การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดิน: กรณีศึกษาพื้นที่เพาะปลูกข้าว ในจังหวัดฉะเชิงเทรา และชลบุรี

โอภาส วงศ์ทางประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มิถุนายน 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ โอภาส วงศ์ทางประเสริฐ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร.อรรถพล เชยศุภเกตุ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.ธนัสถา รัตนะ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล เอี่ยมพนากิจ)

.....กรรมการ
(ดร.อรรถพล เชยศุภเกตุ)

.....กรรมการ
(ดร.ธนัสถา รัตนะ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทิตอนันต์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)
วันที่ 18 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2558

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและอุปการคุณจากผู้เกี่ยวข้องหลายท่านต่อไปนี้ อาจารย์ ดร.อรรถพล เชยศุภเกตุ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์ ดร.ธนัสถา รัตนะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล เอี่ยมพนากิจ ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทิตอนันต์ ตัวแทนฝ่ายวิชาการและบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา กรรมการสอบ อาจารย์ ดร.วิเชียร ศิริพรม คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำเพิ่มเติม ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากร และโครงการบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้ว และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม สำหรับการช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดียิ่ง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ พ่อ แม่ ที่ให้ความช่วยเหลือ และคอยเป็นกำลังใจ รวมถึงพี่น้อง และเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จด้วยดี

โอภาส วงศ์ทางประเสริฐ

53910198: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
คำสำคัญ: ดิน/ สมบัติทางกายภาพ/ สมบัติทางเคมี/ ข้าว

โอภาส วงศ์ทางประเสริฐ: การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดิน :กรณีศึกษาพื้นที่เพาะปลูกข้าวในจังหวัดฉะเชิงเทรา และชลบุรี (THE STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL :THE CASE OF RICE ARE IN CHACHOENGSAO AND CHONBURI PROVINCES) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: อรรถพล เชยศุภเกตุ, Ph.D., ธนัสถา รัตนะ, Ph.D. 115หน้า. ปี พ.ศ. 2558.

งานวิจัยนี้ต้องการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดินใน จ. ชลบุรี และ จ. ฉะเชิงเทรา เพื่อศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของดินทั้งสองจังหวัด เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงดินให้มีความอุดมสมบูรณ์ โดยผลการศึกษาพบว่า ดินใน จ. ฉะเชิงเทราเป็นดินร่วนปนทราย และดินใน จ. ชลบุรีเป็นดินร่วนปนเหนียว ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองสมบัติทางแร่ที่มีโครงสร้างของควอตซ์เป็นหลัก ส่วนสมบัติอื่น ๆ เช่น ความหนาแน่นดินรวม ความหนาแน่นอนุภาค ความพรุนรวม และความชื้น ซึ่งจะเห็นว่าดินใน จ. ฉะเชิงเทรามีทรายเป็นองค์ประกอบมากกว่า 80 % จึงทำให้มีความหนาแน่นดินรวมสูง แต่มีความหนาแน่นอนุภาค ความพรุน และความชื้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ จ. ชลบุรี สำหรับผลการทดลองด้านเคมี พบว่าดินใน จ. ชลบุรี และ จ. ฉะเชิงเทราไม่มีโลหะหนักในปริมาณที่เป็นอันตราย และดินใน จ. ชลบุรีมีความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารมากกว่า จ. ฉะเชิงเทรา

53910198: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE; M.Sc. (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

KEYWORDS: SOIL/ PHYSICAL PROPERTIES/ CHEMICAL PROPERTIES/ RICE

OPAS WONGTANGPRASERT: THE STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL :THE CASE OF RICE ARE IN CHACHOENGSAO AND CHONBURI PROVINCES. ADVISORY COMMITTEE: ATTAPOL CHOEYSUPPAKET, Ph.D., TANATTHA RATTANA, Ph.D.115 P. 2015.

In this study, the purpose is to compare the physical and chemical properties of the soil which is collected from Chachoengsao and Chonburi provinces. In addition, the soil fertility and the method of improvement have been studied. The results showed that the soil in Chachoengsao province is sandy loam while the soil in Chonburi province is clay loam. The soil properties correspond with the results of bulk density, particle density, porosity and moisture. The soil in Chachoengsao province have shown sand more than 80 %. This result leads to bulk density higher than in Chonburi province but particle density, porosity and moisture lower than in Chonburi province. Moreover, the results of the research study showed that the soil in Chonburi province has higher soil fertility than in Chachoengsao province and is contaminated by heavy metal to a lower extent than standard.

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
สารบัญ		ฉ
สารบัญตาราง		ซ
สารบัญภาพ		ญ
บทที่		
1	บทนำ	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
	ขอบเขตของการวิจัย	2
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดิน	3
	สมบัติทางกายภาพของดิน	15
	สมบัติทางเคมีของดิน	25
	เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	32
	รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	43
3	วิธีดำเนินการวิจัย	47
	ขั้นตอนการวิจัย	47
	สารเคมีอุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย	49
	วิธีดำเนินการวิจัย	50
		50

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	ผลการวิจัย	61
	ความหนาแน่นดินรวม	66
	ความหนาแน่นอนุภาคดิน	68
	ความพรุนรวม	69
	ความชื้นในดิน	70
	องค์ประกอบอนุภาคดิน	72
	สมบัติทางแร่	76
	ธาตุองค์ประกอบของดิน	79
	อินทรียวัตถุในดิน	84
	ค่า pH	84
	ค่าการนำไฟฟ้าของดิน	84
	ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	84
	ไนโตรเจนทั้งหมด	85
	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	85
	โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	86
5	อภิปรายและสรุปผล	87
บรรณานุกรม		91
ภาคผนวก		94
	ภาคผนวก ก	95
	ภาคผนวก ข	106
ประวัติย่อของผู้วิจัย		115

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ และ functional group ซึ่งพบในกรดฮิวมิกกับกรดฟุลวิก……	7
2	ชนิด และปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ที่พบในพืช……	9
3	องค์ประกอบแร่ธาตุหลักของแบคทีเรีย และพืชโดยประมาณ…….	11
4	ค่า C: N ratio ของสารอินทรีย์ต่าง ๆ โดยประมาณ……	13
5	ประเภทของเนื้อดินที่แบ่งตามขนาดอนุภาค……	15
6	การจำแนกประเภทชนิดของดิน……...	54
7	ความหนาแน่นดินรวมของดินนา อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา…….....	67
8	ความหนาแน่นดินรวมของดินนา อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี……	67
9	ความหนาแน่นอนุภาคของดิน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา……..	68
10	ความหนาแน่นอนุภาคของดินนา อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี……	69
11	ความพรุนรวมของดินนาใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา……..	69
12	ความพรุนของดินนาใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี……...	70
13	ความชื้นในดินนา อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา…….	71
14	ความชื้นในดินนา อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี…….	71
15	องค์ประกอบอนุภาคของดินชั้นบนบริเวณ อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา……...	73
16	องค์ประกอบอนุภาคของดินชั้นล่างบริเวณ อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา……..	73
17	องค์ประกอบอนุภาคของดินชั้นบนบริเวณ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี……..	75
18	องค์ประกอบอนุภาคของดินชั้นล่างบริเวณ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี……...	75
19	องค์ประกอบของดินและเกณฑ์มาตรฐานติดตามตรวจสอบโลหะหนักในดินนา อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา……..	81
20	องค์ประกอบของดินและเกณฑ์มาตรฐานติดตามตรวจสอบโลหะหนักในดินนา อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี……	83
21	สมบัติทางกายภาพของดินชั้นบนในพื้นที่เพาะปลูกข้าว อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา และอ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี……	87
22	สมบัติทางกายภาพของดินชั้นล่างในพื้นที่เพาะปลูกข้าว อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา และอ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี……	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

23 สมบัติทางเคมีของดินชั้นบนในพื้นที่เพาะปลูกข้าว อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทราและ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี..... 88

24 สมบัติทางเคมีของดินชั้นล่างในพื้นที่เพาะปลูกข้าว อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทราและ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี..... 89

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ส่วนประกอบของดินโดยปริมาตรที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก……...	4
2	การสกัดแยกส่วนของสารฮิวมิก……...	6
3	รูปแบบการยึดเหนี่ยวที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่างกรดฮิวมิกกับอนุภาคดินเหนียว……	8
4	ส่วนประกอบของชิ้นส่วนของพืชที่ยังสด……	9
5	กระบวนการ mineralization และ immobilization ของไนโตรเจนในดินโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน…….....	12
6	หน้าตัดของดิน……	16
7	บราเวส์แลตทิซทั้ง 14 แบบ ใน 3 มิติ…….....	32
8	เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน……..	33
9	แผนภาพของเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน……..	35
10	การปลดปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะตัว……..	37
11	การเกิดเบรมส์ตราลุง……..	38
12	ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์……..	42
13	แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย……	48
14	ตารางจำแนกองค์ประกอบอนุภาคดินตามมาตรฐาน USDA……...	53
15	ลักษณะชุดดินที่พบในพื้นที่ ต.หัวสำโรง อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา……	61
16	พื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกข้าวบริเวณ ต.หัวสำโรง อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา……..	62
17	ลักษณะชุดดินที่พบในพื้นที่ ต. หมอนนาง อ. พนัสนิคม จ.ชลบุรี……	63
18	พื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกข้าวบริเวณ ต.หมอนนาง อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี……	64
19	บริเวณที่มีความเสี่ยงในการปนเปื้อนสารพิษ ต.หนองแหน อ.พนมสาร จ.ฉะเชิงเทรา	65
20	ตารางจำแนกองค์ประกอบอนุภาคดินตามมาตรฐาน USDA……	72
21	ตารางจำแนกองค์ประกอบอนุภาคดินตามมาตรฐาน USDA……	74
22	แผนภาพ XRD ของพื้นที่ปลูกข้าวในดินชั้นบน (CH-R1) และดินชั้นล่าง (CH-R2) อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา ด้วยเทคนิคการเลี่ยวเบนของรังสีเอกซ์……	77
23	แผนภาพ XRD ของพื้นที่ปลูกข้าวในดินชั้นบน (CH-R1) และดินชั้นล่าง (CH-R2) อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี ด้วยเทคนิคการเลี่ยวเบนของรังสีเอกซ์……	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

24 องค์ประกอบของดินนาชั้นบนใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทราด้วยเทคนิค การเรืองรังสีเอกซ์……..... 80

25 องค์ประกอบของดินนาชั้นล่างใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทราด้วยเทคนิค การเรืองรังสีเอกซ์…… 80

26 ปริมาณของธาตุองค์ประกอบของดินนาชั้นบนใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์……..... 82

27 ปริมาณของธาตุองค์ประกอบของดินนาชั้นล่างใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี ด้วย เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์…… 82

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ดินเป็นทรัพยากรที่มีความจำเป็นสำหรับพืช และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ บนโลก เนื่องจากเป็นแหล่งของน้ำ อากาศ และสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช หากดินที่ใช้เพาะปลูกพืชขาดความอุดมสมบูรณ์ หรือมีสมบัติทางกายภาพ และเคมีไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก พืชก็จะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติ โดยทั่วไปค่าเฉลี่ยสัดส่วนของดินที่มีคุณภาพประกอบด้วย อนินทรียวัตถุ 45 % อินทรียวัตถุ 5 % น้ำ 25 % และอากาศ 25 %

ดินที่มีปัญหาความเสื่อมโทรมส่วนใหญ่มักมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนระบบการเกษตรจากระบบปลูกพืชเพื่อยังชีพไปเป็นระบบการปลูกพืชเพื่อการขาย ตลอดจนการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรที่ดินไม่เหมาะสม หรือเกิดจากการใช้ประโยชน์ของที่ดินเป็นระยะเวลานานโดยไม่ได้มีการปรับปรุงคุณภาพของดิน จากข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน (2551) พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ที่ใช้ในการเพาะปลูกจำนวน 68 ล้านไร่ แต่พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ และเสื่อมสภาพ ประกอบกับข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดินที่ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพดินให้กับเกษตรกรใน จังหวัดต่าง ๆ จำนวน 50,000 ราย พบว่าดินส่วนใหญ่ขาดความสมบูรณ์ทางด้านกายภาพ และเคมีทำให้ดินในพื้นที่ดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

พื้นที่ในการเพาะปลูกจำนวน 68 ล้านไร่นั้น พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาประมาณ 60 ล้านไร่ โดยจำแนกเป็นพื้นที่ทำนาในเขตอาศัยฝน 75 % และเป็นพื้นที่นาในเขตชลประทาน 25 % โดยที่พื้นที่ในการเพาะปลูกข้าวในเขตภาคตะวันออก เป็นพื้นที่ราบลุ่มซึ่งเหมาะกับการปลูกข้าวเจ้ากันเป็นส่วนใหญ่ และบางท้องที่อยู่ในเขตชลประทาน เช่น จ.ฉะเชิงเทรา ได้มีการทำนาปรังด้วยความอุดมสมบูรณ์ของดินดีปานกลาง และบางท้องที่เป็นเขต จ.นครนายก และ จ.ปราจีนบุรี ดินที่ปลูกข้าวมีฤทธิ์เป็นกรดหรือเป็นดินเหนียวมากกว่าในท้องที่นาอื่น ๆ และจากข้อมูลจากกรมการข้าวได้รายงานถึงผลการประเมินของกระทรวงเกษตร และสหกรณ์ โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรได้สรุปผลเบื้องต้นว่า ในปีการผลิต 2555/56 จะมีผลผลิตข้าวเปลือกทั้งหมด 31.625 ล้านตัน ลดลงจากปีก่อน 11.1 % ในส่วนของการผลิตข้าวในฤดูการผลิตปี 2556/57 สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ ได้พยากรณ์ว่าในฤดูนาปี (ข้าวรอบที่ 1) จะมีเนื้อที่เพาะปลูกข้าว จำนวน 61.715 ล้านไร่

ผลผลิตข้าวเปลือกรวม 25.882 ล้านตัน ผลผลิตข้าวเปลือกเฉลี่ยต่อไร่ เพิ่มขึ้น 1.05 %, 12.55 % และ 11.14 % ตามลำดับ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาสมบัติทางด้านกายภาพ และเคมีของดินในพื้นที่เพาะปลูกข้าวใน จ.ฉะเชิงเทรา และ จ. ชลบุรี

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ทำให้ทราบถึงข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพ และเคมีมาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของดินในพื้นที่เพาะปลูกข้าว จ. ฉะเชิงเทรา และ จ. ชลบุรี

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดินในเขตพื้นที่เพาะปลูกข้าว จ.ฉะเชิงเทรา และ จ. ชลบุรี โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์ และการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งออกเป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ องค์ประกอบอนุภาคของดิน ความหนาแน่นดินรวม ความหนาแน่นอนุภาคของดิน ความพรุนรวม ความชื้นและสมบัติทางแร่ ส่วนการศึกษาสมบัติทางเคมีของดินได้แก่ อินทรียวัตถุ ความเป็นกรดเป็นด่าง สภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) รวมถึงธาตุองค์ประกอบ และโลหะหนักในดิน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับดิน

ดิน คือ วัตถุตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากผลของการผุพังสลายตัวของหิน และแร่ต่าง ๆ ผสมคลุกเคล้ารวมกับอินทรียวัตถุหรืออินทรียสารที่ได้มาจากการสลายตัวของเศษซากพืช และสัตว์จนเป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะรวมกันเป็นชั้น (profile) ทำให้ดินเป็นปัจจัยสำคัญต่อการปลูกพืช เนื่องจากมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่วนประกอบของดิน (soil component) สามารถแบ่งออกตามความสำคัญ และหน้าที่ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชได้ 4 ส่วน ได้แก่

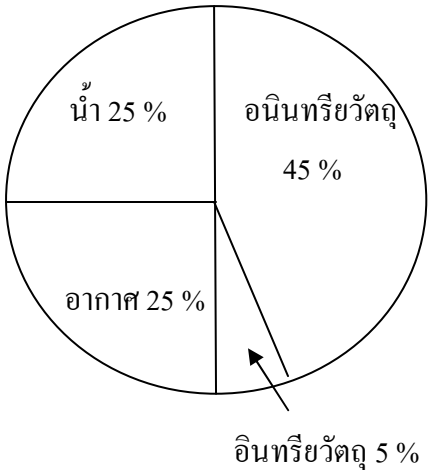
1. อนินทรียวัตถุ อนินทรียวัตถุเป็นแหล่งกำเนิดของธาตุอาหารของพืช และแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ดิน มีบทบาทสำคัญในการควบคุมเนื้อดิน นอกจากนี้ส่วนของอนุภาคดินเหนียว (clay fraction) เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการเกิดกระบวนการทางเคมีในดิน

2. อินทรียวัตถุ เป็นแหล่งกำเนิดธาตุอาหารของพืช และจุลินทรีย์ดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ควบคุมสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น โครงสร้างดิน ความร่วนซุย การระบายน้ำ และการแลกเปลี่ยนอากาศของดิน

3. น้ำ พบว่าอยู่ในช่องระหว่างเม็ดดิน (aggregate) สารเหล่านี้มีตั้งแต่ขนาดใหญ่ เช่น อนุภาคดินเหนียว ออกไซด์ หรือไฮดรอกไซด์ของเหล็กจนไปถึงสารละลาย มีส่วนสำคัญช่วยในการละลายธาตุอาหารต่าง ๆ ในดิน

4. อากาศ มีความสำคัญในการให้ออกซิเจนแก่รากพืช และในการหายใจของจุลินทรีย์ มีคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเมื่อรวมกับน้ำจะได้กรดคาร์บอนิค ซึ่งเป็นกรดที่ความสำคัญในกระบวนการทางเคมีในดิน และเป็นแหล่งให้คาร์บอนแก่จุลินทรีย์บางชนิดในดินด้วย

โดยส่วนประกอบของดินดังกล่าว มักอยู่ในรูปที่เป็นของแข็งประมาณ 50 % โดยปริมาตร (อนินทรียวัตถุประมาณ 45 %โดยปริมาตร และอินทรียวัตถุประมาณ 5 % โดยปริมาตร) และส่วนประกอบที่เป็นช่องว่าง และน้ำรวมกัน 50 % (อากาศ 25 % โดยปริมาตร และน้ำ 25 % โดยปริมาตร) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของดินโดยปริมาตรที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก (เอิบ เขียวรื่นรมณ์, 2542)

โดยปกติแล้วดินที่เห็นอยู่ทั่วไปมักเป็น ดินอนินทรีย์ แต่ถ้าดินบริเวณใดเกิดการทับถมของเศษเหลือซากพืชซากสัตว์ สมบัติทางฟิสิกส์ของดินจะเปลี่ยนไป เช่น ความร่วนซุย การอุ้มน้ำของดิน ดินที่มีสมบัติเปลี่ยนไปจากดินอนินทรีย์ โดยการเพิ่มปริมาณของอินทรียวัตถุนี้ เรียกว่า ดินอินทรีย์ หรือ (organic soil) หลักในการพิจารณาว่าดินชนิดใดเป็นดินอินทรีย์หรือดินอนินทรีย์ คือ ถ้าดินบริเวณใดที่มีคาร์บอนอินทรีย์มากกว่า 20 % โดยน้ำหนัก จะเป็นดินอินทรีย์ ส่วนดินที่มีคาร์บอนอินทรีย์น้อยกว่า 20 % โดยน้ำหนักเป็นดินอนินทรีย์ แต่ถึงอย่างไรก็ตามดินที่มีคาร์บอนอินทรีย์มากกว่า 20 % โดยน้ำหนักแล้วยังไม่แสดงสมบัติเป็นดินอินทรีย์เลย สามารถอนุโลมให้เรียกว่าเป็นดินอินทรีย์ได้ เห็นได้ว่าความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นสมบัติความจุธาตุอาหารพืช (เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส) ของดินชนิดหนึ่ง ๆ ที่สามารถปลดปล่อยให้กับพืชที่ปลูกในแต่ละชนิด ขณะที่ผลผลิตดินเกี่ยวพันกับความสามารถของดินที่ให้ผลผลิตในเชิงพาณิชย์จึงมีความหมายที่กว้างกว่า ทั้งนี้เพราะความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งในการในด้านการให้ผลผลิตของพืช ดังนั้นดินที่มีประสิทธิภาพสูงในการให้ผลผลิตของพืช นอกจากมีธาตุอาหารพืชที่จำเป็นพอเหมาะสมในการเจริญเติบโตให้ดอกผลแล้วยังต้องมีการดูแลรักษา และมีสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ลมฟ้าอากาศ ความชื้นที่เหมาะสมด้วย

