงอยู่มากที่สุด ในปาล์มน้ำมันที่ให้ผลผลิตแล้ว ซึ่งรากของปาล์มน้ำมันสามารถไปไกลได้ถึง 20 - 30 เมตรจากโคนต้น ดังนั้นจึงควรให้ปุ๋ยฟอสฟอรัสโดยหว่านในระหว่างแถวของปาล์มน้ำมันให้ทั่ว หรือบนกองทางปาล์มน้ำมัน ซึ่งจะช่วยลด หรือป้องกันการสูญเสียฟอสฟอรัสจากการไหลบ่า และการพังทลายของดิน

3. โปแตสเซียม (K)

3.1 ลักษณะอาการขาดโปแตสเซียม

ลักษณะอาการขาดโปแตสเซียมค่อนข้างแปรปรวนขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และชนิดของพันธุ์ อาการที่พบโดยทั่วไป คือ

1) ลักษณะเป็นจุดสีส้มตามใบ บางครั้งพบเป็นจุดสีเหลืองซีด อาการเริ่มแรกจะเป็นจุดเหลืองซีดรูปร่างจุดไม่แน่นอนพบในใบย่อยของทางใบล่าง เมื่ออาการรุนแรงจุดเหลืองจะเปลี่ยนเป็นสีส้ม อาการรุนแรงมากขึ้นจุดเนื้อเยื่อตายตรงส่วนกลางของจุดสีส้ม และถ้าพบว่าใบ

ปาล์มน้ำมันทางใบล่างมีลักษณะอาการจุดส้มดังกล่าว แต่แสดงอาการเพียงต้นเดียวในขณะที่ต้นข้างเคียงไม่แสดงอาการให้พิจารณาว่าน่าจะเป็นผลทางพันธุกรรมมากกว่าอาการขาดธาตุโปแตสเซียม

2) อาการใบเหลืองหรือกลางทรงพุ่มเหลือง มักพบในดินทรายและดินอินทรีย์หรือดินพรุ โดยเฉพาะในช่วงที่ขาดน้ำอย่างรุนแรงใบย่อยของทางใบกลางจนถึงทางใบล่างมีอาการสีเหลืองส้ม ถ้าอาการขาดโปแตสเซียมรุนแรงจะพบใบย่อยของทางใบล่างแห้งเพิ่มขึ้น และตายในที่สุด

3) อาการตุ่มแผลสีส้ม อาการเริ่มแรกจะมีลักษณะเป็นแถบสีเขียวมะกอกในใบย่อยของทางใบล่างของปาล์มน้ำมัน เมื่ออาการขาดโปแตสเซียมอย่างรุนแรง สีใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้ม น้ำตาลอมส้ม และตายในที่สุด

4) แถบใบขาว มีลักษณะคล้ายแท่งดินสอ มักพบตรงส่วนกลางของใบย่อยปาล์มน้ำมันอายุ 3 - 6 ปี อาการนี้อาจมีสาเหตุมาจากความไม่สมดุลของธาตุอาหาร เนื่องจากปาล์มน้ำมันได้รับไนโตรเจนมากไปหรือได้รับโปแตสเซียมน้อยไป

3.2 ระยะเวลาของการใส่ปุ๋ยโปแตสเซียม

สามารถให้ปุ๋ยโปแตสเซียมได้ตลอดปี แม้ในสภาพแห้งแล้ง หรือชุ่มชื้น อย่างไรก็ตามควรหลีกเลี่ยงการใช้ปุ๋ยโปแตสเซียมในช่วงฝนตกหนัก หรือน้ำหลากที่จะทำให้โปแตสเซียมสูญเสียไปกับการไหลบ่า และการซึมผ่าน

3.3 บริเวณที่ใส่ปุ๋ยโปแตสเซียม

บริเวณที่เป็นจุดมุ่งหมายในการให้ปุ๋ยโปแตสเซียม เป็นจุดที่ปุ๋ยโปแตสเซียมจะสัมผัสกับรากปาล์มน้ำมันได้ง่ายที่สุด ในปาล์มน้ำมันเล็กควรให้ปุ๋ยโปแตสเซียมในบริเวณรอบทรงพุ่มที่กำจัดวัชพืชแล้ว ในทางตรงกันข้าม สำหรับปาล์มน้ำมันที่ให้ผลผลิตแล้ว การให้ปุ๋ยโปแตสเซียม ควรหว่านให้กระจายให้ทั่ว ยกเว้นบริเวณโคนต้นที่เว้นไว้สำหรับเก็บลูกร่วง ซึ่งเป็นวิธีที่จะช่วยลดการสูญเสียโปแตสเซียมได้มากกว่า การหว่านปุ๋ยโปแตสเซียมในบริเวณที่กำจัดวัชพืชซ้ำ ๆ อยู่เป็นประจำในดินที่มีค่า CEC ต่ำ ดินจะถึงจุดอิ่มตัวด้วยโปแตสเซียมได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น

4. แมกนีเซียม (Mg)

4.1 ลักษณะอาการขาดแมกนีเซียม

ปาล์มน้ำมันที่มีอาการขาดธาตุแมกนีเซียมทางใบล่างจะมีสีเหลืองเริ่มจาปลายใบและขอบใบย่อย บริเวณที่มีสีเหลืองจะเห็นชัดเจนเมื่อถูกแสงแดดส่วนที่ไม่ถูกแสงแดดจะยังมีสี

เขียว การขาดแมกนีเซียมมักพบมากในดินที่มีแมกนีเซียมต่ำและมีความเป็นกรดจัด ในบางกรณีเกิดจากธาตุอาหารในดินไม่สมดุลระหว่าง แมกนีเซียม กับโพแทสเซียม หรือแมกนีเซียมกับแคลเซียม ทาให้พืชไม่สามารถ ดูดแมกนีเซียมไปใช้ได้ดีเท่าที่ควร เช่น ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน หรือปุ๋ยโพแทสเซียม หรือปุ๋ยที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่มากเกินไป เป็นต้น วิธีแก้ไขสาหรับอาการที่เกิดจุดประสีส้มบนใบที่แก่ หรือรุนแรงจนปลายใบและขอบใบแห้ง ให้ใส่โพแทสเซียมคลอไรด์ อัตรา 2.5–3.5 กิโลกรัม/ต้น/ปี สาหรับต้นปาล์มที่ให้ผลผลิตแล้ว ในบางกรณีให้ใส่กลีเซอร์ไรท์ 1–2 กิโลกรัม/ต้น จะช่วยให้อาการขาดแมกนีเซียมดีขึ้น

4.2 ระยะเวลาของการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม

การสูญเสียประจุบวก (เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+}) ส่วนใหญ่เกิดในเขตร้อนชื้น ที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าปริมาณคายระเหย ในขณะที่ดินมีค่า CEC ต่ำ เช่นในดิน Rhodic Paleudult ที่ที่ปริมาณ น้ำฝนมากกว่า 1,900 มม./ปี เพราะการสูญเสียแมกนีเซียมในดินอยู่ในช่วง 7.68 กก.Mg/ไร่ ในปาล์มน้ำมันเล็ก (อายุ 4 ปีหลังปลูก) ถึง 4.8 กก.Mg/ไร่ในปาล์มน้ำมันที่ให้ผลผลิตแล้ว (22 ปีหลังปลูก) ดังนั้นเพื่อลดการสูญเสียให้น้อยที่สุดจึงไม่ควรใส่ปุ๋ยในช่วงฝนตกชุก และควรแบ่งการใส่ปุ๋ยออกเป็นหลาย ๆ ครั้ง โดยใส่ปุ๋ยแมกนีเซียมก่อนการใช้โปแตสเซียม เพื่อหลีกเลี่ยงปฏิกิริยาความขัดแย้งซึ่งกันและกัน และเพื่อให้เป็นการใช้ปุ๋ยโปแตสเซียม และแมกนีเซียม อย่างมีประสิทธิภาพ

4.3 บริเวณที่ใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม

การลดความสูญเสียของการใส่ปุ๋ยแมกนีเซียม สามารถทำได้โดยการให้รากของปาล์มน้ำมัน และปุ๋ยสัมผัสกันมากที่สุด ด้วยการหว่านปุ๋ยให้กระจายให้ทั่ว ในปาล์มน้ำมันเล็กให้หว่านปุ๋ยแมกนีเซียมบริเวณที่กำจัดวัชพืชแล้ว ในปาล์มน้ำมันที่ให้ผลผลิตแล้ว ควรหว่านปุ๋ยแมกนีเซียมให้ทั่วผิวหน้าดิน ยกเว้นโคนต้นที่ไว้เก็บลูกร่วง

การหว่านโดโลไมท์ควรหว่านในระหว่างแถวของปาล์มน้ำมัน ในกรณีที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่มีความเป็นกรดสูงในปริมาณมาก ๆ ทำให้ pH ของดินต่ำลง การใส่ปูนโดโลไมท์บริเวณโคนต้นที่กำจัดวัชพืช จะทำให้อัตราการปลดปล่อยแมกนีเซียมสูงขึ้น และไม่ควรใส่ปุ๋ยยูเรียทันที หลังจากหว่านโดโลไมท์ เพราะจะทำให้การสูญเสียไนโตรเจนสูงขึ้น

1.2.4.4 วิธีการเก็บเกี่ยวผลปาล์มสดรวมถึงการรวมผลปาล์มส่งโรงงาน

มีขั้นตอนโดยทั่วไปดังนี้

- ตกแต่งช่องทางลำเลียงระหว่างแถวปาล์มในแต่ละแปลงให้เรียบร้อยสะดวกกับการตัดการลำเลียง และการตรวจสอบทะลายปาล์มที่ตัด แล้วออกสู่แหล่งรวมหรือศูนย์รวมผลปาล์ม

ที่กำหนดขึ้นแต่ละจุดภายในสวน ข้อควรระวังในการตกแต่งช่องทางลำเลียงปาล์ม คือจะต้องไม่ตัดทางปาล์มออกอีก เพราะถือว่าการตกแต่งทางปาล์มได้กระทำไปตามเทคนิคและขั้นตอนแล้ว หากมีทางใบอันใดกีดขวาง ก็อาจดึงหรือแหวกให้สะดวกในการทำงาน

- สำหรับกองทางใบที่ตัดแล้วอย่าให้กีดขวางทางเดิน หรือปิดกั้นทางระบายน้ำจะทำให้เกิดน้ำท่วมขัง ระบายน้ำที่ขังตามทางเดิน

- คัดเลือกทะลายปาล์มสุกโดยยึดมาตรฐานจากการดูสีของผล ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีส้มแดงและจำนวนผลสุกที่ร่วงหล่นลงบนดินประมาณ 10-12 ผลให้ถือเป็นผลปาล์มสุกที่ใช้ได้

- หากปรากฏว่าทะลายปาล์มสุกที่จะคัดมีขนาดใหญ่ ที่ติดแน่นกับลำต้นมากไม่สะดวกกับการใช้เสียมแทงเพราะจะทำให้ผลร่วงมาก ก็ใช้มีดขอหรือมีดด้ามยาวธรรมดา ตัดแซะขั้วทะลายกันเสียก่อน แล้วจึงใช้เสียมแทงทะลายปาล์มก็จะหลุดออกคอต้นปาล์มได้ง่ายขึ้น

- ให้ตัดแต่งขั้วทะลายปาล์มที่ตัดออกมาแล้วให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อสะดวกในการขนส่ง หรือเมื่อถึงโรงงาน ทางโรงงานก็จะบรรจุลงในถังต้มลูกปาล์มได้สะดวก

- รวบรวมผลปาล์มทั้งที่เป็นทะลายย่อยและลูกร่วงไว้เป็นกองในที่ว่างโคนต้นเก็บผลปาล์มร่วงใส่ตะกร้าหรือเข่ง กรณีต้นปาล์มมีอายุน้อยทางใบปาล์มอาจรบกวน ทำให้เก็บยาก

- รวบรวมผลปาล์มทั้งทะลายสดและผลปาล์มร่วงไปยังศูนย์รวมผลปาล์มในกองย่อย เช่น ในกระบะบรรทุกที่ลากด้วยแทรกเตอร์หรือรถอีแต๋น

- การเก็บเกี่ยวผลปาล์ม ฝ่ายสวนจะต้องสนับสนุนให้ผู้เก็บเกี่ยวร่วมทำงานกันเป็นทีม ในทีมก็แยกให้เข้าคู่กัน 2 คน คนหนึ่งตัดหรือแทงปาล์มอีกคนเก็บรวบรวมผลปาล์ม

- การเก็บรวบรวมผลปาล์ม พยายามลดจำนวนครั้งในการถ่ายเทย่อย ๆ เมื่อผลปาล์มชอกช้ำมีบาดแผลปริมาณของกรดไขมันอิสระจะเพิ่มมากขึ้น การส่งปาล์มออกจากสวนควรมีการตรวจสอบลงทะเบียนมีตาข่ายคลุมเพื่อไม่ให้ผลปาล์มร่วงระหว่างทาง
(http://www.doae.go.th/plant/palm.htm)

1.2.5 น้ำท่า

น้ำท่า คือ น้ำไหลในแม่น้ำลำธาร เกิดจากน้ำฝนที่ตกลงมาในพื้นที่รับน้ำ บางส่วนสูญเสียไป ส่วนที่เหลือก็จะไหลไปยังที่ลุ่มลงสู่แม่น้ำ ลำธาร กลายเป็นน้ำท่า ร้อยละ 75 จะสูญเสียไปเนื่องจากการระเหยกลายเป็นไอน้ำ เมื่อซึมลงสู่ใต้ดินกลายเป็นน้ำใต้ดินและน้ำบาดาล และขังอยู่ตามแหล่งน้ำต่างๆ น้ำที่เหลือประมาณร้อยละ 25 จะไหลลงสู่แม่น้ำลำธารไปเป็นน้ำท่า (http://student.nu.ac.th/science/nature/) แล้วไหลรวมอยู่ตามแหล่งน้ำใต้ดิน หรือน้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำ ลำคลอง ห้วย หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ บ่อน้ำต่าง ๆ ข้อมูลที่เกี่ยวกับน้ำท่ามีความสำคัญมาก

สำหรับการวิเคราะห์ และการออกแบบองค์ประกอบต่าง ๆ ของงานพัฒนาแหล่งน้ำ เช่น อาคารควบคุมน้ำ, อ่างเก็บน้ำ และคลองส่งน้ำ (http://tsunami.deqp.go.th/Strom.asp)

น้ำผิวดิน (Surface Water) น้ำผิวดินเป็นองค์ประกอบหนึ่งของวัฏจักรของน้ำเกิดจากน้ำฝนที่ตกลงมามีการสะสมตัวกันอยู่บริเวณพื้นผิวดิน ซึ่งฝนที่ตกลงมาในระยะแรกน้ำมักจะซึมลงไปในดินก่อนจนกระทั่งดินอิ่มตัวแล้วจึงมีน้ำแช่ขังอยู่ตามลุ่มน้ำหรือแหล่งน้ำขนาดเล็ก ลักษณะการไหลของน้ำผิวดินบนโลกแบ่งเป็นลักษณะการไหลแบบแผ่ซ่าน (Sheet Flow) โดยไหลไปตามความลาดเอียงของพื้นผิว และมีระดับความลึกไม่มาก ประเภทที่สอง คือ การไหลตามร่อง (Channel Flow) หรือเป็นลักษณะการไหลของน้ำไปตามลำธาร ซึ่งเป็นน้ำผิวดินที่ดังที่ได้ศึกษามาแล้ว น้ำผิวดินนับเป็นแหล่งน้ำที่มีประโยชน์มากต่อมนุษย์ ในด้านการดำรงชีวิต แหล่งน้ำผิวดินออกจากจะเป็นส่วนของน้ำฝนที่ตกลงสู่ผิวดินแล้วยังหมายรวมถึงส่วนของน้ำที่ไหลล้นออกจากใต้ดินเข้ามาสมทบด้วย ปริมาณของน้ำผิวดินจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมายังพื้นที่นั้น ๆ ด้วย ซึ่งน้ำผิวดินสามารถกำหนดประเภทได้ดังตารางที่ 1.10 สำหรับลักษณะน้ำผิวดินทั่วไปเราสามารถแยกพิจารณาได้ดังนี้

อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) เป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่รองรับน้ำจากน้ำฝนที่ไหลจากพื้นที่ที่สูงกว่าลงมารวมกันในอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นอ่างเก็บน้ำเราหมายถึง ทะเลสาบน้ำจืด ที่สร้างขึ้นโดยการก่อสร้างเขื่อนขวางปิดกั้นลำน้ำธรรมชาตินั่นเอง

แม่น้ำ ลำคลอง (Stream and River) แหล่งน้ำผิวดินประเภทนี้เกิดจากการเซาะพังของลำคลองหรือแม่น้ำในเวลาเดียวกัน แหล่งน้ำผิวดินประเภทนี้มักไหลตามความลาดชันของสภาพภูมิประเทศลงสู่ทะเล

น้ำผิวดินอื่น ๆ (Other) ได้แก่ ระดับน้ำผิวดินที่มีการแช่ขังอยู่เกือบจะไม่มีทางระบายออกไปสู่บริเวณอื่น ๆ และมีพืชน้ำขึ้นผสมปะปนอยู่ โดยเฉพาะบริเวณน้ำตื้น เช่น “มาบ” หรือ “ที่ลุ่มน้ำขัง” (Swamp) พบมากบริเวณที่ราบภาคกลางของไทย “ที่ลุ่มชื้นแฉะ” (Marsh) หมายถึง พื้นที่ที่มีระดับน้ำตื้น ๆ พอที่พืชน้ำจะขึ้นได้อย่างกระจัด กระจายทั่วไป แต่จะมีความหนาแน่นไม่มากนัก “พรุ” (Bog) เป็นบริเวณแหล่งน้ำผิวดินที่ชื้นแฉะมีพืชน้ำขึ้นปกคลุมหนาแน่น พืชบางส่วนที่ ตายจะสะสมตัวอยู่ใต้น้ำ บางส่วนกลายเป็นโคลนหนามีซากพืชสัตว์ทับถม (http://www.rmutphysics.com/charud/naturemystery/sci3/geology/8/index_ch_8-1.htm)

ตารางที่ 1.10 การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดิน

ประเภทแหล่งน้ำ	การใช้ประโยชน์
ประเภทที่ 1	ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน (2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน (3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ
ประเภทที่ 2	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ (3) การประมง (4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ
ประเภทที่ 3	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การเกษตร
ประเภทที่ 4	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน (2) การอุตสาหกรรม
ประเภทที่ 5	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537

1.3 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาลักษณะของดินในสวนปาล์มน้ำมันที่ใช้การบำบัดโดยดินแบบ ระบบอัตราไหลช้า (Slow-rate Irrigation) สำหรับน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น

2) เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำท่าบริเวณรอบ ๆ พื้นที่ และภายในสวนปาล์มที่ใช้การบำบัดโดยดินแบบ ระบบอัตราไหลช้า (Slow-rate Irrigation) สำหรับน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น

3) เพื่อประเมินผลผลิตเบื้องต้นของปาล์มน้ำมันในสวนปาล์มที่มีการใช้การบำบัดโดยดินสำหรับน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้ข้อมูลเรื่องของลักษณะดินในพื้นที่ที่ศึกษา

2) ได้ข้อมูลเรื่องของลักษณะน้ำท่าในพื้นที่ และภายในสวนปาล์มที่ศึกษา

3) ได้ข้อมูลผลผลิตของปาล์มน้ำมันในพื้นที่ที่ศึกษาและในพื้นที่สวนปาล์มน้ำมันทั่วไป

4) ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นหลังจากการบำบัดโดยดินแบบระบบอัตราไหลช้าในสวนปาล์มน้ำมันและแนวทางในการป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นหากมีผู้สนใจนำการบำบัดโดยดินแบบระบบอัตราไหลช้าในสวนปาล์มน้ำมันไปใช้

บทที่ 2
วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาลักษณะของดินในแปลงทดลองในพื้นที่สวนปาล์มน้ำมัน และลักษณะของน้ำท่าบริเวณรอบ ๆ ในพื้นที่สวนปาล์มน้ำมันของบริษัทวงศ์บัณฑิต อ. อ่าวลึก จังหวัดกระบี่ ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง ณ ห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และตัวอย่างดินวิเคราะห์ค่า Soil Texture, P, K, Ca, Mg, Na, Zn และ Cation Exchange Capacity (CEC) ที่ศูนย์ปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับตัวอย่างน้ำทิ้งและตัวอย่างน้ำท่าวิเคราะห์ค่า K, Ca, Mg, Na, และ Zn ที่หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งมีรายละเอียดของการดำเนินการวิจัย ดังนี้

2.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อลักษณะของดินในพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้ง (ผ่านบ่อเติมอากาศ 2 บ่อ) จากโรงงานน้ำยางข้นและน้ำท่าบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ที่ได้รับน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น รวมทั้งผลกระทบที่มีต่อปริมาณผลผลิตของปาล์มน้ำมันที่มีการรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น ซึ่งมีรายละเอียดของการดำเนินการวิจัย ดังนี้

ภาพประกอบที่ 2.1 บ่อเติมอากาศของ บ.วงศ์บัณฑิต อ.อ่าวลึก จ.กระบี่

(1) ตรวจสอบคุณสมบัติน้ำทิ้ง (ผ่านบ่อเติมอากาศ 2 บ่อ) จากโรงงานน้ำยางข้นของบริษัทวงศ์บัณฑิต อ. อ่าวลึก จังหวัดกระบี่ เพื่อให้ได้ข้อมูลของลักษณะน้ำทิ้งที่จะทำการทดลอง รวมทั้งตรวจสอบคุณสมบัติน้ำทิ้งจากบ่อสุดท้ายของโรงงานน้ำยางข้นที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น (ตารางที่ 3.1) ของโรงงานน้ำยางข้นโรงงานอื่นในภาคใต้อีก 6 โรงงานจำนวน 1 ครั้ง โดยใช้

วิธีการเก็บแบบจ้วง (Grab Sampling) โรงงานละ 1 ตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้เก็บไว้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำมาเป็นข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างกันของคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นแต่ละโรงงาน โดยวิธีวิเคราะห์ระบุรายละเอียดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น

ตัวแปรคุณภาพน้ำ	หน่วย	วิธีการวิเคราะห์
pH	-	Electrometric Method[1]
Temperature	°C	Electrometric Method[1]
Conductivity	mS/cm	Electrometric Method[1]
TDS	mg/L	Gravimetric Method[1]
TS	mg/L	Gravimetric Method[1]
SS	mg/L	Gravimetric Method[1]
BOD_5 (Biochemical Oxygen Demand)	mg/L	Azide Modification Method[1]
COD (Chemical Oxygen Demand)	mg/L	Closed Reflux Method[1]
TKN	mg/L	Kjeldahl Method[1]
NH_3-N	mg/L	Kjeldahl Method[1]
NO_2-N	mg/L	Spectrophotometer Method[1]
NO_3-N	mg/L	Spectrophotometer Method[1]
Org-N	mg/L	Kjeldahl Method[1]
TP (Total Phosphate)	mg/L	Stannous Chloride Method[1]
Zn	mg/L	In house Method[2,3]
SO_4^{2-}	mg/L	Gravimetric Method[1]
Na	meq/L	ICP-OES[3]
Ca	meq/L	ICP-OES[3]
Mg	meq/L	ICP-OES[3]
SAR	-	*

ที่มา: [1] APHA, AWWA. and WEF, 2005

[2] T-2 based on Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA &WEF, 21st ed., 2005, part 3120 A.