ธาตุอาหารพืชโดยทั่วไปมักเกิดจากเศษซากสิ่งมีชีวิตทับถมลงบนผิวดินหรือถูกผสมคลุกเคล้าลงไปในดินก็ถูกสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ กัดกินหรือย่อยสลายไปเป็นอาหาร สัตว์ส่วนใหญ่ เช่น แมลง กิ้งกือ ไส้เดือนกัดกิน และย่อยให้มีขนาดเล็กลง ขณะเดียวกันจุลินทรีย์ที่มีอยู่ทั่วไปก็เข้าทำการย่อยสลายแปรสภาพ สารอินทรีย์เหล่านั้น เป็นอาหารโดยการขับเอนไซม์ ออกมานอกเซลล์ (extracellular enzyme) ย่อยสารอินทรีย์เหล่านั้นให้มีขนาดเล็กลงจนสามารถซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ แล้วจึงนำเอาสาร

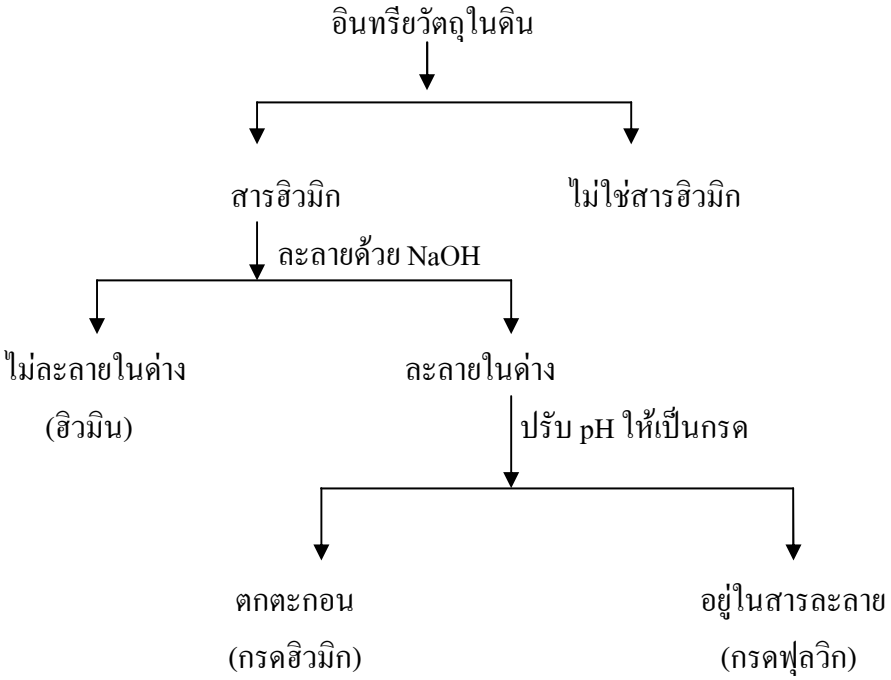
เหล่านั้นไปใช้เป็นแหล่งของพลังงาน หรือสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโตต่อไป ในที่สุดสารที่เคยประกอบเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งก็สูญสลายไป

ถ้าหากสภาพแวดล้อมในการย่อยสลายนี้ มีการถ่ายเทอากาศดีการย่อยสลายค่อนข้างสมบูรณ์ สารประกอบต่าง ๆ ก็เปลี่ยนสภาพไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และธาตุต่าง ๆ บางส่วนก็ถูกเปลี่ยนเข้าไปเป็นองค์ประกอบของเซลล์จุลินทรีย์หรือสิ่งมีชีวิตบางชนิด อีกส่วนหนึ่งแปรสภาพไปเป็นสารฮิวมิก (humic substance) ซึ่งเป็นสารประกอบที่คงทนต่อการสลายตัวตกค้างอยู่ในดิน อย่างไรก็ตามการสลายตัวที่เกิดขึ้นในดินจริง ๆ แล้วมักเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ เพราะปริมาณออกซิเจนมีไม่เพียงพอโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อดินมีความชื้นสูงหรือดินมีน้ำขัง ในสภาพดังกล่าวจะเกิดสารประกอบที่ย่อยสลายไม่สมบูรณ์อีกส่วนหนึ่งคงเหลืออยู่ในดินด้วย

แหล่งที่มาของอินทรียวัตถุในดินตามธรรมชาติ ก็ได้มาจากพืชเป็นส่วนใหญ่ดังนั้นการสลายตัวของเศษซากพืชจึงจัดเป็นกระบวนการหลักที่เกิดขึ้นในดินมีผลกระทบโดยตรงต่อระดับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ในที่นี้จึงกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการสลายตัวของเศษซากพืชเป็นตัวแทนของการสลายตัวของอินทรีย์ในดิน อย่างไรก็ตามการสลายตัวของซากสัตว์หรือจุลินทรีย์ก็มีรูปแบบใกล้เคียงกับพืช เพียงแต่มีสารประกอบที่ย่อยสลายได้ง่ายอยู่มากกว่า และไม่มีผนังเซลล์แบบพืชซึ่งมีเซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนินเป็นองค์ประกอบสำคัญ

ในช่วงแรกของการย่อยสลายเศษซากของสิ่งมีชีวิต กระบวนการแปรสภาพจะเกิดขึ้นได้รวดเร็ว จากนั้นการย่อยสลายก็จะช้าลงเรื่อย ๆ เนื่องจากสารอินทรีย์เหล่านั้นแปรสภาพไปเป็นสารฮิวมิก ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนสลายตัวยาก แต่ก็ยังค่อย ๆ สลายตัวต่อไปจนในที่สุดก็กลายไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ

ลักษณะโดยทั่วไปของสารฮิวมิกคือมีรูปร่างไม่แน่นอน (amorphous) มีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลดำ มีสมบัติเป็นคอลลอยด์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโมเลกุลประมาณ 30×10^{-10} ถึง 100×10^{-10} m (10^{-10} m = 1 Å) สารฮิวมิกนี้อาจแบ่งย่อยออกเป็น 3 ส่วนคือ ฮิวมิน (humin) กรดฟุลวิก (fulvic acid) และกรดฮิวมิก (humic acid) โดยใช้สมบัติในการละลายของส่วนประกอบทั้งสามเป็นตัวกำหนด กล่าวคือ สารฮิวมิก ส่วนที่ไม่ละลายในสารละลาย NaOH หรือ $Na_4P_2O_7$ เรียกว่า ฮิวมิน สำหรับส่วนที่ละลายใน NaOH หรือ $Na_4P_2O_7$ ได้แก่ส่วนของ กรดฮิวมิกกับฟุลวิก เมื่อนำเอาสารละลายนี้ไปปรับ pH ให้เป็นกรด ส่วนของกรดฮิวมิก จะตกตะกอนออกมา ขณะที่กรดฟุลวิกยังคงละลายอยู่ในสารละลายนั้น ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การสกัดแยกส่วนของสารฮิวมิก (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

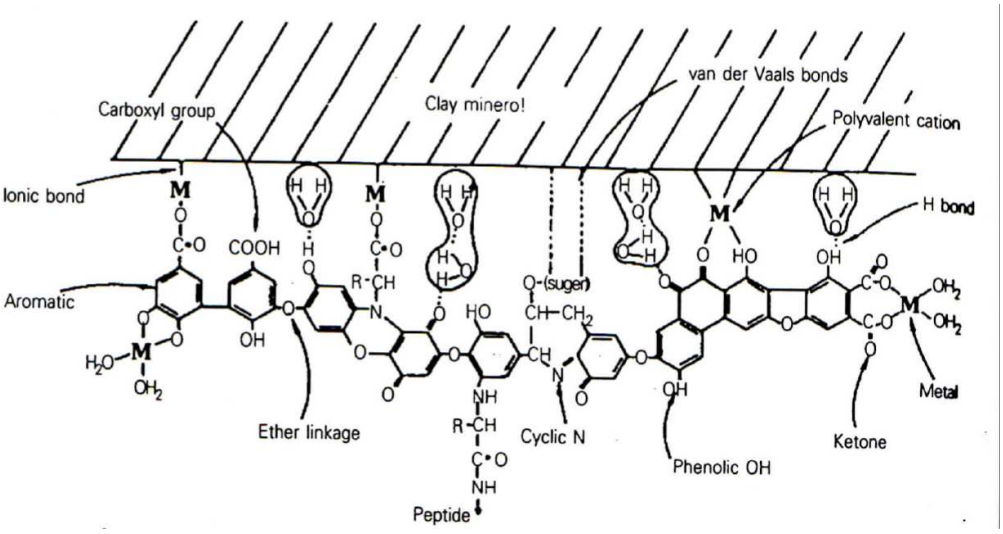
กรดฟุลวิก มีโครงสร้างโมเลกุลไม่ซับซ้อนมากเท่ากับกรดฮิวมิก มีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วงประมาณ 1,000-30,000 โครงสร้างโมเลกุลค่อนข้างยืดหยุ่น มีช่องเปิดภายในขนาดต่าง ๆ อยู่มากเปิดโอกาสให้สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์อื่น ๆ เข้าไปเกาะยึดภายในโมเลกุลได้ง่าย

สำหรับกรดฮิวมิก นั้นจัดเป็นส่วนที่มีโครงสร้างซับซ้อนมาก ย่อยสลายได้ยาก และมีขนาดโมเลกุลค่อนข้างใหญ่ โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 10,000-100,000 สารประกอบพวกนี้รวมตัวขึ้นมาโดยกระบวนการ condensation ของสารประกอบต่าง ๆ ที่หลากหลาย ทำให้มีลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลไม่ค่อยซ้ำแบบกัน กรดฮิวมิก มีแร่ธาตุ C N และ S เป็นองค์ประกอบมากกว่า กรดฟุลวิก แต่กรดฟุลวิกมี carboxylic group, phenolic OH group และ total acidity มากกว่าซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อสมบัติในการแลกเปลี่ยนแคตไอออนของอินทรียวัตถุในดินสำหรับ ฮิวมิน นั้นมักพบว่าเป็นส่วนของ กรดฟุลวิก, กรดฮิวมิก, ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์, สารประกอบอินทรีย์บางชนิด เช่น เซลลูโลส หรือลิกนินที่เข้าไปเกาะยึดอยู่กับสารประกอบอนินทรีย์ในดิน เช่น อนุภาคของดินเหนียวแล้วทำให้ไม่สามารถละลายใน NaOH หรือ $Na_4P_2O_7$ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ และ functional group ซึ่งพบในกรดฮิวมิกกับกรดฟุลวิก (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

ตัวอย่าง	**ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ (%)**					
	C	**H**	**N**	**S**	**O**	**ash**
กรดฟุลวิก	49.5	4.5	0.8	0.3	44.9	2.4
กรดฮิวมิก	56.4	5.5	4.1	1.1	32.9	0.9
	ปริมาณของ Functional group (meq/g)					
	OCH_3	**COOH**	**phenolic OH**	**total acidity**		
กรดฟุลวิก	0.5	9.1	3.3	12.4		
กรดฮิวมิก	1.0	4.5	2.1	6.6		

สารฮิวมิกเป็นส่วนของอินทรียวัตถุในดินที่ทำปฏิกิริยาได้ดี ในธรรมชาติสารนี้มักเกาะยึดอยู่กับเซลล์จุลินทรีย์ หรือ อนุภาคของสารอนินทรีย์ต่าง ๆ เช่น ดูดซับอยู่กับอนุภาคดินเหนียว โดยอาศัยพวก polyvalent cation เป็นตัวเชื่อมโยง เช่น Ca^{2+} หรือ Fe^{3+} หรือเกาะยึดกับสารประกอบพวก hydrous oxide เป็นต้น ภาพที่ 3 เป็นโมเดลที่อธิบายถึงแนวทางการทำปฏิกิริยาเกาะยึดกันระหว่าง กรดฮิวมิก กับอนุภาคดินเหนียวว่าอาจเกิดจากการยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคในหลายรูปแบบ ดังภาพที่ 3



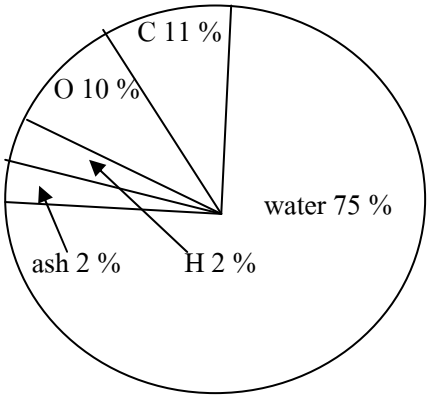
ภาพที่ 3 รูปแบบการยึดเหนี่ยวที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่างกรดฮิวมิกกับอนุภาคดินเหนียว (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการสลายตัวของพืช

อัตราความเร็วของการสลายตัวถูกควบคุมโดยปัจจัยหลายอย่างด้วยกันเป็นต้นว่า ธรรมชาติของสารประกอบอินทรีย์ในพืช อัตราส่วนระหว่างอินทรีย์หรือคาร์บอน และไนโตรเจนทั้งหมด (C: N) ของเศษพืช ตลอดจนสภาพแวดล้อมของการสลายตัว เช่น การถ่ายเทอากาศ ระดับความชื้น อุณหภูมิ และความเป็นกรดเป็นด่างของดินดังนี้

1. ธรรมชาติของสารประกอบอินทรีย์ในดิน

พืชประกอบด้วย น้ำ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ส่วนประกอบที่เป็นน้ำอยู่ระหว่าง 50-95 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติ และอายุของพืชชนิดนั้น ๆ พืชสีเขียวที่ยังสดอยู่มีน้ำเป็นองค์ประกอบโดยเฉลี่ย 75 % ส่วนที่ไม่ใช่น้ำเมื่อวิเคราะห์ดูปรากฏว่าเป็นคาร์บอน 11 % ออกซิเจน 10 % ไฮโดรเจน 2 % และเถ้า 2 % ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของชิ้นส่วนของพืชที่ยังสด (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

เมื่อวิเคราะห์ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ พบว่าพืชโดยทั่วไปประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด และในปริมาณต่าง ๆ กันดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชนิด และปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ที่พบในพืช (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

ชนิดของสารประกอบอินทรีย์	**ประเภทของสารประกอบอินทรีย์**	**เปอร์เซ็นต์ (%)**
1. คาร์โบไฮเดรท	น้ำตาล และแป้ง	1-5
	เฮมิเซลลูโลส	10-28
	เซลลูโลส	20-50
2. ไขมัน, แทนนิน	-	1-8
3. ลิกนิน	-	10-30
4. โปรตีน	โปรตีนที่ละลายน้ำได้ และ crude proteins	1-15

สารประกอบที่มีมากที่สุดในพืชได้แก่ เซลลูโลส รองลงมาได้แก่เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน โปรตีน แป้ง และน้ำตาล ตามลำดับ สารประกอบเหล่านี้ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ยากง่ายแตกต่างกันออกไป กล่าวคือ น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ละลายน้ำได้มักเป็นส่วนที่จุลินทรีย์นำไปใช้ได้เลย สำหรับแป้งหรือโปรตีน ต้องถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลหรือกรด

อะมิโนก่อนถูกนำไปใช้ แต่ก็ยังจัดเป็นสารประกอบประเภทที่ย่อยสลายได้ง่ายเช่นกัน การย่อยสลายสารประกอบเหล่านี้จึงเกิดขึ้นก่อน และเป็นแหล่งอาหารสำคัญทำให้ประชากรของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ๆ ของการย่อยสลายของสารอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกแบคทีเรีย และเชื้อรา

เฮมิเซลลูโลส เป็นสารประกอบประเภทพอลิเมอร์ (polymer) ของน้ำตาล hexose, pentose และ uronic acid ตามโครงสร้างแล้วเฮมิเซลลูโลสย่อยสลายได้ง่าย แต่ในธรรมชาติสารนี้มักเกาะเป็นโครงสร้างสลับซับซ้อนกับสารอื่นเช่น เซลลูโลส หรือ ลิกนิน ทำให้ย่อยสลายได้ยากขึ้น เซลลูโลสเป็นสารที่พบมากที่สุดในพืช ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสเช่นเดียวกับแป้ง แต่มีโครงสร้างแข็งแรงย่อยสลายได้ยาก สำหรับลิกนิน มีอยู่ในพืชประมาณ 10-30 % เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อน โดยที่สารประกอบประเภท aromatic ring เป็นแกนหลักของโมเลกุล ทำให้สลายตัวได้ยากมาก การที่มีคุณสมบัติย่อยสลายได้ยากประกอบกับมีอยู่เป็นปริมาณค่อนข้างมากในพืชนี่เอง ปริมาณลิกนินที่มีอยู่ในพืชจึงเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่กำหนดว่าเศษพืชย่อยสลายได้ยากหรือง่าย โดยทั่วไปแล้ว เมื่อพืชอายุมากขึ้น การสะสมของลิกนินภายในต้นพืชก็มากขึ้นด้วยทำให้สลายตัวยากขึ้นไปอีก ต้นข้าวโพดก็เป็นอย่างหนึ่งของพืชที่มีลิกนินอยู่ค่อนข้างมากการย่อยสลายจึงมักช้ากว่าเศษพืชชนิดอื่น ๆ

2. อัตราส่วนระหว่างอินทรีย์คาร์บอนกับไนโตรเจนทั้งหมด (C: N) ของพืช

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์นั้น นอกจากย่อยสลายเพื่อให้ได้พลังงานไปใช้แล้ว จุลินทรีย์ก็นำเอาธาตุจากสารอินทรีย์เหล่านั้นไปใช้สร้างสารประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์บอนซึ่งต้องนำมาใช้สังเคราะห์สารประกอบที่เป็นโครงสร้างหลักของเซลล์ กับไนโตรเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีน กรดอะมิโนหรือกรดนิวคลีอิก ที่มีอยู่เป็นปริมาณมากในเซลล์จุลินทรีย์ ดังตารางที่ 3

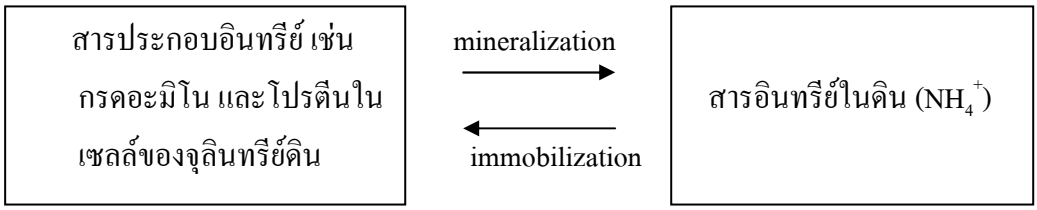
ตารางที่ 3 องค์ประกอบแร่ธาตุหลักของแบคทีเรีย และพืชโดยประมาณ (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

แร่ธาตุ	แบคทีเรีย (% น้ำหนักแห้ง)	พืช (% น้ำหนักแห้ง)
C	50	4
O	20	44
N	12	1-2
H	8	6
P	1	0.2
S	1	0.2
K	1	1
Na	1	0.2
Ca	0.5	0.3
Mg	0.5	0.3
Cl	0.5	0.1
Fe	0.2	0.1

ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนอยู่ในสารอินทรีย์หรือที่เรียกว่า อัตราส่วน C: N จึงมักเป็นปัจจัยที่บ่งชี้ว่า ในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้นมีไนโตรเจนเพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์ และทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ

อัตราส่วน C: N ที่จัดว่าเพียงพอนั้นกับความต้องการของจุลินทรีย์อยู่ในช่วงประมาณ 20/ 1 ถึง 30/ 1 ถ้าเศษพืชมีอัตราส่วน C: N สูงหรือกว้างกว่า 30/ 1 ขึ้นไป เช่น ฟางข้าวซึ่งมีคาร์บอนประมาณ 45-50 % และมีไนโตรเจนประมาณ 0.5 % หรือมีค่าอัตราส่วน C: N เท่ากับ 90/ 1-100/ 1 แม้ว่ามีคาร์บอนให้ใช้ในการเจริญเติบโตมาก แต่ก็มีไนโตรเจนอย่างจำกัดทำให้ไม่สามารถย่อยสลายเศษพืชได้รวดเร็วเท่าที่ควร เมื่อคลุกเคล้าเศษพืชเหล่านี้ลงไปในดิน จุลินทรีย์ก็มักไปดึงเอาไนโตรเจนในดิน เช่น NH_4^+ หรือ NO_3^- ไปใช้ การที่จุลินทรีย์ดินนำเอาสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนไปใช้สร้างเป็นองค์ประกอบของเซลล์แบบนี้เรียกว่า กระบวนการ immobilization เป็นการทำให้ไนโตรเจนที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชในดินลดปริมาณลดลง อาจทำให้พืชเกิดการขาดธาตุไนโตรเจนได้ ในทางตรงกันข้ามหากเศษพืชมีธาตุไนโตรเจนอยู่มาก เช่น พวกพืชตระกูลถั่ว ซึ่งมักมีค่า C: N แคบหรือต่ำกว่า 20/ 1 ก็จะมี

ไนโตรเจนเหลือปลดปล่อยออกมาสู่สภาพแวดล้อมในรูปของ NH_4^+ โดยกระบวนการ mineralization ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กระบวนการ mineralization และ immobilization ของไนโตรเจนในดินโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

โดยทั่วไปแล้วประมาณ 2/ 3 ส่วนของสารอินทรีย์คาร์บอน จะถูกออกซิไดส์ให้เป็น CO_2 ในกระบวนการสร้างพลังงานของจุลินทรีย์ ที่เหลืออีกประมาณ 1/ 3 ส่วน จึงเป็นส่วนที่นำไปใช้สร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ค่าอัตราส่วน C: N ของเศษพืชจึงลดลงไปเรื่อย ๆ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน C: N กับ immobilization และmineralization ของไนโตรเจนในดินเป็นดังนี้ ในช่วงที่ค่าอัตราส่วน C: N ยังสูงกว่า 30/ 1 อัตราการ immobilization ของไนโตรเจนสูงกว่า mineralization เนื่องจากไนโตรเจนที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์มีไม่เพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์ ในช่วงระหว่าง 30/ 1 ถึง 20/ 1 กระบวนการทั้งสองเกิดขึ้นได้ใกล้เคียงกัน และเมื่อค่าอัตราส่วน C: N ลดต่ำลงไปอีก immobilization ลดต่ำกว่า mineralization ทำให้มีสารประกอบไนโตรเจนเหลือปลดปล่อยออกมาสู่ดินต่อจากนั้น ค่าอัตราส่วน C: N ลดลงไปเรื่อย ๆ ตามอัตราการสลายตัวของเศษพืช แล้วค่อนข้างคงที่อยู่ที่ค่าอัตราส่วน C: N ประมาณ 12/ 1 ถึง 10/ 1 ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วน C: N ของเซลล์จุลินทรีย์ และอินทรียวัตถุในดิน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าอัตราส่วน C: N ของสารอินทรีย์ต่าง ๆ โดยประมาณ (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

ชนิดของสารประกอบ	อัตราส่วน C: N
จุลินทรีย์ดิน	5-15
อินทรียวัตถุในดิน	10
ปุ๋ยหมัก	15-20
ฟางข้าว	80-125
ต้นข้าวโพด	60
ชานอ้อย	140-190
ขี้เลื่อย	200-400

3. สภาพแวดล้อม

ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ไม่เพียงแต่จะขึ้นอยู่กับ ปริมาณหรือคุณภาพของสารอินทรีย์เท่านั้น สภาพแวดล้อมนับเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก และมีอิทธิพลโดยตรงต่ออัตราความเร็วของการย่อยสลาย ดังต่อไปนี้

3.1. การระบายอากาศของดิน

กระบวนการหายใจโดยใช้ O_2 เป็นกระบวนการสร้างพลังงานที่มีประสิทธิภาพที่สุดของจุลินทรีย์ สภาพการระบายอากาศของดินจึงมีผลกระทบต่อกิจกรรมการย่อยสลายเศษพืชของจุลินทรีย์โดยตรง ในสภาพที่มี O_2 การย่อยสลายเกิดขึ้นได้รวดเร็ว และสมบูรณ์กว่า ส่วนใหญ่สลายตัวจนกลายเป็น CO_2 จุลินทรีย์พวกแบคทีเรียที่ต้องการอากาศ เชื้อรา และแอกทิโนไมซีท เป็นจุลินทรีย์กลุ่มหลักในการทำให้เกิดการแปรสภาพแบบนี้ เมื่อการระบายอากาศดีเช่นในดินที่มีเนื้อหยาบหรือมีการไถพรวนบ่อยครั้ง จึงมีอัตราการสลายของสารอินทรีย์รวดเร็ว และมีระดับอินทรียวัตถุเหลืออยู่ในดินค่อนข้างต่ำ ในทางตรงกันข้ามดินที่อยู่ในสภาพขาดอากาศหรือมีน้ำท่วมขังอัตราการสลายตัวลดลงอย่างมากมายและเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ สารที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวมักเป็นกรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ และสารอื่น ๆ อีกหลายชนิด เช่น amine, mercaptan, aldehyde ketone และเกิดแก๊สต่าง ๆ มากมายเช่น CO_2, H_2S, H_2 หรือแม้แต่ CH_4 จุลินทรีย์กลุ่มหลักที่ทำให้เกิดการแปรสภาพของสารอินทรีย์แบบนี่คือ แบคทีเรียพวกที่ไม่ต้องการอากาศ (anaerobic bacteria) ส่วนเชื้อรา และแอกทิโนไมซีท ทำให้ไม่มีเจริญเติบโตเมื่อดินขาดออกซิเจน

3.2. ความชื้นดิน

นอกจากน้ำจะมีความสำคัญในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์แล้ว น้ำยังมีอิทธิพลอย่างมากต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ ไม่ว่าจะเป็นการทำงานของ extracellular enzyme การละลายสารประกอบของธาตุอาหารต่าง ๆ ตลอดจนเป็นที่อยู่อาศัย และช่วยในการเคลื่อนที่ของจุลินทรีย์แล้ว น้ำยังมีผลต่อการถ่ายเทอากาศในดินด้วย ดังนั้นระดับความชื้นของดินจึงมีความสัมพันธ์กับอัตราการย่อยสลายอินทรีย์ในดินอย่างใกล้ชิด ระดับความชื้นที่พอเหมาะต่อการย่อยสลายอยู่ที่ค่าศักย์น้ำ (water potential) ประมาณ -0.01 ถึง -0.05 MPa (megapascal) อัตราการสลายตัวมักลดลงอย่างรวดเร็ว หากมีความชื้นมากขึ้นเกินกว่าที่ค่า -0.01 MPa ไปจนถึงสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ (0 MPa) เนื่องจากเกิดการขาดออกซิเจน แต่หากความชื้นของดินค่อย ๆ ต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม อัตราการสลายตัวจะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับแต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถทนทานสภาพแห้งแล้งของกลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง และอัตราการทำงานของ extracellular enzyme ในสภาพที่ความชื้นมนดินที่ค่อนข้างต่ำ จุลินทรีย์ที่มีบทบาทมากในการย่อยสลายอินทรียวัตถุมักเป็นเชื้อรา และแอกทิโนไมซีท เพราะส่วนใหญ่มีความทนทานต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีกว่าแบคทีเรีย

3.3. อุณหภูมิในดิน

อุณหภูมิมีผลควบคุมทั้งกระบวนการทางเคมี ฟิสิกส์ หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินโดยตรง อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งอัตราการสลายตัวของสารอินทรีย์ได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอุณหภูมิ 25°-35°C ซึ่งจัดเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์โดยทั่วไป ดังนั้นดินในเขตร้อนชื้นเช่นประเทศไทย จึงมีอินทรียวัตถุค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับประเทศในเขตหนาวหรือเขตอบอุ่น

การทำปุ๋ยหมักก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของอุณหภูมิ พบว่าเศษพืชแปรสภาพได้รวดเร็วที่สุดในช่วงอุณหภูมิ 52°-60°C อุณหภูมิที่สูงหรือต่ำกว่านี้มักทำให้อัตราการย่อยสลายลดลง จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในกองปุ๋ยหมักเป็นพวกชอบอุณหภูมิสูง (thermophile) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตจึงสูงกว่าอุณหภูมิสำหรับจุลินทรีย์ทั่วไปในดินซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophile) ค่อนข้างมาก

3.4. pH ของดิน

สภาพกรดด่าง (pH) ของดินก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน โดยทั่วไปแล้วเมื่อ pH เป็นกลางการสลายตัวจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าในช่วงเป็นกรด หรือด่างเกินไป ดังนั้นการใส่ปูนเพื่อยกระดับ pH ของดินที่เป็นกรดให้เป็นกลางจึงส่งเสริมการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินไปด้วย ช่วง pH ของดินที่ต่ำกว่า 4.5 (กรดจัด) หรือสูงกว่า 9 (ด่างจัด) มักมีผลยับยั้งการสลายตัวอย่างมาก สำหรับช่วง pH ที่เป็นกรดค่อนข้างมากเช่น pH ประมาณ 5.5 หรือต่ำกว่า กิจกรรมของแบคทีเรีย และแอกทิโนไมซีทส่วนใหญ่ในดินลดลงมาก ในขณะที่เชื้อรายังทนอยู่ได้

สมบัติทางกายภาพของดิน

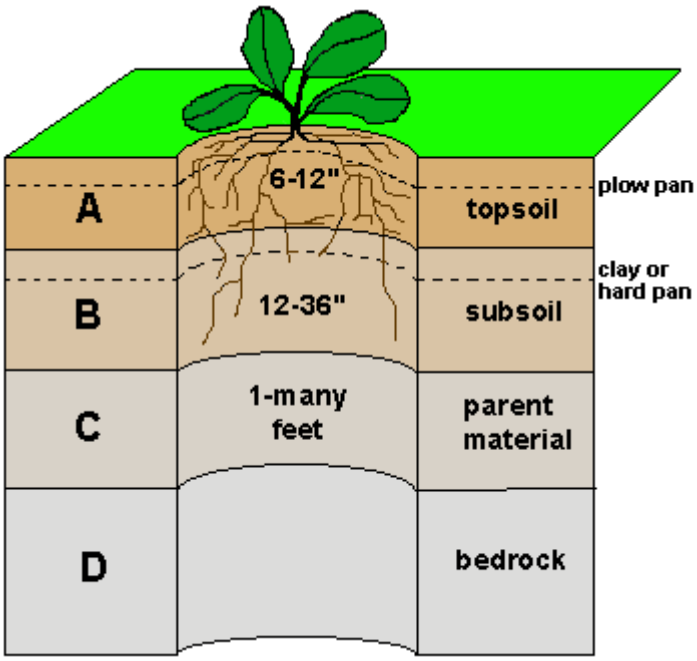
สมบัติทางกายภาพของดิน หมายถึง สมบัติของดินที่สามารถตรวจสอบได้ด้วยตาหรือ สัมผัส เช่น เนื้อดิน ความโปร่งแน่นทึบของดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน และสีของดิน โดยทั่วไปแบ่งออกเป็นลักษณะของเนื้อดิน และโครงสร้างของดิน

1. เนื้อดิน (soil texture) หมายถึง ความเหนียว หยาบ หรือละเอียด เกิดจากอนุภาคของแร่หรืออนินทรียสารที่อยู่ในดินในสัดส่วนที่แตกต่างกัน มีอยู่ทั้งหมด 12 ชนิด สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มเนื้อดินได้เป็น 4 กลุ่ม ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ประเภทของเนื้อดินที่แบ่งตามขนาดอนุภาค (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

ชนิดของดิน	**ลักษณะของดิน**
1. ดินเหนียว 2. ดินเหนียวปนทราย 3. ดินเหนียวปนตะกอน	กลุ่มดินเหนียวที่มีอนุภาคดินเหนียวตั้งแต่ 40 % ขึ้นไป
4. ดินร่วนปนดินเหนียว 5. ดินร่วนเหนียวปนตะกอน 6. ดินร่วนเหนียวปนทราย	กลุ่มดินค่อนข้างเหนียว หรือดินร่วนเหนียวมีอนุภาคดินเหนียวตั้งแต่ 20-40 % ขึ้นไป
7. ดินร่วน 8. ดินร่วนปนตะกอน 9. ดินตะกอน	กลุ่มดินร่วนที่มีอนุภาคดินเหนียวต่ำกว่า 30 %
10. ดินร่วนปนทราย 11. ดินทรายปนดินร่วน 12. ดินทราย	กลุ่มดินทราย มีอนุภาคดินเหนียวต่ำกว่า 20 % มีอนุภาคดินทรายมากกว่า 40 % ขึ้นไป

นอกจากนี้ลักษณะของเนื้อดินที่ซ้อนกันอยู่เป็นชั้น ๆ ตามแนวนอน เรียกว่า ภาพหน้าตัดดิน (soil profile) มี 4 ชั้น คือ ชั้น A, B, C และ D ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 หน้าตัดของดิน (http://natres.psu.ac.th/Department/plantscience/510-111web/index.htm)

ชั้น A เรียกว่า ชั้นดินบน เป็นชั้นที่มีอินทรียวัตถุผสมอยู่กับแร่ธาตุในดิน
ชั้น B เรียกว่า ชั้นดินล่าง มักพบอนุภาคของดินเหนียว
ชั้น C เรียกว่า ชั้นวัตถุต้นกำเนิดดิน ประกอบด้วยแร่ธาตุ และหินที่กำลังผุพังสลายตัว
ชั้น D เรียกว่า ชั้นหินพื้นฐาน เป็นชั้นของหินแข็งชนิดต่าง ๆ ที่ยังไม่มีการผุพังสลายตัว

2. ความหนาแน่นดินรวม (bulk density) หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลในส่วนที่เป็นของแข็ง (mass of soil solids) กับปริมาตรทั้งหมดของดิน (total volume of soil) รวมไปถึงปริมาตรของส่วนที่เป็นช่องว่างในดิน มีหน่วยเป็น (g/ cm^3) ค่าความหนาแน่นรวมของดินมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาพของดิน และการจัดการดินนั้น ๆ กล่าวคือค่าความหนาแน่นรวมจะเปลี่ยนไปเมื่อโครงสร้างของเม็ดดินเปลี่ยนไป

3. ความหนาแน่นอนุภาคของดิน (particle density) หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลในส่วนที่เป็นของแข็งกับปริมาตรของส่วนที่เป็นของแข็งของดิน (volume of solid) มีหน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากส่วนที่เป็นของแข็งของดินประกอบด้วยอนุภาคต่าง ๆ มากมาย ดังนั้น ความหนาแน่น

ของอนุภาคจึงถือว่าเป็นความหนาแน่นเฉลี่ยของดินนั้น ๆ มักมีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากอนุภาคต่าง ๆ ที่ประกอบเป็นส่วนของแข็งของดินมักคงที่หรือใช้เวลานานมากในการสลายตัวหรือเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นในดินอินทรีย์ (organic soils) ความหนาแน่นอนุภาคเป็นตัวสะท้อนให้เห็นถึงอัตราการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดินนั้น ๆ

4. ความพรุนรวม (total porosity) หมายถึง ความพรุนของดินเป็นปริมาตรของดินทั้งหมด โดยความพรุนของดินเป็นตัวช่วยในการพิจารณาในเรื่องของการจัดการดิน และน้ำในดินให้เหมาะสมต่อการเจริญของพืช

5. ความชื้นในดิน (soil moisture) หมายถึง น้ำซึ่งถูกดูดซับบนผิวอนุภาคดินหรืออยู่ในสภาวะไอน้ำในช่องระหว่างอนุภาคดิน น้ำเหล่านี้สามารถทำให้หมดได้เมื่ออบที่อุณหภูมิ 105-110 °C ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง

ความสัมพันธ์ระหว่างมวล และปริมาตรขององค์ประกอบของดิน สามารถบ่งชี้ได้ด้วยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน ได้แก่ ความหนาแน่นดินรวม ความหนาแน่นอนุภาคของดิน และความพรุนรวม ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชอย่างมาก ซึ่งนำไปสู่การจัดการน้ำ และดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งดินตามโครงสร้างของดิน (soil structure) ซึ่ง เป็นคุณสมบัติของดินที่เกิดจากสภาพที่อนุภาคของดินมาเกาะกันเป็นก้อนหรือเม็ดดินมีขนาดต่างกัน รวมกันอย่างหลวม ๆ ตามธรรมชาติ ทำให้ดินมีสภาพโปร่งไม่แน่นทึบ การจำแนกดินโดยใช้โครงสร้างเป็นเกณฑ์ แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ

1. จำพวกที่ไม่มีโครงสร้าง หมายถึง ดินที่มีอนุภาคอยู่อย่างโดดเดี่ยวไม่เชื่อมติดกัน แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะได้แก่

1.1 ลักษณะที่เป็นเม็ดดินเดี่ยว ๆ (single grain) เช่น ดินทราย มีลักษณะเป็นเนื้อหยาบมีการจับตัวกันน้อยมากทำให้น้ำซึมผ่านได้ดี

1.2 ลักษณะเป็นก้อนทึบ (massive) เช่น ดินนาที่ผ่านการทำเทือกหรือย่ำกวนทำให้บริเวณหน้าดินมีการซึมผ่านของน้ำที่ต่ำ

2. จำพวกที่มีโครงสร้าง สามารถแบ่งได้ตามภาพทรงทั้งหมด 4 แบบ ดังนี้

2.1 โครงสร้างแบบทรงกลม (spheroidal structure) แบ่งเป็น 2 แบบ คือ ทรงกลมมีขนาดไล่เลี่ยกัน และมีรูพรุนมาก กับทรงกลมที่มีขนาดแตกต่างกัน และมีรูพรุนน้อย ซึ่งทั้งสองโครงสร้างเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด เนื่องจากมีความร่วนซุย มีการระบายน้ำ และอากาศที่ดี มักพบในดินชั้นบนที่ทำการเพาะปลูกมาแล้ว และเป็นดินที่มีอินทรียวัตถุสูง

2.2 โครงสร้างแบบก้อนเหลี่ยม (blocky structure) เป็นลักษณะของดินที่มีโครงสร้างคล้าย

ลูกบาศก์ มีความกว้าง และหนาที่มีขนาดใกล้เคียงกัน แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ คือ แบบก้อนเหลี่ยมมุมคม (angular blocky) และแบบก้อนเหลี่ยมมุมมน (subangular blocky)

2.3 โครงสร้างแบบแท่ง (prism-like structure) เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะที่มีความสูงมากกว่าความยาว และความกว้างแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แท่งปลายเหลี่ยม เป็นลักษณะที่ปลายบนเรียบคล้ายแท่งปริซึมกับแบบปลายมน

2.4 โครงสร้างแบบแผ่น (plat-like structure) เป็นลักษณะโครงสร้างคล้ายจาน มี 2 แบบ คือ แบบที่เป็นแผ่นบางมาก และเป็นแผ่นค่อนข้างหนา โครงสร้างประเภทนี้ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะว่าน้ำซึมผ่านได้ช้า และมีการถ่ายเทอากาศได้ไม่ดี