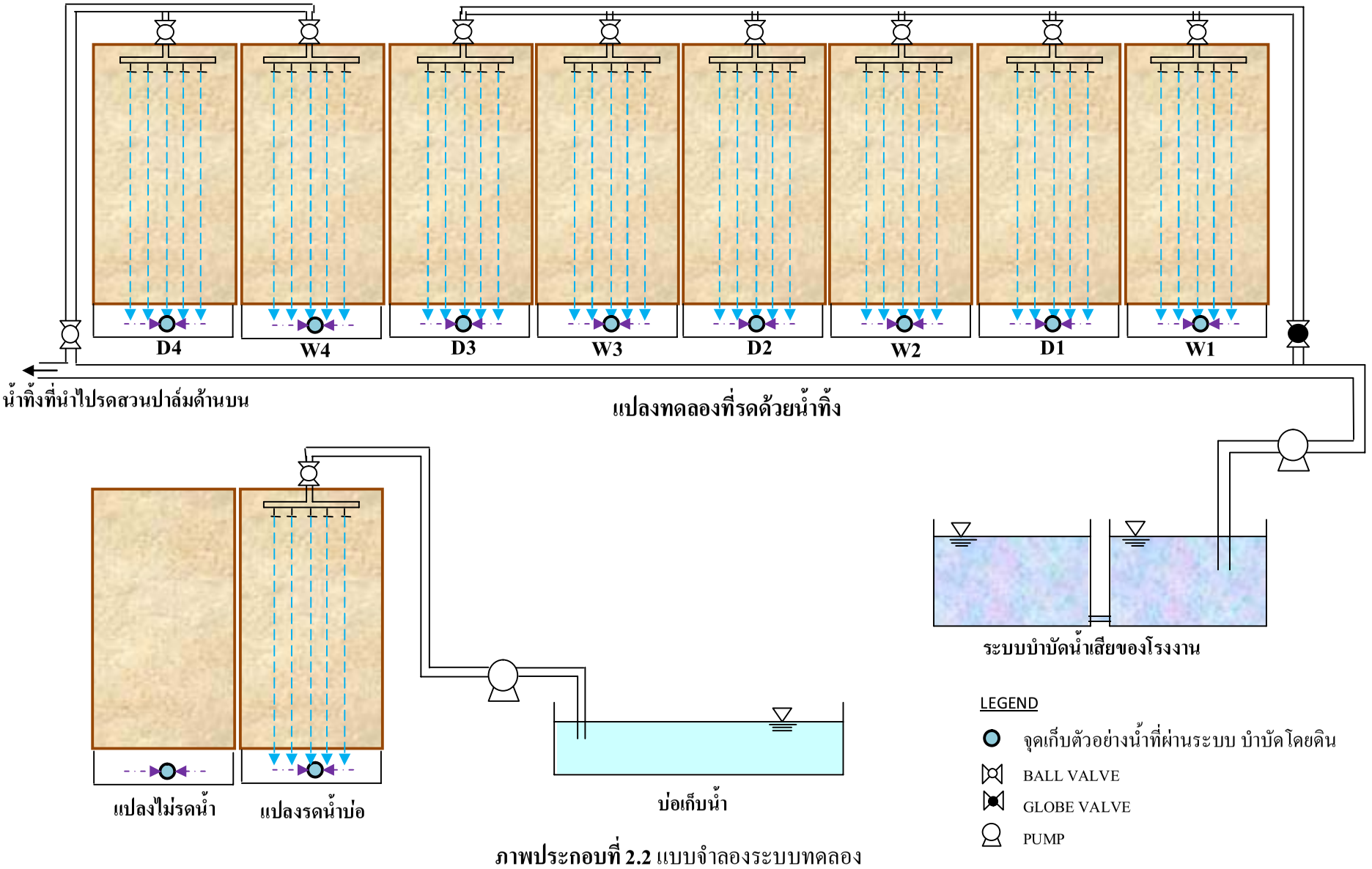
[3] ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* $SAR = Na/((Ca + Mg)/2)^{1/2}$

(2) ศึกษาระบบและวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยดิน (Land treatment systems) เพื่อให้สามารถเลือกใช้ระบบของวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยดิน ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยดินแต่ละระบบ และให้เหมาะสมกับลักษณะของเนื้อดิน รวมทั้งศึกษาข้อมูลวิธีการปลูก การดูแลรักษาปาล์ม และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

(3) แปลงทดลองที่ศึกษาเป็นแปลงทดลองที่สร้างขึ้นจากงานวิจัยเรื่อง “การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นโดยใช้การบำบัดโดยดินในสวนปาล์มน้ำมัน” (พัชร,2554) ซึ่งมีจำนวน 10 แปลง แบ่งเป็นแปลงควบคุม 2 แปลง รดด้วยน้ำบ่อ 1 แปลง และไม่รดน้ำ 1 แปลง อีกจำนวน 8 แปลงที่เหลือรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นโดยการเติมอากาศสองบ่อของบริษัทวงศ์บัณฑิต อ. อ่าวลึก จังหวัดกระบี่ แต่ละแปลงทดลองมีปาล์มน้ำมันจำนวน 30 ต้น มีอายุประมาณ 20 ปี มีคันดินกั้นระหว่างแปลงทดลองแต่ละแปลงขนาด กว้าง 0.5 ม. สูง 0.15 ม. แต่ละแปลงมีความชันประมาณ 4% มีการวางแนวท่อเพื่อใช้ในการรดน้ำทิ้งด้านบนของแนวลาดเทและมีรางรับน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยดินไว้ด้านล่างแนวลาดเทของแปลงทดลอง ตรงกลางรางรับน้ำมีการขุดหลุมไว้เพื่อใช้เป็นจุดเก็บรวบรวมน้ำ

(4) สำหรับ 8 แปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น ทำการทดลองโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นมารดด้วยอัตราการรดน้ำที่แตกต่างกันตามทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียโดยดินแบบอัตราไหลช้า (Slow-rate Irrigation) โดยศึกษาที่ 4 ภาระบรรทุก และแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง โดยรดน้ำวันละครั้ง 1 ชุด และ 7 วัน/ครั้ง 1 ชุด โดยภาระบรรทุกที่ต่างกันระบุรายละเอียดดังตารางที่ 2.2 และ 2.3 แปลงควบคุมมี 2 แปลง เป็นแปลงที่ไม่รดน้ำ 1 แปลง และรดน้ำจากบ่อเก็บกักน้ำฝน 7 วัน/ครั้ง 1 แปลง (รดโดยใช้อัตราการรดน้ำสูงสุดของแปลงที่รดสัปดาห์ละครั้ง) ซึ่งมีข้อมูลเปรียบเทียบจากทางบริษัทวงศ์บัณฑิตที่ใช้รดต้นปาล์มอยู่ก่อน (โดยใช้อัตราการรดน้ำเสีย 200 ลิตร/ต้น/วัน)



ภาพประกอบที่ 2.2 แบบจำลองระบบทดลอง

ภาพประกอบที่ 2.3 พื้นที่แปลงทดลอง

ภาพประกอบที่ 2.4 คันดินกั้นระหว่างแปลง

ภาพประกอบที่ 2.5 แนวท่อที่ใช้ในการรดน้ำทิ้ง

ภาพประกอบที่ 2.6 รางรับน้ำ

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลแปลงทดลองที่รดน้ำทิ้งทุกวัน

แปลงที่รดทุกวัน	Hydraulic Loading (cm/wk)	ขนาดพื้นที่ (m^2)	อัตราการรดน้ำ (m^3/d)	BOD_5 Loading ($g/m^2.d$)	COD Loading ($g/m^2.d$)	TKN Loading ($g/m^2.d$)	N Loading ($g/m^2.d$)	P Loading ($g/m^2.d$)	K Loading ($g/m^2.d$)
D1	3	2,027	8.7	10.2	22.8	4.6	4.6	1.6	0.11
D2	2	1,871	5.4	6.9	15.3	3.1	3.1	1.1	0.08
D3	1	2,094	3.0	3.4	7.6	1.6	1.6	0.6	0.04
D4	0.5	2,068	1.5	1.7	3.9	0.8	0.8	0.3	0.02
เกณฑ์การออกแบบตามทฤษฎี (US.EPA., 2006; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2553)	2.5-10	-	-	5-50	-	0.34-0.47	0.34-0.47	0.02-0.51	0.03-0.68

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลแปลงทดลองที่รดน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง

แปลงที่รดสัปดาห์ละครั้ง	Hydraulic Loading (cm/wk)	ขนาดพื้นที่ (m^2)	อัตราการรดน้ำ (m^3/wk)	BOD_5 Loading ($g/m^2.wk$)	COD Loading ($g/m^2.wk$)	TKN Loading ($g/m^2.wk$)	N Loading ($g/m^2.wk$)	P Loading ($g/m^2.wk$)	K Loading ($g/m^2.wk$)
W1	3	1,871	56.1	71.5	159.4	32.4	32.4	11.6	0.77
W2	2	2,420	48.4	47.7	106.3	21.6	21.6	7.7	0.51
W3	1	2,464	24.6	23.8	53.1	10.8	10.8	3.9	0.26
W4	0.5	2,130	10.7	12.0	26.7	5.4	5.4	1.9	0.13
เกณฑ์การออกแบบตามทฤษฎี (US.EPA., 2006; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2553)	2.5-10	-	-	35-350	-	2.38-3.29	2.36-3.30	0.13-0.18	3.54-4.77

(5) เนื่องจากในน้ำทิ้งมีปริมาณสารอินทรีย์ และสารเคมีสูง ดังนั้นในการนำน้ำทิ้งมารดสวนปาล์มน้ำมันจึงอาจส่งส่งผลกระทบต่อลักษณะของดินได้ ก่อนการทดลองมีการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ลักษณะดินก่อนทำการทดลองแปลงละ 1 ครั้ง เก็บแปลงละ 1 ตัวอย่าง เพื่อให้ทราบลักษณะของดินก่อนการรดด้วยน้ำทิ้ง โดยมีวิธีการเก็บต้องถางหญ้าหรือกวาดเศษพืชและใบไม้ที่ คลุมดินอยู่ออกทิ้งเสียก่อนแล้วใช้จอบ ขุดหลุมเป็นรูปตัว V ลึกประมาณ 15 เซนติเมตร จากผิวดิน (สำหรับการปลูกพืชทุกชนิด) หลังจากนั้น แล้วจึงแซะเอาดินข้างด้านหนึ่ง หนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร จากปากหลุมขนานลงไปตามหน้าดินที่ขุดไว้ลึกถึงก้นหลุมแล้วงัดขึ้น ดินที่ต้องการก็จะติดตามมากับจอบ เอาดินนี้ใส่ถัง ทำอย่างนี้จนครบทุกหลุม ขุดประมาณ 5 หลุม ในที่ต่างๆ กัน ให้กระจายทั่วแปลงหลังจากขุดดินครบทุกหลุมตามที่ต้องการแล้วทำดินเหล่านี้ให้เป็นก้อนเล็กๆ คลุกเคล้าให้ทั่วสม่ำเสมอแล้วแบ่งดินออกประมาณ 1 กิโลกรัม ใส่ถุงพลาสติก ทำการอบดินให้แห้งและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 10 จากนั้นนำดินส่วนที่ร่อนได้มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2551)ดินในพื้นที่ที่ทำการทดลองเป็น ชุดดินอ่าวลึก (Ao Luk series: Ak) ซึ่งอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 26 มีระดับวงศ์ดินอยู่ใน very fine, kaolinitic, isohyperthermic Rhodic Kandiustox เกิดจากการสลายตัวของหินดินดาน หินฟิลไลต์ หรือหินอื่นๆ ในตระกูลเดียวกัน ในบริเวณที่มีอิทธิพลของหินปูนเข้ามาเกี่ยวข้อง สภาพพื้นที่ที่พบมีลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดชั้น 3-5 เปอร์เซ็นต์ ชุดดินนี้เป็นดินลึกมาก มีการระบายน้ำดี ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง ตามปกติแล้วระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 1 เมตร ตลอดปี

ดินบนลึกไม่เกิน 20 เซนติเมตร มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว สีพื้นเป็นสีเข้มของน้ำตาลปนแดง ปฏิกิริยาของดินเป็นกรดปานกลางถึงกรดจัดมาก (pH 5.0-6.0) ส่วนดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว สีพื้นเป็นสีแดง หรือสีแดงเข้ม ปฏิกิริยาของดินเป็นกรดปานกลางถึงกรดจัดมาก (pH 5.0-6.0) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

จากนั้นระหว่างการทดลองเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ลักษณะดิน 1 ครั้ง (ทำเช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลอง) เพื่อให้ทราบลักษณะของดินที่เปลี่ยนแปลงไป และเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ลักษณะดิน 1 ครั้ง เพื่อให้ทราบผลกระทบต่อลักษณะของดินภายในระยะเวลาที่ศึกษา (การเก็บตัวอย่างดินระหว่าง และหลังการทดลอง กระทำเช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างดินก่อนการทดลอง) โดยพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะของดินระบุรายละเอียดดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะตัวอย่างดิน

ตัวแปรคุณภาพดิน	หน่วย	วิธีการวิเคราะห์
เนื้อดิน (Soil Texture)	-	Hydrometer Method[1]
pH	-	Electrometric Method[2]
Conductivity	mS/cm	Electrometric Method[2]
Organic Matter	g/kg	Walkley- Black Method[2]
TN	mg/kg	Kjeldahl Method[2]
Available P	mg/kg	Bray II Method[1]
Available K	mg/kg	Cold H_2SO_4 Extract Method[1]
Zn	mg/kg	DTPA Extract Method[1]
Exchangeable K	meq/100g	Ammonium Acetate Extract Method[1]
Exchangeable Ca	meq/100g	Ammonium Acetate Extract Method[1]
Exchangeable Mg	meq/100g	Ammonium Acetate Extract Method[1]
Exchangeable Na	meq/100g	Ammonium Acetate Extract Method[1]
ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity)	(cmolc/kg)	Ammonium Saturation Method[1]
ความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (Base Saturation)	%	-

ที่มา : [1] ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์ปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[2] จำเป็น, 2547

สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะของเนื้อดินวิเคราะห์โดยใช้วิธีการประเมินเชิงปริมาณ (quantitative method) ซึ่งเป็นการประเมินเนื้อดินโดยสามารถทราบปริมาณของอนุภาคดินเหนียว (clay) ดินทรายแป้ง (silt) และดินทราย (sand) ได้แน่นอน เป็นวิธีการที่ละเอียดอาศัยเครื่องมือต่างๆ และปฏิบัติกันในห้องปฏิบัติการ วิธีที่นิยมใช้กันเรียกว่า วิธีการวิเคราะห์แบบเชิงกล (mechanical analysis) โดยจะทำการการแยกส่วนที่เป็นอนินทรีย์สาร (หินแร่) ออกจากส่วนอื่นๆ ของดินให้หมด จากนั้นตากหรืออบดินให้แห้ง ทำการบดดินที่แห้งแล้วให้เม็ดดินแตกตัว หลังจากนั้นทำการแยกอนุภาคทั้ง 3 กลุ่มขนาดออกจากกัน (clay, silt, sand) ชั่งน้ำหนักของอนุภาคทั้ง 3 กลุ่ม ขนาดที่แยกออกมาได้ แล้วเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (%clay, %silt, %sand) นำเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ได้ไปเทียบหาประเภทของเนื้อดินโดยใช้สามเหลี่ยมจำแนกประเภทเนื้อดิน (ภาพประกอบที่ 1.9) ในส่วนของการแยกอนุภาค และหาเปอร์เซ็นน้ำหนักของดินได้ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์ปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(6) เนื่องจากในน้ำทิ้งมีปริมาณสารอินทรีย์ และสารเคมีสูง อาจส่งผลให้แหล่งน้ำท่าในบริเวณใกล้เคียงมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ และสารเคมีเหล่านี้ได้ เนื่องจากแหล่งน้ำท่านี้มีระดับต่ำกว่าแปลงทดลอง ดังนั้นก่อนการทดลองได้ทำการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ลักษณะน้ำท่าก่อนทำการทดลอง 1 ครั้ง เพื่อให้ทราบลักษณะของน้ำท่าก่อนทำการทดลองรดด้วยน้ำทิ้ง หลังจากเริ่มทดลองทำการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ลักษณะน้ำท่าเดือนละ 1 ครั้ง เพื่อให้ทราบลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของน้ำท่า เก็บตัวอย่างจำนวน 4 จุด โดยใช้วิธีการเก็บแบบจ้วง (Grab Sampling) จำนวน 1 ตัวอย่าง/เดือน การทดลองครั้งนี้ครอบคลุม 2 ฤดูการคือ ฤดูฝน และฤดูร้อน ดังนั้นในฤดูฝนน้ำฝนอาจชะเอาสารอินทรีย์ และสารเคมีที่อยู่ในน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำท่าจนทำให้น้ำท่ามีลักษณะคุณภาพด้อยลงได้ และเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ลักษณะน้ำท่า 1 ครั้ง เพื่อให้ทราบผลกระทบต่อลักษณะของน้ำท่าภายในระยะเวลาที่ศึกษาเมื่อสิ้นสุดทั้ง 2 ฤดูกาลวิธีวิเคราะห์ลักษณะของน้ำระบุรายละเอียดดังตารางที่ 2.5

(7) ในระหว่างการทดลองรดด้วยน้ำทิ้งเก็บข้อมูลผลผลิตปาล์มน้ำมันของแปลงทดลองแต่ละแปลงเดือนละ 1 ครั้ง ด้วยการชั่งน้ำหนักทะลายปาล์มน้ำมันที่เก็บได้ของแต่ละแปลงทดลองที่ศึกษาและบันทึกข้อมูลเก็บไว้

(8) เก็บตัวอย่างน้ำบ่อที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ทำการทดลอง เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ และโลหะหนักที่เกิดจากการทดลอง นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน

(9) นำข้อมูลที่ได้มาทำการประมวลผลและวิเคราะห์ผลการทดลองในรูปของตาราง และภาพประกอบ หลังจากนั้นสรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 2.5 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะตัวอย่างน้ำท่า

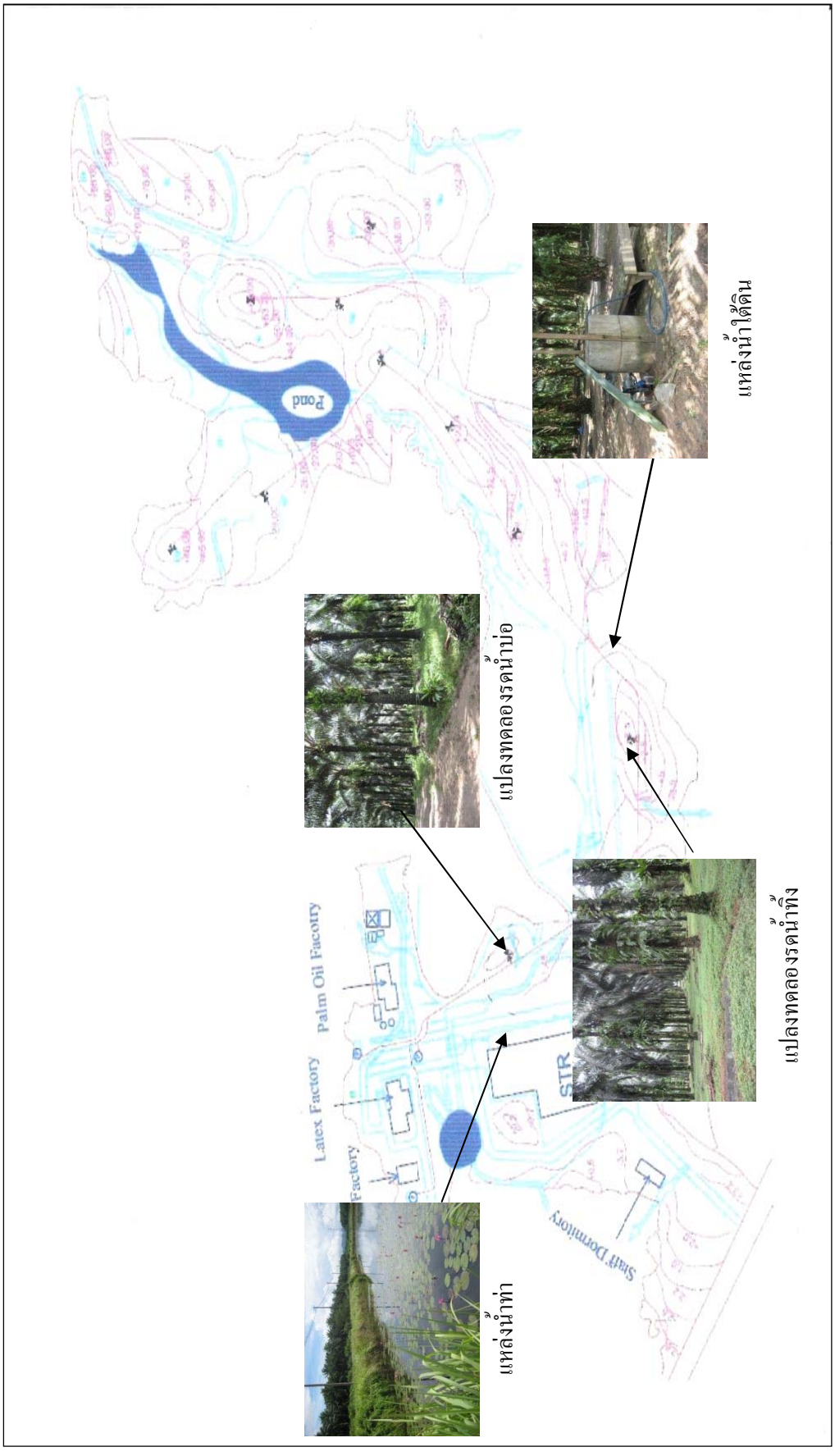
ตัวแปรคุณภาพน้ำ	หน่วย	วิธีการวิเคราะห์
pH	-	Electrometric Method
Temperature	$^{\circ}C$	Electrometric Method
Conductivity	mS/cm	Electrometric Method
TDS	mg/L	Gravimetric Method
TS	mg/L	Gravimetric Method
SS	mg/L	Gravimetric Method
BOD_5 (Biochemical Oxygen Demand)	mg/L	Azide modification Method
COD (Chemical Oxygen Demand)	mg/L	Closed Reflux Method
TKN	mg/L	Kjeldahl Method
NH_3-N	mg/L	Kjeldahl Method
NO_2-N	mg/L	Spectrophotometer Method
NO_3-N	mg/L	Spectrophotometer Method
Org-N	mg/L	Kjeldahl Method
TP (Total Phosphate)	mg/L	Stannous Chloride Method
Zn	mg/L	In house Method[1,2]
SO_4^{2-}	mg/L	Gravimetric Method

ที่มา: [1] T-2 based on Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA &WEF, 21st ed., 2005, part 3120 A.

[2] ส่งวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ภาพประกอบที่ 2.7 แหล่งน้ำท่า

ภาพประกอบที่ 2.8 การชั่งผลผลิตปาล์ม



ภาพประกอบที่ 2.9 แผนที่ของโรงงานและสถานที่ที่ทำการวิจัย

2.2 สถานที่ในการทำการวิจัย

2.2.1 สถานที่ในการทดลอง

- สวนปาล์มน้ำมันของบริษัท วงศ์บัณฑิต จำกัด อ.อ่าวลึก จ.กระบี่

2.2.2 สถานที่ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

- และห้องปฏิบัติการเคมี สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2.3 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

2.3.1 ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นที่ใช้ในการทดลอง ที่ใช้ในการทดลอง มาจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำยางข้นของบริษัท วงศ์บัณฑิต จำกัด อ.อ่าวลึก จ.กระบี่ ที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นมาแล้วด้วยการเติมอากาศสองบ่อ

2.3.2 สารเคมี เครื่องแก้ว และวัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังระบุไว้ในตารางที่ 2.1, 2.4 และ 2.5

2.3.3 วัสดุสำหรับสร้างแปลงทดลอง

- ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว
- ท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว
- วาล์วทองเหลือง
- บอลวาล์ว PVC ขนาด 2 นิ้ว
- ข้อต่อตรงลด 4×2 นิ้ว
- ข้องอ 90º 2 นิ้ว
- ข้องอ 90º 4 นิ้ว
- สามทาง 2 นิ้ว
- สามทาง 4 นิ้ว
- กาวทาท่อ
- เทปพันเกลียว

2.4 อุปกรณ์

2.4.1 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น

- ขวดเก็บน้ำขาวขุ่นขนาด 1 ลิตร
- ลังโฟม และน้ำแข็งรักษาสภาพน้ำในระหว่างการเดินทางนำไปวิเคราะห์

2.4.2 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดิน

- จอบ
- ถัง
- ถุงพลาสติก
- ถุงมือ
- ตะแกรงร่อนดินเบอร์ 10

2.4.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำท่า

- ขวดเก็บน้ำขาวขุ่นขนาด 1 ลิตร
- ถังพร้อมเชือกผูกสำหรับตักน้ำ

2.4.4 อุปกรณ์สำหรับเก็บผลผลิตปาล์มน้ำมัน

- ตะขอเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมัน
- เหล็กเสียบสำหรับยกทะลายปาล์มน้ำมัน
- เครื่องชั่ง

2.4.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

- Spectronic Unicam รุ่น GENESYS 10 UV
- เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ผลิตภัณฑ์ Chyo รุ่น MJ-3000
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ผลิตภัณฑ์ Chyo รุ่น JK-200
- เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ผลิตภัณฑ์ HACH รุ่น sension 1
- เครื่องวัดความขุ่น (turbidimeter) ผลิตภัณฑ์ HACH รุ่น 2100 N Turbidimeter
- เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า (Conductivity instrument) ผลิตภัณฑ์ YSI รุ่น 3200
- เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- ตู้อบความร้อนแห้ง (hot air oven) ผลิตภัณฑ์ Memmert
- เครื่องกวนชนิดใช้แม่เหล็ก (magnetic stirrer) และเตาไฟฟ้า (Hot plate) ผลิตภัณฑ์ Thermolyne รุ่น cimarec® 3

- ชุดกรองบุคเนอร์ (buchner filter)
- เครื่องปั๊มดูดสุญญากาศ (vacuum pump) ผลิตภัณฑ์ GAST รุ่น 0823
- ชุดกลั่นแอมโมเนีย (ammonia distillation apparatus) ผลิตภัณฑ์ VELP SCIENTIFICA รุ่น UDK126A (เพื่อการวิเคราะห์ TKN)
- ชุดย่อยไนโตรเจน (nitrogen digestor apparatus) ผลิตภัณฑ์ VELP SCIENTIFICA รุ่น DK20
- โถดูดความชื้น (desiccator) ผลิตภัณฑ์ DURAN
- เตาย่อยสลายตัวอย่างสำหรับซีโอดีแบบปิด (COD reactor) ผลิตภัณฑ์ HACH
- กระดาษกรอง GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิลิตร

บทที่ 3
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึง ผลจากการดำเนินการวิจัย เพื่อศึกษาลักษณะของดินและน้ำท่าจากการนำน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมัน ซึ่งประกอบด้วยผลการศึกษาคุณสมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นในพื้นที่จังหวัดทางภาคใต้ ผลของลักษณะดินที่เกิดจาการรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น ผลของลักษณะน้ำท่าที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ที่ทำการทดลอง ผลของผลผลิตปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นขณะที่รดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น ดังกล่าวรายละเอียดถัดไป

3.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้น

เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งของโรงงานน้ำยางข้นในจังหวัดทางภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดสงขลา 3 โรงงาน จังหวัดสุราษฎร์ธานี 2 โรงงาน และจังหวัดกระบี่ 2 โรงงาน เป็นจำนวนโรงงานละ 1 ครั้ง หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ค่า pH, อุณหภูมิ, การนำไฟฟ้า, TDS, TS, SS, BOD_5, COD, TKN, NH_3-N, NO_2-N, NO_3-N,Org-N, TP, Zn, SO_4^{2-} และ SAR เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลในการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้นทางภาคใต้ พารามิเตอร์ดังกล่าววิเคราะห์ตามวิธีการ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th Edition (APHA, AWWA and WEF, 2005)

ผลการศึกษาคุณสมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นแต่ละโรงงานที่ทำการศึกษาแสดงผลดังตารางที่ 3.1 จากการศึกษาพบว่า ลักษณะน้ำทิ้งของบริษัท วงศ์บัณฑิต มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และสารเคมีสูง (เปรียบเทียบกับคุณสมบัติน้ำทิ้งของโรงงานอื่น และเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง) เนื่องจาระบบบัดน้ำเสียของบริษัท วงศ์บัณฑิต มีบ่อเติมอากาศ 2 บ่อเท่านั้น ในขณะที่โรงงาน A มีบ่อเติมอากาศ 3 บ่อ และมีบ่อผึ่ง 2 บ่อ โรงงาน B มีบ่อเติมอากาศ 3 บ่อ และมีบ่อผึ่ง 10 บ่อ โรงงาน C มีบ่อหมัก 2 บ่อ และมีบ่อผึ่ง 3 บ่อ สำหรับโรงงาน D มีบ่อเติมอากาศเพียงบ่อเดียวแต่บ่อเติมอากาศมีขนาดใหญ่ และมีเครื่องเติมอากาศ 12 เครื่อง ทำให้น้ำทิ้งของโรงงาน D มีคุณสมบัติดีกว่าน้ำทิ้งของบริษัท วงศ์บัณฑิต โรงงาน E มีบ่อผึ่ง 6 บ่อ และโรงงาน F มีบ่อเติมอากาศ 1 บ่อ และบ่อตกตะกอน 1 บ่อ จากการที่ลักษณะน้ำทิ้งของบริษัท วงศ์บัณฑิต มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ และสารเคมีสูง ดังนั้นในการทดลองรดด้วยน้ำทิ้งในสวนปาล์มน้ำมันจึงอาจส่งผลกระทบต่อลักษณะดินในพื้นที่ที่ทดลอง อาจส่งผลกระทบต่อลักษณะน้ำท่าบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ที่ทดลอง (น้ำท่าอาจมีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ และสารเคมีที่อยู่ในน้ำทิ้ง) ได้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลเปรียบเทียบคุณสมบัติน้ำทิ้งของโรงงานน้ำยางข้น