จากโครงสร้างของดิน ทั้ง 4 แบบเมื่อพิจารณาถึงการจับตัวกันระหว่างอนุภาคและส่วนประกอบของดิน ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นของแข็ง หรือวัสดุแร่(mineral matters) กับองค์ประกอบอื่น ได้แก่ ของเหลว หรืออากาศ และอินทรียวัตถุอยู่รวมกัน พบว่าแร่ในดินมีการสลายตัวผุพัง (weathering) ตลอดเวลา อันเนื่องมาจากการกระทำโดยสภาพแวดล้อมหรือภูมิอากาศ (weather) การสลายตัวผุพังของแร่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพ และเคมี การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเป็นการสลายตัวแบบเชิงกลหรือการแตกหัก (mechanical weathering or disintegration) มีผลทำให้ขนาดเล็กลงโดยองค์ประกอบทางเคมีของแร่ยังคงเดิม ส่วนการสลายตัวผุพังทางเคมี (chemical weathering) ทำให้แร่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีอย่างเด่นชัด พร้อมทั้งปลดปล่อยธาตุหรือสารบางอย่างออกมาในสารละลายดิน ซึ่งถ้าหากไม่ถูกชะล้างสูญหายไป สารต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปสารละลายดินอาจเกิดการรวมตัวกันเป็นแร่ชนิดใหม่ และมีโครงสร้างที่เปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามกระบวนการทั้งกายภาพ และเคมี (physicochemical processes) มักเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน กระบวนการสลายตัวผุพังทางเคมีเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาหลายประเภท โดยที่แร่จะทำปฏิกิริยากับตัวการ (agents) ที่สำคัญได้แก่ น้ำ ออกซิเจน กรดทั้งอนินทรีย์ และอินทรีย์ รวมทั้งสารบางชนิดที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมของพืช และจุลินทรีย์ดิน ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น

1. ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ไฮโดรไลซิส เป็นกระบวนการที่แร่ทำปฏิกิริยากับน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพที่มักเป็นกรดจะทำให้เกิดปฏิกิริยาดำเนินไปได้เร็วขึ้น เกิดเป็นแร่ชนิดใหม่ดังสมการที่ (2.1)

$$3KAlSi_3O_3\,(s) + 2H^+\,(aq) + 12H_2O\,(l) \rightleftharpoons KSi\,KSi_3Al_3O_{10}(OH)_2\,(s) + 6Si(OH)_4\,(aq) + 2K^+\,(aq) \quad (2.1)$$

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสดังกล่าว เป็นกระบวนการละลาย (dissolution) ของโพแทสเฟลด์สปาร์ ซึ่งละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ คือ ไมกา ซึ่งเป็นอนุภาคของแข็งรวมอยู่ด้วย เขียนในรูปของปฏิกิริยาสมดุล (equilibrium reaction) แต่ในความเป็นจริงตามธรรมชาติซึ่งเป็นระบบเปิด (open system) ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในดินจะเกิดอย่างต่อเนื่อง และไม่อยู่ในสภาพสมดุล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการเคลื่อนย้ายสูญหายของสารหนึ่งสารใดออกจากระบบ เช่น ในกรณีของการสลายตัวผุพังของเฟลด์สปาร์ ถ้าหากไม่มีการสูญหายของ K^+ หรือกรดซิลิซิก $[Si(OH)_4]$ ออกไปจากระบบ แร่ที่เกิดขึ้นใหม่คือ ไมการวมทั้งเฟลด์สปาร์ที่ยังหลงเหลืออยู่ดังสมการข้างต้น แต่ถ้า K^+ หรือกรดซิลิซิกดังกล่าว ถูกกำจัดออกไปจากระบบตลอดเวลา เช่น ถูกชะล้าง (leaching) โดยน้ำฝน เฟลด์สปาร์ก็จะสลายตัวผุพังเป็นแร่ไมกาเพิ่มขึ้น ในเวลาเดียวกันไมกาจะสลายตัวต่อเนื่องกลายเป็นแร่ชนิดอื่น ๆ ตามมา ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางขวาเร็วเพียงใด ขึ้นอยู่กับอัตราการชะล้างของ K^+ และกรดซิลิซิก ถ้าอัตราการชะล้างสูง ปฏิกิริยาสุดท้ายมักจะได้แร่ที่มีเสถียรภาพ และยากต่อการสลายตัวต่อไป เช่น แร่เคโอลิไนต์ และกิบบ์ไซต์เป็นต้น ดังสมการที่ (2.2)

$$2KAlSi_3O_8(s) + 2H^+(aq) \longrightarrow Si_2Al_2O_5(OH)_4(s) + 4Si(OH)_4(aq) + 2K^+(aq) \qquad (2.2)$$

2. ไฮเดรชัน (Hydration)

ไฮเดรชัน หมายถึง ปฏิกิริยาหรือกระบวนการที่แร่ดูดซับ (adsorb) โมเลกุลของน้ำ ซึ่งอาจเกิดตามขอบตามมุมหรือในหลืบ (interlayer) ของแร่ ปฏิกิริยาดังกล่าวนอกจากจะทำให้องค์ประกอบทางเคมีของแร่เปลี่ยนไปแล้ว ยังเป็นตัวเร่งที่ช่วยให้กระบวนการอื่น ๆ เช่น การแลกเปลี่ยนที่ของแคตไอออนในหลืบ (interlayer) ของแร่ซิลิเกตเป็นไปอย่างรวดเร็วสมบูรณ์ยิ่งขึ้น อันเนื่องจากการสลายตัวของแร่ ซึ่งเกิดจากการดูดซับโมเลกุลของน้ำ ตัวอย่างปฏิกิริยาไฮเดรชัน เช่น การเปลี่ยนรูประหว่างฮีมาไทต์-เฟอร์ริไฮไดรต์ และแอนไฮไดรต์-ยิปซัม ซึ่งอาจเขียนปฏิกิริยาได้ดังสมการที่ (2.3), และ (2.4) ตามลำดับ

$$5Fe_2O_3\,(s) + 9\,H_2O\,(l) \rightleftharpoons Fe_{10}O_{15}.9H_2O\,(s) \qquad (2.3)$$

$$CaSO(s) + 2H_2O\,(l) \rightleftharpoons CaSO.2H_2O\,(s) \qquad (2.4)$$

3. ไฮดรอกซิลเลชัน (Hydroxylation)

ไฮดรอกซิลเลชัน หมายถึงปฏิกิริยาหรือแร่ที่ไอออนดูดซับ (adsorb) OH^- หรือ H^+ ตามพื้นผิวของแร่เช่นเดียวกันกับกระบวนการไฮเดรชัน นอกจากทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีแล้ว ยังเป็นสาเหตุหรือตัวเร่งให้กระบวนการอื่น ๆ เกิดขึ้นตามมาอย่างรวดเร็ว และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนั้นการดูดซับ OH^+ ตามขอบตามมุมของแร่ ยังเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญของแร่ในการปลดปล่อยออกซิเจนในรูปออกไซด์ออกจากโครงสร้าง ทำให้แร่เกิดการสลายตัวผุพังทางเคมีต่อไป

การดูดซับ OH^- หรือ H^+ บนผิวแร่ทำให้เกิดประจุแปรผันบนผิวทำประเภทที่เรียกว่า pH dependent charge ซึ่งมีอิทธิพลสำคัญต่อการดูดซับ และการตรึงไอออน (ion adsorption and fixation)

4. การแลกเปลี่ยนที่ของไอออน (Ionic Substitution)

การแลกเปลี่ยนที่ของไอออนซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้าง นอกจากจะทำให้องค์ประกอบทางเคมีของแร่เปลี่ยนแปลงไปแล้ว ยังทำให้เสถียรภาพของแร่ลดลง ง่ายต่อการสลายตัวผุพังต่อไป ในสภาพที่เป็นกรด H^+ เป็นแคตไอออนที่สำคัญซึ่งมีขนาดเล็ก สามารถเคลื่อนที่โดยการแพร่ (diffusion) เข้าไปในโครงสร้างของแร่ได้ง่าย และอาจเกิดการแลกเปลี่ยนไล่ที่ Al^{3+} หรือ Mg^{2+} ออกมาจากโครงสร้างทำให้เสถียรภาพของแร่ลดลง นอกจากนั้น H^+ ซึ่งมีขนาดเล็กนี้สามารถแพร่เข้าไปอยู่ในช่องว่างในโครงสร้างทำให้แร่มีประจุบวกเกินมา และเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งในการปลดปล่อย K^+ ออกมาจากหลืบของแร่ไมกา ทั้งนี้เพื่อรักษาความเป็นกลางทางประจุไฟฟ้าของแร่ นอกจากนั้น H^+ สามารถแลกเปลี่ยนที่กับ K^+ ออกมาจากหลืบได้โดยตรง ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญของการสลายตัวผุพังของแร่ไมกา และในสภาพแวดล้อมที่มี Mg^{2+} หรือ Ca^{2+} ที่พอเพียง อาจทำให้เกิดแร่เวอร์มิคิวไลต์หรือสเม็กไทต์

5. ออกซิเดชัน และรีดักชัน (Oxidation and Reduction)

แร่ที่มีองค์ประกอบของแคตไอออนที่ถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายจะไม่เสถียร และง่ายต่อการสลายตัวผุพัง ตัวอย่างที่เด่น คือ แร่ไบโอไทต์ ซึ่งมี Fe^{2+} เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ด้วย การออกซิเดชันของ Fe^{2+} และ Fe^{3+} ทำให้โครงสร้างของแร่ที่มีประจุบวกเกินมา จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยแคตไอออนออกมาจากโครงสร้าง ทั้งนี้เพื่อรักษาความเป็นกลางทางประจุไฟฟ้าไว้คงเดิม แคตไอออนที่สำคัญที่ถูกปลดปล่อยออกมาง่ายที่สุดจากโครงสร้าง คือ K^+ ที่อยู่ในหลืบของแร่ไบโอไทต์ ซึ่งทำให้แรงภายในหลืบที่ดูดยึดชั้นต่าง ๆ ของแร่อ่อนลง แร่จะขยายตัวได้ง่ายขึ้น และK^+ที่หลงเหลืออยู่ในหลืบ ก็สามารถแลกเปลี่ยนที่กับแคตไอออนอื่น ๆ เช่น Mg^{2+} หรือ Ca^{2+} ในสารละลายดินได้ง่าย และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่แร่ไบโอไทต์ สลายตัวผุพังกลายเป็นแร่เวอร์มิคิวไลต์หรือ สเม็กไทต์

การรีดักชันของไอออนหรือธาตุในดิน เกิดขึ้นในสภาวะที่ดินขาดก๊าซออกซิเจน เช่น ในกรณีของสภาพน้ำขัง กระบวนการดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการสลายตัวของแร่ และสารประกอบในดิน การเกิดออกซิเดชันควบคู่ไปกับปฏิกิริยารีดักชัน มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของเหล็กออกไซด์ และการ

สลายตัวผุพังของแร่ดินเหนียวในดินนา

6. การเกิดสารเชิงซ้อน และคีเลต (Complexation and Chelation)

ปฏิกิริยาของการเกิดสารเชิงซ้อน และการเกิดคีเลต มีบทบาทสำคัญต่อการสลายตัวผุพังของแร่ โดยที่อินทรียสารสามารถทำหน้าที่เป็นลิแกนด์ของแอนไอออน (anion-ligand) ทำปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับแคตไอออน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของแร่ ในปฏิกิริยาดังกล่าว กรดออกซาลิก ($C_2O_4H_2$) แตกตัวให้ oxalate anion ($C_2O_4^{2-}$) และทำหน้าที่เป็นลิแกนด์ในการทำปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับ Al^{3+} ซึ่งเป็นองค์ประกอบของมัสโคไวต์ดังสมการที่ (2.5)

$$K_2[Si_6Al_2]Al_4O_{20}(OH)_4 + 6C_2O_4H_2 + 4H_2O \rightleftharpoons 2K^+ + 6C_2O_4Al^+) + 6Si(OH)_4) + 8OH^- \qquad (2.5)$$

ในปฏิกิยาของกรดออกซาลิก ($C_2O_4H_2$) แตกตัวให้ oxalate anion ($C_2O_4^{2-}$) และทำหน้าที่เป็นลิแกนด์ในการทำปฏิกิริยาเชิงซ้อนกับ Al^{3+} ซึ่งเป็นองค์ประกอบของมัสโคไวต์

สารเชิงซ้อน $C_2O_4Al^+$ เสถียร และละลายน้ำได้ดี ช่วยทำให้แร่มัสโคไวต์ละลายน้ำ และเร่งให้การสลายตัวผุพังของแร่เป็นไปได้เร็วขึ้น อนึ่งสารเชิงซ้อน $C_2O_4Al^+$ อยู่ในรูปของคีเลต เนื่องจาก oxalate anion ซึ่งเป็นลิแกนด์ ให้อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวสองคู่กับ Al^{3+} การเกิดคีเลตระหว่างแคตไอออน และสารอินทรีย์ต่าง ๆ รวมทั้งกรดฮิวมิก และฟุลวิกที่ได้จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุ นอกจากมีอิทธิพลต่อการสลายตัวผุพังของแร่แล้ว ยังมีบทบาทสำคัญต่อความเป็นประโยชน์ของพืช การเคลื่อนย้ายสูญหายไปจากดินของสารอาหาร ธาตุต่าง ๆ รวมทั้งการถูกชะล้างสู่ส่วนล่างของอะลูมินัม และเหล็กในดินสปอดโดโซลส์ (Spodozols)จากกระบวนการสลายตัวผุพังทางเคมีเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาต่าง ๆ ข้างต้น พบว่าการสลายตัวผุพังทางเคมีของหิน และแร่ ทำให้เกิดแร่ทุติยภูมิ (secondary mineral) ชนิดต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ

1. แร่ปฐมภูมิ (primary minerals) หมายถึง แร่ที่เย็นตัวหรือตกผลึกจากหินหนืด (magma) โดยตรง เช่น แร่ควอตซ์ ไมกา เฟลด์สปาร์ เป็นต้น ซึ่งการตกลึกจากหินหนืดของแร่ปฐมภูมิที่พบมากในเปลือกโลก และผิวโลก เป็นไปตามอนุกรมการตกผลึกที่เสนอไว้โดยโบเวน และสามารถพบแร่เหล่านี้ในดินได้ โดยในดินมักพบแร่ปฐมภูมิในอนุภาคขนาดทราย (sand) และทรายแป้ง (silt)

2. แร่ทุติยภูมิ (secondary minerals) เกิดจากการผุพังของแร่ปฐมภูมิที่มีความคงทนต่ำ แล้วตกตะกอนหรือตกผลึกใหม่ เช่นแร่ดินเหนียวซิลิเกต และผลึกออกไซด์ ในดินพบแร่ทุติยภูมิมากในอนุภาคขนาดดินเหนียว (clay) แต่ในบางครั้งอาจพบในขนาดทรายแป้งด้วย

ตามปกติในดินแร่เหล่านี้อาจมีลักษณะผันแปรไปจากเดิมบ้าง หรืออาจเป็นแร่ที่สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ หลังจากสลายตัวไปแล้วก็ได้ แร่ในดินที่สำคัญ และพบอยู่เสมอ ๆ ประกอบไปด้วยแร่ดังต่อไปนี้

1. ควอตซ์ (Quartz, SiO_2) เป็นแร่ที่รู้จักแพร่หลายทั่วไป เมื่อแร่ควอตซ์บริสุทธิ์ ไม่มีสี และใส เหมือนแก้ว แต่ถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่ จะมีสีแตกต่างออกไปได้มากมาย มีความแข็งมาตรฐานเท่ากับ 7 ประกาย (luster) แบบแก้วแตก และไม่มีรอยแตกธรรมชาติ เมื่อเป็นผลึกจะมีลักษณะเป็นแท่งหกเหลี่ยมแบบแท่งดินสอดำ แร่ควอตซ์มีชื่อเรียกมากมาย เช่น แร่เขี้ยวหนุมานโป่งขาม เป็นต้น แร่ควอตซ์มีมากเป็นที่สองรองจากแร่เฟลด์สปาร์ ในบรรดาแร่ประกอบหินด้วยกัน แร่นี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของหินตะกอนประเภทหินทราย หรือหินแปรประเภทหินควอตซ์ไซต์ และหินไนส์ ส่วนหินอัคนีพบมากในหินประเภทแกรนิต และไรโอไลต์ แร่ดินควอตซ์เป็นองค์ประกอบหลักของอนุภาคดินขนาดของทราย และขนาดของทรายแป้ง เป็นแร่ที่มีความคงทนต่อการสลายตัว รูปร่างของอนุภาคควอตซ์ที่เป็นเหลี่ยมคมหรือ กลมมน ซึ่งเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงสภาพ และประเภทของการเกิดดินได้ โดยถ้าเกิดจากการพัดพา และทับถมไกลจากแหล่งต้นกำเนิด จะมีรูปร่างกลมมนมาก แต่ถ้าไม่ได้ถูกพัดพาไกลจากแหล่งต้นกำเนิด จะมีลักษณะความเป็นเหลี่ยมคม ถ้าอนุภาคเล็กจนมีขนาดทรายแป้ง แสดงว่าดินเป็นทรายจัด มีความร่วนมาก มีการระบายน้ำได้ดี แร่ประเภทนี้ไม่มีความสามารถในการดูดซับไอออนที่เป็นธาตุอาหารพืช เมื่อสลายตัวแล้วจึงไม่มีธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชนัก ทำให้ดินบริเวณนั้นมีความสมบูรณ์ต่ำ

2. เฟลด์สปาร์ (Feldspar group, $XAlSi_3O_8$) แร่ประเภทนี้ชาวบ้านมักเรียกว่าแร่ฟันม้า เป็นสารประกอบของอะลูมิโนซิลิเกตของโพแทสเซียม โซเดียม และแคลเซียม (X ในสูตรรวมของเฟลด์สปาร์คือธาตุต่าง ๆ เหล่านี้) แร่นี้มักเกิดร่วมกับควอตซ์ในหินอัคนี แร่เฟลด์สปาร์มีสีขาวขุ่นแบบชามกระเบื้อง มีรอยแตกธรรมชาติอยู่ 2 ทาง และมีความแข็งมาตรฐานเท่ากับ 6 เฟลด์สปาร์เป็นแร่ที่มีมากที่สุดในบรรดาแร่ประกอบหินทั้งหมด แร่ที่อยู่ในดินเป็นปริมาณน้อย ทั้งนี้เนื่องจากว่าเป็นแร่ที่สลายตัวทางด้านเคมีได้ง่ายที่สุดแร่หนึ่ง โดยทำปฏิกิริยากับน้ำหรือกรดคาร์บอนิกได้ดี เมื่อสลายตัวแล้วจะเป็นดินเหนียว แร่เฟลด์สปาร์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ โพแทชเซียมเฟลด์สปาร์ และโซดา-ไลมม์ เฟลด์สปาร์

2.1 โพแทชเซียมเฟลด์สปาร์ ($KAlSi_3O_8$) ได้แก่ ไมโครไคลน์ (Microcline) และออร์โทเคลส (Orthoclase) แร่สองประเภทนี้มีอยู่มากในหินอัคนีประเภทที่มีสีจาง เช่นหินแกรนิต หินไรโอไรต์

2.2 โซดา-ไลมม์ เฟลด์สปาร์ ($NaCa(AlSi)_4O_8$) แร่ในกลุ่มนี้ได้แก่แพลจิโอเคลส (Plagioclase) ซึ่งเป็นแร่ประเภทที่มีส่วนประกอบเป็นอนุกรมต่อเนื่องกันระหว่างโซเดียม และแคลเซียม โดยมีแร่ตั้งแต่แอลไบต์ (Albite, $NaAlSi_3O_8$) ซึ่งมีแต่โซเดียมอย่างเดียว จนถึงอะนอร์ไทต์ (Anorthire, $CaAl_2Si_2O_8$) ซึ่งมีแต่แคลเซียมอย่างเดียว แร่ระหว่างแอลไบต์กับอะนอร์ไทต์จะมีค่าร้อยละของโซเดียม และแคลเซียมเป็นอัตราส่วนลดหลั่นกันออกไป

3. ไมกา (Mica group) แร่ไมกาเป็นสารประกอบที่ค่อนข้างซับซ้อนของอะลูมิโนซิลิเกต โดยมีธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกลุ่มแร่นี้ ไมกาพบอยู่ทั่วไปในดินและหินหลาย ๆ ชนิดในดินจะพบเป็นแผ่นเล็กบาง ๆ อยู่ทั่วไปหรือในอนุภาคทรายแป้ง ในหินอัคนีไมกา

เป็นแร่ประกอบที่สำคัญซึ่งพบอยู่ทั่วไปเห็นได้ชัดเจนในหินจำพวกแกรนิต ไดโอไรต์ ในหินตะกอนจะพบไมกามากในหินประเภทที่มีอนุภาคขนาดละเอียด เช่น หินดินดาน เมื่อถูกเปลี่ยนแปลงเป็นหินแปรจะมีแร่ไมกามาก เพราะแร่ดินเหนียวเปลี่ยนไปเป็นไมกา เช่น ในพวกฟิลไลต์ (Phylite) หรือไมกาชีสต์ (Mica schist) แร่ไมกามีลักษณะพิเศษที่สำคัญคือเป็นแผ่นบางใส ๆ รวมตัวเป็นปึกซึ่งสามารถลอกออกเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ไมกามีความแข็งมาตรฐานอยู่ระหว่าง 2.0-2.5 ถ้าพบเป็นแผ่นผลึกชัดเจน มีลักษณะเป็นแผ่นบางรูปหกเหลี่ยม

4. แอมพิโบล และไพรอกซีน (Amphibole และ pyroxene groups) แร่ทั้งสองชนิดเป็นแร่สีเข้ม ซึ่งประกอบด้วยอะลูมิโนซิลิเกตที่ซับซ้อนของแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก โดยทั่ว ๆ ไป เรียกว่า แร่ชุดเฟอร์โรแมกนีเซียม ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแร่เหล่านี้มีจำนวนไม่แน่นอน แร่บางอย่างอาจจะแทนซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดเป็นแร่ต่างชนิดขึ้นในแร่กลุ่มเดียวกัน ปกติมักพบในหินอัคนี

5. ฮอร์นแบลนด์ เป็นแร่ที่พบมากในแร่แอมพิโบล ปกติแร่ฮอร์นแบลนด์มีสีเขียวคล้ำจนดำ มักพบในสภาพของผลึกท่อนเล็ก ๆ และยาว รอยแตกธรรมชาติในผลึกชัดเจน 2 ทาง

6. ออไจต์ เป็นแร่ที่พบมากในกลุ่มไพรอกซีน มีสีค่อนข้างดำ เป็นแร่ที่ย่อยสลายได้ง่ายเพราะมีแร่เหล็กเป็นองค์ประกอบ เมื่อเกิดการสลายตัวแล้วมีน้ำตาลถึงสีแดง

7.แคลไซต์ และโดโลไมต์ แร่ประเภทนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ พวกคาร์บอเนต เป็นองค์ประกอบหลักของหินตะกอนประเภทหินปูน และหินแปรประเภทหินอ่อน แคลไซต์ เป็นแร่ที่มีอยู่มากที่สุด สามารถตรวจสอบอนุมูลคาร์บอเนตได้ โดยการหยดกรดเจือจาง จะพบฟองเกิดขึ้น โดโลไมต์ แคลเซียมในแคลไซต์อาจถูกแทนที่โดยแมกนีเซียมทำให้มีลักษณะคล้ายหินปูนสีขาว

8. ไพไรต์ (Pyrite, FeS_2) แร่ไพไรต์เป็นแร่ที่มีอยู่จำนวนน้อย โดยปกติเกิดเป็นแร่ประกอบในหินหลายชนิด รวมทั้งในดินด้วย แร่นี้มักเกิดเป็นผลึกสีเหลืองทอง ดินตะกอนน้ำเค็มที่ทับถมใหม่ ๆ เป็นดินเปรี้ยว

9. อะพาไทต์ (Apatite, $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$) เป็นแหล่งฟอสฟอรัส แต่พบน้อยมาก

10. ยิปซัม (Gypsum, $CaSO_4.2H_2O$) เกิดจากการตกตะกอน เช่นจากน้ำทะเลเป็นแร่ที่ละลายน้ำได้ค่อนข้างง่าย เมื่อสลายตัวแล้วจะเกิดขึ้นมาใหม่ได้อีก ดังนั้นในดินจะพบแร่พวกนี้อยู่ด้วย มีสีขาวหรือไม่มีสี แร่ยิปซัมเป็นแร่ที่อ่อนสามารถขูดด้วยเล็บมือมีความแข็งน้อย

เมื่อซิลิกา และเซสควิออกไซด์ละลายตัวในสารละลายดินได้นานพอ แร่หรือสารประกอบเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากัน และตกตะกอนเกิดเป็นแร่ดินเหนียวขึ้นมาใหม่ ประเภทของแร่ดินเหนียวที่เกิดขึ้นกับอัตราส่วนของซิลิกา และเซสควิออกไซด์ ปฏิกิริยาของดิน (pH) รวมทั้งความเข้มข้น และชนิดของแคตไอออนที่เป็นเบสในสารละลายที่สำคัญ เช่น K^+, Ca^{2+} และMg^{2+} โดยมีหลักการในการพิจารณาดังนี้

1. ถ้าอัตราส่วนของ SiO_2: Al_2O_3 & $Fe_2O_3 \geq 2 - 4$; pH ค่อนข้างสูง และแคตไอออน ส่วนใหญ่เป็น Ca^{2+} และ Mg^{2+} แร่ดินเหนียวส่วนใหญ่เป็นสเม็กไทต์กับเวอร์มิคิวไลต์ แต่ถ้าแคตไอออนส่วนใหญ่เป็น K^+ แร่ที่เกิดมักเป็นอิลไลต์หรือไมกาชนิดต่าง ๆ

2.ถ้า SiO_2: Al_2O_3 & $Fe_2O_3 \leq 2$; pH เป็นกรดอย่างอ่อน และปริมาณของแคตไอออนที่เป็นเบสมีน้อย แร่ที่เกิดส่วนใหญ่เป็นแร่เคโอลิไนต์ แต่ถ้าปริมาณของ Mg^{2+} ยังมีค่อนข้างสูง แร่เวอร์มิคิวไลต์อาจเกิดขึ้นได้

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าแร่ดินเหนียวสามารถเกิดได้ด้วยวิธีดังกล่าว แต่กลไกการเกิดยังสามารถอธิบายได้ แต่แร่ดินเหนียว ก็มีอิทธิพลต่อสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดิน ผลสุดท้ายของกระบวนการมักเกิดดินเหนียวซิลิเกต (silicate clay) และแร่ออกไซด์ประเภทต่าง ๆ ของเหล็ก และอะลูมินัม ซึ่งเป็นแร่ที่คงทนต่อการสลายตัวผุพัง แร่ดินเหนียวผสมอยู่ในดินปริมาณต่าง ๆ กัน โดยเฉพาะส่วนเป็นดินเหนียว (clay)กับฮิวมัส (humus) ที่มักอยู่รวมกับน้ำ และอากาศ ซึ่งปริมาณของอัตราส่วนสารคอลลอยด์ในดินซึ่งมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ อนินทรีย์คอลลอยด์ (inorganic colloid) และอินทรีย์คอลลอยด์ (organic colloid) ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ และเคมีที่สำคัญ ๆ แร่ดินเหนียว หมายถึงกลุ่มแร่อะมิโนซิลิเกต (alumino silicate minerals) ซึ่งประกอบด้วยแผ่น ซิลิกา (silica sheet) ซ้อนกันแบบ 1: 1 หรือ 2: 1 ชนิดของแร่ดินเหนียวที่สำคัญ คือ

1. เคโอลิไนต์ (Kaolinite) โครงสร้างของเคโอลิไนต์ประกอบด้วยแผ่นซิลิกา (silica sheet) หนึ่งแผ่นประกบทับแผ่นอะลูมินา (alumina sheet) อีกหนึ่งแผ่น โดยที่ Si และ Al มาจับกับออกซิเจนตัวเดียวกันในด้านที่ประกอบเข้าหากัน ซ้อนกันแบบ 1: 1 จึงทำให้แผ่นทั้งสองประสานกันแน่นมีสูตรทางเคมี คือ $Si_4Al_4O_{10}(OH)_8$ รูปของแผ่นผลึกเคโอลิไนต์เป็นรูปหกเหลี่ยมมีขอบชัดเจน เรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ โดยมีพันธะไฮโดรเจนช่วยเกาะยึด ทำให้หลืบระหว่างแผ่นผลึกแคบ ขยายออกไม่ได้ น้ำ และไอออนต่าง ๆ ไม่สามารถเข้าไปได้ ดังนั้นจึงถือว่าของเคโอไนต์ไม่มีพื้นที่ผิวภายใน มีแต่พื้นผิวภายนอกเท่านั้น

2. สเม็กไทต์ (Smectite) โครงสร้างของแร่ดินเหนียวพวกสเม็กไทต์ประกอบด้วยแผ่นซิลิกาสองแผ่น และแผ่นอะลูมินาหนึ่งแผ่นสอดอยู่ระหว่างกลางของแผ่นซิลิกาทั้งสองโดยที่ Si และ Al ต่างยึดออกซิเจนร่วมกัน มีการซ้อนกันแบบ 2: 1 สูตรทางเคมีขึ้นอยู่กับชนิดของแร่กลุ่มนี้ แต่ที่พบมากที่สุด คือ มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) มีสูตรทางเคมี คือ $Si_8(Al_{3.34}Mg_{0.66})O_{20}(OH)_4$ ผลึกของสเม็กไทต์จะ

เชื่อมต่อกันไปในแนวระดับ และซ้อนกันเป็นชั้น ๆ หลืบอาจขยายกว้างหรือแคบได้ เพราะไม่มีพันธะไฮโดรเจนยึดระหว่างแผ่นผลึกที่ซ้อนทับกัน โมเลกุลของน้ำ และแคตไอออนต่าง ๆ สามารถแทรกซึมเข้าไปภายในได้ ทำให้แร่ดินเหนียวพวกนี้มีพื้นที่ผิวในการดูดซับโมเลกุลของน้ำ และแคตไอออนได้มาก

3. อิลไลต์ (Illite) มีองค์ประกอบของผลึกคล้ายกับพวกสเม็กไทต์มาก มีการซ้อนกันของแผ่นซิลิกากับอะลูมินาแบบ 2: 1 เพียงแต่มีระยะห่างระหว่างแผ่นผลึกมากกว่า และไม่สามารถยืดหดได้เหมือนสเม็กไทต์ เนื่องจาก Si ในแผ่นซิลิกาบางส่วนถูกแทนที่ด้วย Al และประจุที่เหลือค้างอยู่ถูกทำให้เป็นกลางด้วย K^+ มีสูตรทางเคมี คือ $K1.33(Si_{6.66}Al_{1.33})Al_4O_{20}(OH)_4$ การที่มี K^+ อยู่ระหว่างหลืบภายในช่องรูปหกเหลี่ยมของแผ่นซิลิกา ทำให้เกิดการขยับเขยื้อนได้ยาก ส่งผลให้ยืดหดไม่ได้เมื่อเปียกหรือแห้ง มีพื้นผิวภายในน้อยแต่ยังมากกว่าเคโอลิไนต์

4. แร่ดินเหนียวชนิดอื่น ๆ นอกจากแร่ดินเหนียวพวกใหญ่ ๆ 3 พวกซึ่งได้กล่าวมาแล้ว ในปัจจุบันยังพบอีกเป็นจำนวนมาก เช่น เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite) ซึ่งเป็นพวก 2: 1 มีลักษณะคล้ายกับอิลไลต์ แต่ Al ในแผ่นอะลูมินาจะถูกแทนที่โดย Mg ในระหว่างหลืบที่ซ้อนทับกัน ทำให้โมเลกุลของน้ำเข้าไปได้น้อยมาก

สมบัติทางเคมีของดิน

สมบัติทางเคมีของดิน หมายถึง ลักษณะของดินที่เราไม่สามารถมองเห็นหรือสัมผัสโดยตรง ได้แก่

1. อินทรียวัตถุ (organic matter) และฮิวมัส (humus) มักใช้แทนกันในความหมายเดียวกัน แต่ในที่นี้ใช้คำว่าอินทรียวัตถุในความหมายของส่วนที่เป็นอินทรีย์สารทั้งหมดในดิน เกิดจากซากพืชซากสัตว์ที่ตายทับถมลงสู่ดินผ่านกระบวนการของจุลชีพในการย่อยสลายทำให้เกิดการเปลี่ยนภาพอินทรีย์สารลงสู่ดิน มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลปนดำ ส่วนคำว่าฮิวมัส หมายถึง อินทรีย์สารที่ไม่รวมถึงส่วนที่ยังไม่ย่อยสลายหรือที่ย่อยสลายไปบางส่วน ส่วนประกอบของฮิวมัส ฮิวมัสประกอบไปด้วยสารผลิตภัณฑ์ (products) มากมายหลายประเภท เกิดจากการย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ในดิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรียวัตถุต้นกำเนิด ตลอดจนการแปรสภาพของสารผลิตภัณฑ์ และการสังเคราะห์ของสารขึ้นมาใหม่

อินทรียวัตถุในดินอาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่เป็นสารฮิวมิก (humic substances) กับส่วนที่ไม่ใช่สารฮิวมิก (nonhumic substances) ในส่วนของสารฮิวมิกนั้น เป็นส่วนที่มีโครงสร้างซับซ้อน และคงทนต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มาก โครงสร้างหลักประกอบขึ้นด้วยสารประกอบ aromatic compound เป็นแกนทำให้สลายตัวได้ยาก บางส่วนก็มีสารประกอบพวก โปรตีน, เพปไทด์ (peptide), กรดอะมิโน และพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) เข้ามาเกาะเป็นอีกส่วนหนึ่งของโมเลกุล สำหรับส่วนที่สอง คือส่วนที่ไม่ใช่สารฮิวมิก (nonhumic substances) ได้แก่สารประกอบประเภทที่

โครงสร้างโมเลกุลไม่ซับซ้อน ย่อยสลายได้ง่ายกว่า เช่นพวก คาร์โบไฮเดรต, ลิปิด, โปรตีน, กรดอะมิโน และกรดอินทรีย์ เป็นต้น สารประกอบเหล่านี้ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายได้ง่าย แต่ที่ยังพบในปริมาณที่ค่อนข้างมากในดินก็เพราะส่วนใหญ่เข้าไปเกาะยึดอยู่กับอนุภาคของดินเหนียว

1.1 สมบัติโดยทั่วไป และบทบาทของอินทรียวัตถุในดิน มีดังต่อไปนี้

1.1.1 สี

อินทรียวัตถุในดินมีสีน้ำตาลเข้มไปจนถึงดำ ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงก็มักมีสีคล้ำ สีที่เข้มขึ้นนี้อาจไปมีส่วนทำให้อุณหภูมิของดินโดยรวมสูงขึ้น เนื่องจากดินสีคล้ำดูดกลืน (absorb) รังสีความร้อนได้ดีกว่าดินสีจาง

1.1.2 การดูดซับน้ำ

อินทรียวัตถุในดินมีความสามารถดูดซับน้ำไว้ได้ในปริมาณมาก คือประมาณ 6-20 เท่าของน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากเป็นอนุภาคขนาดเล็ก และมีลักษณะเป็นสารคอลลอยด์ จึงมีพื้นที่ในการดูดซับน้ำไว้ได้มากเป็นพิเศษ นอกจากนั้นอนุภาคของอินทรียวัตถุยังประกอบกันเป็นโครงสร้างมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ มีช่องขนาดเล็กที่ดูดซับน้ำได้ดีอยู่มาก การใส่อินทรียวัตถุลงไปในดิน จึงช่วยเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำของดินทราย หรือดินเนื้อหยาบ

1.1.3. การเป็นสารเชื่อมอนุภาคดิน

อินทรียวัตถุในดินเป็นสารประกอบที่มีประสิทธิภาพในการเกาะติดหรือรวมตัวกับอนุภาคต่าง ๆ ในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุภาคดินเหนียวหรือเซลล์จุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี การจับตัวกันนี้บางส่วนก็เนื่องมาจากประจุส่วนที่แตกต่างกันระหว่างอินทรียวัตถุกับดินเหนียว หรือเป็นการเกาะยึดระหว่างประจุลบของอนุภาคทั้งสองโดยมี multivalent cation ต่าง ๆ เป็นตัวเชื่อมโยง นอกจากนี้การสร้างสารเชื่อมโดยจุลินทรีย์ทำให้ดินเหนียวเกาะยึดกันเป็นเม็ดดิน ซึ่งหน่วยโครงสร้างย่อย ที่อาจรวมกลุ่มกันจำนวนมากก่อให้เกิดโครงสร้างของดินที่สามารถดูดซับน้ำไว้ได้มาก ขณะเดียวกันก็ทำให้ดินมีสภาพส่วยซุย มีการซาบซึมน้ำ และการระบายอากาศดี

1.1.4. การละลายน้ำ

โดยปกติส่วนที่ละลายน้ำได้ของอินทรียวัตถุในดินนั้นมีอยู่น้อยมาก ปริมาณที่พบมักต่ำกว่า 1 % อินทรียวัตถุส่วนใหญ่เป็นพวกไม่ละลายน้ำเช่นเซลล์ของจุลินทรีย์ เซลลูโลส, ลิกนิน, ไคติน, ฮิวมิก ตลอดจนสารอินทรีย์อื่น ๆ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการสูญเสียอินทรียวัตถุในดิน โดยการละลายสูญหายไปกับการชะล้างของน้ำนั้นมีเพียงส่วนน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่สูญเสียไปโดยการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์

1.1.5 ความสามารถในการดูดซับแคตไอออน และแอนไอออน

ความสามารถในการดูดซับ ไอออนของอินทรียวัตถุในดินนั้นสูงมาก โดยทั่วไปการดูดซับโดยอินทรียวัตถุในดินสูงกว่าคลอลอยด์อื่น ๆ ตั้งแต่ 2-30 เท่า ในดินโดยทั่วไปปริมาณของแคตไอออนที่ถูกดูดซับโดยอินทรียวัตถุในดินอยู่ในช่วงประมาณ 30-90 % ของปริมาณที่ดินดูดซับได้ทั้งหมด ความสามารถในการดูดซับนี้มาจาก ประจุลบที่มีอยู่เป็นจำนวนมากของอินทรียวัตถุ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการ dissociation ของสารประกอบบางกลุ่มโดยเฉพาะอย่างยิ่ง carboxylic group และ phenolic OH group

นอกจากความสามารถในการดูดซับแคตไอออนแล้ว โมเลกุลของอินทรียวัตถุในดินยังมีประจุบวกอยู่บางส่วน ทำให้มีความสามารถดูดซับแอนไอออนได้ด้วย ส่วนที่เป็นประจุวกดังกล่าวมักเกิดขึ้นจากกระบวนการเติมโปรตอน (protonation) ของ amine group บนอนุภาคอินทรียวัตถุ ความสามารถในการดูดซับแคตไอออนหรือแอนไอออนของอินทรียวัตถุในดินมีความสำคัญมากในการป้องกันมิให้ธาตุอาหารพืชถูกชะละลายสูญหายไปกับน้ำได้โดยง่าย

1.1.6 ความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดิน

อินทรียวัตถุในดินที่มีประจุลบเป็นจำนวนมาก สามารถดึงดูดแคตไอออนได้สูง จึงมีผลทำให้ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลง pH ของดินได้ดี หรือมี buffering capacity สูงขึ้น ซึ่งอาจแสดงให้เห็นได้ง่าย ๆ ปฏิกิริยานี้เป็น equilibrium reaction ดังนั้นไม่ว่าจะมีการเพิ่มของสารประกอบที่มีสมบัติเป็นกรดหรือด่างลงไปในดิน ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นทันทีเพื่อรักษาสมดุล โอกาสที่กรดหรือด่างสะสมอยู่ในสารละลายดิน จึงมีน้อยมาก และเป็นเหตุให้ pH ของดินเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ถ้าในดินนั้นมีอินทรียวัตถุสะสมอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม

1.1.7 แหล่งธาตุอาหารของพืช

การย่อยสลายอินทรียวัตถุโดยจุลินทรีย์ ทำให้ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์เหล่านี้ถูกปลดปล่อยออกมาให้พืชสามารถนำไปใช้ได้อีก โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ซึ่งอินทรียวัตถุในดินจัดว่า เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญมากของธาตุเหล่านี้

การสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน ยังมีผลโดยทางอ้อมต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชอีกด้วย เพราะกรดอินทรีย์หรือกรดคาร์บอนิกที่เกิดขึ้นจากคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งได้จากการย่อยสลาย ยังสามารถช่วยละลายสารประกอบของธาตุอาหารบางชนิดให้เป็นประโยชน์ต่อพืชได้ และการเกิดสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นสารคีเลต จากการสลายตัวของอินทรียวัตถุที่รวมตัวกับไอออนของจุลธาตุซึ่งเป็นโลหะกลายเป็นคีเลต ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อพืชได้มากขึ้น