พารามิเตอร์	บริษัท วงศ์บัณฑิต	โรงงานน้ำยางข้นในจังหวัดสงขลา			โรงงานน้ำยางข้นในจังหวัดสุราษฎร์ธานี		โรงงานน้ำยางข้นในจังหวัดกระบี่	ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง**
		โรงงาน A	โรงงาน B	โรงงาน C	โรงงาน D	โรงงาน E	โรงงาน F	
pH	8.9	8.3	8.7	8.8	6.7	10.6	8.3	5.5-9.0
Temperature (°C)	28	27	29	27	31	34	30	ไม่เกิน 40
Conductivity (mS/cm)	8.92	2.70	1.68	1.94	2.95	2.54	9.02	-
BOD_5(mg/L)	2,385	99	49	165	75	175	76	ไม่เกิน 20
COD (mg/L)	5,246	260	114	267	247	1,259	552	ไม่เกิน 120
TKN (mg/L)	1,137	406	32	70	210	42	1,036	ไม่เกิน 100
NH_3-N (mg/L)	882	300	26	55	172	11	917	-
Org-N (mg/L)	255	106	6	15	38	31	199	-
NO_2-N (mg/L)	2.73	0.01	0.01	0.12	0.37	0.11	0.17	-
NO_3-N (mg/L)	2.53	3.76	2.13	0.014	0.05	0.05	0.35	-
TS (mg/L)	12,053	2,638	1,602	1,998	138	1,873	5,190	-
SS (mg/L)	5,950	183	110	210	50	657	291	ไม่เกิน 50
TDS (mg/L)	2,308	3,078	1,820	2,197	226	948	4,421	ไม่เกิน 3000
TP (mg/L)	616.43	1.71	0.60	276.34	38.61	69.93	3.97	-
SO_4^{2-} (mg/L)	4,212	1,866	947	711	2,110	1,422	3,660	-
Zn (mg/L)	0.21	0.44	7.49	< 0.05	ND*	0.18	0.14	ไม่เกิน 5
SAR	0.005	0.005	0.002	0.0004	0.012	0.011	1.025	-
ระบบบำบัด	เติมอากาศ 2 บ่อ	เติมอากาศ 3 บ่อ + บ่อผึ่ง 2 บ่อ	เติมอากาศ 3 บ่อ + บ่อผึ่ง 10 บ่อ	บ่อหมัก 2 บ่อ + บ่อผึ่ง 3 บ่อ	เติมอากาศ 1 บ่อ	บ่อผึ่ง 6 บ่อ	เติมอากาศ 1 บ่อ + ตกตะกอน 1 บ่อ	-

หมายเหตุ: ทางโรงงานที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งไม่อนุญาตให้ระบุชื่อโรงงาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงระบุแทนด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษแทน

* ND = Non-Detectable = ไม่พบ, - คือ ไม่มีระบุในมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง

** ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

3.2 ผลการศึกษาลักษณะของดิน

เก็บตัวอย่างดินก่อน ระหว่าง และหลังการรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นจากแปลงทดลอง 10 แปลง แปลงละ 5 จุด นำมาคลุกเคล้ารวมกันเป็น 1 ตัวอย่าง โดยใช้วิธีเก็บตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดิน จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่า Conductivity, pH, Organic Matter และ TN พารามิเตอร์ดังกล่าววิเคราะห์ตามวิธีการที่ระบุใน คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547) และวิเคราะห์ค่า Soil Texture, P, K, Ca, Mg, Na, Zn และ Cation Exchange Capacity พารามิเตอร์ดังกล่าวทำการส่งที่ศูนย์ปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การศึกษาลักษณะของเนื้อดินเป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เพื่อให้ทราบถึงความหยาบหรือความละเอียดของดิน โดยพิจารณาจากขนาดของชิ้นส่วนที่เป็นอนินทรียสารที่ประกอบขึ้นเป็นดิน เนื้อดินมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก โดยจะมีผลทางอ้อมคือ เนื้อดินจะเป็นปัจจัยควบคุมปัจจัยอื่นๆ ของดิน เช่น การอุ้มน้ำ การระบายน้ำ การดูดยึดธาตุอาหารในดิน เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะทำการประเมินเนื้อดินเพื่อให้ทราบประเภทของดินที่ทำการทดลองแต่ละแปลง ทั้งก่อนการทดลองรดด้วยน้ำทิ้ง ระหว่างการทดลองรดด้วยน้ำทิ้ง และหลังจากการทดลองรดด้วยน้ำทิ้ง ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.2

ผลการวิเคราะห์ประเภทของเนื้อดินก่อนการทดลองของแปลงทดลอง D1, W1, W2, W3, รดน้ำบ่อ และไม่รดน้ำบ่อ มีประเภทของเนื้อดินเป็นแบบ ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) ส่วนประเภทของเนื้อดินของแปลงทดลอง D2, D3, D4, และW4 มีประเภทของเนื้อดินเป็นแบบ ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy Clay Loam) เมื่อพิจารณาเนื้อดินระหว่างการทดลองรดด้วยน้ำทิ้ง (4 เดือน) และหลังจากการทดลองรดด้วยน้ำทิ้ง (9 เดือน) พบว่า ประเภทของเนื้อดินของแปลงทดลอง D1, W1, W2, W3, รดน้ำบ่อ และไม่รดน้ำบ่อ มีประเภทของเนื้อดินเป็นแบบ ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) เหมือนเดิม แต่ประเภทของเนื้อดินของแปลงทดลอง D2, D3, D4, และW4 มีประเภทของเนื้อดินเปลี่ยนจากแบบ ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy Clay Loam) เป็นแบบ ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) ลักษณะเช่นนี้สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากเนื้อดินประเภท ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy Clay Loam) และดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) จัดอยู่ในกลุ่มเนื้อดินเดียวกันคือ กลุ่มเนื้อดินปานกลาง (Medium-textured soil) ความแตกต่างระหว่างเปอร์เซ็นของของอนุภาคดินเหนียว (clay) ดินทรายแป้ง (silt) และดินทราย (sand) มีไม่มากนัก นอกจากนี้การเพิ่มระดับอินทรียวัตถุในดินเหนียว จะทำให้ดินโปร่ง การระบายน้ำ และอากาศดีขึ้น (ยงยุทธ, 2541) ดังนั้นเมื่อรดด้วยน้ำทิ้งที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงลงในดินที่มีเนื้อละเอียดกว่าเล็กน้อย (ดินร่วนเหนียวปนทราย) ส่งผลให้ดินมีความร่วนซุยมากขึ้น ทำให้การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศดีขึ้นประเภทของเนื้อดินจึง

เปลี่ยนจากแบบ ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy Clay Loam) กลายเป็นแบบ ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) กลุ่มเนื้อดินปานกลาง (medium-textured soil) นี้สามารถอุ้มน้ำและธาตุอาหารพืชไว้ได้มากพอควร การระบายน้ำและอากาศมีความเหมาะสมกับการปลูกพืช และเมื่อประเมินความเหมาะสมของสมบัติทางฟิสิกส์ของดินสำหรับปลูกปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 3.3) จะเห็นได้ว่าลักษณะของเนื้อดินแต่ละแปลงอยู่ในช่วง เหมาะสมปานกลาง-เหมาะสมมาก ซึ่งการเลือกพื้นที่ดินที่เหมาะสมจะส่งผลให้ปาล์มน้ำมันเจริญเติบโตได้ดี และจะให้ผลผลิตสูงตามศักยภาพของพันธุ์

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเนื้อดินไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละ Hydraulic Loading แต่จะบ่งบอกว่า การรดด้วยน้ำทิ้งที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงส่งผลให้ประเภทของเนื้อดินเปลี่ยนจากแบบ ดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy Clay Loam) เป็นแบบ ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) ซึ่งส่งผลให้ลักษณะเนื้อดินมีความเหมาะสมต่อการปลูกปาล์มน้ำมันมากขึ้น เนื่องจาก ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) เป็นดินที่มีความเหมาะสมมากสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อดิน

ตัวอย่างดิน	Hydraulic Loading (cm/wk)	ก่อนการทดลอง พ.ค. 2553	ระหว่างการทดลอง ต.ค. 2553	หลังการทดลอง มี.ค. 2554
D1	3	Sandy Loam	Sandy Loam	Sandy Loam
D2	2	Sandy Clay Loam	Sandy Loam	Sandy Loam
D3	1	Sandy Clay Loam	Sandy Loam	Sandy Loam
D4	0.5	Sandy Clay Loam	Sandy Loam	Sandy Loam
W1	3	Sandy Loam	Sandy Loam	Sandy Loam
W2	2	Sandy Loam	Sandy Loam	Sandy Loam
W3	1	Sandy Loam	Sandy Loam	Sandy Loam
W4	0.5	Sandy Clay Loam	Sandy Loam	Sandy Loam
รดน้ำบ่อ	3	Sandy Loam	Sandy Loam	Sandy Loam
ไม่รดน้ำบ่อ	-	Sandy Loam	Sandy Loam	Sandy Loam

ตารางที่ 3.3 การประเมินความเหมาะสมของสมบัติทางฟิสิกส์ของดินสำหรับปลูกปาล์มน้ำมัน

ชั้นความเหมาะสม	หน่วย	เหมาะสมมาก		เหมาะสมปานกลาง	เหมาะสมน้อย	ไม่เหมาะสม
ข้อจำกัด		ไม่มี	น้อย	ปานกลาง	รุนแรง	รุนแรงมาก
เนื้อดิน	-	SL, L, Sil	CL, SiCL, SC	SCL, LS, SiC, SC	ดินพรุ, C	ดินกรวน

SL ดินร่วนปนทราย, L ดินร่วน, SiL ดินร่วนปนทรายแป้ง, CL ดินร่วนปนเหนียว, SiCL ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง, SC ดินเหนียวปนทราย, LS ดินทรายปนร่วน, SiC ดินเหนียวปนทรายแป้ง, C ดินเหนียว และ S ดินทราย
ที่มา: ดัดแปลงมาจากชัยรัตน์ และธีระพงศ์, 2551

การศึกษาค่า pH ในดินนั้นเป็นการศึกษาปริมาณของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่มีอยู่ในสารละลายดิน ซึ่งสามารถใช้บอกถึงสภาพความเป็นกรดหรือด่างของดินได้ ค่า pH มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะเป็นตัวควบคุมการละลายธาตุอาหารในดินออกมาอยู่ในสารละลายหรือน้ำในดิน ถ้าดินมีสภาพเป็นกรดหรือด่างไม่เหมาะสม ธาตุอาหารในดินอาจจะละลายออกมาได้น้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช หรือในทางตรงกันข้ามธาตุอาหารบางชนิดอาจจะละลายออกมามากเกินไปจนเป็นพิษต่อพืชได้ การวิเคราะห์ค่า pH ของดินสามารถทำได้หลายวิธี สำหรับการทดลองในครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์โดยใช้น้ำเป็นสารสกัดโดยใช้สัดส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 (จำเป็น อ่อนทอง, 2547) โดยดินที่นำมาทำการทดลองเป็นตัวอย่างดินที่ความลึก 0-15 เซนติเมตร ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.4

ผลการวิเคราะห์ค่า pH ในดินก่อนการทดลองของแปลงทดลอง D1, D2, D3, D4, W1, W2, W3, และ W4 มีค่าเท่ากับ 3.64, 3.72, 5.01, 4.75, 4.07, 4.46, 5.69 และ5.5 ตามลำดับ และระหว่างการทดลองการทดลองรดด้วยน้ำทิ้ง (4 เดือน) และหลังจากการทดลองการทดลองรดด้วยน้ำทิ้ง (9 เดือน) ค่า pH ในดินของแปลงทดลอง D1, D2, D3, D4, W1, W2, W3, และW4 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ศึกษา การเพิ่มขึ้นของค่า pH ในดินนั้นเกิดจากการรดด้วยน้ำทิ้งที่มีค่า pH เป็นกลาง ซึ่งมีค่าสูงกว่า pH ในดินก่อนทำการทดลอง ทำให้ H^+ ที่อยู่ในดินจับตัวกับ OH^- ในน้ำทิ้ง ทำให้ค่า pH ในดินเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลาในการรับน้ำทิ้งของดินนานขึ้นเป็นผลทำให้ค่า pH ในดินเพิ่มมากขึ้น สำหรับค่า pH ในดินก่อนการทดลองแปลงที่รดน้ำบ่อและแปลงที่ไม่ได้รดน้ำมีค่าเท่ากับ 4.17 และ3.83 เมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 4 เดือน ค่า pH ในดินของทั้ง 2 แปลงมีค่าเพิ่มขึ้น และ เมื่อระยะเวลาผ่านไป 9 เดือน ค่า pH ในดินของทั้ง 2 แปลงมีค่าลดลง โดยนอกจากการรดด้วยน้ำทิ้งแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ในการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในดินอีกหลายปัจจัย เช่น เกิดจากการสลายตัวผุพังของหิน และแร่ที่มีสมบัติเป็นด่าง ส่วนการทำให้ค่า pH ในดินลดลง เช่น เกิดจากการที่

น้ำฝนมีความเป็นกรดสูง เกิดจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ เกิดจากขบวนการสลายตัวของอินทรียวัตถุซึ่งก่อให้เกิดกรดอินทรีย์ เป็นต้น ในการทดลองของเภสัชรัตน์ (2550) ซึ่งเป็นงานวิจัยโดยใช้ระบบการบำบัดโดยดินเหมือนกับงานวิจัยนี้ พบว่า ค่า pH ในดินลดลงในช่วงแรกของการทดลอง เนื่องจากระบบทดลองมีการระบายน้ำที่ไม่ดีมีน้ำท่วมขังช่องว่างในดินมีขนาดเล็กลงจึงเกิดกระบวนการหมัก (Fermentation) ซึ่งเป็นกระบวนการสังเคราะห์โดยจุลินทรีย์ (Metabolism) เกิดเป็นกรดอะมิโน (Amino acid) หรือกรดอินทรีย์ปริมาณมากขึ้น รวมทั้งน้ำขณะที่ไหลผ่านชั้นดินอยู่นั้นจะละลายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่มีอยู่ในดินให้กลายเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ที่แตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ทำให้น้ำที่ไหลซึมผ่านดินมีสภาพเป็นกรด ในขณะที่ผ่านชั้นดินไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะเข้าไปแทนที่เบสิกแคตไอออน (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ และ Na^+) ที่ดูดซับอยู่ที่บริเวณผิวของอนุภาคดิน และถ้าหากมี ไฮโดรเจนไอออน (H^+) เข้าไปแทนที่อยู่สูงกว่าเบสิกแคตไอออน จะส่งผลให้ดินมีปฏิกิริยาเป็นกรด ซึ่งการทดลองในงานวิจัยนี้ มีการท่วมขังของน้ำในแปลงที่ทำการทดลองเกิดขึ้นเช่นกัน ซึ่งจะเกิดในแปลงทดลองที่มีพื้นที่เป็นแอ่งกระทะ แต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นยังไม่ส่งผลให้ ค่า pH ในดินของแปลงนั้นลดลง เมื่อเทียบกับ Hydraulic loading เดียวกันในระยะเวลาการรดด้วยน้ำทิ้งต่างกัน นอกจากนี้ค่า pH ในดินจะมีค่าลดลงตามระดับความลึกอีกด้วย กล่าวคือ หากตัวอย่างดินที่นำมาวิเคราะห์อยู่ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร จะมีค่า pH ในดินสูงกว่าตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0.6 เมตร และสูงกว่าตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 1.8 เมตร (US.EPA, 2006)

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ค่า pH ในดินของแต่ละแปลงทดลองมาเทียบกับเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการเลือกพื้นที่เพาะปลูกสำหรับการบำบัดโดยดินแบบอัตราการไหลช้า (ตารางที่ 1.5) พบว่าค่า pH ในดินอยู่ในช่วงที่ยอมรับไม่ได้ และมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับปริมาณธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 1.8) ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ที่ทำการทดลองเป็นดินที่อยู่ในชุดดินอ่าวลึก (Ao Luk series: Ak) ซึ่งองค์ประกอบของดินแต่เดิมมีความเป็นกรดอยู่แล้ว โดยปฏิกิริยาของดินมีความเป็นกรดปานกลางถึงกรดจัดมาก (pH 5.0-6.0) รวมทั้งการใช้พื้นที่ดินในการเกษตรติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน (ประมาณ 25 ปี) ดังนั้นจึงส่งผลให้ดินมีความเป็นกรดสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากที่ดินชุดนี้ยังมีความเหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชทุกชนิด เพียงแต่มีข้อจำกัดเล็กน้อยคือ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

พิจารณาค่า pH ของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวันที่ Hydraulic loading ต่างๆ พบว่าการเพิ่ม Hydraulic loading จาก 0.5 cm/wk (D4) เป็น 1 cm/wk (D3) ทำให้ค่า pH เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่ม Hydraulic loading จาก 1 cm/wk (D3) เป็น 2 และ 3 cm/wk (D2 และ D1 ตามลำดับ) พบว่า ค่า pH ลดต่ำลงตามอัตรา Hydraulic loading ที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการรดด้วยอัตรา Hydraulic loading

ที่สูงส่งผลให้เกิดการท่วมขังของน้ำทิ้งในแปลงทดลองดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงส่งผลให้ pH ในดินมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาค่า pH ของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งที่ Hydraulic loading ต่างๆ พบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน กล่าวคือ เมื่อมีการเพิ่ม Hydraulic loading จาก 0.5 cm/wk (W4) เป็น 1 cm/wk (W3) ทำให้ค่า pH เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่ม Hydraulic loading จาก 1 cm/wk (W3) เป็น 2 และ 3 cm/wk (W2 และ W1 ตามลำดับ) พบว่า ค่า pH ลดต่ำลงตามอัตรา Hydraulic loading ที่เพิ่มสูงขึ้น แต่หลังจากการทดลองเสร็จสิ้น พบว่า การเพิ่ม Hydraulic loading จาก 0.5 cm/wk (D4) เป็น 1 cm/wk (D3) ของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวันทำให้ค่า pH ลดลง ในขณะที่การเพิ่ม Hydraulic loading จาก 0.5 cm/wk (W4) เป็น 1 cm/wk (W3) ของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งค่า pH ยังคงเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นนอกจากอัตราการรดที่สูงเกินไปทำให้ค่า pH ลดต่ำลงแล้ว ความถี่ในการรดก็ยังส่งผลให้ค่า pH ลดต่ำลงได้ด้วย เนื่องจากการรดด้วยน้ำทิ้งทุกวันทำให้เกิดการท่วมขังของน้ำในแปลงทดลองมากกว่าการรดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง

ตารางที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์ pH ในดิน

แปลงทดลอง	**Hydraulic Loading (cm/wk)**	**pH**		
		ก่อนการทดลอง พ.ค. 2553	**ระหว่างการทดลอง ต.ค. 2553**	**หลังการทดลอง มี.ค. 2554**
D1	3	3.64	4.46	5.40
D2	2	3.72	4.84	5.28
D3	1	5.01	5.23	5.61
D4	0.5	4.75	4.93	5.74
W1	3	4.07	4.43	4.83
W2	2	4.46	5.05	5.21
W3	1	5.69	5.82	5.94
W4	0.5	5.5	5.63	5.84
รดน้ำบ่อ	3	4.17	5.01	4.25
ไม่รดน้ำบ่อ	-	3.83	5.13	4.83

การนำไฟฟ้าในดิน (Electrical Conductivity, S/cm) คือความสามารถของสารละลายที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสำหรับสารละลายนั้น กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโดยการพาของไอออนบวก (cations) และไอออนลบ (anions) ความสามารถในการนำไฟฟ้าของสารละลายขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของสารละลาย ความเคลื่อนไหวง่ายของไอออน จำนวนประจุของไอออน และอุณหภูมิ สารละลายที่กล่าวถึงนี้หมายถึง น้ำที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์โดยใช้น้ำเป็นสารสกัดโดยใช้สัดส่วนของดินต่อน้ำที่ใช้เท่ากับ 1:5 (จำเป็น อ่อนทอง, 2547) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นนำน้ำที่ได้จากการสกัด มาวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดความนำไฟฟ้า (Conductivity Meter) เนื่องจากการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเกลือที่ละลายน้ำได้ในดิน การวัดค่าการนำไฟฟ้าจึงทำให้ประมาณค่าเกลือที่ละลายในน้ำที่สกัดออกมาจากดินได้ ซึ่งเกลือที่พบบ่อยในดินจะอยู่ในรูปของเกลือคลอไรด์ และซัลเฟต สำหรับธาตุประจุบวกส่วนมากที่เป็นองค์ประกอบของเกลือเหล่านั้น คือ แคลเซียม (Ca^{2+}), แมกนีเซียม (Mg^{2+}), โซเดียม (Na^{+}) และบางครั้งเป็นโพแทสเซียม (K^{+}) ซึ่งจะใช้เป็นดัชนีของความเค็มที่บอกความสามรถการเจริญเติบโตของพืช

ค่าการนำไฟฟ้าในดินของแปลงทดลอง D1, D2, D3, D4, W1, W2, W3, W4, รดน้ำบ่อ และไม่รดน้ำบ่อ แสดงดังตารางที่ 3.5 เมื่อพิจารณาค่าการนำไฟฟ้าในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน และแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งที่ Hydraulic loading ต่างๆ พบว่า อัตราการรดน้ำทิ้งที่ Hydraulic loading ต่างกันมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าไม่แน่นอน เนื่องจากความสามารถในการนำไฟฟ้าของสารละลายขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของสารละลาย ความเคลื่อนไหวง่ายของไอออน และจำนวนประจุของไอออน เครื่องวัดความนำไฟฟ้า (Conductivity Meter) ไม่สามารถระบุจำนวนประจุของไอออนได้แน่นอน รวมทั้งการเคลื่อนไหวของไอออนในสารละลายเกิดขึ้นตลอดเวลา ดังนั้นจึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายดินได้ แต่เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการรดด้วยน้ำทิ้ง ก่อนการทดลอง กับหลังการทดลอง พบว่าที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นการรดด้วยน้ำทิ้งส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากในน้ำทิ้งมีประจุบวกของ แมกนีเซียม (Mg^{2+}) (มีอยู่ในน้ำยางสดสามารถปนเปื้อนในน้ำทิ้งได้) และโพแทสเซียม (K^{+}) (ตรวจพบในการวิเคราะห์ธาตุอาหารในน้ำทิ้ง) การเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าในดินอาจส่งผลให้ดินเป็นดินเค็มได้ แต่เนื่องจากค่าการนำไฟฟ้าในดินที่วิเคราะห์อยู่ในหน่วยของไมโครซีเมนซ์ต่อเซนติเมตร ($\mu S/cm = 10^{-6}$ S/cm) ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าในดินที่จะทำให้ดินจัดว่าเป็นดินเค็ม ซึ่งพิจารณาในหน่วยของ ซีเมนซ์ต่อเซนติเมตร (S/cm)

จากการทดลอง พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าในดินของแต่ละแปลงทดลองเป็นค่าการนำไฟฟ้าที่ยอมรับได้ของเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการเลือกพื้นที่เพาะปลูก (ตารางที่ 1.5) ซึ่งโดยมาตรฐาน

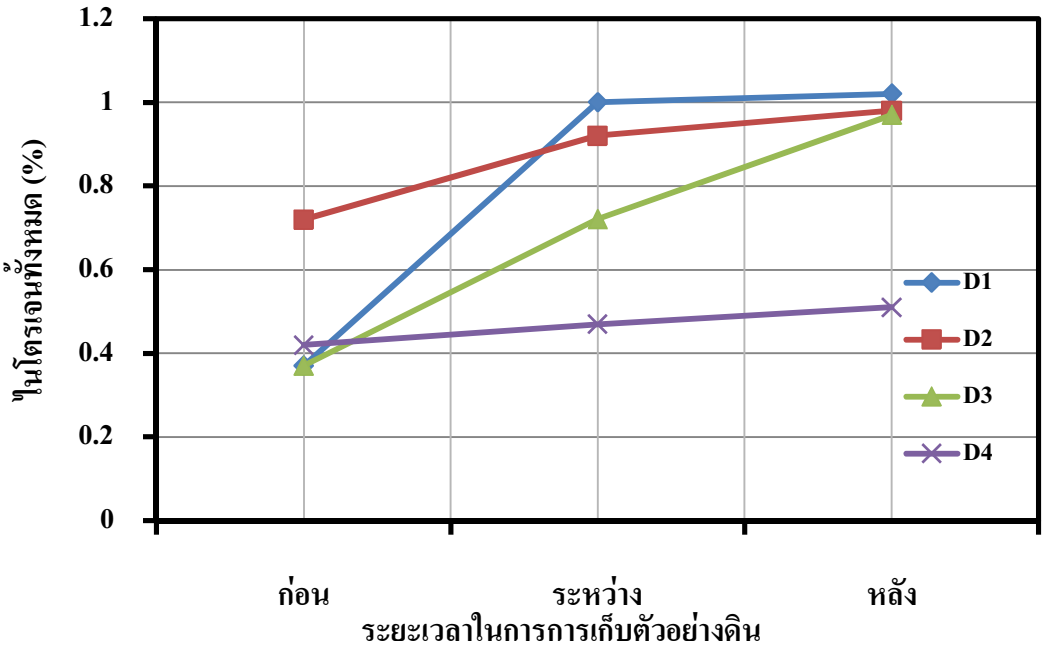
ทั่วไปมักถือว่าค่าการนำไฟฟ้าในดินที่มีค่ามากกว่า 0.4 S/cm จัดว่าเป็นดินเค็ม สำหรับดินเค็มนั้นมีลักษณะทั่วไปเหมือนดินธรรมดาเพียงแต่มีเกลือละลายง่าย (Ca^{+}, Mg^{+}, Na^{+} และ K^{+}) อยู่สูงกว่าปกติ หากในดินมีเกลือละลายง่ายอยู่มากเกินไปจะมีผลทำให้ความดันออสโมติกสูงจนพืชไม่สามารถดูดธาตุอาหารมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าดินในแปลงทดลองไม่จัดว่าเป็นดินเค็ม เพราะมีค่าการนำไฟฟ้าในดินน้อยกว่า 0.4 S/cm มาก