1.1.8 แหล่งอาหารของจุลินทรีย์ดิน

สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหารหรือแหล่งพลังงานสำคัญที่สุดสำหรับจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในดินซึ่งเป็นพวก heterotroph ดังนั้นปริมาณหรือคุณภาพของสารอินทรีย์ จึงมีผลกระทบต่อกิจกรรมของ

จุลินทรีย์เหล่านี้โดยตรง เช่น การตรึงไนโตรเจน, denitrification, การเกิดแก๊สมีเทน (CH_4) ฯลฯ โดยปกติแล้วดินก็ใช้ในการเพาะปลูกโดยทั่วไปมีอินทรียวัตถุที่เป็นอาหารหรือให้พลังงานแก่จุลินทรีย์อยู่จำกัดไม่เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์ การใส่อินทรียวัตถุลงไปทำให้ประชากร และกิจกรรมของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีผลกระทบต่อเนื่องไปถึงการแปรสภาพของธาตุอาหารพืชที่มีอยู่ในดิน

2. ความต้องการปูน (Lime Requirement)

เนื่องจากความเป็นกรดของดิน มีอิทธิพลสำคัญต่อกระบวนการทางเคมี และชีวเคมี ตลอดจนความเป็นพิษของแร่ธาตุต่าง ๆ ในดิน ระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของพืชโดยทั่วไปมักอยู่ในช่วง 6-7 อย่างไรก็ตามมีพืชอีกหลายชนิดสามารถเจริญได้ดีในดินที่มีความเป็นกรดมากกว่า (pH ต่ำกว่า) ในช่วงดังกล่าว เช่น สับปะรด แตงโม และมันเทศขึ้นได้ดีช่วง pH < 6 ยิ่งกว่านั้นพืชที่ชอบความเป็นกรด (acidophilic) เช่น blueberry, rhododerdronns และ azaleas เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มี pH < 5 ดังนั้นความต้องการปูน หรือปริมาณของปูนที่ต้องใช้การลดความเป็นกรดของดิน จึงผันแปรได้มากแล้วแต่ชนิดของพืช

การวิเคราะห์หาปริมาณปูนเพื่อให้ได้ pH ที่ต้องการมีด้วยกันหลายวิธี อย่างไรก็ตามวิธีการต่างๆ ตั้งอยู่บนหลักการเดียวกัน คือต้องวิเคราะห์หาปริมาณของปูนหรือด่างให้พอเพียงในการทำปฏิกริยากับปริมาณของสภาพกรดรวม (total acidity) ของดินซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ exchangeable และ residual acidity ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับ CEC และความจุบัฟเฟอร์ของดิน (soil buffer capacity) สังเกตว่าดินจะมี pH (active acidity) เท่ากัน แต่ปริมาณของปูนที่ต้องใช้ต่อการเพิ่มขึ้นของหนึ่งหน่วย pH อาจแตกต่างกันมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสภาพกรดรวมหรือความจุบัฟเฟอร์ของดิน โดยทั่วไปดินที่ทำการเกษตรมีปริมาณ CO_2 ในดินมากกว่าบรรยากาศหลายร้อยเท่า ดังนั้นปฏิกิริยาจะดำเนินไปจากซ้ายไปขวาเมื่อยังมีปูน และ H^+ นอกจากนั้นแคลเซียม และไบคาร์บอเนตไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสภาพกรด เช่น H^+ และAl^{3+} ที่ดูดซับบนผิวคอลลอยด์หรืออนุภาคดินทั้งที่อยู่ในรูป exchangeable และ residual acidity

เนื่องจากการละลายตัวที่ต่ำมากของ $Al(OH)_3$ และการปลดปล่อยของ CO_2 สู่บรรยากาศจะทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปทางขวา มีผลทำให้สภาพกรดรวมทั้ง exchangeable acidity ที่ดูดซับบนผิวคอลลอยด์ลดลง อัตราเร็วของการทำปฏิกิริยาของปูนในดิน ขึ้นอยู่กับอัตราการแลกเปลี่ยนที่ระหว่าง Ca^{2+} จากปูนกับแคตไอออนที่เป็นกรด เช่น H^+ และ Al^{3+} ที่ดูดซับบนผิวอนุภาคดิน ถ้าแคตไอออนที่เป็นกรดดังกล่าวอยู่ในหลืบของแร่ฟิลลิลิเกตที่ยืดหดขยายตัวยาก อัตราการแลกเปลี่ยนจะช้ามาก ทำให้การทำปฏิกิริยาของปูนใช้เวลานานไปด้วย อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะค่อนข้างเร็วในระยะแรก ซึ่งปูนที่ใช้ทำปฏิกิริยาลดความเป็นกรดของดินได้มากกว่าครึ่ง หลังจากนั้นอัตราจะค่อย ๆลดลงในเมื่อ exchangeable และ residual acidity เหลือน้อยลง ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อพืชที่ปลูกมากนัก นอกจากนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยายังขึ้นกับปริมาณความชื้น และคาร์บอนไดออกไซด์ในดิน ตลอดจนคุณภาพความหยาบ

ละเอียดของปูนที่ใช้ เป็นต้น

ขั้นสุดท้ายเมื่อปฏิกิริยาของปูนในดินเป็นไปอย่างสมบูรณ์ สารประกอบในดินส่วนใหญ่จะเป็นพวกเซสควิออกไซด์ ส่วนบนผิวคอลลอยด์จะมีแคลเซียม และแมกนีเซียมดูดซับไว้เป็นส่วนใหญ่

3. ความเป็นด่างของดิน (soil alkalinity)

สภาพหรือความเป็นด่างของดิน โดยทั่วไปหมายถึงดินที่มีค่า pH มากกว่า 7.0 เป็นดินที่มีปริมาณโซเดียมสูง เกิดขึ้นเนื่องจากดินมีการสะสมเกลือหรือแคตไอออนที่ไม่เป็นกรด (nonacid cations) ในปริมาณที่มากจนส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยปริมาณการถูกชะล้างของเกลือมีน้อยเมื่อเทียบกับการระเหยน้ำจากผิวดิน และการคายน้ำของพืช (evapotranspiration) มักพบกับดินในเขตแห้งแล้งหรือกึ่งแห้งแล้ง นอกจากนี้อาจมีอิทธิพลจากสภาพแวดล้อม เช่น วัตถุต้นกำเนิดดินมาจากหินปูน และหินเกลือ ดินบริเวณชายฝั่งที่เกิดการสะสมเกลือของน้ำทะเล การสะสมเกลืออันเนื่องมาจากน้ำเป็นตัวพามาจากที่อื่น เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างของดินด่างที่พบได้แก่ ดินเค็ม ซึ่งเป็นดินที่มีการสะสมของเกลือที่ละลายน้ำได้ง่ายในปริมาณที่สูง แล้วส่งผลกระทบต่อพืช ซึ่งการสะสมของเกลือทำให้สารละลายดินมีแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ที่สูง รากพืชดูดน้ำจากดินได้ยาก ซึ่งหากความดันออสโมติกสูงมากเกินไปส่งผลให้น้ำเกิดการไหลกลับออกจากราก

4. ค่าการนำไฟฟ้า

เป็นการวัดปริมาณเกลือในสารละลายที่สกัดจากดินหรือจากน้ำธรรมชาติ สามารถทำได้โดยการวัดความสามารถของสารละลายที่จะทำให้กระแสไฟฟ้าผ่าน ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของอนุมูลที่มีอยู่ในสารละลาย และอุณหภูมิ สารประกอบอนินทรีย์ เช่น กรดอินทรีย์ ด่าง และเกลือ เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เพราะเมื่ออยู่ในภาพสารละลายจะแตกตัวให้อนุมูลที่นำไฟฟ้าได้ ตรงกันข้ามกับสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล sucrose, benzene สารเหล่านี้ไม่แตกตัวในน้ำจึงมานำไฟฟ้า อย่างไรก็ดีค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของเกลือในสารละลาย บอกแต่เพียงว่ามีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของเกลือในสารละลายเท่านั้น กล่าวคือ ถ้าค่าความนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นก็แสดงว่าเกลือว่าเกลือในสารละลายมีปริมาณเพิ่มขึ้น หรือหากค่าความนำไฟฟ้าลดลงก็แสดงว่าเกลือในสารละลายมีปริมาณลดลง

5. ความจุแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange capacity)

ดินที่ทำการเกษตรทั่วไปมักมีประจุรวมสุทธิเป็นลบ ดังนั้นอนุภาคดินจึงสามารถดูดยึดหรือดูดซับแคตไอออนไว้บนพื้นผิว มิให้ถูกชะล้างสูญหายโดยง่ายไปจากดิน อย่างไรก็ตามแคตไอออนแต่ละชนิดที่ถูกดูดซับบนผิวอนุภาคดินนี้ ดูดยึดไว้ด้วยแรงไม่เท่ากัน บางชนิดดูดยึดด้วยแรงค่อนข้างอ่อน และสารถแลกเปลี่ยนที่ได้ง่ายกับแคตไอออนอื่น ๆ จากสารละลายรอบนอก ความสามารถในการดูดซับ และปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนแคตไอออนบนผิวอนุภาคดิน มีอิทธิพลสำคัญต่อการดูดซับบนผิวอนุภาค รวมทั้งสมบัติทั้งทางเคมี และกายภาพ ตลอดจนการเคลื่อนย้ายสูญหายของธาตุอาหารต่าง ๆ ภายในดิน โดยขึ้นอยู่

กับ 3 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของคอลลอยด์ดิน (soil colloid) ปริมาณดินเหนียวที่มีอยู่ในดิน และปริมาณของอินทรียวัตถุในดิน ดินเหนียวเมื่ออยู่ในธรรมชาติจะดูดยึดไอออนที่มีประจุบวกไว้เต็มไปหมด

ส่วนชนิดของแคตไอออนที่ดูดยึดอยู่นั้น สำหรับดินในแถบร้อน และชุ่มชื้น กล่าวโดยทั่วไปจะมีมากน้อยลดหลั่นกันลงไป คือ $H^+(Al^{3+}) > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+$ และ $> Na^+$ แคตไอออนต่าง เหล่านี้ไม่ถูกยึดติดแน่นอยู่กับพื้นของดินเหนียวแต่โคจรอยู่ในระยะใกล้กับพื้นผิวภายใต้อำนาจการดึงดูดซึ่งกันและกัน ดังนั้นการชะล้างด้วยน้ำจึงไม่สามารถนำแคตไอออนออกไปได้ เราเรียกแคตไอออนพวกนี้ว่าเป็นแคตไอออนดูดซับ (adsorbed cation) แต่อย่างไรก็ตามแคตไอออนพวกนี้สามารถถูกไล่ที่ออกไปโดยแคตไอออนอื่น ๆ ได้โดยง่าย ยกตัวอย่าง เช่น ถ้า clay micelle มีแคตไอออนพวก Ca^{2+},H^+ และ K^+ ดูดซับอยู่เป็นจำนวน 40, 40 และ 20 mole ตามลำดับ เมื่อมีกรดคาร์บอนิก (carbonic acid)

6. ไนโตรเจนในดิน

ไนโตรเจนโดยทั่วไปอยู่ในรูปสารประกอบไนโตรเจนอินทรีย์ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) และไนเตรตไอออน (NO_3^-) ไนโตรเจนในดินที่เป็นประโยชน์ประมาณ 95-99 % อยู่ในรูปอินทรียวัตถุที่ค่อนข้างอยู่ตัว ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งรากพืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันที เนื่องจากแอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4- N) มีประจุบวก ส่วนอนุภาคดินมีประจุลบ จึงสามารถยึดเกาะกันอย่างเหนียวแน่น ทนต่อการชะล้างของน้ำ แต่ยังคงง่ายสำหรับรากพืชที่จะดูดไปใช้ประโยชน์ ในสภาพดินที่มีน้ำขัง ดินจะขาดออกซิเจน อนุมูล NH_3^- ในดินจะถูกจุลินทรีย์บางชนิดแปรสภาพให้เป็นก๊าซไนโตรเจน ดังนั้นปุ๋ยไนโตรเจนที่ใช้ในนาข้าวควรเป็นพวกแอมโมเนียม และยูเรีย ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารเดียวที่ไม่ได้มีแหล่งกำเนิดดั้งเดิมมาจากหินแร่ และแร่ที่เป็นองค์ประกอบของดิน แหล่งที่มาทางหนึ่งของไนโตรเจนในดินคือได้มาจากการผุพังสลายตัวของอินทรียวัตถุในดิน หรือสารอินทรีย์ที่เติมลงไปในดิน เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก เศษพืชตระกูลถั่ว เศษพืชอาหารสัตว์เป็นต้น ปริมาณไนโตรเจนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากวัตถุเหล่านี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของวัตถุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราส่วนของคาร์บอน (C) ต่อไนโตรเจน (N) การขาดไนโตรเจนมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง รวมถึงการสลายตัวของคลอโรฟิลล์

7. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการเป็นปริมาณมากแต่มีอยู่ในดินเพียงต่ำมากเฉลี่ยเพียง 0.06 % ในขณะที่ไนโตรเจนมี 0.14 % และโพแทสเซียมมี 0.83 % ฟอสฟอรัสที่อยู่ในดินจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ อินทรีย์ และอนินทรีย์ อินทรีย์ฟอสฟอรัสพบได้ในเศษพืช และในเนื้อเยื่อของจุลินทรีย์ ส่วนฟอสฟอรัสในรูปอนินทรีย์ประกอบด้วยอะพาไทต์ เหล็ก และอลูมิเนียมฟอสเฟต ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดินจะอยู่ในรูปอนุมูลฟอสเฟต คือ $H_2PO_4^-$ และHPO_4^{2-} ซึ่งได้จากกระบวนการแปรสภาพของอินทรียวัตถุ และจากการละลายของสารประกอบฟอสเฟตในสารละลายดิน การแปรสภาพของ

อินทรียวัตถุจะเปลี่ยนจากอินทรียฟอสเฟตไปเป็นอนินทรียฟอสเฟต การที่ให้อินทรียสารมาก ๆ เช่น ปุ๋ยคอก เศษพืชกับดินที่มีค่า pH สูงนั้น ไม่เพียงแต่จะให้ฟอสฟอรัสเท่านั้นแต่เมื่อมีการผุสลายจะได้สารประกอบที่มีสมบัติเป็นกรด ซึ่งช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของแร่ธาตุในดิน ข้าวที่ขาดฟอสฟอรัสจะมีการแตกกอน้อย การเจริญเติบโตหยุดชะงัก ลำต้นผอมบางรากพัฒนาช้า ลำต้นล้มง่าย การสร้างเมล็ดน้อยลง เมล็ดข้าวแก่ช้ากว่าปกติ และไม่ทนต่ออากาศหนาว

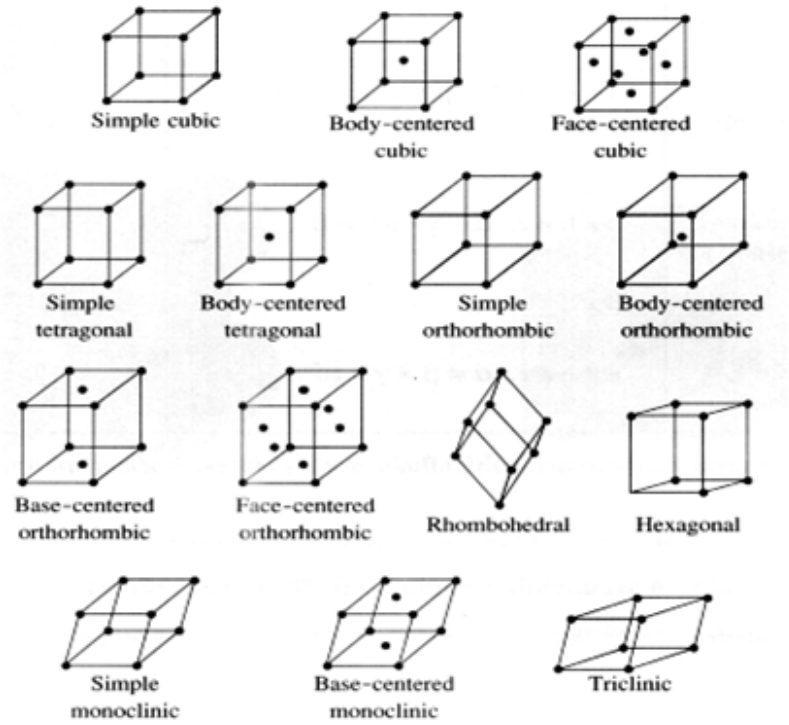
8. โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

โพแทสเซียมในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแร่ เช่น แร่ไมกา เฟลสปาร์ เป็นต้น แร่เหล่านี้ประกอบด้วย โพแทสเซียม-อลูมิเนียมซิลิเกต ซึ่งสลายตัวทางเคมีได้ยาก จะปลดปล่อยโพแทสเซียมอย่างช้า ๆ แต่มีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่พืชต้องการ โพแทสเซียมที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีมีเพียง 0.1-2 % ของปริมาณโพแทสเซียมในดินทั้งหมด ส่วนหนึ่งละลายอยู่ในสารละลายดิน อีกส่วนหนึ่งจะยึดอยู่กับดินเหนียวหรืออินทรียวัตถุที่มีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งกัน จึงเป็นโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เพราะสามารถถูกแทนที่ได้ด้วยไอออนที่มีประจุบวก เช่น H^+, Ca^{2+} และ Mg^{2+} เป็นการแลกเปลี่ยนเร็วมาก และเกิดขึ้นบ่อยครั้ง โพแทสเซียมไอออน (K^+) ที่อยู่ในสารละลายดินอาจถูกพืชดูดไปใช้หรือสูญหายจากดินโดยการชะล้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินเนื้อหยาบในเขตที่มีฝนชุก ดินที่ขาดโพแทสเซียมมักพบในดินที่เป็นกรด มีการแลกเปลี่ยนประจุต่ำหรือในดินที่มีปริมาณแร่ธาตุดินเหนียวสูง ธาตุโพแทสเซียมมีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง การสังเคราะห์โปรตีน การควบคุมสมดุลของไอออน การควบคุมการปิด-เปิดของช่องใบ กระตุ้นเอ็นไซม์ในพืช และกระบวนการอื่น ๆ อีกมากมาย การขาดโพแทสเซียมจะทำให้พืชหยุดการเจริญเติบโต ทำให้ทรงต้นไม่สูงหรือมีลักษณะเป็นพุ่ม อาการของข้าวที่ขาดโพแทสเซียม ลำต้นแคระแกร็น

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction; กัลยกร เทียนชัย, 2555)

1.1 ระบบผลึก: ผลึกต่าง ๆ ประกอบขึ้นด้วยอะตอมซึ่งจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมีลักษณะคล้ายตารางสี่เหลี่ยมวางซ้อนกันเป็นจำนวนมาก โดยแต่ละชั้นมีระยะห่างเท่ากัน และมีแนวของตารางขนานกัน จุดซึ่งเกิดจากการตัดกันของชั้นตารางแทนอะตอม โดยอะตอมทุก ๆ กลุ่มซึ่งแทนด้วยจุดดังกล่าวมีลักษณะการจัดเรียงอะตอมแบบเดียวกัน ตารางสี่เหลี่ยมซึ่งวางซ้อนกันเป็นชั้นนี้ เรียกว่า แถวลำดับแลตทิซ (lattice array) และจุดที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตารางนี้ เรียกว่า จุดแลตทิซ (lattice point) จากภาพพบว่า ผลึกต่าง ๆ ประกอบด้วยหน่วยเซลล์สี่เหลี่ยมเล็ก ๆ จำนวนมาก หน่วยเซลล์เหล่านี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ระบบ โดยจำแนกด้วยองค์สมมาตรด้าน และมุมของหน่วยเซลล์ทั้ง 7 นอกจากนี้ ระบบผลึกทั้ง 7 ยังสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 14 แบบบราเวส์แลตทิซ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 บราเวส์แลตทิซทั้ง 14 แบบใน 3 มิติ (โสพส ไกรแสน, 2552)

เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) เป็นเครื่องมือที่ใช้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียว และใช้กับตัวอย่างแร่ที่บดเป็นผงละเอียดที่อัดลงในที่ใส่ตัวอย่างหรือฉาบบนแผ่นสไลด์ เครื่องนี้จะปล่อยรังสีให้ตกกระทบบนตัวอย่าง โดยตัวอย่างจะหมุนไปทำมุมกับแนวยิงหลอดสำหรับนับความเข้มข้นของรังสีที่สะท้อนออกจากผงผลึก จะหมุนไปเช่นกันเป็นมุมเท่ากับเครื่องนับความเข้มของรังสีจะส่งข้อมูลที่ได้ไปยังเครื่องขยาย (amplified) และแปลงค่าเป็นตัวเลขหรือบันทึกบนกระดาษตารางบันทึกซึ่งเคลื่อนที่ในอัตราความเร็วที่ปรับได้ตามต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 8

ภาพที่ 8 เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction; โสพส ไกรแสน, 2552)

1.2 ส่วนประกอบของเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้ คือ ส่วนที่ผลิตรังสี (X-ray generator) เครื่องเลี้ยวเบนรังสี (diffraction) และเครื่องวัดความเข้มของรังสี (detector)

1.2.1 ส่วนที่ผลิตรังสี (X-ray generator) ประกอบด้วย

1.2.1.1 หลอดรังสีเอกซ์ ประกอบด้วย ไส้ทังสเตนเป็นขั้วลบ ส่วนนี้จะอยู่ในทรงกระบอกเพื่อที่จะให้อิเล็กตรอนรวมกันอยู่เป็นลำแสง ขั้วบวกเป็นโลหะที่ต้องการใช้รังสีชนิดนั้น ๆ เช่น ทองแดง โมลิบดินัม เหล็ก โคบอลต์ เป็นต้น ส่วนบนของหลอดทำด้วยทองแดง เพื่อช่วยระบบระบายความร้อน เนื่องจากเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่งอยู่ระหว่าง 30-60 kV อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะมีพลังงานสูง ทำให้เกิดความร้อน ดังนั้นจึงต้องใช้น้ำไหลผ่านเพื่อระบายความร้อนรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะผ่านออกมาทางหน้าต่าง 4 ด้าน

1.2.1.2 ครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าแรงสูง เป็นเครื่องเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้นอยู่ระหว่าง 20-100 kV เป็นต้นกำเนิดพลังงานที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ในหลอดรังสีเอกซ์ เมื่อให้กระแสไฟฟ้าแรงสูงผ่าน

1.2.2 เครื่องเลี้ยวเบนรังสี

รังสีเอกซ์ซึ่งเป็นรังสีคลื่นเดียวที่ออกจากหลอดรังสีผ่าน soller slit ทำหน้าที่ตัดแสงที่กระเจิงไปทิศทางต่าง ๆ ให้เหลือเป็นเส้นตรงเดียวแล้วผ่านหน้าต่างแยกรังสี สามารถเลือกใช้ขนาดต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ เมื่อรังสีตกกระทบตัวอย่างทำให้เกิดการเลี้ยวเบนผ่านหน้าต่างรับรังสีผ่าน soller slit ซึ่งทำหน้าที่ให้แสงเป็นเส้นตรงแล้วผ่านหน้าต่าง ซึ่งต้องมีขนาดพอดีกับหน้าต่างตัวแรก หลังจากนั้นรังสีจะผ่านเข้าเครื่องวัดความเข้มของรังสี

1.2.3 เครื่องวัดความเข้มของรังสี แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1.2.3.1 เครื่องวัดชนิดที่มีก๊าซผ่าน (gas flow counter) หลอดของเครื่องวัดเป็นกระบอกโลหะกลวง ภายในมีไส้ทังสเตนเป็นขั้วบวก มีก๊าซเฉื่อย เช่น อาร์กอน (Ar) หรือ ซีนอน (Xe) บรรจุอยู่ เมื่อรังสีเอกซ์ผ่านเข้าไปชนกับอะตอมของก๊าซเฉื่อย อิเล็กตรอนของอะตอมของก๊าซหลุดออกไปเหลือเป็นประจุบวก ดังนี้สมการที่ (2.6)

$$Ar \xrightarrow{h\nu} Ar^{+} + e \qquad (2.6)$$

อาร์กอนไอออน (Ar^{+}) และอิเล็กตรอน (e) เรียกว่าคู่ของไอออน (ion pair) จำนวนของคู่ไอออนครั้งแรกที่ถูกยิงทำให้แตกตัว (ionized) รังสีเอกซ์นี้จะเป็นสัดส่วนกับพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ผ่านเข้าไป ดังสมการที่(2.7)

$$n = E_0 / C_1 \qquad (2.7)$$

E_0 = พลังงานของรังสีเอกซ์

C_1 = ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่พอดี (effective ionization potential)

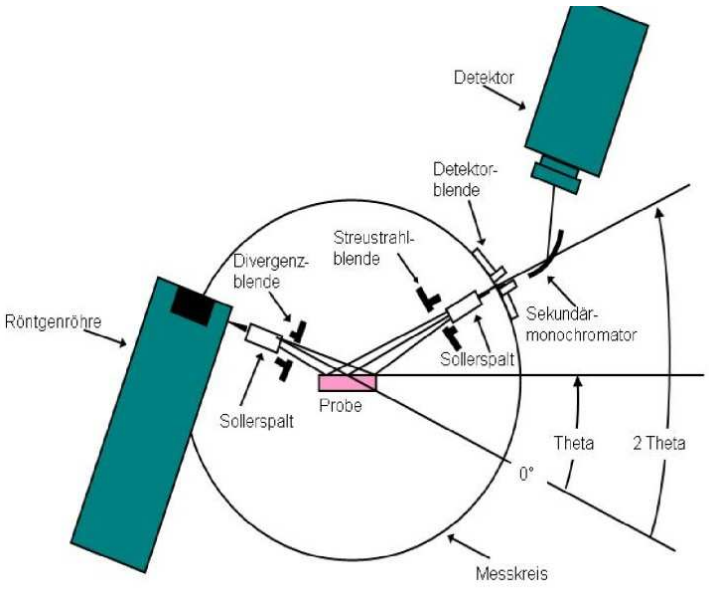
n = จำนวนของคู่ไอออนครั้งแรกที่ถูกยิงทำให้แตกตัวโดยรังสีเอกซ์

หลังจากการเกิดคู่ของไอออนในขณะความเข้มของสนามไฟฟ้าไม่สูงพอคู่ของไอออนที่เกิดขึ้นสามารถกลับไปรวมตัวกันได้ (recombination) แต่ถ้าเพิ่มความต่างศักย์ให้มากขึ้นจนกระทั่งความต่างศักย์ที่ขั้วบวกสูงมากพอ (ประมาณ 1,800 V) การรวมตัวของคู่ของไอออนก็จะหยุด อิเล็กตรอนจะเคลื่อนไปที่ขั้วบวก และประจุบวกจะไปที่กระบอกโลหะ ซึ่งต่อลงดินบริเวณใกล้กับขั้วบวกมีอิเล็กตรอนอยู่ประมาณ 10,000 เท่าจากปกติ ทำให้สามารถวัดสัญญาณได้เมื่อผ่านเครื่องขยาย

1.2.3.2 เครื่องวัดชนิดซินทิลเลชัน (scintillation counter) เป็นเครื่องวัดที่เปลี่ยนพลังงานของรังสีเอกซ์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบ 2 สภาวะ คือ รังสีเอกซ์ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานแสงสีฟ้าโดยผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (NaI) ซึ่งเป็นผลึกเรืองแสง (phosphor crystal) จากนั้นแสงสีฟ้านี้จะผ่านไปยังพลวง-ซีเซียม (Sb/ Cs) ซึ่งทำหน้าที่เป็น photocathode สามารถผลิตอิเล็กตรอนให้ไปตกบน dynode ซึ่งเรียงกันอยู่ 10 แถว แต่ละแถวจะมีศักย์ไฟฟ้า (potential) ที่สามารถทำให้เกิดอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นบน dynode ชุดถัดไปเรื่อย ๆ ทั้ง 10 แถว จนได้อิเล็กตรอนจำนวนมากไปรวมกันที่ขั้วบวก ซึ่งทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าไปสะสมอยู่ที่ตัวเก็บประจุไฟฟ้า (condenser) จากนั้นจะผ่านเครื่องขยายไปยังเครื่องรับสัญญาณ

1.3 การทำงานของเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน

เมื่อรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นเดียวพุ่งไปตกกระทบบนตัวอย่างซึ่งบดละเอียดที่บรรจุลงในที่ใส่ตัวอย่างชนิดแบนหรือฉาบลงบนกระจกที่ใส่ตัวอย่างจะอยู่บนแกนที่หมุนด้วยมอเตอร์ ในขณะที่ตัวอย่างหมุนไป ทำให้เกิดมุมตกกระทบของรังสีเท่ากับแขนของเครื่องวัดความเข้มของรังสีจะหมุนไปเท่ากับ 2 ในขณะปฏิบัติการนี้ตัวอย่างเครื่องวัดความเข้มของรังสี และกระดาษตารางบันทึกจะหมุนไปพร้อม ๆ กัน เมื่อให้ตัวอย่างเริ่มหมุนโดยการเพิ่มไปเรื่อย ๆ ด้วยความเร็วที่สามารถควบคุมได้ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แผนภาพของเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (โสพส ไกรแสน, 2552)

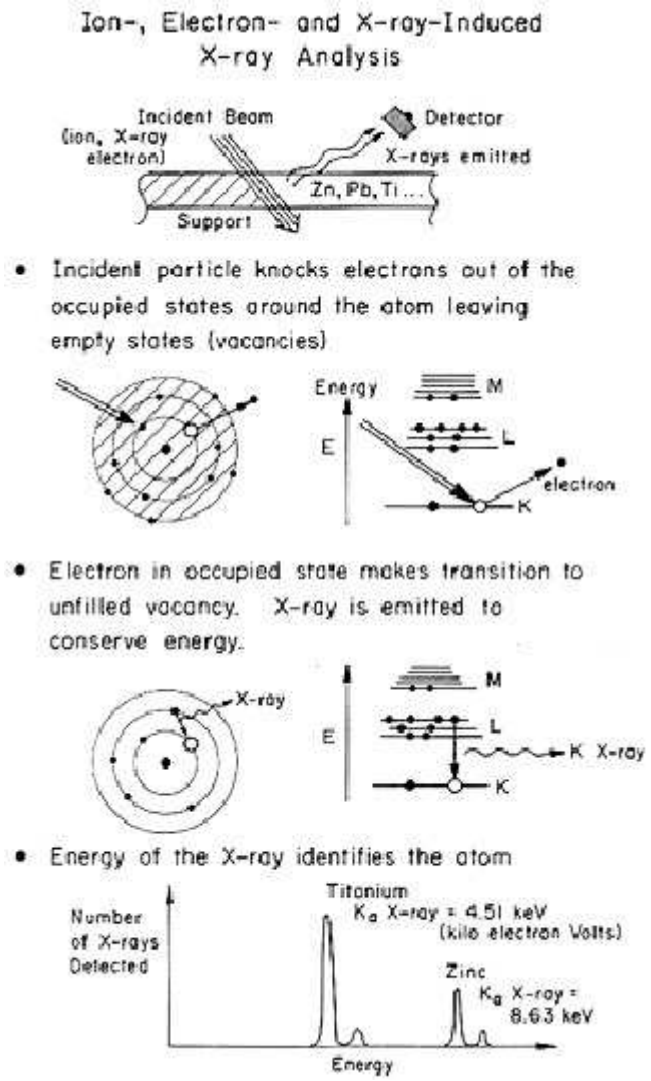
1.4 การดูดกลืนรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์ที่พุ่งมาสู่วัตถุเกิดอันตรกิริยาได้ 2 ลักษณะ คือการดูดกลืน และการกระเจิง การดูดกลืนนั้นมีความสำคัญกับการกระตุ้นสารตัวอย่าง และมีความสัมพันธ์กับความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมา ส่วนการกระเจิงมีความสัมพันธ์กับความเข้มของสัญญาณพื้นหลังการดูดกลืน และการกระเจิงของรังสีเอกซ์

1.5 การเกิดรังสีเอกซ์ มี 2 ลักษณะ คือ

1.5.1 การปลดปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic X-ray)

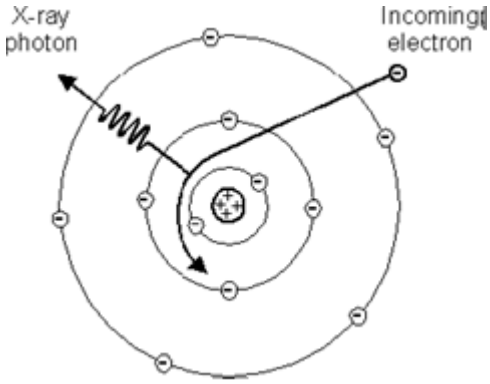
รังสีเอกซ์เฉพาะตัวเป็นรังสีเอกซ์ที่เกิดจากอนุภาคหรือโฟตอนพลังงานสูงวิ่งเข้าชนกับอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรอะตอมของเป้าจนทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรอะตอมของเป้าหลุดออกจากชั้นวงโคจร จากนั้น จึงเกิดการแทนที่ของอิเล็กตรอนชั้นวงนอกที่มีค่าระดับพลังงานสูงกว่าแล้วจึงปล่อยพลังงานส่วนเกินออกในภาพของรังสีเอกซ์ เรียกว่า รังสีเอกซ์เฉพาะตัว รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ถูกปล่อยออกมาประกอบด้วยอนุกรมของรังสีเอกซ์พลังงานเดี่ยวหลายพลังงาน แต่ละพลังงานมีค่าเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานระหว่างชั้นวงโคจรเดิมกับวงโคจรที่อิเล็กตรอนเข้าแทนที่ และมีค่าเฉพาะในแต่ละธาตุ ซึ่งอนุกรมของรังสีเอกซ์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแต่ละชั้นวงโคจรมีชื่อเรียกตามชั้นวงโคจรที่เกิดช่องว่างและถูกอิเล็กตรอนเข้าแทนที่ เช่น อนุกรมของรังสีเอกซ์ที่ถูกปล่อยออกมาจากการแทนที่ของอิเล็กตรอนชั้นวงโคจรชั้น K เรียกว่ารังสีเอกซ์เฉพาะตัวอนุกรม K เช่น อิเล็กตรอนจากชั้น L เข้ามาแทนที่ว่างชั้น K เรียกว่า K และอิเล็กตรอนจากชั้น M เข้ามาแทนในที่ว่างชั้น K เรียก K เป็นต้น ในลักษณะเดียวกัน รังสีเอกซ์เฉพาะตัวอนุกรม L และ M เกิดจากการแทนที่ของอิเล็กตรอนในชั้น L และ M ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การปลดปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic X-ray; โสพส ไกรแสน, 2552)

1.6 กระบวนการเบรมส์ตราลุง (Bremsstrahlung)

เบรมส์ตราลุง เกิดจากการที่อิเล็กตรอนพลังงานสูง (high energy electron) วิ่งเข้าใกล้นิวเคลียสของเป้า ซึ่งนิวเคลียสมีประจุเป็นบวกส่งผลให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเปลี่ยนทิศทางไป และเกิดการสูญเสียพลังงานปล่อยออกมาในภาพของรังสีเอกซ์ ซึ่งเรียกว่า เบรมส์ตราลุง มีพลังงานได้หลายค่าขึ้นอยู่กับอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าชนว่าเคลื่อนที่เข้าใกล้นิวเคลียสเพียงใดซึ่งส่งผลต่อการสูญเสียพลังงาน แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 11 การเกิดเบรมส์ตราลุง (โสพส ไกรแสน, 2552)

2. เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์

การเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence, XRF) จากอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับตัวกลาง ได้แก่ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ผลที่เกิดขึ้นคือ การหลุดออกไปจากชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอน ซึ่งการหลุดออกไปจากชั้นวงโคจรนั้นทำให้เกิดช่องว่างภายในวงโคจร จึงเกิดการแทนที่ของอิเล็กตรอนที่อยู่ในชั้นวงโคจรถัดไปอิเล็กตรอนจะคายพลังงานส่วนเกินออกมาในภาพของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเรียกว่ารังสีเอกซ์เรือง (fluorescence X-ray) หรือรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic X-rays) การกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวอนุกรมใด ๆ นั้น พลังงานของรังสีที่ใช้ในการกระตุ้นต้องมีค่ามากพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากชั้นวงโคจรนั้น ซึ่งค่าพลังงานอย่างน้อยที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไป ต้องมีค่าเท่ากับค่า Binding Energy ของอิเล็กตรอนชั้นนั้น การวิเคราะห์ธาตุโดยการเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence analysis)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองรังสีเอกซ์ มีชื่อเรียกว่า เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปี (X-ray Fluorescence spectroscopy, XRFS) เป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1913 และมีการพัฒนาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานหลายประเภท เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุโดยการเรืองรังสีเอกซ์นั้นมีข้อดีหลายอยู่หลายประการ เช่น สามารถวิเคราะห์ได้หลายธาตุพร้อมกัน การวิเคราะห์โดยไม่ทำลายตัวอย่าง (nondestructive) สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีปริมาณน้อย ๆ ได้ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งตัวอย่างที่เป็นของแข็ง และของเหลว และเป็นวิธีที่มีความไวสูง สามารถวิเคราะห์ธาตุมีความเข้มข้นที่อยู่ในระดับส่วนในล้านส่วน (ppm) นอกจากนี้ เมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในระยะยาว จัดว่าเทคนิคนี้เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีการวิเคราะห์แบบอื่น ในการวิเคราะห์ธาตุมีข้อมูลที่ต้องการทราบ 2 ประการ คือ

1. การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ: วิเคราะห์โดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์แบบกระจายพลังงาน มีความสะดวก และรวดเร็วมาก เพราะระบบนี้วัดสัญญาณแบบหลายช่อง (multichannel

analysis) ทำให้วัดสัญญาณได้ครอบคลุมช่วงกว้าง ๆ ได้ การตรวจวัดรังสีเอกซ์ที่เข้าสู่หัววัดสามารถทำได้พร้อมกันหลายระดับพลังงาน ครอบคลุมตลอดช่วงพลังงานที่ต้องการ แต่มีขีดจำกัดของการแยกพลังงานที่จะทำให้เกิดปัญหาการซ้อนทับกัน (overlapping) ของพีคที่มีพลังงานใกล้เคียงกัน ดังนั้นแม้จะเป็นตัวอย่างเดียวกันบางครั้งกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการวัดจะไม่เท่ากัน และในการวิเคราะห์คุณภาพสามารถทราบชนิดของธาตุได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากในเครื่องมือจะมีฐานข้อมูลสเปกตรัมของแต่ละธาตุโดยกำหนดไว้ที่พลังงานรังสีเอกซ์เฉพาะของแต่ละธาตุ จึงเป็นการสะดวกในการที่จะทราบว่ามี Scatter รบกวนธาตุที่ต้องการวิเคราะห์หรือไม่ สเปคตรัมของธาตุมีการคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งพลังงานเดิมซึ่งเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ปริมาณ

2. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ: สามารถทำได้โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุกับความเข้มข้นของรังสีเอกซ์เรืองที่เกิดขึ้น ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นของธาตุใดธาตุหนึ่งนั้นจะเกี่ยวข้องกับการดูดกลืน และการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ของธาตุนั้น และธาตุที่เป็นส่วนประกอบที่อยู่ในตัวอย่างนั้น

2.1 วิธีวิเคราะห์โดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (กัลยกร เทียนชัย, 2555)

เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ที่สำคัญมี 2 วิธี

2.1.1 Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence (WDXRF) เป็นวิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีแยกความยาวคลื่น โดยผลึกวิธีนี้มีข้อได้เปรียบคือ Resolution สูง แต่มีข้อเสียเปรียบหลายประการ เช่น ใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน เนื่องจากต้องหมุนหัววัดรังสีไปตามมุมตั้งแต่ 0° จนถึง 180°