ตารางที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์การนำไฟฟ้าในดิน

แปลงทดลอง	Hydraulic Loading (cm/wk)	การนำไฟฟ้า (µS/cm)		
		ก่อนการทดลอง พ.ค. 2553	ระหว่างการทดลอง ต.ค. 2553	หลังการทดลอง มี.ค. 2554
D1	3	183.45	185.30	457.55
D2	2	168.45	419.60	437.55
D3	1	167.75	277.00	317.45
D4	0.5	168.9	97.83	333.65
W1	3	99.82	220.90	197.15
W2	2	297.50	256.75	392.75
W3	1	503.00	137.80	430.00
W4	0.5	219.95	379.20	284.30
รดน้ำบ่อ	3	98.22	52.77	96.48
ไม่รดน้ำบ่อ	-	100.80	66.78	64.76

ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TN, %) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน D1, D2, D3 และ D4 ที่ Hydraulic Loading 3, 2, 1 และ 0.5 cm/wk (ภาพประกอบที่ 3.1) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ศึกษา และเพิ่มขึ้นเมื่อ Hydraulic Loading เพิ่มสูงขึ้น กล่าวคือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน D1 (Hydraulic Loading 3 cm/wk) มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือแปลง D2, D3 และ D4 (Hydraulic Loading 2, 1 และ 0.5 cm/wk) ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการสะสมของไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง โดยการรดน้ำทิ้งด้วยอัตราสูงส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการสะสมของ

ไนโตรเจนในดิน และการรดด้วยน้ำทิ้งลงในดินในระยะเวลาที่นานขึ้นส่งผลให้การสะสมของไนโตรเจนในดินเพิ่มสูงขึ้นด้วย

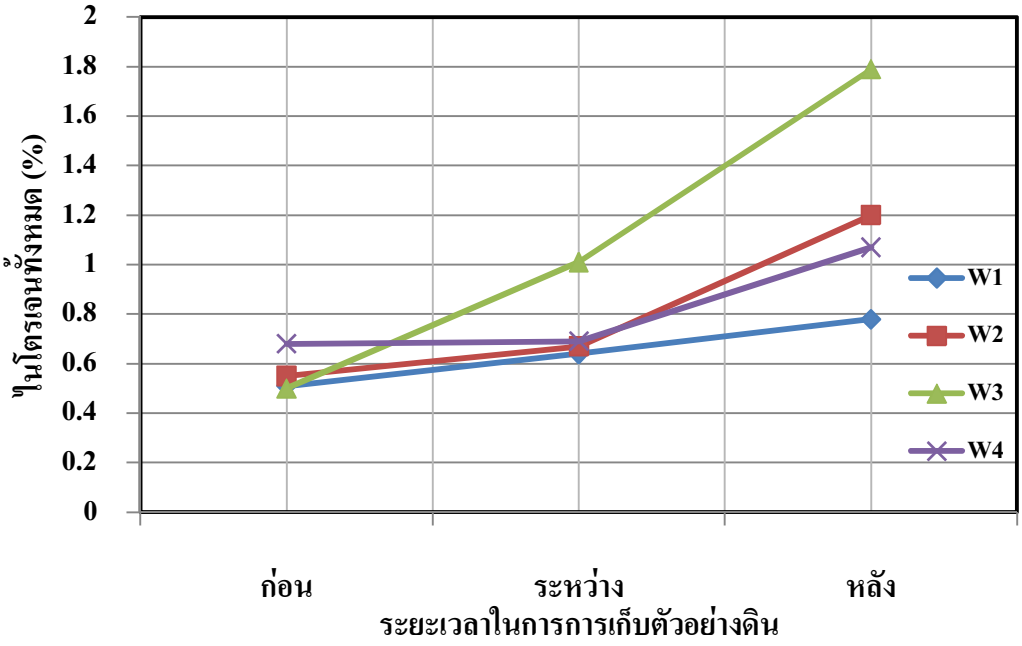


ภาพประกอบที่ 3.1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน

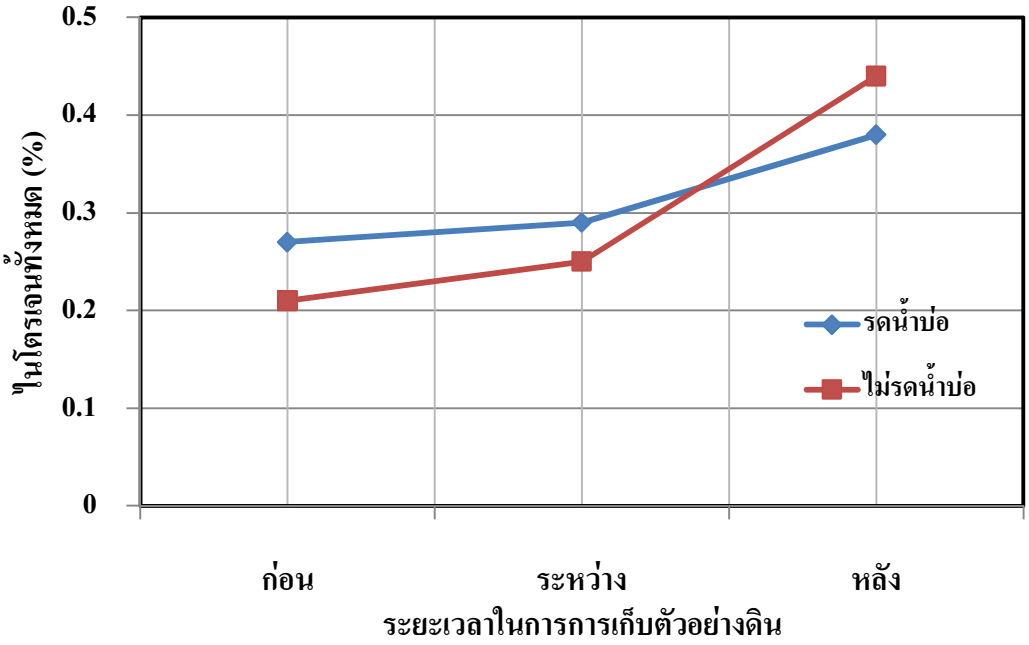
ค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TN, %) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง W1, W2, W3 และ W4 ที่ Hydraulic Loading 3, 2, 1 และ 0.5 cm/wk (ภาพประกอบที่ 3.2) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ศึกษา เนื่องจากการรดด้วยน้ำทิ้งลงในดินในระยะเวลาที่นานขึ้นส่งผลให้การสะสมของไนโตรเจนในดินเพิ่มสูงขึ้น โดยพบว่าไนโตรเจนทั้งหมดในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งของแปลง W3 (Hydraulic Loading 1 cm/wk) มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือแปลง W2, W1 และ W4 (Hydraulic Loading 2, 3 และ 0.5 cm/wk) ตามลำดับ สำหรับการที่แปลง W3 (Hydraulic Loading 1 cm/wk) มีค่าสูงกว่าแปลง W2 และ W1 (Hydraulic Loading 2 และ 3) นั้นเกิดจากการที่มีการรดด้วยน้ำทิ้งสูงเกินไปทำให้ดินไม่สามารถดูดซับไนโตรเจนที่มีอยู่ในน้ำทิ้งได้ ไนโตรเจนที่เหลือจึงชะออกจากแปลงทดลองพร้อมกับน้ำทิ้ง

พิจารณา พบว่า ค่าไนโตรเจนทั้งหมดของแปลงที่รดด้วยน้ำบ่อ และไม่รดน้ำบ่อ (ภาพประกอบที่ 3.3) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของแปลงที่รดด้วยน้ำบ่อ และไม่รดน้ำบ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ศึกษา ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินนอกจาก

จะขึ้นอยู่กับปริมาณไนโตรเจนในทิ้งแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความสามารถในการตรึงไนโตรเจนของจุลินทรีย์ในดิน และวัสดุพืชที่เหลือตกค้างอยู่ในดินด้วย



ภาพประกอบที่ 3.2 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง



ภาพประกอบที่ 3.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำบ่อ และไม่รดน้ำบ่อ

เมื่อเทียบกับปริมาณธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 1.8) พบว่าปริมาณไนโตรเจนแต่ละแปลงทดลองมีค่าสูง ทั้งนี้เกิดจากค่าไนโตรเจนทั้งหมดในดินก่อนทำการทดลองมีค่าสูงอยู่แล้ว รวมทั้งน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นมีค่าไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) สูงด้วย เมื่อรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น ทำให้ค่าไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีค่าสูงเพิ่มขึ้น แต่ไนโตรเจนทั้งหมดนี้ พืชไม่อาจนำไปใช้ได้โดยตรง จะต้องถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปอนินทรีย์ไนโตรเจนเสียก่อน โดยรูปอนินทรียไนโตรเจนมีประมาณร้อยละ 2-3 ของไนโตรเจนทั้งหมดในดินได้แก่ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ไนเตรตไอออน (NO_3^-) และไนไตรต์ไอออน (NO_2^-) รูปของก๊าซต่างๆ ประกอบด้วย ไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ไดไนโตรเจนออกไซด์ (N_2O) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ซึ่งรูปของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยตรงคือ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ไนเตรตไอออน (NO_3^-) และไนไตรต์ไอออน (NO_2^-) เมื่อเทียบกับความต้องการของพืชถือว่ายังมีปริมาณน้อย ในงานวิจัยครั้งนี้ไม่มีการวิเคราะห์อาหารในใบปาล์ม รวมทั้งไม่ได้ศึกษาอัตราการระเหยของน้ำ ดังนั้นจึงไม่สามารถคำนวณไนโตรเจนที่ปาล์มนำไปใช้ได้ จึงได้ศึกษาไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อปาล์มน้ำมันที่อยู่ในน้ำทิ้งแทน ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนในน้ำทิ้งในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อปาล์มน้ำมัน

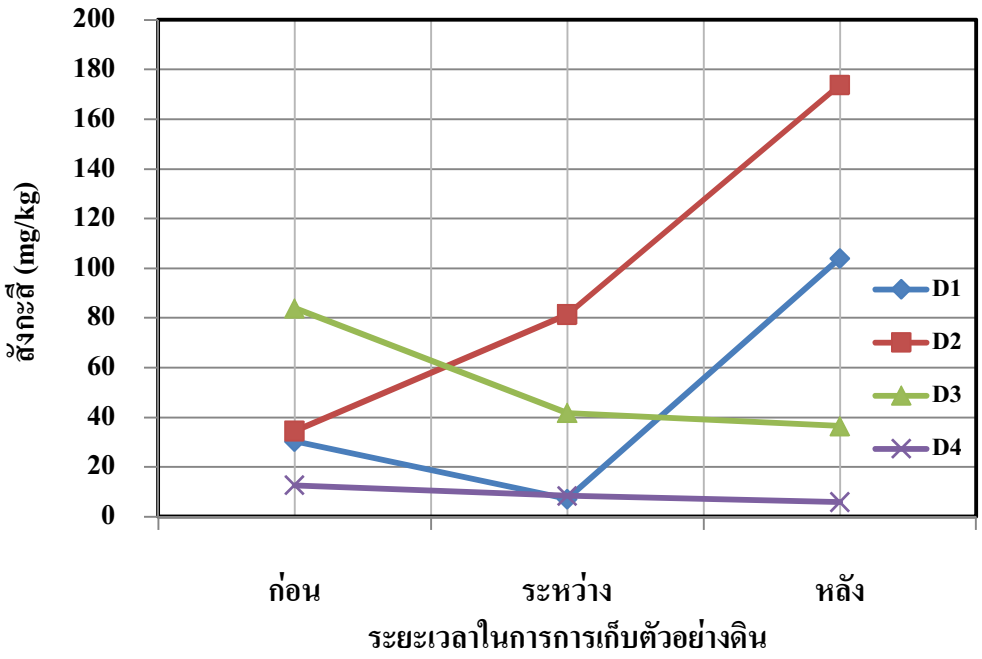
แปลงทดลอง	Hydraulic Loading (cm/wk)	อัตราการรดน้ำ (m^3/wk)	ไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อปาล์ม (NO_2+NO_3, kg/ต้น/year)
D1	3	60.9	15.4
D2	2	37.8	9.5
D3	1	21	5.3
D4	0.5	10.5	2.7
W1	3	56.1	14.2
W2	2	48.4	12.2
W3	1	24.6	6.2
W4	0.5	10.7	2.7

จากผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อปาล์มน้ำมันในน้ำทิ้งในรูปของ NO_2-N และ NO_3-N ที่ Hydraulic Loading สูงขึ้น พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อปาล์มน้ำมันมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งมีค่าสูง เมื่อเทียบกับความต้องการปุ๋ยของปาล์ม

น้ำมันที่อายุตั้งแต่ 6 ปี ขึ้นไปซึ่งพบว่า ปาล์มน้ำมันอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไปนั้น มีความต้องการปุ๋ยในรูปของ แอมโมเนียมซัลเฟต ในปริมาณ 5 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ซึ่งจะเห็นได้ว่าไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อปาล์มในน้ำทิ้งที่รดมีค่าสูง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อรดลงสู่ดินไนโตรเจนในดินมีโอกาสสูญเสียไปจากดินได้หลายทาง ซึ่งได้แก่ การที่จุลินทรีย์นำไปใช้ในการเจริญเติบโต สูญเสียไปในรูปของการชะล้างด้วยน้ำ สูญเสียไปในรูปของก๊าซด้วยการระเหย รวมทั้งสูญเสียไปกับการเก็บผลผลิต ดังนั้นไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อปาล์มมีโอกาสที่พืชนำไปใช้ได้ลดลง และในกรณีที่ในสวนปาล์มน้ำมันมีวัชพืชอยู่เป็นจำนวนมากก็จะยิ่งแย่งธาตุอาหารของปาล์มน้ำมัน ซึ่งแปลงทดลองในงานวิจัยครั้งนี้มีวัชพืชอยู่ค่อนข้างเยอะ ดังนั้นไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อปาล์มที่ปาล์มน้ำมันนำไปใช้ได้จริงมีน้อย การรดด้วยน้ำทิ้งในปริมาณที่สูงจึงไม่ส่งผลกระทบต่อต้นปาล์มน้ำมัน

ธาตุสังกะสี (Zn) ในดินจะอยู่ในรูปของแร่ที่มีสังกะสีเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเมื่อสลายตัวผุพังจะปลดปล่อยสังกะสีออกมา สังกะสีในดินบางส่วนจะอยู่ในรูปของแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ที่ดูดยึดอยู่ที่ผิวของคอลลอยด์ดิน หรือแคตไอออนที่ละลายอยู่ในสารละลายดินซึ่งเป็นรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากพืชดูดสังกะสีไปใช้ในรูปของ Zn^{2+} นอกจากนี้ สังกะสีสามารถทำปฏิกิริยากับอินทรียวัตถุ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอยู่ในรูปของเกลือฟอสเฟต คาร์บอเนตและซิลิเกตที่ละลายน้ำได้ยาก พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สังกะสีที่อยู่ในสารละลายดิน พบในปริมาณต่ำมาก ทำให้พืชขาดธาตุสังกะสี เมื่อพืชขาดธาตุสังกะสี จะทำให้การเจริญเติบโตของพืชชะงัก ลำต้นแคระแกรน ใบเป็นสีเหลืองและม้วนงอ ส่วนใบล่างจะเป็นแผลสีน้ำตาล ถ้าขาดรุนแรงอาจทำให้ไม่ให้ผลผลิต หรือตายในที่สุด

พิจารณา สังกะสี (mg/kg) ของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน D1, D2, D3 และ D4 ที่ Hydraulic Loading 3, 2, 1 และ 0.5 cm/wk (ภาพประกอบที่ 3.4) พบว่า การเพิ่มปริมาณสังกะสีของแปลง D2 มีปริมาณสังกะสีสูงที่สุด รองลงมาคือ แปลง D1 การเพิ่มขึ้นของสังกะสีในดินอาจเกิดจากการที่ดินรับน้ำทิ้งที่มีสังกะสีเจือปนอยู่ รวมทั้งค่า pH ที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสำหรับการเพิ่มปริมาณของสังกะสี (pH 5.5-6.5) ซึ่งแต่ละ Hydraulic Loading มีค่ามีแนวโน้มของค่า pH เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่รดด้วยน้ำทิ้งนานขึ้น สำหรับการลดลงของสังกะสีหลังการรดด้วยน้ำทิ้งเกิดขึ้นในแปลง D3 และ D4 การลดลงของสังกะสีในดินนั้นอาจเกิดจากการที่มีอินทรียวัตถุอยู่ในดินสูงทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ยาก รวมทั้งการที่พืชดึงสังกะสีในดินไปใช้ประโยชน์ด้วย

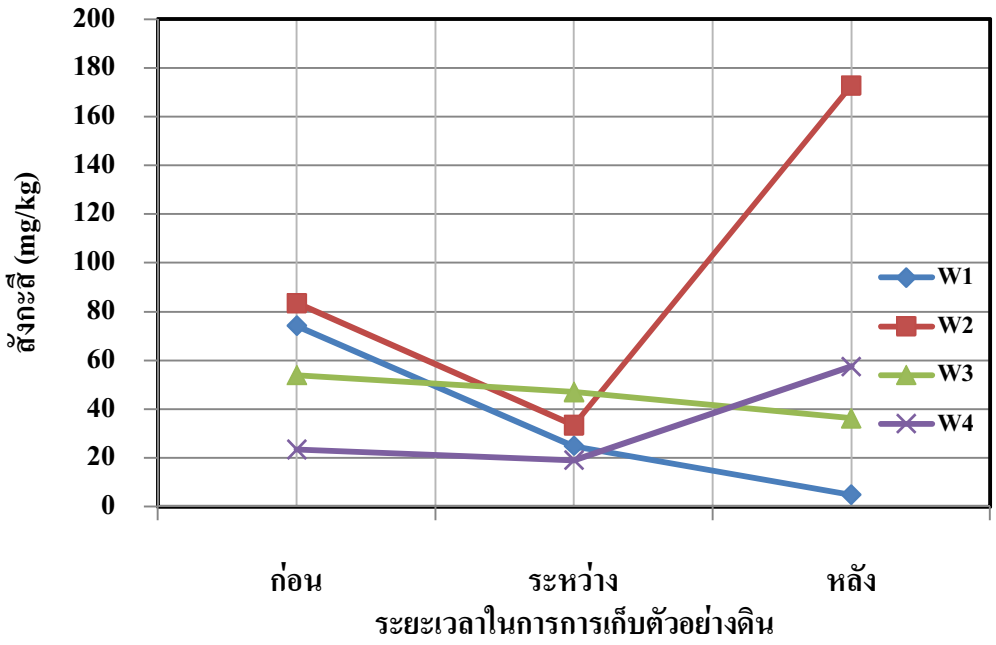


ภาพประกอบที่ 3.4 ปริมาณสังกะสี (mg/kg) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน

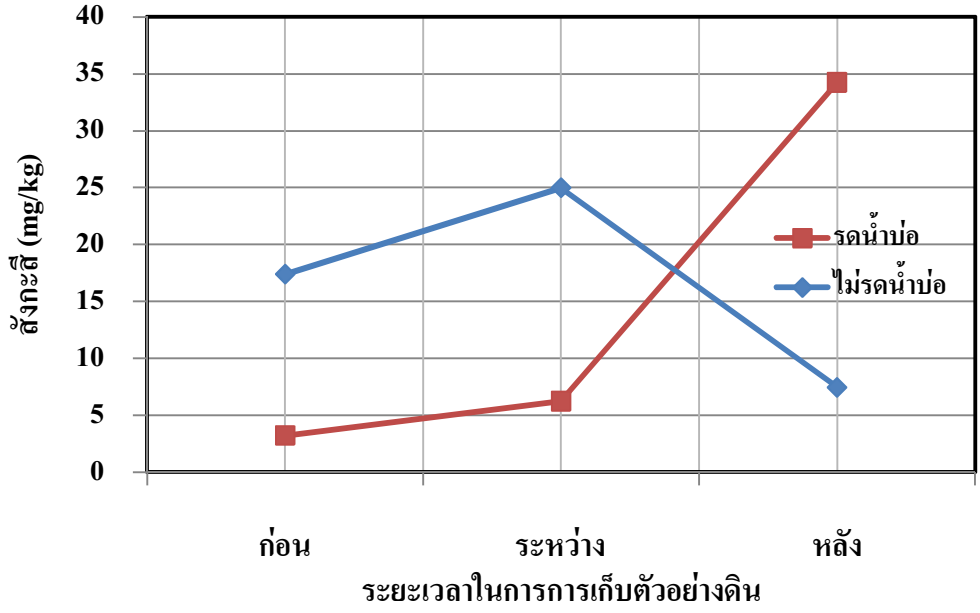
พิจารณา สังกะสี (mg/kg) ของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง W1, W2, W3 และ W4 ที่ Hydraulic Loading 3, 2, 1 และ 0.5 cm/wk (ภาพประกอบที่ 3.5) พบว่า การเพิ่มปริมาณสังกะสีของแปลง W2 มีปริมาณสังกะสีสูงที่สุด รองลงมาคือ แปลง W4 การเพิ่มขึ้นของสังกะสีในดินอาจเกิดจากการที่ดินรับน้ำทิ้งที่มีสังกะสีเจือปนอยู่ (มีอยู่ 0.21 mg/L) รวมทั้งค่า pH ที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสำหรับการเพิ่มปริมาณของสังกะสี (pH 5.5-6.5) ซึ่งแต่ละ Hydraulic Loading มีค่ามีแนวโน้มของค่า pH เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่รดด้วยน้ำทิ้งนานขึ้น สำหรับการลดลงของสังกะสีหลังการรดด้วยน้ำทิ้งเกิดขึ้นในแปลง W1 และ W3 การลดลงของสังกะสีในดินนั้นอาจเกิดจากการที่มีอินทรียวัตถุอยู่ในดินสูงทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ยาก รวมทั้งอาจเกิดจากการที่พืชดึงสังกะสีในดินไปใช้ประโยชน์ด้วย

พิจารณา สังกะสีของแปลงที่รดด้วยน้ำบ่อ และไม่รดน้ำบ่อ พบว่า ค่าสังกะสีของแปลงที่รดด้วยน้ำบ่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ศึกษา เนื่องจากการรดด้วยน้ำบ่อสามารถเพิ่มอินทรียวัตถุให้แก่ดินได้ โดยการรดด้วยน้ำบ่อก็มีส่วนทำให้ปริมาณอินทรียคาร์บอน (ปริมาณคาร์บอนที่ประกอบอยู่ในสารอินทรียวัตถุ) สูงขึ้นได้เนื่องจากน้ำบ่อที่รดสามารถนำ CO_2 ในอากาศลงสู่ดิน เมื่อ CO_2 ทำปฏิกิริยากับ H_2O กลายเป็น $(CH_2O)n$ ซึ่งก็ คือ เป็นการเปลี่ยนคาร์บอนไดออก-ไซด์ให้เป็นสารประกอบอินทรีย์ (คาร์โบไฮเดรต) โดยการสังเคราะห์ด้วยแสงของจุลินทรีย์ ในขณะ

ที่แปลงที่ไม่มีการรดน้ำทิ้งมีแนวโน้มของค่าสังกะสีที่ไม่ชัดเจนของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามระยะเวลาที่ศึกษา



ภาพประกอบที่ 3.5 ปริมาณสังกะสี (mg/kg) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง



ภาพประกอบที่ 3.6 ปริมาณสังกะสี (mg/kg) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำบ่อ และไม่รดน้ำบ่อ

อย่างไรก็ตามค่าสังกะสีในดินที่วิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ในช่วงของค่าสังกะสีในดินที่ปกติพบทั่วไปคือ 10–300 mg/kg นอกจากสังกะสีในดินจะเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชแล้ว สังกะสียังเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงการปนเปื้อนของโลหะหนักที่มีที่มีความเป็นพิษที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าสังกะสีในน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นที่นำมาทำการทดลอง (0.21 mg/L) กับมาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการชลประทาน (Irrigation) คือ การให้น้ำในขนาดที่พอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช สำหรับน้ำที่ใช้อย่างต่อเนื่องบนดินควรมีค่า Znไม่เกิน 2.0 mg/L (US.EPA, 2006) พบว่ามีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน

ค่าอินทรียวัตถุ (Organic Matter, %) ในดิน ปริมาณของอินทรียวัตถุในดินเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ เนื่องจากอินทรียวัตถุเป็นแหล่งสำรองของธาตุอาหารพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส กำมะถัน และธาตุอาหารอื่นๆ ธาตุอาหารเหล่านี้จะปลดปล่อยออกมาเมื่ออินทรียวัตถุถูกย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Mineralization) และเป็นประโยชน์กับพืชในการเจริญเติบโต

พิจารณา อินทรียวัตถุ (Organic Matter, %) ในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน D1, D2, D3 และ D4 ที่ Hydraulic Loading 3, 2, 1 และ 0.5 cm/wk (ตารางที่ 3.8) พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ศึกษาเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ดินก่อนการทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินค่อนข้างต่ำแสดงว่ามีปริมาณธาตุอาหารในดินอยู่น้อยมาก ทำให้การได้รับธาตุอาหารเพิ่มจากดินของปาล์มน้ำมันน้อยมาก เมื่อทำการทดลองรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น พบว่าอินทรียวัตถุในดินมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากในน้ำทิ้งมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่สูง การรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นจึงเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์ให้แก่ดิน เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นจึงเกิดการสะสมของสารอินทรีย์บริเวณผิวหน้าของชั้นดิน และบริเวณรากของพืชที่ดูดซับไว้ การที่ดินมีปริมาณสารอินทรีย์สูงนั้นเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืช ดินมีความร่วนซุยทำให้พืชสามารถดูดธาตุอาหารได้ดี ดินสามารถระบายน้ำ และอากาศได้ดี ทำให้ดินมีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากขึ้นสามารถดูดยึดธาตุอาหารได้ดี ช่วยต้านทานการเปลี่ยนแปลง pH ของดินทำให้ดินมี pH เป็นกลาง แต่หากมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูงกว่า 4.5% อาจทำให้มีไนโตรเจนเพิ่มขึ้น และอาจสูงมากจนเป็นพิษต่อพืชได้ เนื่องจากถ้าพืชได้รับไนโตรเจนในปริมาณมากกว่าปกติ จะทำให้มีการเจริญเติบโตของรากลดลง ลำให้ลำต้นอ่อนหักล้มได้ง่าย ทำให้พืชมีการใช้น้ำ และคายน้ำมากกว่าปกติ และง่ายต่อการเหี่ยวเฉา และพบว่า การเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุของแปลง D2 (115.8%) มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงที่สุด รองลงมาคือ แปลง D1 (78.5%), D3 (64.7%) และ D4 (51.1%) ตามลำดับ พบว่า แนวโน้มของค่าอินทรียวัตถุลดลงเมื่อ Hydraulic Loading สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก

การรดด้วยน้ำทิ้งในอัตราที่สูงทำให้รากพืช และชั้นดินไม่สามารถกรองสารอินทรีย์ได้ทั้งหมด จึงทำให้สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำทิ้งเหลือปนไปกับน้ำที่ออกจากระบบบำบัดโดยดิน จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้นด้วยการบำบัดโดยดินในสวนปาล์มน้ำมัน (พัชร, 2554) พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด TKN, COD และ SS ลดลงเมื่อการรดถี่ขึ้น (เปรียบเทียบระหว่างแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวันกับแปลงที่รดสัปดาห์ละครั้ง)

พิจารณา อินทรียวัตถุ (Organic Matter, %) ในดินของแปลงที่รดด้วยทิ้งสัปดาห์ละครั้ง W1, W2, W3 และ W4 ที่ Hydraulic Loading 3, 2, 1 และ 0.5 cm/wk (ตารางที่ 3.8) พบว่า การเพิ่ม Hydraulic Loading 0.5 cm/wk เป็น Hydraulic Loading 1 cm/wk ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีค่าเพิ่มขึ้น จาก 54.5% เป็น 74.1% แต่เมื่อเพิ่ม Hydraulic Loading จาก 1 cm/wk เป็น Hydraulic Loading 2 cm/wk และ 3 cm/wk ปริมาณอินทรียวัตถุในดินกลับมีค่าลดลงจาก 74.1% เป็น 20.5% และ 16.4% ตามลำดับ เนื่องจากการรดด้วยน้ำทิ้งในอัตราที่สูงทำให้รากพืช และชั้นดินไม่สามารถกรองสารอินทรีย์ได้ทั้งหมด จึงทำให้สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำทิ้งเหลือปนไปกับน้ำที่ออกจากระบบบำบัดโดยดิน แต่อย่างไรก็ตามยังคงพบว่าปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ศึกษาเพิ่มขึ้น กล่าวคือ เมื่อปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำทิ้งมีสูง การรดลงในดินทำให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ในดินสูงขึ้นตามระยะเวลาในการรดน้ำทิ้งที่นานขึ้นทำให้สารอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในดินจึงมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นด้วย

ในการประเมินอินทรียวัตถุในดินโดยทั่วไป สามารถบอกถึงผลกระทบที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.7 เมื่อพิจารณาค่าอินทรียวัตถุในดินที่ทำการทดลองกับผลการประเมินอินทรียวัตถุในดิน และผลกระทบที่มีต่อพืช พบว่า ดินที่ทำการทดลองมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินสูง แต่ผลกระทบที่มีจะไม่ส่งผลต่อปาล์มเนื่องจากปาล์มมีอายุมากแล้ว

ตารางที่ 3.7 การประเมินอินทรียวัตถุในดิน และผลกระทบที่มีต่อพืช

อินทรียวัตถุ (%)	การประเมิน	ผลกระทบต่อพืช
<0.5	ต่ำมาก	ธาตุอาหารไม่เพิ่มขึ้น
0.5 – 1.5	ต่ำ	ธาตุอาหารเพิ่มน้อยมาก
1.5 – 2.5	ปานกลาง	ดินจับตัว และจับธาตุอาหารได้บ้าง พืชดูดธาตุอาหารง่าย แต่ธาตุอาหารเพิ่มน้อย
2.5 – 4.5	สูง	เพิ่มธาตุอาหาร พืชดูดธาตุอาหารดี ดินจับตัว และจับธาตุอาหารยับยั้งสมบัติทางเคมี
>4.5	สูงมาก	ระวังการมีไนโตรเจนสารพิษเพิ่มขึ้น และอาจสูงมากจนเป็นพิษต่อพืชได้

ที่มา: มุกดา, 2544

ตารางที่ 3.8 ผลการวิเคราะห์อินทรียวัตถุในดิน

แปลงทดลอง	Hydraulic Loading (cm/wk)	อินทรียวัตถุ (%)			
		ก่อนการทดลอง พ.ค. 2553	ระหว่างการทดลอง ต.ค. 2553	หลังการทดลอง มี.ค. 2554	% การเพิ่มขึ้น*
D1	3	1.30	2.07	2.32	78.5
D2	2	1.20	1.82	2.59	115.8
D3	1	1.67	2.50	2.75	64.7
D4	0.5	2.02	2.94	3.05	51.0
W1	3	2.74	3.00	3.19	16.4
W2	2	2.59	2.99	3.12	20.5
W3	1	1.85	3.09	3.22	74.1
W4	0.5	2.00	2.14	3.09	54.5
รดน้ำบ่อ	3	1.13	1.35	1.55	37.2
ไม่รดน้ำบ่อ	-	1.45	1.25	1.35	-6.9

หมายเหตุ: * อัตราการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุเมื่อทำการทดลองจนถึงเดือนมีนาคม 2554

อินทรียคาร์บอน (Organic Carbon, %) ปริมาณคาร์บอนที่ประกอบอยู่ในสารอินทรียวัตถุ (Organic Matter) ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น วิธีการเปลี่ยนแปลง ลักษณะการใช้ที่ดิน สภาพภูมิอากาศ คุณสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์และชีวภาพของดินนั้นๆ รวมทั้งปริมาณของอินทรียวัตถุที่ถูกเติมลงไปในดินทั้งจากน้ำทิ้งและจากอากาศ

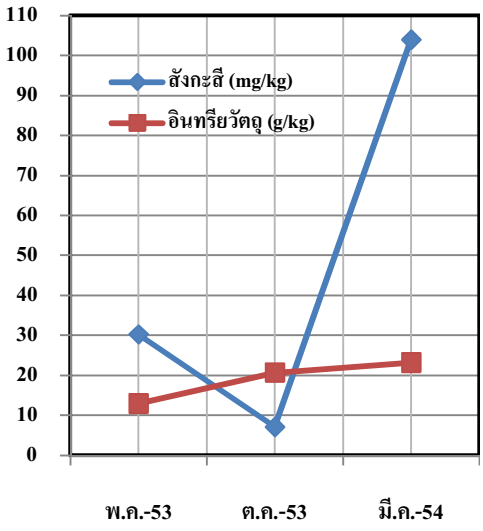
พิจารณาค่าอินทรียคาร์บอนในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน D1, D2, D3 และ D4 ที่ Hydraulic Loading 3, 2, 1 และ 0.5 cm/wk (ตารางที่ 3.9) พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ศึกษาเพิ่มขึ้น แต่แนวโน้มของค่าอินทรียวัตถุลดลงเมื่อ Hydraulic Loading สูงขึ้น และเมื่อพิจารณาอินทรียคาร์บอนในดินของแปลงที่รดด้วยทิ้งสัปดาห์ละครั้ง W1, W2, W3 และ W4 ที่ Hydraulic Loading 3, 2, 1 และ 0.5 cm/wk (ตารางที่ 3.9) พบว่า ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ Hydraulic Loading และระยะเวลาที่ศึกษาเพิ่มขึ้น ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

จากผลการวิเคราะห์อินทรียคาร์บอนในดินพบว่าค่าอินทรียคาร์บอนในดินของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งมีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่รดด้วยน้ำทิ้ง เนื่องจากในน้ำทิ้งมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่สูงจึงเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรียคาร์บอนให้กับดิน นอกจากนี้การรดด้วยน้ำบ่อก็มีส่วนทำให้ปริมาณอินทรียคาร์บอนสูงขึ้นได้เนื่องจากน้ำที่รดนำ CO_2 ในอากาศลงสู่ดิน โดยเมื่อ CO_2 ทำปฏิกิริยากับ H_2O กลายเป็น$(CH_2O)n$ ซึ่งก็คือเป็นการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นสารประกอบอินทรีย์ (คาร์โบไฮเดรต) โดยการสังเคราะห์ด้วยแสงของจุลินทรีย์ แต่ปริมาณอินทรียคาร์บอนไม่มากนักเมื่อเทียบกับปริมาณอินทรียคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับปริมาณธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 1.8) พบว่าปริมาณอินทรียคาร์บอนอยู่ในระดับต่ำถึงระดับปานกลาง ดังนั้นการเพิ่มปริมาณอินทรียคาร์บอนจึงเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตของพืช

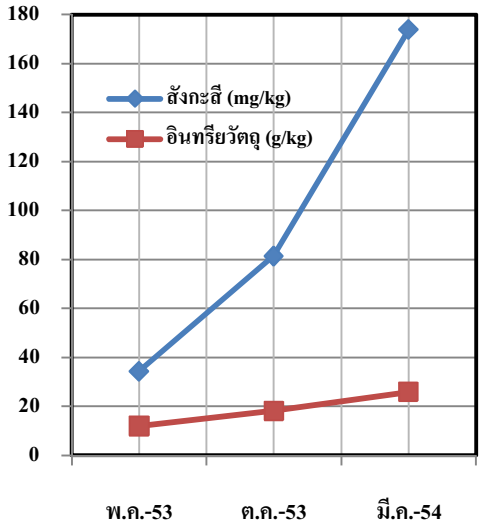
ตารางที่ 3.9 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนในดิน

แปลงทดลอง	Hydraulic Loading (cm/wk)	อินทรียคาร์บอน (%)		
		ก่อนการทดลอง พ.ค. 2553	ระหว่างการทดลอง ต.ค. 2553	หลังการทดลอง มี.ค. 2554
D1	3	0.75	1.20	1.34
D2	2	0.70	1.05	1.50
D3	1	0.97	1.45	1.60
D4	0.5	1.17	1.70	1.77
W1	3	1.59	1.74	1.85
W2	2	1.50	1.73	1.81
W3	1	1.07	1.79	1.87
W4	0.5	1.16	1.24	1.79
รดน้ำบ่อ	3	0.65	0.78	0.90
ไม่รดน้ำบ่อ	-	0.84	0.73	0.78

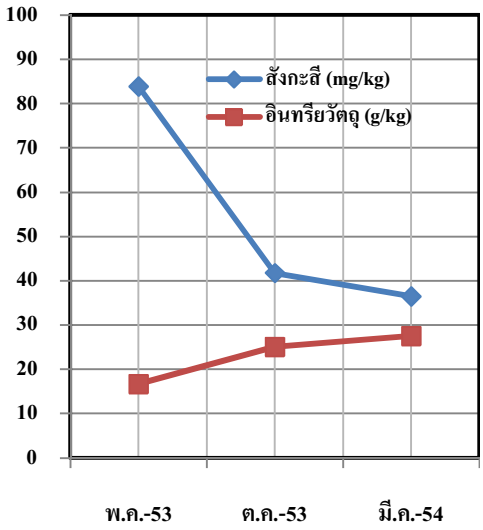
พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง สังกะสี (mg/kg) กับ อินทรียวัตถุ (g/kg) (พิจารณาที่หน่วยต่างกันเพื่อให้สะดวกต่อการพิจารณาความสัมพันธ์ในรูปของภาพประกอบ) ของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน และแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งที่ Hydraulic Loading ต่างกัน พบว่า ค่าสังกะสี (mg/kg) ลดลงเมื่อค่า อินทรียวัตถุ (g/kg) เพิ่มขึ้น แสดงดัง ภาพประกอบที่ 3.7 และภาพประกอบที่ 3.8 ทั้งนี้เนื่องจาก สังกะสีสามารถทำปฏิกิริยากับอินทรียวัตถุ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอยู่ในรูปของเกลือฟอสเฟต คาร์บอเนตและซิลิเกตที่ละลายน้ำได้ยาก พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทำให้สังกะสีที่อยู่ในสารละลายดินมีปริมาณต่ำ แต่ในบางครั้งอาจมีปัจจัยอื่นที่ทำให้ค่าที่ทำให้ สังกะสีในดินเพิ่มขึ้นในขณะที่อินทรียวัตถุในดินก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งต้องทำการศึกษาในรายละเอียดต่อไป



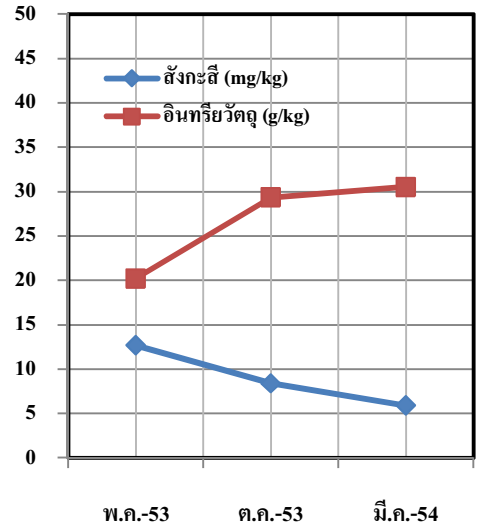
D1 (Hydraulic Loading 3 cm/wk)



D2 (Hydraulic Loading 2 cm/wk)

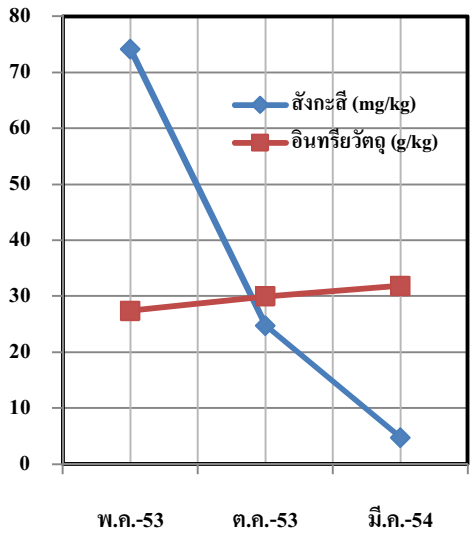


D3 (Hydraulic Loading 1 cm/wk)

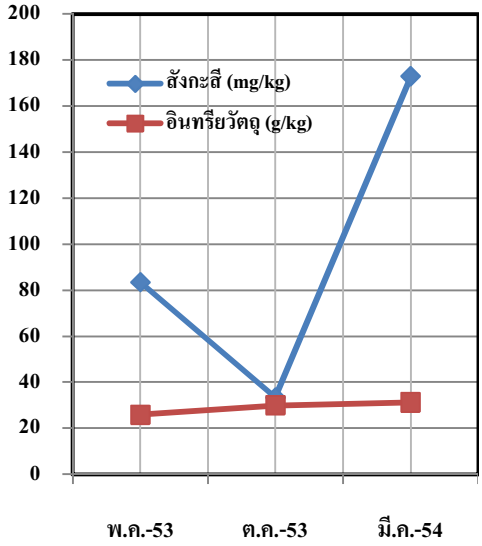


D4 (Hydraulic Loading 0.5 cm/wk)

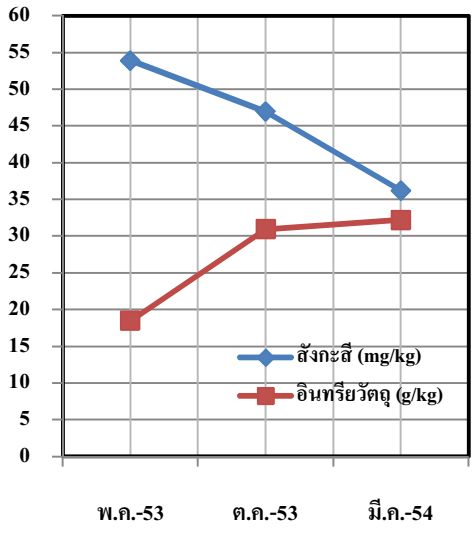
ภาพประกอบที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง สังกะสี (mg/kg) กับ อินทรียวัตถุ (g/kg) ของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน



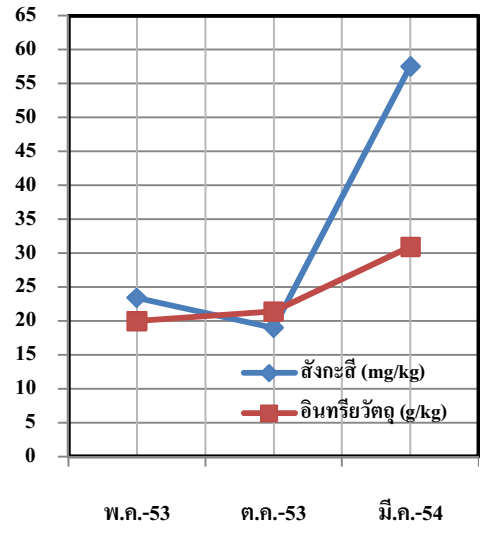
W1 (Hydraulic Loading 3 cm/wk)



W2 (Hydraulic Loading 2 cm/wk)



W3 (Hydraulic Loading 1 cm/wk)



W4 (Hydraulic Loading 0.5 cm/wk)

ภาพประกอบที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง สังกะสี (mg/kg) กับ อินทรียวัตถุ (g/kg) ของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง

อัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable Sodium Percentage: ESP, %) แสดงดังตารางที่ 3.10 พบว่าแนวโน้มค่าอัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดินที่มีการรดด้วยน้ำทิ้งมีค่าลดลง เนื่องจากในน้ำทิ้งมีสารอินทรีย์อยู่สูงจึงเป็นการเติมธาตุอาหารให้แก่พืช ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกได้ดีขึ้น ทำให้ดินมีสภาพที่เหมาะสำหรับการปลูกพืชมากขึ้น นอกจากนี้พบว่า การรดด้วยน้ำบ่อยังส่งผลให้ดินมีค่าอัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดินสูงขึ้นด้วย เนื่องจากการการเพิ่มขึ้น หรือลดลงของอัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดินขึ้นอยู่กับค่าความจุแลกในการเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) และปริมาณ Na^+ ที่ละลายอยู่ในดินด้วย

ค่าอัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดินก่อน ระหว่าง และหลังดำเนินการทดลองของแต่ละแปลงเป็นค่าอัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ที่ยอมรับได้ของเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการเลือกพื้นที่เพาะปลูก คือมีค่าต่ำกว่า 10% จากการทดลองพบว่า แปลงทดลองที่รดด้วยน้ำทิ้งมีค่าต่ำกว่า 10% มาก ลักษณะดินหลังการทดลองจึงเหมาะสำหรับการปลูกพืชโดยทั่วไป จากการศึกษา พบว่า หากค่าอัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนมีค่ามากกว่า 15 % และค่าการนำไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่า 0.4 S/cm ถือว่าดินนั้นเป็นดินโซดิก (Sodic soils) ซึ่งดินหลังการทดลองรดด้วยน้ำทิ้งไม่จัดว่าเป็น ดินโซดิก โดยลักษณะของดินโซดิกคือ สมบัติทางกายภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากโซเดียม (Na^+) ทำให้คอลลอยด์ดิน (อนุภาคของแข็งในดินที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ) เกิดการแพร่กระจาย ดินแน่นทึบ การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศเป็นไปได้ยาก หากการสะสมของโซเดียมมีปริมาณที่สูงจะเป็นพิษต่อพืช (ไพบูลย์, 2546) อัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดินมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าความจุแลกในการเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) คือหากค่าความจุแลกในการเปลี่ยนแคตไอออน(CEC) ในดินสูงจะทำให้ค่าอัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดินน้อย ซึ่งส่งผลให้คอลลอยด์ดินสามารถดูดยึดธาตุอาหารพืชได้มาก การเปลี่ยนแปลง pH ของดินน้อย และไม่ทำให้ดินนั้นเป็นดินโซดิก (Sodic soils) ในทางกลับกันถ้าค่าความจุแลกในการเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) คือหากค่าความจุแลกในการเปลี่ยนแคตไอออน (CEC) ในดินต่ำจะทำให้ค่าอัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดินสูงจะส่งผลให้คอลลอยด์ดินสามารถดูดยึดธาตุอาหารพืชได้น้อย เกิดการเปลี่ยนแปลง pH ของดินสูง และทำให้ดินนั้นมีความเสี่ยงต่อการกลายเป็นดินโซดิก ดังตัวอย่างการทดลองของ เภสัชรัตน์ (2550) พบว่า แปลงทดลองกลุ่มที่รดด้วยน้ำทิ้งมีค่าอัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการเลือกพื้นที่เพาะปลูก ทั้งนี้อาจเกิดจากการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศในช่วงเริ่มการทดลองเป็นไปอย่างยากลำบาก ทำให้เกิดการสะสมของโซเดียม (N^+) ได้ แม้ว่าการที่ดินมีแนวโน้มกลายเป็นดินโซดิก แต่ก็ยังสามารถใช้ประโยชน์จากดินดิกดังกล่าวเพื่อเพาะปลูกได้ โดยการเลือกปลูกพืชที่ทนต่อ

โซเดียมหรือสภาพโซดิก โดยพืชเหล่านี้จะดูดโซเดียมและเคลื่อนย้ายโซเดียมไปยังส่วนเหนือพื้นดินได้ดี

ตารางที่ 3.10 ผลการวิเคราะห์อัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดิน

แปลงทดลอง	Hydraulic Loading (cm/wk)	อัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ (%)		
		ก่อนการทดลอง พ.ค. 2553	ระหว่างการทดลอง ต.ค. 2553	หลังการทดลอง มี.ค. 2554
D1	3	1.92	1.02	0.28
D2	2	1.28	1.06	0.31
D3	1	0.85	0.62	0.40
D4	0.5	1.59	0.31	0.43
W1	3	0.89	0.41	0.41
W2	2	1.19	2.17	0.42
W3	1	1.49	0.45	0.50
W4	0.5	1.11	0.61	0.45
รดน้ำบ่อ	3	0.66	0.26	0.29
ไม่รดน้ำบ่อ	-	0.71	0.58	0.24

ความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้ของดิน (Base Saturation, %) จะบ่งบอกถึงสัดส่วนระหว่างเบสิกแคตไอออน (Ca^{2+}และ Mg^{2+}) และแคตไอออน (K^{+} และ Na^{+})ที่เป็นกรดที่ดูดซับอยู่ในดิน ความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้ของดินก่อนการทดลองกับดินระหว่างการทดลองที่มีการด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นเป็นระยะเวลา 4 เดือน ของแปลงทดลอง D1, D2, D3, W2, W4, รดน้ำบ่อ และไม่รดน้ำบ่อ พบว่า ความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้ มีค่าจาก 41.6, 41.3, 87.1, 79.8, 82.6, 44.1 และ 37.6**%** เป็น 74.2, 93.8, 129.1, 106.7, 100.6, 56.5 และ 67.6% ตามลำดับ และดินหลังการทดลองเป็นระยะเวลา 9 เดือน มีค่า 108.5, 112.5, 127.2, 117.0, 108.1, 46.2 และ 83.4 % แนวโน้มการเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 160.8, 172.4, 46.0, 46.6, 30.9, 4.8 และ 121.8) เป็นไปตามระยะเวลาที่รดน้ำทิ้งคือ เมื่อรดนานขึ้นความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้ของดินมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากเบสิกแคตไอออนที่มีอยู่ในน้ำทิ้งเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดิน เมื่อเปรียบเทียบกับแปลง

ที่ไม่ได้รดน้ำมีแนวโน้มความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้เพิ่มขึ้น ในขณะที่แปลงรดน้ำบ่อมีค่าความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้ลดลงเมื่อมีระยะเวลาในการรดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการชะล้างของน้ำบ่อที่รดพาเบสิกแคตไอออนที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวดินให้หลุดออกไป การที่ดินมีความอิ่มตัวด้วยเบสสูงจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากเบสิกแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจะเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชหลายธาตุ ปริมาณของเบสิกแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ในดินจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ค่าความจุแลกในการเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity: CEC, meq/100g) ในดินก่อนการทดลองของแปลงทดลอง D1, D2, W1, W2, W4, มีค่า 3.65, 5.45, 3.36, 5.89 และ 5.4 meq/100g ตามลำดับ เมื่อทำการด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นเป็นระยะเวลา 9 เดือน ดินหลังการทดลองมีค่าความจุแลกในการเปลี่ยนแคตไอออนเพิ่มขึ้นเป็น 7.08, 6.54, 4.85, 7.13 และ 6.65 meq/100g ตามลำดับ (ร้อยละ 94.0, 20.0, 44.3, 21.1 และ 23.1 ตามลำดับ) ในขณะที่แปลง D3, D4, W3, รดน้ำบ่อ และไม่รดน้ำบ่อ มีค่าความจุแลกในการเปลี่ยนแคตไอออน 5.89, 6.3, 6.73, 4.56 และ 4.23 meq/100g ตามลำดับ เมื่อทำการด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นเป็นระยะเวลา 9 เดือนดินหลังการทดลองมีค่าความจุแลกในการเปลี่ยนแคตไอออนลดลงเป็น 4.97, 4.61, 4, 6.03, 3.40 และ4.21 meq/100g ตามลำดับ (ร้อยละ 15.6, 26.8, 10.4, 25.4 และ 0.5 ตามลำดับ) ซึ่งมีความแตกต่างจากการทดลองของ Lim Kim Huan เนื่องจากการทดลองของ Lim Kim Huan พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความจุแลกในการเปลี่ยนแคตไอออนจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการรดน้ำทิ้งและจะเพิ่มมากขึ้นตามอัตราการรดน้ำทิ้ง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณที่เพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุ ความต่างกันนี้อาจเกิดจากความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่ดินดูดซับไว้กับไอออนบวกอื่นๆ ที่อยู่ในสารละลายดินเกิดขึ้นน้อย เนื่องจากดินตรึงไอออนบวกบางชนิดไว้ให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชน้อย สำหรับการทดลองของ เภสัชรัตน์ (2550) พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความจุแลกในการเปลี่ยนแคตไอออนจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการรดด้วยน้ำทิ้งเพียงเล็กน้อย ค่า CEC ของดินสามารถนำไปประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ เนื่องจากไอออนบวกที่ดูดซับด้วยคอลลอยด์ดินใหญ่เป็นธาตุอาหารพืช และพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดินที่มีค่า CEC สูง โอกาสที่จะสูญเสียธาตุอาหารทั้งที่อยู่โดยธรรมชาติหรือเติมให้ในรูปของปุ๋ยโดยการชะละลาย (leaching) น้อยกว่าดินที่มีค่า CEC ต่ำ เนื่องจากไอออนบวกต่าง ๆ ถูกดูดยึดโดยคอลลอยด์ดินได้มากกว่า จากผลการวิเคราะห์ค่า CEC แต่ละแปลงทดลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมัน พบว่า มีค่า CEC ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารที่ถูกยึดโดยคอลลอยด์ดินมีน้อย

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P, mg/kg) ในดินก่อนการทดลองกับดินระหว่างการทดลองที่มีการรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นเป็นระยะเวลา 4 เดือน ของแปลงทดลอง D1, D2, D4, W4, และไม่รดน้ำบ่อ มีค่า 114.8, 93.8, 80.1, 120.8 และ 49.7 mg/kg ตามลำดับ มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 138.2, 547.9, 208.12, 171.4 และ 99.5 mg/kg ตามลำดับ และดินหลังการทดลองเป็นระยะเวลา 9 เดือน ของแปลงทดลอง D1, D2, D3, D4, W1, W2, W3, W4 และไม่รดน้ำบ่อ มีค่าฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นจากแปลงดังกล่าวของดินระหว่างการทดลองเป็น 602.3, 1003.1, 221.9, 239.8, 143.2, 1060.0, 293.7, 558.3, 82.2 และ247.0 mg/kg การเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เนื่องจากในน้ำทิ้งที่นำมารดมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่สูง จึงเป็นการเพิ่มฟอสฟอรัสให้กับดิน รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ในดินที่ทำการทดลองส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในดินสูงขึ้นด้วย เนื่องจากอินทรียวัตถุเมื่อผ่านการย่อยสลาย นอกจากจะปลดปล่อยให้ฟอสฟอรัสแก่พืชแล้วสารที่เกิดจากการย่อยสลายยังช่วยลดการตรึงของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่มีอยู่โดยธรรมชาติ และที่เติมลงไป สำหรับฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนการทดลองกับดินระหว่างการทดลองที่มีการด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นเป็นระยะเวลา 4 เดือน ของแปลงทดลอง D3, W1, W2, W3 และรดน้ำบ่อ มีค่า 363.2, 235.9, 417.2, 455.6 และ114.4 mg/kg ตามลำดับ มีค่าลดลงเป็น 153.8, 127.7, 233.2, 136.9 และ93.4 mg/kg ตามลำดับ และดินหลังการทดลองของแปลงรดน้ำบ่อมีค่าฟอสฟอรัสลดลงจากแปลงรดน้ำบ่อของดินระหว่างการทดลอง เป็น 82.2 mg/kg เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ pH ในดินหลังการทดลอง ทำให้มี Ca^{2+} และ Mg^{2+} สูงขึ้น ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้เมื่อทำปฏิกิริยากับ Ca^{2+} และ Mg^{2+} และถูกดูดยึดอยู่กับผิวดินกลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้น้อยลง ปรากฏการณ์ที่ฟอสฟอรัสละลายน้ำได้ถูกทำให้ตกตะกอนและดูดยึดในดินนี้เรียกว่าการตรึงฟอสฟอรัส (phosphorus fixation) ซึ่งเป็นการทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสลดลง

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (Available K, mg/kg) ในดินก่อนการทดลองกับดินระหว่างการทดลองที่มีการด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นเป็นระยะเวลา 4 เดือน ของแปลงทดลอง D1, D2, D3, W1, W2, W4, และรดน้ำบ่อ มีค่า 93.6, 156.0, 167.7, 89.7, 269.1, 288.6, 105.3 และ 58.5 mg/kg ตามลำดับ ค่าโพแทสเซียมของดินหลังการทดลองในแปลงทดลอง D1, D2, D3, D4, W1, W2, W3 และ W4 มีค่าเพิ่มขึ้นจากแปลงทดลองเดียวกันของดินระหว่างการทดลองมีค่า 741.0, 686.4, 686.4, 538.2, 429.0, 733.2, 725.4 และ 799.5 mg/kg ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เกิดจากการรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางขึ้น เนื่องจากในน้ำทิ้งของโรงงานน้ำยางข้นมีโพแทสเซียมอยู่ ซึ่งเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดิน สำหรับโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ในดินก่อนการทดลองกับดินระหว่างการทดลองที่มีการด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นเป็นระยะเวลา

4 เดือน ของแปลงทดลอง D4 และ W4 มีค่าลดลงเป็น 663.0 และ 666.9 mg/kg ตามลำดับ ค่าโพแทสเซียมของดินหลังการทดลองในแปลงทดลอง รดน้ำบ่อ และไม่รดน้ำบ่อ มีค่าโพแทสเซียมลดลงเป็น 101.4 และ 62.4 mg/kg (ร้อยละ 10.3 และ 20.0) ตามลำดับ จาการพิจารณาพบว่า แปลงทดลอง D4 และ W4 CEC มีค่าลดลงจึงส่งผลให้ค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ของแปลงทดลอง D4 และ W4 มีค่าลดลงด้วย

ตารางที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของดินสำหรับพิจารณาความอุดมสมบูรณ์ของดิน

พารามิเตอร์	Organic Matter (g/kg)			Base Saturation (%)			CEC (meq/100g)			Available P (mg/kg)			Available K (mg/kg)		
	ก่อน	ระหว่าง	หลัง	ก่อน	ระหว่าง	หลัง	ก่อน	ระหว่าง	หลัง	ก่อน	ระหว่าง	หลัง	ก่อน	ระหว่าง	หลัง
D_1	12.95	20.66	23.17	41.6	74.2	108.5	3.65	5.88	7.08	114.8	138.2	602.3	93.6	136.5	741.0
D_2	11.99	18.18	25.86	41.3	93.8	112.5	5.45	5.66	6.54	93.8	547.9	1003.1	156.0	460.2	686.4
D_3	16.68	25.04	27.54	87.1	129.1	127.2	5.89	6.46	4.97	363.2	153.8	221.9	167.7	460.2	686.4
D_4	20.20	29.35	30.54	159.8	68.0	139.1	6.30	6.41	4.61	80.1	208.1	239.8	663.0	202.8	538.2
W_1	27.40	29.99	31.87	59.5	85.2	48.3	3.36	4.85	4.85	235.9	127.7	143.2	89.7	171.6	429.0
W_2	25.85	29.90	31.23	79.8	106.7	117.0	5.89	5.06	7.13	417.2	233.2	1060.0	269.1	503.1	733.2
W_3	18.47	30.93	32.21	154.7	74.8	118.2	6.73	6.71	6.03	455.6	136.9	293.7	666.9	249.6	725.4
W_4	19.95	21.38	30.90	82.6	100.6	108.1	5.40	4.89	6.65	120.8	171.4	558.3	288.6	464.1	799.5
รดน้ำบ่อ	11.28	13.48	15.50	44.1	56.5	46.2	4.56	3.79	3.40	114.4	93.4	82.2	105.3	113.1	101.4
ไม่รดน้ำบ่อ	14.54	12.52	13.52	37.6	67.6	83.4	4.23	3.46	4.21	49.7	99.5	247.0	58.5	78.0	62.4

หมายเหตุ : mg/kg = ppm และ cmol/kg = meq/100g

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ค่า Organic Matter, Base saturation, CEC, Available P และ Available K ในตารางที่ 3.11 มาประเมินกับเกณฑ์ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วยวิธีการให้คะแนน ดังแสดงในตารางที่ 3.12 โดยการนำผลการวิเคราะห์ไปเทียบกับค่าที่ได้กำหนดไว้ว่าอยู่ในระดับต่ำ ปานกลาง หรือสูง และเมื่อพิจารณาร่วมกับสมบัติเคมีบางประการของดินก็จะสามารถใช้แนะนำการปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ยกับพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบว่าดินที่จะใช้ในการปลูกพืชนั้น มีระดับธาตุอาหารพืชต่าง ๆ อยู่มากน้อยเพียงใด และหากต้องการใส่เพิ่มลงไปในดิน ธาตุใดจำเป็นต้องเพิ่มและเพิ่มในอัตราเท่าใด เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกชนิดของปุ๋ยและอัตราปุ๋ยอย่างเหมาะสม เป็นการอนุรักษ์ดินนั้นให้คงความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสามารถใช้ปลูกพืชได้อย่างเหมาะสมเป็นเวลานาน ๆ (วิเชียร, 2537) สำหรับการประเมินระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ข้อสรุปการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดังแสดงในตารางที่ 3.13, 3.14 และ 3.15

ตารางที่ 3.12 เกณฑ์ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (กองสำรวจดิน, 2523)

ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน	อินทรียวัตถุ (g/kg)	ความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (%)	ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cmolc/kg)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)
ต่ำ (คะแนน)	<15 (1)	<35 (1)	<10 (1)	<10 (1)	<60 (1)
ปานกลาง (คะแนน)	15-35 (2)	35-75 (2)	10-20 (2)	10-25 (2)	60-90 (2)
สูง (คะแนน)	>35 (3)	>75 (3)	>20 (3)	>25 (3)	>90 (3)

หมายเหตุ : ผลการประเมินใช้เกณฑ์ดังนี้ เมื่อรวมคะแนนถ้าได้คะแนนรวม น้อยกว่า 7 แสดงว่าระดับอุดมสมบูรณ์ต่ำ ถ้าคะแนนระหว่าง 8-12 แสดงว่าระดับอุดมสมบูรณ์ปานกลาง และคะแนนตั้งแต่ 13 ขึ้นไปถือว่าดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์สูง

ตารางที่ 3.13 ผลการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินก่อนการทดลอง

พารามิเตอร์	อินทรียวัตถุ (g/kg)	ความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (%)	ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cmolc/kg)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	คะแนน	ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน
D_1	1	2	1	3	3	10	ปานกลาง
D_2	1	1	1	3	3	9	ปานกลาง
D_3	2	3	1	3	3	12	ปานกลาง
D_4	2	3	1	3	3	12	ปานกลาง
W_1	2	2	1	3	2	10	ปานกลาง
W_2	2	2	1	3	3	11	ปานกลาง
W_3	2	3	1	3	3	12	ปานกลาง
W_4	2	2	1	3	3	11	ปานกลาง
รดน้ำบ่อ	1	2	1	3	2	9	ปานกลาง
ไม่รดน้ำบ่อ	1	1	1	3	3	9	ปานกลาง

ตารางที่ 3.14 ผลการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินระหว่างการทดลอง

พารามิเตอร์	อินทรียวัตถุ (g/kg)	ความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (%)	ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cmolc/kg)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	คะแนน	ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน
D_1	2	2	1	3	3	11	ปานกลาง
D_2	2	2	1	3	3	11	ปานกลาง
D_3	2	3	1	3	3	12	ปานกลาง
D_4	2	2	1	3	3	11	ปานกลาง
W_1	2	3	1	3	2	11	ปานกลาง
W_2	2	3	1	3	3	12	ปานกลาง
W_3	2	2	1	3	3	11	ปานกลาง
W_4	2	3	1	3	3	12	ปานกลาง
รดน้ำบ่อ	2	2	1	3	3	11	ปานกลาง
ไม่รดน้ำบ่อ	1	2	1	3	2	9	ปานกลาง

ตารางที่ 3.15 ผลการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินหลังการทดลอง

พารามิเตอร์	อินทรียวัตถุ (g/kg)	ความอิ่มตัวของเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (%)	ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cmolc/kg)	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (mg/kg)	คะแนน	ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน
D_1	2	3	1	3	3	12	ปานกลาง
D_2	2	3	1	3	3	12	ปานกลาง
D_3	2	3	1	3	3	12	ปานกลาง
D_4	2	3	1	3	3	12	ปานกลาง
W_1	2	2	1	3	3	11	ปานกลาง
W_2	2	3	1	3	3	12	ปานกลาง
W_3	2	3	1	3	3	12	ปานกลาง
W_4	2	3	1	3	3	12	ปานกลาง
รดน้ำบ่อ	1	2	1	3	3	10	ปานกลาง
ไม่รดน้ำบ่อ	1	2	1	3	2	9	ปานกลาง

การศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน เป็นการศึกษาความสามารถของดินที่จะให้แร่ธาตุอาหารจำเป็นต่างๆ ในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืชที่ปลูกในปริมาณที่เพียงพอ มีสัดส่วนเหมาะสมและสมดุลต่อความต้องการของพืชนั้นๆ โดยไม่มากเกินไปจนเกิดผลเสีย และไม่น้อยเกินไปจนเกิดการขาดแคลน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน จึงเป็นสถานภาพของดินที่สำคัญต่อการผลิตพืช เนื่องจากมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างยิ่ง

เมื่อเปรียบเทียบการทดลองและศึกษาลักษณะของดินที่เกิดจากการนำน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมันกับเกณฑ์ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินพบว่า ดินก่อนการทดลองมีระดับความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง สำหรับดินระหว่างการทดลองที่มีการรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นเป็นระยะเวลา 4 เดือน พบว่า มีระดับความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง และดินหลังการทดลองที่มีการรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นเป็นระยะเวลา 9 เดือน พบว่า มีระดับความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลางเช่นกัน ซึ่งลักษณะของระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินอยู่ในระดับปานกลางนั้น คือ การเจริญเติบโตของพืชค่อนข้าปานกลาง ผลผลิตของพืชค่อนข้างต่ำ ธาตุอาหารแต่ละธาตุที่อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีปานกลาง ไม่ขาดแคลนนัก ดินสามารถชดเชยธาตุอาหารแก่พืชในอัตราที่เกือบจะเพียงพอแก่พืช อาจขาดแคลนเพียงธาตุอาหารเพียง 1 ธาตุ และขาดแคลนไม่มากนัก อาจมีปัญหาด้านความสมดุลของธาตุอาหารในดินบ้าง ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเนื้อเยื่อพืชค่อนข้างต่ำ ใช้ปุ๋ยไม่มากนักเพื่อให้พืชได้รับธาตุเหล่านั้น

อย่างเพียงพอ ปัญหาอื่นๆ ที่อาจพบในดินที่มีระดับความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง คือ ดินอาจเป็นกรดหรือด่างปานกลาง หรืออาจเป็นดินเค็มหรือดินโซดิกอย่างอ่อน อาจมีสารเป็นพิษในดินไม่มากนัก

จากการทดลองนำน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมัน ไม่ส่งผลกระทบให้ดินมีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมันภายในระยะเวลาที่ทำการศึกษา

พิจารณาความเหมาะสมที่เกิดจากผลกระทบต่อลักษณะของดินจากการทดลองนำน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมัน โดยแยกพิจารณาระหว่างแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน กับแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง จะใช้วิธีการประเมินโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน ซึ่งพิจารณาจากความเหมาะสมของแต่ละพารามิเตอร์ ดังนี้ มีความเหมาะสมมาก = 1, มีความเหมาะสมปานกลาง = 2, มีความเหมาะสมต่ำ = 3, มีความเหมาะสมต่ำมาก = 4 เมื่อให้คะแนนแต่ละพารามิเตอร์แล้วให้นำคะแนนที่ได้แต่ละพารามิเตอร์ของแต่ละแปลงมารวมกัน จากนั้นจัดอันดับคะแนนรวมที่ได้ของแต่ละแปลง โดยให้ความสำคัญกับแปลงที่มีคะแนนรวมน้อยที่สุด เป็นแปลงที่มี Hydraulic Loading เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานมากที่สุด ผลการจัดอันดับแสดงดังตารางที่ 3.16

จากผลการประเมิน พบว่า แปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวันที่ Hydraulic Loading 2 cm/wk มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานมากที่สุด รองลงมาคือแปลงที่มี Hydraulic Loading 3 cm/wk, 1 cm/wk และ 0.5 cm/wk ตามลำดับ สำหรับแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง พบว่า ที่ Hydraulic Loading 2 cm/wk มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานมากที่สุด รองลงมาคือแปลงที่มี Hydraulic Loading 0.5 cm/wk, 1 cm/wk และ 3 cm/wk ตามลำดับ พิจารณาที่ Hydraulic Loading 2 cm/wk พบว่า แปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานสูงกว่าแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน

ตารางที่ 3.16 ผลการประเมินผลกระทบต่อลักษณะดิน

แปลง	Hydraulic Loading (cm/wk)	Soil Texture	pH	EC (S/cm)	TN (%)	Zn (mg/kg)	OM (%)	ESP (%)	BS (%)	CEC (meq/100g)	Available P (mg/kg)	Available K (mg/kg)	คะแนนรวม	จัดลำดับ
D1	3	1	4	4	1	2	1	1	4	1	2	1	22	2
D2	2	1	3	3	2	1	1	2	3	2	1	2	21	1
D3	1	1	2	1	3	3	1	3	2	3	4	2	25	3
D4	0.5	1	1	2	4	4	2	4	1	4	3	3	29	4
W1	3	1	4	1	1	4	2	1	4	4	4	4	30	4
W2	2	1	3	3	2	1	2	2	2	1	1	2	20	1
W3	1	1	2	4	3	3	2	4	1	3	3	3	29	3
W4	0.5	1	1	2	4	2	1	3	3	2	2	1	22	2

3.3 ผลการศึกษาลักษณะของน้ำท่า (Runoff)

เก็บตัวอย่างน้ำท่าที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ซึ่งมีลักษณะเป็นอ่างเก็บน้ำ เนื่องจากแหล่งน้ำท่านี้มีระดับต่ำกว่าแปลงทดลองจึงอาจปนเปื้อนสารอินทรีย์ และสารเคมีที่อยู่ในน้ำทิ้งได้ โดยเก็บตัวอย่างน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลอง 1 ครั้ง และเก็บตัวอย่างน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองเดือนละ 1 ครั้ง และหลังการทดลอง 1 ครั้ง โดยเก็บ 4 จุด 4 ด้านของอ่าง นำน้ำที่ได้จากจุดเก็บแต่ละจุดมาผสมเป็นตัวอย่างเดียวกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่า pH, Temperature, Conductivity, TDS, TS, SS, BOD_5, COD, TKN, NH_3-N, NO_2-N, NO_3-N, Org-N, TP และ SO_4^{2-} ผลการศึกษาคุณภาพของน้ำท่า ดังแสดงในตารางที่ 3.17

ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 7.6 แนวโน้มค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองอยู่ในช่วง 6.7-8.7 และค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำท่าหลังการทดลองมีค่า 8.7 ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำท่าทั้งก่อนดำเนินการทดลองและระหว่าง และหลังดำเนินการทดลองผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งมีค่าระหว่าง 5.0-9.0

อุณหภูมิของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 28 °C แนวโน้มอุณหภูมิของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองอยู่ในช่วง 27-28 °C และอุณหภูมิของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลองมีค่า 32°C โดยปกติอุณหภูมิของน้ำตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน จะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 °C เมื่อพิจารณาพบว่าอุณหภูมิของน้ำท่ามีค่าไม่เกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศบริเวณใกล้เคียงด้วย เช่น อุณหภูมิของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลองมีค่าสูง ซึ่งเกิดจากการเก็บตัวอย่างในช่วงบ่ายที่มีอุณหภูมิในอากาศสูง ในขณะที่การเก็บตัวอย่างน้ำท่าก่อน และระหว่างการทดลองอยู่ในช่วงสาย

ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 105.9 µS/cm แนวโน้มค่าการนำไฟฟ้าของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองอยู่ในช่วง 74.2-119.0 µS/cm ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลองมีค่า 106 µS/cm ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแสดงถึงปริมาณประจุของสารต่างๆ ที่ละลายอยู่ในแหล่งน้ำนั้น ๆ ซึ่งหากมีประจุของสารต่าง ๆ ละลายอยู่สูงจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสูงด้วย

ค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 280 mg/L แนวโน้มค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองอยู่ในช่วง 3-146 mg/L ค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลอง มีค่า 24 mg/L การที่ค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองและค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดของน้ำท่า

ระหว่างดำเนินการทดลองของเดือน กรกฎาคม และสิงหาคม มีค่าสูง เกิดจากในช่วงก่อนดำเนินการทดลองและระหว่างการทดลองช่วงแรกมีปริมาณน้ำฝนค่อนข้างน้อย ทำให้น้ำในแหล่งน้ำท่ามีปริมาณเพียงครึ่งหนึ่ง ส่งผลให้ปริมาณสารละลายในรูปของแข็งละลายมีความเข้มข้นสูงทำให้ค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูง ในทางตรงกันข้ามของแข็งละลายได้ทั้งหมดของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองในช่วงเดือนหลัง ๆ มีค่าน้อยลง เนื่องจากปริมาณน้ำฝนมากขึ้นทำให้น้ำในแหล่งน้ำท่ามีปริมาณมากขึ้น ปริมาณสารละลายในรูปของแข็งละลายมีความเข้มข้นต่ำ ค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อยด้วย ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 90 mg/L แนวโน้มค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองอยู่ในช่วง 4-12 mg/L ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลองมีค่า 2 mg/L ค่าของแข็งแขวนลอยใช้สำหรับบอกถึงของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ มีความแปรผันโดยตรงกับค่าความขุ่นของน้ำ หากในน้ำมีของแข็งแขวนลอยอยู่มากน้ำนั้นก็จะมีความขุ่นมาก การที่ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลอง และค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองของเดือน กรกฎาคม มีค่าสูง เกิดจากตะกอนสาหร่ายที่อยู่ในน้ำมีปริมาณสูง ส่งผลให้น้ำมีลักษณะขุ่นและมองเห็นเป็นตะกอนลอยอยู่ แต่เมื่อดำเนินการทดลองไประยะหนึ่ง มีปริมาณฝนมากขึ้นทำให้น้ำในแหล่งน้ำท่ามีปริมาณมากขึ้นค่าของแข็งแขวนลอยจึงมีค่าน้อยลง ซึ่งจะเห็นได้จากค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลอง

ค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 327 mg/L แนวโน้มค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองอยู่ในช่วง 11-180 mg/L และค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 24 mg/L โดยของแข็งทั้งหมดมีค่าเท่ากับค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดและค่าของแข็งแขวนลอยรวมกัน ดังนั้นค่าของแข็งทั้งหมดจึงแปรผันตรงกับค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดและค่าของแข็งแขวนลอย เมื่อค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดและค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าสูง จึงทำให้ค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองและค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองของเดือน กรกฎาคม และสิงหาคม มีค่าสูงด้วย ในทางตรงกันข้าม เมื่อค่าของแข็งละลายได้ทั้งหมดและค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าต่ำลง ทำให้ค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าของแข็งทั้งหมดของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลอง

ค่าบีโอดีของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 11 mg/L แนวโน้มค่าบีโอดีของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองอยู่ในช่วง 1-6 mg/L และค่าบีโอดีของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.75 mg/L ค่าบีโอดีเป็นตัวบ่งบอกความสกปรกของน้ำ ซึ่งหากในน้ำมีค่าบีโอดีสูงแสดงว่าน้ำนั้นมีความสกปรกสูง ในทางกลับกันหากในน้ำมีค่าบีโอดีต่ำแสดงว่าน้ำนั้นมีความ

สกปรกต่ำด้วย จากการศึกษาพบว่าค่าบีโอดีของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองมีค่าสูง ทั้งนี้เกิดจากการที่มีปริมาณฝนน้อยทำให้มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์อยู่มากทำให้จุลินทรีย์มีความต้องการออกซิเจนในปริมาณมากด้วย แต่ระหว่างการทดลองเมื่อมีปริมาณฝนมากขึ้น พบว่า ค่าบีโอดีมีค่าลดลง เนื่องจากการที่มีปริมาณฝนมากทำให้มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำท่ามีความเจือจาง ดังนั้นเมื่อมีปริมาณของสารอินทรีย์อยู่น้อยทำให้จุลินทรีย์มีความต้องการออกซิเจนในปริมาณน้อย ค่าบีโอดีจึงมีค่าน้อยด้วย

ค่าซีโอดีของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 20 mg/L แนวโน้มค่าซีโอดีของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองอยู่ในช่วง 10-56 mg/L และค่าซีโอดีของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 11 mg/L พบว่าก่อนการทดลอง และช่วงแรกของระหว่างการทดลอง ซีโอดีมีค่าสูง และช่วงหลังของระหว่างการทดลอง และหลังการทดลองซีโอดีมีค่าต่ำ ซึ่งเกิดจากปริมาณฝนที่แตกต่างกันในแต่ละช่วง กล่าวคือ ช่วงแรกมีปริมาณฝนน้อยทำให้ซีโอดีมีค่าสูง เนื่องจากมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำท่าสูง และช่วงหลังปริมาณฝนมากขึ้นทำให้มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่อยู่ในแหล่งน้ำท่ามีความเจือจาง ดังนั้นเมื่อมีปริมาณของสารอินทรีย์อยู่น้อยทำให้จุลินทรีย์มีความต้องการออกซิเจนในปริมาณน้อย ค่าซีโอดีจึงมีค่าน้อยลงด้วย ซึ่งค่าซีโอดีเป็นตัวบ่งบอกความสกปรกของน้ำเช่นเดียวกับค่าบีโอดี แต่ซีโอดีใช้สารเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ในขณะที่บีโอดีใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายซึ่งสารอินทรีย์บางประเภทจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ทำให้ค่าบีโอดีมีค่าต่ำกว่าค่าซีโอดี

ค่าไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.12 mg/L แนวโน้มค่าค่าไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองอยู่ในช่วง 0.56-3.36 mg/L และค่าค่าไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.56 mg/L ค่าไนโตรเจนทั้งหมดของน้ำท่าก่อน ระหว่าง และหลังการทดลองมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม (ไม่เกิน 100 mg/L) สำหรับค่า แอมโมเนีย ไนไตรไนโตรเจน และไนเตรตไนโตรเจน รวมทั้งออแกนิกไนโตรเจนในน้ำท่าก่อน ระหว่าง และหลังการทดลองมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินพบว่าค่าแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าไม่เกินค่าที่มาตรฐานกำหนด (ไม่เกิน 0.5 mg/L) และพบว่า ค่าไนเตรตไนโตรเจนมีค่าไม่ไม่เกินค่าที่มาตรฐานกำหนด (ไม่เกิน 5.0 mg/L)

ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.20 mg/L แนวโน้มค่าค่าค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองอยู่ในช่วง 0.17-0.82 mg/L และค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 0.93 mg/L จากการศึกษาพบว่า มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำท่า เนื่องจากในเดือนมีนาคมมีปริมาณฝน

ตกสูงดังนั้นจึงเกิดการชะล้างฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นจากแปลงทดลองลงสู่แหล่งน้ำท่าทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำท่ามีปริมาณสูงขึ้น

ค่าซัลเฟตของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 22.11 mg/L แนวโน้มค่าซัลเฟตของน้ำท่าระหว่างดำเนินการทดลองอยู่ในช่วง 8.75-37.36 mg/L และค่าซัลเฟตของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลองมีค่าเท่ากับ 12.26 mg/L เมื่อเปรียบเทียบค่าซัลเฟตของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลองกับค่าซัลเฟตของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลอง พบว่า ค่าซัลเฟตของน้ำท่าหลังดำเนินการทดลองมีค่าต่ำกว่าค่าซัลเฟตของน้ำท่าก่อนดำเนินการทดลอง แสดงว่าไม่มีการปนเปื้อนของซัลเฟตจากการรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นในแหล่งน้ำท่า

ค่าสังกะสีมีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ไม่เกิน 1.0 mg/L) เนื่องจากค่าสังกะสีในน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นที่นำมารดมีค่าน้อย ดังนั้นการปนเปื้อนสังกะสีในแหล่งน้ำท่าจึงมีค่าน้อยด้วย

จากการจัดประเภทแหล่งน้ำตามประเภทและมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินพบว่าแหล่งน้ำท่าที่ทำการศึกษาจัดอยู่ในประเภทที่ 4 ซึ่งหมายถึง หมายถึง แหล่งน้ำประเภทที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ การอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุตสาหกรรม โดยพิจารณาจากค่า pH, Temperature, BOD_5, NH_3-N, NO_3-N และ Zn

ตารางที่ 3.17 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำท่า

ตัวแปรคุณภาพน้ำ	หน่วย	บริษัทวงศ์บัณฑิต	ก่อนการทดลอง (3/6/2553)	ระหว่างการทดลอง (3/7/2553-3/2/2554)	หลังการทดลอง (3/3/2554)	มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน**
pH	-	8.9	7.6	6.7-8.7	8.7	5-9
Temperature	°C	28	28	27-28	32	-
Conductivity	µS/cm	8.92	106	74.2-119.0	106	-
TDS	mg/L	2,308	280	3-146	24	-
TS	mg/L	12,053	327	11-180	72	-
SS	mg/L	5,950	90	2-12	2	-
BOD_5	mg/L	2,385	11.40	1.20-4.33	0.75	4.0
COD	mg/L	5,246	20	10-56	11	-
TKN	mg/L	1,137	1.12	0.56-3.36	0.56	-
NH_3-N	mg/L	882	0.28	0.21-0.42	0.28	0.5
NO_2-N	mg/L	2.73	0.007	0.001-0.009	0.004	-
NO_3-N	mg/L	2.53	0.008	0.001-0.024	0.079	5.0
Org-N	mg/L	255	0.84	0.28-3.08	0.28	-
TP	mg/L	616.43	0.20	0.17-0.82	0.93	-
SO_4^{2-}	mg/L	4,212	22.11	8.75-47.61	12.26	-
Zn	mg/L	0.21	ND*	<0.01	<0.01	1.0

* ND = Non-Detectable = ไม่พบ

** มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินพิจารณา ประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์ประเภทที่ 4

ตารางที่ 3.18 ปริมาณน้ำฝนในจังหวัดกระบี่เดือนพฤษภาคม 2553 – มีนาคม 2554

ปี	ปี 2553								ปี 2554		
เดือน	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ปริมาณฝน (มิลลิเมตร/เดือน)	158.1	200.4	238.5	172.2	280.5	237.3	365.6	83.2	165.8	0	544.4

ที่มา: สถานีอุตุนิยมวิทยา จ. กระบี่, 2554

จากการศึกษาลักษณะของน้ำท่าพบว่า แหล่งน้ำท่าที่ศึกษานี้มีโอกาสที่จะรับน้ำทั้งน้ำฝน และน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้นที่นำมารดสวนปาล์มน้ำมันทั้งจากแปลงทดลอง และจากส่วนปาล์มแปลงอื่นๆ ที่โรงงานได้นำน้ำทิ้งมารดอยู่ก่อนแล้ว ดังนั้นแหล่งน้ำท่านี้จึงมีโอกาสที่จะปนเปื้อนสารอินทรีย์ และสารเคมีที่อยู่ในน้ำทิ้ง แต่จากการศึกษาพบว่าการที่น้ำทิ้งจะไหลลงสู่แหล่งน้ำท่านี้มีโอกาสเป็นไปได้น้อย เนื่องจากบริเวณรอบๆ แปลงทดลองทางโรงงานมีการขุดเป็นรางเก็บน้ำทิ้งกว้างประมาณ 50 ซม. ลึก 50 ซม. ตลอดแนวแปลงเพื่อกั้นไม่ให้น้ำทิ้งปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ดังนั้นการที่น้ำทิ้งเหล่านี้จะปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำท่านี้จึงมีเพียงการผสมรวมกับปริมาณน้ำฝนซึ่งตกลงมา และเคลื่อนตัวสู่แหล่งน้ำท่า ซึ่งน้ำส่วนนี้ (น้ำฝน+น้ำทิ้ง) จะบางส่วนที่ระเหยไปได้ และมีบางส่วนที่ซึมลงสู่ดินรวมทั้งสารอินทรีย์ และสารเคมีที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งด้วย ซึ่งระยะทางในการเคลื่อนที่ของของน้ำส่วนที่เหลือนี้มาสู่แหล่งน้ำท่ามีระยะทางประมาณ 400 เมตร และยังต้องเคลื่อนที่ผ่านวัชพืชที่ปกคลุมดิน รวมทั้งต้นปาล์มน้ำมันแปลงที่ไม่ได้รดด้วยน้ำทิ้งด้วย จึงทำให้แหล่งน้ำท่านี้ได้รับผลกระทบจากการนำน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมันน้อย ซึ่งเห็นได้จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำท่าดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

3.4 ผลการศึกษาคุณภาพของน้ำใต้ดิน

เนื่องจากเมื่อเสร็จสิ้นการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งโรงงานน้ำยางข้นด้วยการบำบัดโดยดินในสวนปาล์มน้ำมัน พบว่า ไม่มีการปนเปื้อนของสารเคมีที่มีอยู่ในน้ำทิ้งในแหล่งน้ำท่า ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับน้ำใต้ดินเพิ่มเติม โดยเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินจากบ่อน้ำของชาวในบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ที่ทำการทดลอง ซึ่งนอกจากจะมีแนวโน้มที่จะได้รับน้ำทิ้งจากแปลงทดลองแล้ว บ่อน้ำนี้ยังมีโอกาสรับน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นที่ทางโรงงานนำมารดสวนปาล์มอยู่จากบริเวณอื่นๆ ในสวนปาล์มน้ำมันด้วย ดังนั้นการนำน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมันจึงอาจส่งผลให้น้ำใต้ดิน เช่น บ่อน้ำของชาวบ้าน ได้รับการปนเปื้อนจากสารอินทรีย์และสารเคมีที่มีอยู่ในน้ำทิ้งได้ โดยหลังจากเสร็จสิ้นการทดลองรดด้วยน้ำทิ้งแล้วทำการเก็บตัวอย่างน้ำบ่อจำนวน 1 บ่อ เป็นจำนวน 1 ตัวอย่าง นำไปทำการวิเคราะห์ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.19

จากการพิจารณาคุณภาพของแหล่งน้ำใต้ดินที่ได้ทำการวิเคราะห์ พบว่าไม่มีพารามิเตอร์ตัวใดที่ส่งผลให้คุณภาพน้ำใต้ดินมีค่าเกินค่ามาตรฐาน ดังนั้นการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นโดยใช้การบำบัดโดยดินในสวนปาล์มน้ำมันจึงไม่ส่งผลกระทบกับน้ำใต้ดินที่อยู่บริเวณใกล้เคียง

ตารางที่ 3.19 คุณภาพน้ำใต้ดินจากบ่อน้ำบริเวณใกล้เคียง

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่าจากการวิเคราะห์	ค่ามาตรฐาน*	
				เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
ทางกายภาพ	ความขุ่น (Turbidity)	NTU	0.59	5	20
	ความเป็นกรด - ด่าง (pH)	-	7.2	7.0 - 8.5	6.5 - 9.2
ทางเคมี	เหล็ก (Fe)	มก./ล.	0.10	ไม่เกินกว่า 0.5	1.0
	มังกานีส (Mn)	มก./ล.	0.25	ไม่เกินกว่า 0.3	0.5
	ซัลเฟต (SO_4)	มก./ล.	34	ไม่เกินกว่า 200	250
	คลอไรด์ (Cl)	มก./ล.	3.90	ไม่เกินกว่า 250	600
	ไนเตรด (NO_3)	มก./ล.	2.12	ไม่เกินกว่า 45	45
	ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness as $CaCO_3$)	มก./ล.	124	ไม่เกินกว่า 300	500
	ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total dissolved solids)	มก./ล.	51	ไม่เกินกว่า 600	1,200

* ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรฐานในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุข และป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 112 ตอนที่ 29 ง ลงวันที่ 13 เมษายน 2542

3.5 ผลการศึกษาผลผลิตปาล์มน้ำมัน

เก็บข้อมูลผลผลิตของปาล์มน้ำมันแต่ละแปลงระหว่างทำการรดด้วยน้ำทิ้งเดือนละ 1 ครั้ง โดยการชั่งน้ำหนักทะลายปาล์มด้วยเครื่องชั่ง จากนั้นบันทึกจำนวนทะลายปาล์มน้ำมัน และน้ำหนักของปาล์มน้ำมันแต่ละทะลาย โดยปาล์มน้ำมันที่ทำการทดลองรดด้วยน้ำทิ้งมีอายุประมาณ 25 ปี จากนั้นนำข้อมูลผลิตที่ได้ของแต่ละแปลงที่ Hydraulic loading ต่างกันมาเปรียบเทียบกัน รวมทั้งเปรียบเทียบผลผลิตกับแปลงที่ไม่ได้รดด้วยน้ำทิ้ง ดังแสดงในตารางที่ 3.20 นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบผลผลิตของปาล์มน้ำมัน (อายุประมาณ 15 ปี) ที่มีการรดน้ำบ่อ และไม่มีการรดน้ำบ่อดังแสดงในตารางที่ 3.23

ผลการศึกษาการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวันที่ Hydraulic loading 3, 2, 1 และ 0.5 cm/wk (D1, D2, D3 และ D4 ตามลำดับ) พบว่าการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวันที่ Hydraulic loading ต่างกันทุกแปลงมีการให้ผลผลิตสูงกว่าแปลงที่ไม่รดด้วยน้ำทิ้ง เนื่องจากในน้ำทิ้งมีธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญของผลปาล์มน้ำมัน เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ดังนั้นการรดด้วยน้ำทิ้งจึงเป็นการเพิ่มธาตุอาหารในดินให้แก่ปาล์มน้ำมัน จึงส่งผลให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งมีการให้ผลผลิตสูงกว่าแปลงที่ไม่รดน้ำทิ้ง นอกจากนี้ยังพบว่าการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวันมีการให้ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นตาม Hydraulic loading เช่น ที่ Hydraulic loading 0.5 cm/wk (D4) ให้ผลผลิต 62.9 kg/rai/month และเมื่อเพิ่ม Hydraulic loading เป็น 1 cm/wk (D3) การให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 113.0 kg/rai/month จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าการรดด้วยน้ำทิ้งเป็นการเพิ่มธาตุอาหารในดินให้แก่ปาล์มน้ำมัน ดังนั้นการรดด้วย Hydraulic loading ที่เพิ่มสูงขึ้นจึงเป็นการเพิ่มธาตุอาหารในดินให้แก่ปาล์มน้ำมันมากขึ้น จึงส่งผลให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันสูงขึ้นด้วย แต่ในทางกลับกันพบว่า แปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งที่ Hydraulic loading 3 cm/wk (D1) มีการให้ผลผลิตต่ำกว่าแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งที่ Hydraulic loading 2 cm/wk (D2) เนื่องจากการเพิ่ม Hydraulic loading ในอัตราที่สูงเกินไป (Hydraulic loading 3 cm/wk) ส่งผลให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันลดลง ซึ่งการที่รดด้วย Hydraulic loading สูงๆ ทำให้น้ำทิ้งเกิดการท่วมขังในแปลงทดลอง การท่วมขังของน้ำทิ้งทำให้ในดินมีน้ำมากเกินไปช่องว่างในดินมีปริมาณอากาศ (O_2) น้อยลง เนื่องจากช่องว่างในดินจะเต็มไปด้วยโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นการเคลื่อนที่ของอากาศ (O_2) ในดินจะเกิดขึ้นได้น้อยมาก เมื่อดินมีการถ่ายเทอากาศ (O_2) ไม่ดี ทำให้การเจริญเติบโตของรากปาล์มน้ำมันลดลง เนื่องจากรากปาล์มน้ำมันต้องการออกซิเจน (O_2) ในการหายใจ เมื่อการเจริญเติบโตของรากปาล์มน้ำมันลดลงหรือหยุดชะงักทำให้การดูดธาตุอาหารและน้ำของรากปาล์มน้ำมันลดลง เนื่องจากส่วนของรากปาล์มน้ำมันที่มีประสิทธิภาพในการดูดและส่งผ่านไอออนของธาตุอาหารได้ดีจะอยู่ในช่วงของปลายราก ดังนั้นเมื่อ

มีการดูดธาตุอาหารได้น้อยลงจึงส่งผลให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันลดลงด้วย จากผลการศึกษาการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวันที่ Hydraulic loading 2 cm/wk (D2) ให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อเทียบกับแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวันที่ Hydraulic loading อื่นๆ

เมื่อพิจารณาแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งที่ Hydraulic Loading 3, 2, 1 และ 0.5 cm/wk (W1, W2, W3 และ W4 ตามลำดับ) พบว่าการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งที่ Hydraulic loading ต่างกันทุกแปลงมีการให้ผลผลิตสูงกว่าแปลงที่ไม่รดด้วยน้ำทิ้ง เนื่องจากในน้ำทิ้งมีธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญของผลปาล์มน้ำมัน นอกจากนี้ยังพบว่าการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งมีการให้ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นตาม Hydraulic loading เนื่องจากการรดด้วย Hydraulic loading ที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นการเพิ่มธาตุอาหารในดินให้แก่ปาล์มน้ำมันมากขึ้น จึงส่งผลให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันสูงขึ้น แต่ในทางกลับกันการเพิ่ม Hydraulic loading ในอัตราที่สูงเกินไป (Hydraulic loading 3 cm/wk) ส่งผลให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันลดลงได้ จากผลการศึกษาการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งที่ Hydraulic loading 2 cm/wk (W2) ให้ผลผลิตสูงสุดเมื่อเทียบกับแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งที่ Hydraulic loading อื่นๆ

พิจารณาการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวันและแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งที่ Hydraulic loading ต่างๆ พบว่า การให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวันที่ Hydraulic loading 2 cm/wk (D2) ให้ผลผลิตสูงสุด แต่เมื่อพิจารณาทางด้านประสิทธิภาพของการบำบัดโดยดินที่ Hydraulic loading 2 cm/wk ของแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน (D2) และแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง (W2) ดังตารางที่ 3.19 พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัด COD, TKN และ SS ของปาล์มน้ำมันแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง (W2) มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD, TKN และ SS สูงกว่าปาล์มน้ำมันแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน (D2) ดังนั้นเมื่อพิจารณาทั้งด้านการให้ผลผลิต และทางด้านประสิทธิภาพของการบำบัดโดยดิน ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้โดยพิจารณาการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันที่อายุปาล์ม 25 ปี จึงแนะนำให้ทำการรดด้วยน้ำทิ้งที่มีปริมาณสารอินทรีย์ และสารเคมีลักษณะเช่นเดียวกับลักษณะน้ำทิ้งของบริษัทวงศ์บัณฑิต จำกัด อ.อ่าวลึก จ.กระบี่ โดยใช้อัตราการรดน้ำทิ้งที่ Hydraulic loading 2 cm/wk และทำการรดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้ง

ตารางที่ 3.20 ข้อมูลผลผลิตปาล์มน้ำมัน

แปลง	ครั้งที่เก็บผลผลิต									น้ำหนักเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่/เดือน)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
D1	537.8	*	114.2	58.3	15.8	37.7	112.8	41.6	360.3	105.8
D2	795.2	*	250.8	102.2	218.5	107.2	36.8	46.8	463.3	175.1
D3	728.5	*	217.6	30.2	0.0	49.6	21.3	33.1	439.4	113
D4	693.7	*	39.1	35.3	0.0	36.8	23.3	23.3	282.3	62.9
W1	651.4	*	39.4	8.4	0.0	0.0	113.7	31.3	480.4	96.2
W2	573.3	*	404.4	58.4	0.0	21.5	40.4	65	424.6	144.9
W3	581.7	*	93.7	56.3	0.0	0.0	39.1	75.3	354.6	88.4
W4	748.2	*	94.3	32.8	33.1	52.7	90.3	30.4	282.6	88
ไม่รดน้ำทิ้ง	*	*	45.9	14.9	0.0	68.4	36.9	24	202.8	56.1

หมายเหตุ: น้ำหนักเฉลี่ยพิจารณาในช่วงที่มีการรดด้วยน้ำทิ้ง (ครั้งที่ 3-9)

* ไม่ได้ทำการเก็บข้อมูลเนื่องจากคนตัดปาล์มน้ำมันเก็บผลผลิตก่อนทำการบันทึก

ตารางที่ 3.21 ประสิทธิภาพของระบบการบำบัดโดยดินในแต่ละแปลง

แปลงทดลอง	Hydraulic Loading (cm/week)	อัตราการรดน้ำ	ประสิทธิภาพการบำบัดโดยดิน (%)		
			COD $\overline{X} \pm S.D.$	TKN $\overline{X} \pm S.D.$	SS $\overline{X} \pm S.D.$
D2	2	5.4 m^3/d	72.4 ± 24.8	54.0 ± 22.6	66.2 ± 28.1
W2	2	48.4 m^3/week	77.9 ± 17.1	66.2 ± 25.5	72.2 ± 28.4

ที่มา: พัชร, 2554

สำหรับการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันที่รดด้วยน้ำทิ้งในช่วงระยะเวลาที่ศึกษา (พิจารณาการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันอายุ 25 ปี) มีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในช่วง 88.0 – 175.1 กิโลกรัม/ไร่/เดือน อย่างไรก็ตามการให้ผลผลิตที่เหมาะสมของปาล์มน้ำมันที่มีบริหารจัดการโดยเฉพาะการใช้ปุ๋ยดีจะให้ผลผลิตสูงมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในช่วง 290 – 330 กิโลกรัม/ไร่/เดือน และการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันที่มีบริหารจัดการที่ไม่ดีผลผลิตมีน้ำหนักเฉลี่ยเพียง 167 กิโลกรัม/ไร่/เดือน (ชัยรัตน์และธีระพงศ์, 2551) ซึ่งเมื่อพิจารณาพบว่า ผลผลิตที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่มีบริหารจัดการสวนปาล์มที่ไม่ดี เนื่องจากมีการกำจัดวัชพืชและการตัดทาง

ใบออกน้อยครั้ง และไม่มีการโค่นทิ้งต้นปาล์มที่ไม่ให้ผลิต ซึ่งต้นปาล์มน้ำมันเหล่าจะแย่งอาหารปาล์มต้นอื่นและยังทำให้บดบังแสงแดดที่ปาล์มต้นอื่นจะได้รับด้วย

พิจารณาการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันของแปลงทดลองที่รดด้วยน้ำทิ้ง (ผลรวมของแปลง D1-W4) กับแปลงเดียวกันในปี 2551 ที่ไม่มีการรดด้วยน้ำทิ้งมาก่อน ในช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตเดือนเดียวกัน พบว่าแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งให้ผลผลิตสูงกว่าในปี 2551 ทุกเดือน ดังนั้นการนำน้ำทิ้งมารดสวนปาล์มน้ำมันจึงเป็นการเพิ่มผลผลิตให้กับเกษตรกรได้ โดยสามารถพิจาณาได้จากอัตราที่เพิ่มขึ้นของผลผลิตปาล์มน้ำมันเมื่อเทียบกับปี 2551 (ตารางที่ 3.22) พบว่าการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันในแต่ละเดือนมีอัตราเพิ่มขึ้น โดยอัตราที่เพิ่มขึ้นของแต่ละเดือนไม่เท่ากัน เนื่องจากโดยปกติการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันในแต่ละเดือนแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับระบบการจัดการสวนปาล์ม และอัตราการให้ผลผลิตของแต่ละต้นด้วย ดังนั้นการนำเสนอปริมาณผลผลิตของปาล์มน้ำมันจะคิดเป็น กิโลกรัม/ไร่/ปี หากคิดเป็น กิโลกรัม/ไร่/เดือน ก็จะใช้ค่าเฉลี่ย เนื่องจากแต่ละเดือนปาล์มให้ผลผลิตต่างกันมาก (ชัยรัตน์, 2554) และจากการหาค่าเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่/ปี) พบว่า แปลงทดลองที่รดด้วยน้ำทิ้งมีการให้ผลผลิตที่สูงกว่า แปลงเดียวกันในปี 2551 ซึ่งมีการให้ผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 35.4%

ตารางที่ 3.22 ข้อมูลผลผลิตปาล์มน้ำมันเทียบกับปี 2551

เดือน	**ปี 2551 (กิโลกรัม/ไร่/เดือน)**	**ปี 2553-2554 แปลงทดลอง D1-W4 (กิโลกรัม/ไร่/เดือน)**	**อัตราที่เพิ่มขึ้น (%)**
พ.ค.	1078.2	1309.8	21.5
ก.ค.	650.4	1299.4	99.8
ส.ค.	167.2	396.8	137.3
ก.ย.	155.4	192.6	23.9
ต.ค.	332.2	373.9	12.6
พ.ย.	278.2	514.6	85.0
ธ.ค.	465.8	470.8	1.1
ม.ค.	1191.8	1290.3	8.3
เฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่/ปี)	539.9	731.0	35.4

ตารางที่ 3.23 ข้อมูลผลผลิตปาล์มน้ำมันแปลงควบคุม

แปลง	ครั้งที่เก็บผลผลิต								น้ำหนักเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่/เดือน)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
รดน้ำ	137.4	117.8	151.3	39.55	35.4	172.3	230.6	25.4	113.7
ไม่รดน้ำ	260.4	39.0	58.8	34.3	7.1	112.9	201.2	49.2	95.4

พิจารณาแปลงที่รดและไม่รดน้ำบ่อ พบว่าแปลงที่รดด้วยน้ำบ่อมีปริมาณการให้ผลผลิตสูงกว่าแปลงที่ไม่รดน้ำบ่อ เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีการคายระเหยน้ำประมาณ 5 - 6 มิลลิเมตร/วัน ดังนั้นจึงมีความต้องการน้ำในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อการจะเจริญเติบโตที่เป็นปกติและยังช่วยในการสร้างผลและพัฒนาผลในช่วงใกล้สุก จากการศึกษาของ Lim Kim Huan (1986) พบว่าในปีที่มีปริมาณฝนน้อย ส่งผลให้อัตราการให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันมีปริมาณลดลง ดังนั้นการให้น้ำจึงส่งผลให้ปาล์มมีผลผลิตที่สูงขึ้นด้วย ซึ่งปาล์มน้ำมันมีความต้องการปริมาณน้ำฝนไม่น้อยกว่า 1,800 - 2,000 มิลลิเมตร/ปี

บทที่ 4

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

ในการศึกษาลักษณะของดินและน้ำท่าจากการนำน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมัน ซึ่งประกอบด้วยผลการศึกษาคุณสมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นในพื้นที่จังหวัดทางภาคใต้ ผลของลักษณะดินที่เกิดจาการรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น ผลของลักษณะน้ำท่าที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ที่การทดลอง ผลของผลผลิตปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นขณะที่รดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้น ผลการทดลองสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. จากการศึกษาคุณสมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นที่ทำการทดลองกับโรงงานน้ำยางข้นอื่นๆ พบว่า คุณสมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นที่ทำการทดลองมีค่าสารอินทรีย์สูงกว่าโรงงานน้ำยางข้นอื่นๆ เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานมีเพียงการเติมอากาศ 2 บ่อ สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอื่น ๆ มีทั้งการเติมอากาศและบ่อผึ่งหลายบ่อ ดังนั้นในน้ำทิ้งจึงมีความเข้มข้นสูง จึงอาจส่งผลกระทบต่อดิน และน้ำท่าบริเวณใกล้เคียงได้

2. จากการศึกษาลักษณะของดินพบว่า การนำน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมันไม่ส่งผลให้ดินเป็นดินเค็ม และยังเป็นการเพิ่มไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมให้แก่ดิน รวมทั้งการนำน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมันจึงไม่ส่งผลกระทบให้ดินมีคุณสมบัติที่ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมันภายในระยะเวลาที่ทำการศึกษา เมื่อพิจารณาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินพบว่า ดินก่อน ดินระหว่างการทดลองที่มีการรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นเป็นระยะเวลา 4 เดือน และดินหลังการทดลองที่มีการรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นเป็นระยะเวลา 9 เดือน มีระดับความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลางเหมือนกัน ซึ่งแสดงว่าการนำน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมันจึงไม่ส่งผลกระทบต่อระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน คือไม่ทำให้ดินมีระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำลง

ผลการประเมินความเหมาะสมที่จะเกิดผลกระทบต่อลักษณะของดิน พบว่า แปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุก และแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งที่ Hydraulic Loading 2 cm/wk มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานมากที่สุด และเมื่อพิจารณาที่ Hydraulic Loading 2 cm/wk พบว่า แปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งสัปดาห์ละครั้งมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานสูงกว่าแปลงที่รดด้วยน้ำทิ้งทุกวัน

3. จากการศึกษาลักษณะของน้ำท่าพบว่าการนำน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมันส่งผลให้น้ำท่ามีค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเพิ่มขึ้น สำหรับพารามิเตอร์อื่นๆ ของลักษณะของน้ำท่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน จากการจัดประเภทแหล่งน้ำตามประเภทและมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินพบว่าแหล่งน้ำท่าที่ทำการศึกษาจัดอยู่ในประเภทที่ 4 ซึ่งหมายถึง หมายถึง แหล่งน้ำประเภทที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ การอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุตสาหกรรม

4. จากการศึกษาคุณภาพของน้ำใต้ดินพบว่าไม่มีพารามิเตอร์ตัวใดที่ส่งผลให้คุณภาพน้ำใต้ดินมีค่าเกินค่ามาตรฐาน ดังนั้นการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นโดยใช้การบำบัดโดยดินในสวนปาล์มน้ำมันจึงไม่ส่งผลกระทบกับน้ำใต้ดินที่อยู่บริเวณใกล้เคียง

5. จากการศึกษาผลผลิตปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นขณะที่รดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นพบว่า การใช้น้ำทิ้งมารดสวนปาล์มน้ำมันทำให้ผลผลิตของปาล์มน้ำมันมีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่มีการรดด้วยน้ำทิ้ง และสูงกว่าปี 2551 ที่ไม่มีการรดน้ำทิ้ง ดังนั้นจึงมีความเป็นได้ที่จะนำน้ำทิ้งมาใช้ในการรดสวนปาล์มน้ำมัน เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต และเป็นการเพิ่มผลผลิตให้กับเกษตรกร

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. การรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นถึงแม้จะยังไม่ส่งผลกระทบใดๆ ทั้งกับดิน และน้ำท่า รวมทั้งน้ำใต้ดิน แต่สิ่งที่ควรระวังคือการท่วมขังของน้ำในแปลงทดลอง การท่วมขังนั้นอาจทำให้เกิดกรดอินทรีย์ เนื่องจากดินขาดออกซิเจนทำให้เกิดกลิ่นเหม็นขึ้นได้ และยังส่งผลให้การเจริญของรากปาล์มน้ำมันหยุดชะงักด้วย นอกจากนี้การท่วมขังของน้ำในแปลงทดลองอาจเป็นแหล่งวางไข่ของแมลงบางชนิดด้วย ดังนั้นจึงควรขุดถ่ายน้ำที่ขังอยู่ให้กระจายทั่วแปลง

2. การศึกษาลักษณะของดินควรทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารในพืชทั้งก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลอง และหลังจากการทดลองด้วย รวมทั้งควรศึกษาคุณภาพของน้ำฝน และอัตราการระเหยของน้ำในขณะทำการทดลองด้วย เพื่อให้ทราบสมดุลของธาตุอาหารที่เกิดขึ้นรวมทั้งการสูญเสียธาตุอาหารเหล่านั้นไป เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3. การรดด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นอาจส่งผลให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินลดลงเนื่องจากสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำทิ้ง ดังนั้นจึงควรศึกษาขนาดอนุภาคของสารแขวนลอยเหล่านั้นด้วย เพื่อประโยชน์ในการศึกษาเรื่องการอุดตันของช่องว่างดิน และการสะสมของสารแขวนลอยบริเวณผิวหน้าดิน ซึ่งจะมีผลต่อการแลกเปลี่ยนธาตุอาหารในดิน และประสิทธิภาพของ

การบำบัดโดยดิน อย่างไรก็ตามสารแขวนลอยที่อยู่ภายในช่องว่างของเม็ดดินสามารถถูกย่อยสลายได้จากจุลินทรีย์ในดิน

4. ข้อมูลปาล์มน้ำมันจากการศึกษาครั้งนี้เหมาะสำหรับปาล์มโตซึ่งจะใช้พิจารณาการให้ผลผลิตมากกว่าการเจริญเติบโต หากต้องการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นกับอัตราการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน ควรทำการศึกษากับปาล์มน้ำมันขนาดเล็กที่ปลูกในพื้นที่จริง จะสามารถวัดธาตุอาหารที่ปาล์มต้องการได้ และทราบการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันจากการเพิ่มขึ้นของทางใบ และการวัดความสูงของต้นปาล์ม

5. การศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งจากดิน น้ำท่า และผลผลิต ควรใช้ระยะเวลาในการศึกษาหลายๆ ปี เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน เนื่องจากการศึกษาในพื้นที่จริงมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง

6. การศึกษาการเพิ่มผลผลิตของปาล์มน้ำมันที่เกิดจากการให้น้ำ ควรมีการศึกษาอัตราการให้น้ำที่เหมาะสมด้วย เพื่อไม่ให้ปาล์มน้ำมันได้รับน้ำมากเกินไป

7. การใช้น้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นมารดสวนปาล์มน้ำมัน เป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ปาล์มน้ำมัน และยังเป็นการลดต้นทุนในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย แต่อัตราการรดน้ำทิ้งต้องเหมาะกับพืช และลักษณะของดินที่ต้องการรดด้วย

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2548). แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมน้ำยางข้น (ออนไลน์) / 24 มกราคม 2553.ค้นหาได้จา www.pcd.go.th/count/waterdl.cfm?FileName=rubbertree.pdf.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. **รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่มที่ 2 ดินบนพื้นที่ดอน.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2551 วิธีเก็บตัวอย่างดิน เพื่อการวิเคราะห์.(ออนไลน์)/ 18 มกราคม 2553. ค้นหาได้จาก http://www.sisaket.go.th/WEB_ldd/Soil/Page02.htm.

กรมวิชาการเกษตร. 2547. ลักษณะพฤกษศาสตร์ปาล์มน้ำมัน. (ออนไลน์)/21 เมษายน 2554. ค้นหาได้จาก http://it.doa.go.th/palm/linkTechnical/botany.html

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2551. สารลดแรงตึงผิว. (ออนไลน์) / 14 มีนาคม 2551. ค้นหาได้จาก http://www.dss.go.th/dssweb/starticles/files/cp_7_2548_surfactant.pdf.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2553. ความต้องการธาตุอาหารพืชและการใช้ประโยชน์ (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://contact.doae.go.th/cts/upload/269/1809/1823/1714_ความต้องการธาตุอาหารพืชและการใช้ประโยชน์.doc [24 มกราคม 2553]

กายภาพของดิน. 2551. (ออนไลน์) / 10 มีนาคม 2554. http://krudaeng.wikispaces.com

กองสำรวจดิน. 2523. **คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ.** เอกสารวิชาการ เล่มที่ 28. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

จำเป็น อ่อนทอง. 2547. **คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช.** คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จำเป็น อ่อนทอง, สุนีย์ นิเทศพัตรพงศ์, ชาย โฆรวิส, Chai Korawis, Sunee Nithetphattaraphong และภิญโญ มีเดช. 2535. **การศึกษาปริมาณความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมัน.** กรมวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยพืชสวน ศูนย์วิจัยพืชสวนสุราษฎร์ธานี.

เฉลิมพล แซมเพชร. 2530. **หญ้าและถั่วอาหารสัตว์เมืองร้อน.** ครั้งที่ 1 .กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮ้าส์.

ชัยรัตน์ นิลนนท์. 2538. **การใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพปาล์มน้ำมัน.** สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชัยรัตน์ นิลนนท์ และธีระพงศ์ จันทรนิยม. 2551. สถาบันวิจัยพืชกรรมปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชัยฤกษ์ สุวรรณรัตน์. 2536. **ปฐพีวิทยา.** คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชุมพร ยุวรี. 2549. **ทรัพยากรน้ำผิวดิน และระบบทางน้ำ.** ศูนย์สารสนเทศสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ทรัพยากรธรรมชาติ. 2554. แหล่งน้ำ. (ออนไลน์) / 14 มีนาคม 2554. ค้นหาได้จาก http://student.nu.ac.th/science/nature/

นริศรา นาพรหม และวิไล สุธิรัตนชาญสกุล. 2531. **การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำเสียชุมชนมาใช้ทดแทนปุ๋ยวิทยาศาสตร์.** วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นฤมล ทองมาก. 2552. **การกรองด้วยเยื่อกรองแบบพันทางสำหรับการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ของหางน้ำยาง.** วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

บุญแสน เตียวนุกูลธรรม. 2554. **ปฐพีวิทยา**. ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. (ออนไลน์) / 14 มีนาคม 2551. ค้นหาได้จาก http://www.nsru.ac.th/e-learning/soil/learnplan.php

ปฐพีชล วายอัคคี. 2533. **ดินและปุ๋ย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเกษตรเพื่อชนบท.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537.

พัชรี ธีรจินดาขจร. 2549. **หลักและวิธีการวิเคราะห์ดินทางเคมี.** ขอนแก่น : ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. 2546. **เคมีของดิน.** ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เภสัชรัตน์ กชกรจารุพงศ์. 2550. **การกำจัดไนโตรเจนในน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งด้วยการบำบัดโดยดิน.** สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2527. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน กข 471(2-3-3).** กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช.

ลักษณา สัมมานิธิ. 2554. แหล่งน้ำธรรมชาติบนโลก. ภาควิชาภูมิทัศน์และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่. (ออนไลน์) / 21 เมษายน 2554. ค้นหาได้จาก http://www.rmutphysics.com/charud/naturemystery/sci3/geology/8/index_ch_8-1.htm

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2531. **น้ำยาง.** ศูนย์วิจัยยางสงขลา.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2536. **ยาง.** สถาบันวิจัยยาง.

วิกาญดา ทองเนื้อแข็ง และอุดมผล พืชน์ไพบูรณ์. 2547. **การบำบัดไนโตรเจนในน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำยางข้นด้วยวิธีการบำบัดโดยดิน.** ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2547 26(4) : 521-528

วิเชียร ฝอยพิกุล. 2537. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน.** ภาควิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศสาตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสุรินทร์.

สถาบันวิจัยยาง. สถิติยางไทย. 2552. (ออนไลน์) / 5 พฤศจิกายน 2552. ค้นหาได้จาก http://www.rubberthai.com/rubberthai/.

สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์, อุดมผล พืชไพบูลย์, จรัญ บุญกาญจน์, เสาวลักษณ์ รุ่งตะวันเรืองศรี, นิทัศน์ เพราแก้ว, อัษฎาวุธ หิรัญรักษ์, สุวลักษณ์ วิสุนทร, วิบูลย์ ป้องกันภัย และนฤเทพ บุญเรือง ขาว. 2545. **การตรวจสอบการจัดการของเสียของโรงงานน้ำยางข้น.** โครงการวิจัยเรื่องการจัดการของเสียอุตสาหกรรมน้ำยางข้น. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมพร คนยงค์. 2554. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. (ออนไลน์) / 23 มกราคม 2554. ค้นหาได้จาก http://courseware.rmutl.ac.th/courses/53/unit306.htm

สมพร ดำยศ. 2546. **ผลของการใช้ปุ๋ยพืชสดในนาข้าวที่มีผลต่อผลผลิตข้าวและสมบัติของดิน.** คณะวิชาพืชศาสตร์ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพัทลุง.

สมาชิกตลาดสินค้าเกษตรล่วงหน้าแห่งประเทศไทย. 2550. น้ำยางข้น. (ออนไลน์) / 23 มกราคม 2554. ค้นหาได้จาก http://www.dsfutures.co.th/?cid=3&pid=18.

อภิเชษฐ ทองส่ง. 2553. **การใช้วัสดุอินทรีย์ วัสดุปูน และปุ๋ยเคมีต่อสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมัน.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อิสริยาภรณ์ ดำรงรักษ์. 2548. **ปฐพีวิทยา**. คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และการเกษตร. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

อรวรรณ ฉัตรสีรุ้ง. 2552. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน.** ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Akber, A., Mukhopadhyay, A. M., Al-Senafy, Al-Haddad, A., Al-Awadi, E., Al-Qallaf, H. 2008. **Feasibility of long-term irrigation as a treatment method for municipal wastewater using natural soil in Kuwait**. agricultural water management. 95: 233–242.

Geber, U. 2000. **Nutrient Removal by Grasses Irrigated with Wastewater and Nitrogen Balance for Reed Canarygrass.** J. Environ. Qual. 29: 398-406.

Jalali, M., Merikhpour, H., Kaledhonkar, M.J., and Van Der Zee, S.E.A.T.M. 2008. **Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils.** agricultural water management. 95: 143–153.

Kiziloglu, F.M., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y., and Dursun, A. 1991. **Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (Brassica olerecea L. var. botrytis) and red cabbage (Brassica olerecea L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey**. Agricultural water management. 95: 716–724.

Lim Kim Huan. 1986. **Optimising Land Application of Digested Palm Oil Mill Effluent.** Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Agricultural Sciences to the Faculty of Agricultural Sciences, State University of Ghent, Belgium.

Magesana, G.N., Williamsona, J.C., Yeatesb, G.W., Lloyd-Jones A.Rh. 2000. **Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery.** Bioresource Technology 71: 21-27

Pescod, M.B. 1992**. Wastewater Treatment and Use in Agriculture**. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Polprasert, C. 1989. **Organic Waste Recycling**. New York : John Wiley & Son.

Rafael Marques Pereira Leal, Lilian Pittol Firme, Uwe Herpin, Adriel Ferreira da Fonseca, Celia Regina Montes, Carlos Tadeu dos Santos Dia and Adolpho Jose Melfi. 2010**. Carbon and nitrogen cycling in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and irrigated with wastewater**. Agricultural Water Management 97: 271–276.

Reed, S.C., R.W. Crites, and E.J. Middlebrooks, 1995. **Natural Systems for Waste Management and Treatment**, 2nd Edition. McGraw-Hill, Inc. New York, New York.

Rosa Aiello, Giuseppe Luigi Cirelli and Simona Consoli. 2007. **Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil and tomato fruits: A case study in Sicily (Italy).** Agricultural water management. 93: 65–72.

Satnam Singha, Rekhab, P.D., Arunb, A.B., Chiu-Chung Young. 2009**. Impacts of monosodium glutamate industrial wastewater on plant growth and soil characteristics.** Ecological Engineering 35: 1559–1563.

Tchobanoglous, G. and Burton, F.L. 1991. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse**. 3 re ed. Singapore: McGrow-Hill, Inc.

Thongnuekhang, V. and Puetpaiboon, U. 2003**. Nitrogen removal from concentrated latex wastewater by land treatment.** A Thesis Submitted as a Part of the Requirements for the Degree of Master of Science in Environmental Technology.JGSEE.(coppy).

Thongnuekhang, V. and Puetpaiboon, U. 2004. **Nitrogen removal from concentrated latex wastewater by land treatment.** Songklanakarin J. Sci. Technol., 26(4): 521-528.

Tzanakakis, V.E., Paranychiana, N.V., Kyritsis, S. and Angelakis, A.N. 2003. **Wastewater Treatment and Biomass Production by Slow Rate Systems Using Different Plant Species**, Water Science and Technology: Water Supply. 3(4): 185-192.

UNEP United Nations Environment Programme environment for development. (2009). Land based treatment. (on line). : Find: http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/TechPublications/TechPub-15/2-4/4-2-4.asp.[23 February 2010].

US.EPA. 2006. **Process Design Manual: Land Treatment of Municipal Wastewater Effluents.** EPA/625/R-06/016. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

Von Uexkull, H.R. and Fairhurst, T.H. 1991. **Fertilizing for High Yield and Quality.** The Oil Palm. IPI, Bern, 79 p.

Zahida Muyen, Graham A. Moore and Roger J. Wrigley. 2011. **Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia.** Agricultural Water Management. 99: 33– 41.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ลักษณะของดิน

ตารางที่ ก-1 ผลการวิเคราะห์เนื้อดินก่อนการทดลอง

ตัวอย่างดิน	PARTICLE SIZE			TEXURE
	% CLAY	%SILT	%SAND	
D_1	18.74	15.99	65.27	SANDY LOAM
D_2	21.26	16.67	62.06	SANDY CLAY LOAM
D_3	20.81	17.28	61.91	SANDY CLAY LOAM
D_4	22.63	17.6	59.76	SANDY CLAY LOAM
W_1	17.71	14.84	67.45	SANDY LOAM
W_2	19.95	18.31	61.74	SANDY LOAM
W_3	19.53	20.91	59.56	SANDY LOAM
W_4	20.38	18.48	61.14	SANDY CLAY LOAM
รดน้ำบ่อ	17.62	28.09	54.28	SANDY LOAM
ไม่รดน้ำบ่อ	17.63	27.89	54.47	SANDY LOAM

ตารางที่ ก-2 ผลการวิเคราะห์เนื้อดินระหว่างการทดลอง

ตัวอย่างดิน	PARTICLE SIZE			TEXURE
	% CLAY	%SILT	%SAND	
D_1	16.36	18.36	65.28	SANDY LOAM
D_2	16.38	16.36	67.26	SANDY LOAM
D_3	16.44	16.24	67.32	SANDY LOAM
D_4	15.39	19.61	65.00	SANDY LOAM
W_1	14.28	14.43	71.30	SANDY LOAM
W_2	15.12	16.51	68.38	SANDY LOAM
W_3	15.20	17.79	67.01	SANDY LOAM
W_4	14.08	17.26	68.66	SANDY LOAM
รดน้ำบ่อ	14.64	26.30	59.05	SANDY LOAM
ไม่รดน้ำบ่อ	13.61	23.83	62.56	SANDY LOAM

ตารางที่ ก-3 ผลการวิเคราะห์เนื้อดินหลังการทดลอง

ตัวอย่างดิน	PARTICLE SIZE			TEXURE
	% CLAY	%SILT	%SAND	
D_1	18.32	21.61	60.07	SANDY LOAM
D_2	14.67	17.32	68.20	SANDY LOAM
D_3	13.60	17.25	69.15	SANDY LOAM
D_4	18.25	17.85	63.90	SANDY LOAM
W_1	15.58	18.39	66.03	SANDY LOAM
W_2	15.94	21.27	62.78	SANDY LOAM
W_3	15.71	16.97	67.32	SANDY LOAM
W_4	15.54	18.76	65.70	SANDY LOAM
รดน้ำบ่อ	14.75	26.90	58.36	SANDY LOAM
ไม่รดน้ำบ่อ	12.99	26.72	60.29	SANDY LOAM

ตารางที่ ก-4 ผลการวิเคราะห์Na Ca และMg ในตัวอย่างดินที่ทำการทดลอง

ตัวอย่างดิน	NH4OAc Extract (meq/100g)								
	Exchangeable Na			Exchangeable Ca			Exchangeable Mg		
	ก่อน	ระหว่าง	หลัง	ก่อน	ระหว่าง	หลัง	ก่อน	ระหว่าง	หลัง
D_1	0.07	0.06	0.02	0.79	3.06	3.61	0.42	0.89	2.15
D_2	0.07	0.06	0.02	1.19	2.68	3.9	0.59	1.39	1.68
D_3	0.05	0.04	0.02	3.1	4.71	2.8	1.55	2.41	1.74
D_4	0.1	0.02	0.02	4.64	2.33	3.04	3.63	1.49	1.97
W_1	0.03	0.02	0.02	1.3	3.06	0.84	0.44	0.61	0.38
W_2	0.07	0.11	0.03	2.79	2.3	4.7	1.15	1.7	1.73
W_3	0.1	0.03	0.03	4.61	2.67	3.4	3.99	1.68	1.84
W_4	0.06	0.03	0.03	2.22	2.39	3.37	1.44	1.31	1.74
รดน้ำบ่อ	0.03	0.01	0.01	0.89	1.09	0.65	0.82	0.75	0.65
ไม่รดน้ำบ่อ	0.03	0.02	0.01	1.04	1.02	1.67	0.37	1.1	1.67

หมายเหตุ : mg/kg = ppm และ cmol/kg = meq/100g

ภาคผนวก ข

สูตรคำนวณ

$$ESP = \frac{ES \times 100}{CEC}$$

ESP = อัตราร้อยละโซเดียมแลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable Sodium Percentage (%))

ES = โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Sodium ($cmol_c/kg$))

CEC = อนุมูลประจุบวกที่แลกเปลี่ยนได้ทั้งหมด (Cation Exchange Capacity ($cmol_c/kg$))

$$\% \text{ Base Saturation} = \left[\frac{\{Na\}+\{Ca\}+\{Mg\}+\{K\}}{CEC} \right] \times 100$$

โดยที่ { } = ไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (meq/100g)

ภาคผนวก ค

ปริมาณฝนในพื้นที่ที่ทำการวิจัย

ตารางที่ ค-1 ตารางปริมาณฝนในเดือนพฤษภาคม 2553 – เดือนกุมภาพันธ์ 2554

วันที่	ปี พ.ศ. 2553								ปี พ.ศ. 2554	
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1	11.5	0.0	55.8	2.2	3.0	0.0	79.4	9.6	0.4	0.0
2	0.0	0.4	0.9	1.6	8.0	17.6	0.0	0.4	0.0	0.0
3	0.0	0.4	0.0	12.0	48.6	15.0	18.4	0.0	0.0	0.0
4	0.0	28.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	1.8	0.0	0.0	38.4	34.6	0.0	0.8	9.6	0.0
6	5.4	15.6	0.0	0.0	0.6	0.7	0.0	16.4	0.0	0.0
7	0.0	1.0	4.6	1.4	15.0	0.0	15.8	1.0	2.6	0.0
8	0.0	11.1	26.6	5.8	4.1	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0
9	0.0	18.4	0.0	5.2	0.6	0.0	15.2	0.0	0.0	0.0
10	7.0	2.4	0.0	13	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0
11	28.2	0.0	4.2	14.3	0.1	11.6	26.0	1.8	23.0	0.0
12	35.0	0.0	13.3	0.0	0.0	8.6	12.0	11.6	2.8	0.0
13	2.2	1.8	30.8	0.0	0.0	23.5	0.0	0.0	89.0	0.0
14	10.8	0.0	4.3	9.0	57.0	13.6	0.0	0.0	0.0	0.0
15	4.5	9.4	5.0	0.0	20.2	14.4	0.0	0.4	0.0	0.0
16	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	21.0	2.8	0.0	0.0	0.0
17	11.3	6.4	12.0	4.8	0.0	4.8	1.6	9.8	0.0	0.0
18	15.4	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0
19	3.2	0.0	6.2	18.8	0.0	27.4	7.6	2.6	0.0	0.0
20	0.0	12.9	0.0	31.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	10.2	0.0	12.4	6.8	0.0	74.2	0.0	0.0	0.0
22	10.0	16.2	0.8	4.7	1.0	0.0	28.8	0.0	0.0	0.0
23	0.0	1.0	0.0	19.2	1.8	0.0	4.0	17.6	0.0	0.0
24	0.0	21.8	5.3	0.0	1.0	0.0	26.6	0.0	2.2	0.0
25	0.4	4.9	13.2	0.0	0.0	6.6	22.6	0.0	4.0	0.0

วันที่	ปี พ.ศ. 2553								ปี พ.ศ. 2554	
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
26	0.0	0.0	15.4	0.0	37.0	3.1	10.4	0.0	11.6	0.0
27	2.4	1.2	3.4	0.0	22.4	12.0	1.6	0.0	0.4	0.0
28	7.8	20.5	0.0	5.2	0.0	8.5	10.2	0.0	6.2	0.0
29	3.0	3.8	4.6	0.0	2.8	0.0	4.4	4.2	8.0	-
30	0.0	11.2	19.2	6.2	11.2	0.0	1.0	1.6	6.0	-
31	0.0	-	2.4	4.2	-	11.2	-	1.6	0.0	-
รวม	158.1	200.4	238.5	172.2	280.5	237.3	365.6	83.2	165.8	0.0
จำนวนวัน	16	22	20	19	19	18	21	15	13	0
สูงสุด	35.0	28.0	55.8	31.6	57.0	34.6	79.4	17.6	89.0	0.0

ที่มา: สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดกระบี่, 2554

ภาคผนวก ง

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ดัชนีคุณภาพน้ำ[1/]	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[2/]ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
1.สี กลิ่นและรส (Colour,Odour and Taste)	-	-	ธ	ธ'	ธ'	ธ'	-	-
2.อุณหภูมิ (Temperature)	°ซ	-	ธ	ธ'	ธ'	ธ'	-	เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) วัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
3.ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	-	ธ	5-9	5-9	5-9	-	เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH meter)ตามวิธีหาค่าแบบ Electrometric
4.ออกซิเจนละลาย (DO)[2/]	มก./ล.	P20	ธ	6.0	4.0	2.0	-	Azide Modification
5.บีโอดี (BOD)	มก./ล.	P80	ธ	1.5	2.0	4.0	-	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วันติดต่อกัน
6.แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี.เอ็น/100 มล.	P80	ธ	5,000	20,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
7.แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bateria)	เอ็ม.พี.เอ็น/100 มล.	P80	ธ	1,000	4,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
8.ไนเตรต (NO3)ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	ธ	5.0			-	Cadmium Reduction
9.แอมโมเนีย (NH3)ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	ธ	0.5			-	Distillation Nesslerization
10.ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	-	ธ	0.005			-	Distillation,4-Amino antipyrene

ดัชนีคุณภาพน้ำ[1/]	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[2/]ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
11.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	-	ธ	0.1			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
12.นิคเกิล (Ni)	มก./ล.	-	ธ	0.1			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
13.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	-	ธ	1.0			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
14.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	-	ธ	1.0			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
15.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	-	ธ	0.005* 0.05**			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
16.โครเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Cr Hexavalent)	มก./ล.	-	ธ	0.05			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
17.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	-	ธ	0.05			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
18.ปรอททั้งหมด (Total Hg)	มก./ล.	-	ธ	0.002			-	Atomic Absorption-Cold Vapour Technique
19.สารหนู (As)	มก./ล.	-	ธ	0.01			-	Atomic Absorption -Direct Aspiration
20.ไซยาไนด์ (Cyanide)	มก./ล.	-	ธ	0.005			-	Pyridine-Barbituric Acid
21.กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) -ค่ารังสีแอลฟา(Alpha) -ค่ารังสีเบตา(Beta)	เบคเคอเรล/ล.	-	ธ	0.1 1.0			-	Gas-Chromatography

ดัชนีคุณภาพน้ำ[1/]	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[2/]ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
22.สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลออรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)	มก./ล.	-	ธ	0.05			-	Gas-Chromatography
23.ดีดีที (DDT)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	1.0			-	Gas-Chromatography
24.บีเอชซีชนิดแอลฟ่า (Alpha-BHC)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	0.02			-	Gas-Chromatography
25.ดิลดริน (Dieldrin)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	0.1			-	Gas-Chromatography
26.อัลดริน (Aldrin)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	0.1			-	Gas-Chromatography
27.เฮปตาคลอร์และเฮปตาคลออีปอกไซด์ (Heptachor & Heptachlorepoxide)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	0.2			-	Gas-Chromatography
28.เอนดริน (Endrin)	ไมโครกรัม/ล.	-	ธ	ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด			-	Gas-Chromatography

ที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537 (ภาคผนวก ฐ)

หมายเหตุ

1/ การแบ่งประเภทแหล่งน้ำผิวดิน

ประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน

(2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน

(3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ

ประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ

(3) การประมง

(4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การเกษตร

ประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน

(2) การอุตสาหกรรม

ประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ การคมนาคม

2/ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

3/ ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ	เป็นไปตามธรรมชาติ
ธ/	อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติ เกิน 3 องศาเซลเซียส
*	น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
**	น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
^{o} ซ	องศาเซลเซียส
P20	ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง
P80	ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
มล.	มิลลิลิตร
MPN	เอ็ม.พี.เอ็น หรือ Most Probable Number

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวเพ็ญนภา ทองประไพ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5210120026

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2552

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

- ทุนผู้ช่วยวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ.สงขลา

- ทุนทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ ENG530039S

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

เพ็ญนภา ทองประไพ อุดมผล พืชน์ไพบูลย์ พรทิพย์ ศรีแดง สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์พนาลี ชีวกิดาการ และเจิดจรรย์ ศิริวงศ์. 2554. ลักษณะของดินและน้ำท่าจากการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานน้ำยางข้นโดยใช้การบำบัดโดยดินในสวนปาล์มน้ำมัน. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 10. ณ โรงแรม บีพี สมิหลา บีช แอนด์ รีสอร์ท, สงขลา. วันที่ 23 – 25 มีนาคม 2554.