2.1.2 Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF) เป็นการวิเคราะห์พลังงานของ X-ray Fluorescence โดยใช้หัววัดรังสีทำหน้าที่วิเคราะห์พลังงาน วิธีนี้มีข้อได้เปรียบคือ รวดเร็ว ไม่ทำลายตัวอย่าง แต่ Resolution ไม่ดีเท่าระบบ WDXRF

2.1.2.1 หัววัด (detector) สำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDXRF จะใช้เป็นหัววัดแบบกึ่งตัวนำ วัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะที่นำมาใช้ทำคือ ผลึกซิลิกอน (Si) ซึ่งเป็นหมู่ธาตุหมู่ที่ IV หัววัดที่ใช้กับเครื่อง EDXRF นี้เคลือบด้วย Li และนำไปอบให้ความร้อนอิเล็กตรอนของธาตุ Li สามารถเคลื่อนที่ได้ในผลึกของ Si และจะเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา เพื่อยืดอายุการใช้งานของหัววัด ทำได้โดยใช้ความเย็นยวดยิ่งจากไนโตรเจนเหลว ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีส่วนหนึ่งแช่อยู่ในถังไนโตรเจนเหลวตลอดเวลา โผล่มาเฉพาะส่วนที่เป็นหัววัดรังสีเท่านั้น และภายในบริเวณหัววัดต้องเป็นสุญญากาศเพื่อลดการสูญเสียความเย็นแก่บรรยากาศ

หัววัด Si (Li) ที่ใช้ในเครื่อง EDXRF นั้น ในการใช้งานจะต่อแบบไบอัสกลับภายใต้ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 600 v ชั้นที่มี Li แทรกอยู่นั้นเป็นบริเวณที่ไว และมีบทบาทในการตรวจวัดรังสีที่ผ่านเข้ามา เมื่อรังสีเอกซ์ผ่านเข้ามาทำให้เกิดโฟโตอิเล็กตรอนเกิดเป็น electron-hole pair ภายในผลึก

จะมีการดูดกลืนพลังงานจากรังสีเอกซ์ไปครั้งละ 3.8 eV ต่อการทำให้เกิน electron-hole pair 1 คู่ ส่วนพลังงานที่เหลือของรังสีเอกซ์ทำให้เกิด electron-hole pair ไปเรื่อย ๆ โดยแต่ละครั้งใช้พลังงานไป 3.8 eV จนกว่าพลังงานจะถูกใช้หมดเป็นการถ่ายทอดพลังงานเข้าสู่หัววัด ส่วน electron-hole pair ก็เปรียบเสมือนประจุลบ-บวก ซึ่งทำให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าจากผลึกหัววัดไปสู่ส่วนขยายสัญญาณต่อไป

2.1.2.2 การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ของระบบ EDXRF

ลำรังสีเอกซ์ที่เกิดจากหลอดรังสีเอกซ์จะถูกส่งไปยังสารตัวอย่าง โดยผ่านแผ่นกรองซึ่งทำหน้าที่ตัดหรือลดรังสีของช่วงพลังงานอื่นเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ และผ่านช่องรวมแสงไปยังสารตัวอย่าง ทำให้เกิดอันตรกิริยากับธาตุในสารตัวอย่างแล้วเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุขึ้นผ่านช่องรวมแสงเข้าสู่หัววัด Si (Li) เมื่อรังสีเอกซ์เข้าสู่หัววัดแล้วนั้น แต่ละหน่วยโฟตอนของรังสีเอกซ์ที่ผ่านเข้ามาทำให้เกิดไอโอไนเซชัน และเกิดเป็นประจุเพื่อทำให้เกิดเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่มีขนาดเป็นสัดส่วนกับพลังงานของโฟตอนนั้น ไอโอไนเซชันที่เกิดขึ้นภายในผลึก Si(Li) และทำให้เกิดประจุเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าสู่พรีแอมปริไฟเออร์ ในส่วนพรีแอมปริไฟเออร์จะมีทรานซิสเตอร์แบบ FET (field effect transistor) มีหน้าที่ปรับสัญญาณจากหัววัดให้เป็นสัดส่วนกับพลังงานของรังสี จากนั้น สัญญาณจะถูกส่งต่อไปที่หน่วยประมวลผลพัลส์ (pulse processor) เพื่อขยาย (amplify) และปรับภาพร่าง (shaping) สัญญาณให้เหมาะ เพื่อเปลี่ยนสัญญาณให้เป็นสัญญาณเชิงตัวเลขโดยวงจรที่เรียกว่า Analog-to-Digital Converter หรือ ADC ซึ่งจะถูกส่งไปยังหน่วยความจำ และแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

3. เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer (แม้น อมรสิทธิ์, 2534)

เทคนิคการวิเคราะห์ ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมตรี อาศัยการดูดกลืนแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลต และวิสิเบิล ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-800 nm ของสารเคมีนั้น สมบัติของสารดังกล่าวนี้ได้นำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพ และปริมาณกันอย่างกว้างขวาง เพราะมีความเที่ยง และความแม่นดี มีสภาพความไวที่สูง โดยอาจทำการวิเคราะห์อยู่ในรูปของธาตุหรือโมเลกุลก็ได้ ในกรณีที่สารตัวอย่างมีสารที่นำมาวิเคราะห์มีเพียงสารเดียว อาจใช้วิธีทำกราฟมาตรฐานโดยเตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน แล้วนำไปวัดค่าแอบซอร์แบนซ์ โดยเทียบกับ blank นำผลที่ได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าแอบซอร์แบนซ์กับความเข้มข้นจะได้กราฟเป็นเส้นตรง เมื่อวัดค่าแอบซอร์แบนซ์ของสารตัวอย่างได้ สามารถหาปริมาณของสารที่จะวิเคราะห์ได้โดยอ่านจากกราฟมาตรฐาน และลักษณะของสเปกตรัม ส่วนประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์มีด้วยกัน 5 ส่วน ได้แก่

1. ต้นกำเนิดแสง ต้องให้ลำแสงที่มีกำลังพอที่จะวัดได้ด้วยมาตรแสง มีการแผ่รังสีตลอดเวลาในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ และต้องแผ่รังสีคงที่ตลอดเวลาต้นกำเนิดแสงอัลตราไวโอเลตส่วนใหญ่จะเป็นหลอดไฮโดรเจนหรือหลอดดิวเทอเรียมให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 185-375 nm ซึ่งเกิดจากการ

คายพลังงานของไฮโดรเจนหรือดิวเทอเรียมอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น ช่องที่ให้แสงออกจากหลอดต้องทำด้วยควอตซ์ ถ้าใช้วัสดุอื่นอาจดูดกลืนแสงในช่วงนี้ได้ ทั้งหลอดไฮโรเจน และหลอดดิวเทอเรียมบรรจุด้วยแก๊สที่ความดันต่ำ (5 mm.Hg) และใช้ระบบไฟฟ้าชนิด D.C. ขนาด 40 v เท่านั้น หลอดทั้ง 2 ชนิดนี้มีอายุการใช้งานจำกัดแต่หลอดดิวเทอเรียมจะมีอายุการใช้งานมากกว่า และให้ความเข้มแสงมากกว่าด้วย

2. โมโนโครเมเตอร์ เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ ให้เป็นแถบแสงแคบ ๆ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

2.1 ช่องปล่อยให้แสงเข้า เพื่อให้แสงที่เข้ามาแรงพอที่จะผ่านออกไปยังสารตัวอย่างโดยคิดต่อพื้นที่ที่แสงผ่าน ดังนั้นความกว้างของสลิตจึงมีส่วนสำคัญ

2.2 กระจก และเลนส์ ช่วยให้แสงที่เกิดการสะท้อนรวมกัน ช่วยลดขนาดของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ให้เล็กลง และทำให้แสงกลายเป็นลำแสงขนาน

2.3 ส่วนที่ทำให้แสงกระจายออกเป็นความยาวคลื่นต่าง ๆ กันเพื่อให้เหมาะแก่การเลือกใช้ ประกอบด้วย ฟิลเตอร์ ปริซึม และเกรตติง

3. ส่วนที่วางสารตัวอย่าง ส่วนที่วางสารตัวอย่างเพื่อวัดหรือบางครั้งเรียกว่าคิวเวตท์ มีด้วยกันหลายแบบแต่ที่ใช้กันโดยทั่วไปมีดังนี้

3.1 เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา ใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เพราะเนื้อแก้วธรรมดาดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้

3.2 เซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา และควอตซ์ ใช้ได้ทั้งในช่วงยูวี และวิซิเบิลและยังมีเซลล์เกรดพิเศษเรียกว่า Special UV Grade เซลล์ดังกล่าวนี้เป็นเซลล์ที่ได้คัดเลือกแล้วว่ามีลักษณะเหมือนกันทั้งขนาด และการดูดกลืนแสง

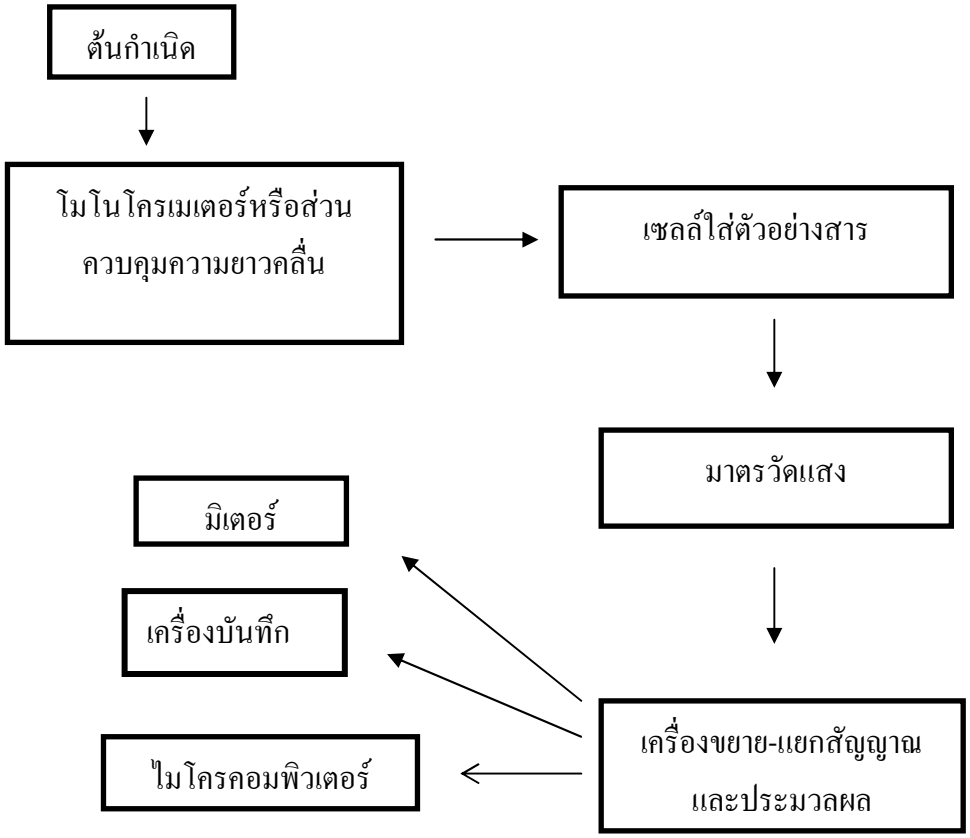
4. เครื่องวัดแสง เครื่องที่ใช้สำหรับวัดแสงนี้มีด้วยกันหลายแบบ ซึ่งแตกต่างกันตามความกว้างของช่วงคลื่น ความเร็วของการตอบสนองต่อแสง สภาพไวของการรับแสง ทั้งนี้เพื่อต้องการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

5. เครื่องขยาย-แยกสัญญาณ และประมวลผล สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดจะถูกนำไปเข้ากระบวนการของระบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ขยายสัญญาณให้มากขึ้นหรืออาจเปลี่ยนสัญญาณจาก D.C. เป็น A.C. หรือจาก A.C. เป็น D.C. อาจมีการกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไปหรือนำสัญญาณที่ได้ไปแยกออกโดยเข้าไปในเครื่องอินทิเกรชันหรือเปลี่ยนให้เป็น log scale เป็นต้น หลังจากนั้นสัญญาณที่ได้ถูกนำเสนอได้หลายรูปแบบโดยต่อเข้ากับอุปกรณ์ 3 อย่าง คือ

1. มิเตอร์ มีสเกลอ่านทั้งที่เป็น linear scale และ logarithm scale สามารถบอกค่า absorbance และ % transmittance

2. เครื่องบันทึกเรคอร์เดอร์หรือพรินเตอร์ ซึ่งสามารถเขียนสเปกตรัม พิมพ์ข้อมูลที่ต้องการได้

3. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเป็นเครื่องที่สามารถควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ใช้ในการคำนวณผลของการทดลอง เขียนกราฟผลการทดลอง พิมพ์ข้อมูล และผลการทดลองทั้งหมดได้ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (แม้น อมรสิทธิ์, 2534)

รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติศักดิ์ชัย แนมจันทร์ (2547) ได้ศึกษาเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในดินที่บริเวณฝังกลบขยะ ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ระหว่าง 1-31 m พบว่า มีแร่อิลไลต์ เคโอลิไนต์ มอนต์มอริลโลไนต์ และควอตซ์ที่ทุกระดับความลึก และแร่อิลไลต์ เคโอลิไนต์ และมอนต์มอริลโลไนต์ มีลักษณะเป็นแผ่น ส่วนควอตซ์มีลักษณะเป็นแท่งขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับแร่ดังกล่าว แร่ที่มีลักษณะเป็นแผ่นจับกันเป็นก้อนซ้อนทับกันโดยมีควอตซ์เป็นแกนกลาง และจากการศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบด้วย Energy Dispersive X-Ray Spectrometer พบว่าธาตุ Si มีปริมาณมากที่สุดคิดเป็น % โดยน้ำหนัก 19.80 – 41.95 % ส่วนธาตุ Al, K, Cu, Fe, Mg, Na, Zn, Ca และ Ti เป็นธาตุที่พบในปริมาณที่น้อยกว่า 10 %

บุญเลิศ นกคุ้ม ได้ศึกษาอิทธิพลความเป็นกรด-ด่าง ของดินบนที่สูงต่อการดูดตรึงอนุมูลฟอสเฟต พบว่าการเพิ่มขึ้นของความเป็นกรด-ด่าง ทำให้ดินดูดตรึงฟอสฟอรัสในภาพของ Ca-P เพิ่มขึ้น ในขณะที่ฟอสฟอรัสในภาพของ Al-P , Fe-P และ Reductant soluble iron phosphate ลดลง เนื่องจากดินที่นำมาทดลองส่วนใหญ่เกิดจากการผุพังของหินแกรนิต ซึ่งมีปริมาณออกไซด์ของเหล็ก และอลูมินัมสูง และมีความเป็นกรด-ด่างต่ำ ประมาณ 5.0

บำรุง ทรัพย์มาก (2543) ได้ศึกษาลักษณะ และสมบัติของดิน ที่ใช้ปลูกยางพาราในภาคตะวันออกของประเทศไทย จากจำนวน 5 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดอนชุมพร ชุดดินคลองชาก ชุดดินพังงา ชุดดินระนอง และชุดดินตราด พบว่าดินบริเวณที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงลอนชัน และเนินเขา มีการระบายน้ำดี เนื้อดินเป็นดินร่วนถึงดินเหนียวปนกรวด มีความเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดเล็กน้อย (pH 3.9-6.6) ดินส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับต่ำ ยกเว้นชุดดินตราด ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง ในอนุภาคดินเหนียวพบแร่เคโอลิไนต์เป็นส่วนใหญ่ ส่วนอนุภาคของทรายแป้งพบควอตซ์เป็นส่วนใหญ่

ปวีณา เกียรตระกลกาล (2551) ได้ตรวจสอบสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ปลูกผักของศูนย์พัฒนาเกษตรที่สูง ทุ่งหลวง แม่แฮ หนองหอย ขุนวาง และสถานีวิจัยหลวงอ่างขาง รวมถึงพื้นที่ของเกษตรกรที่อยู่ภายใต้การดูแลของแต่ละศูนย์ฯ ในช่วงเดือนพฤษภาคม-กันยายน 2549 โดยใช้ชุดตรวจสอบดินแบบง่าย พบว่า ดินที่ใช้ปลูกผักส่วนใหญ่มีความเป็นกรดจัด โดยมี pH อยู่ในช่วง 3.8-5.4 ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูงกว่า 2.5 % ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ และโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับที่สูงมาก

อรอนงค์ ทวีบุตร และคณะ (2545) ได้วิเคราะห์ปริมาณเหล็ก และแมงกานีสในดินของแปลงทดลองที่ปลูกถั่ว จากศูนย์ฝึกอบรม และวิจัยการเกษตรแม่เหียะ จังหวัดเชียงใหม่ โดยเก็บตัวอย่างดินก่อนการเพาะปลูก และหลังการเก็บเกี่ยวทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการอาบนิวตรอน โดยวัดกัมมันตภาพของรังสีแกมมา จากการสลายตัวของไอโซโทปรังสีของเหล็ก -59 แมงกานีส -56 ที่พลังงาน 1,099 และ 846 keV ตามลำดับ พบว่าปริมาณเหล็ก และแมงกานีสที่มีอยู่ทั้งหมดในดินตัวอย่างอยู่ในช่วง 1.04 – 1.32 % และ

0.049-0.068 % ตามลำดับ

อรุชา มณฑปใหญ่ (2540) ได้ทำการเปรียบเทียบผลของการใช้สารปรับปรุงดินต่อการปรับปรุงดินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์ และสมบัติทางเคมีบางประการของดิน โดยผลการทดลองทั้งในดินเนื้อหยาบ และดินเนื้อละเอียดให้ผลคล้ายกัน คือ ชนิดของสารปรับปรุงดิน อัตราที่ใส่ และผลร่วมของสองปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นรวม ความพรุนรวม ค่าสภาพการนำน้ำของดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ และค่า pH ของดินแตกต่างกัน

Aciego (2008) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจาก Hoosfield,UK ต่อคุณสมบัติทางเคมี และทางชีวภาพ พบว่าช่วงความเป็นกรดเป็นด่าง 8.3 – 3.7 มีอินทรียวัตถุในดิน,ไนโตรเจนทั้งหมด และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลง และสมบัติทางชีวภาพ พบว่ามวลชีวภาพของ C กับมวลชีวภาพของ ninhydrin-N มีมากที่สุดที่ pH น้อยกว่า 7 และมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ในดินคงที่เมื่อ pH อยู่ระหว่าง 5-7 นอกจากนี้ยังพบว่า CO_2 ในดินเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ pH มากขึ้น

Mavi et al. (2012) ได้ศึกษาการแพร่กระจาย และการละลายของสารอินทรีย์ในดินเค็มกับดินเค็มโซดิก พบว่าในดินทรายมีค่าสัดส่วนการดูดซับโซเดียมน้อยกว่า 3 ส่วนในดินร่วนเหนียวปนทรายมีค่าสัดส่วนการดูดซับโซเดียมที่ 20 และการละลายของสารอินทรีย์ของดินทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันเนื่องจากความแตกต่างของความดันออสโมติก

Lee et al. (2009) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในอินทรียวัตถุต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดินในนาข้าวที่ปลูกข้าวมาแล้ว 41 ปีโดยเปรียบเทียบใน 4 แปลงได้แก่แปลงที่ไม่มีการเติมปุ๋ยลงไป แปลงที่มีการเติมธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) แปลงที่ใส่ธาตุอาหารหลักร่วมกับปุ๋ยหมัก และแปลงที่เติมปุ๋ยหมักอย่างเดียว พบว่าแปลงที่ไม่มีการเติมปุ๋ยทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ เพราะการลดลงของอินทรียวัตถุในดินมีขนาดของเม็ดดินน้อยกว่า 0.053 ส่วนดินที่มีการเติมอินทรียวัตถุทำให้มีสมบัติทางกายภาพที่ดีจะมีขนาดของเม็ดดินอยู่ระหว่าง 0.25-0.053 mm

Abu-Hamdeh (2000) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการไถพรวน 3 แบบในระดับความลึก 20 เซนติเมตร ได้แก่ แบบไม่ไถพรวน การไถพรวนแบบวิธี chisel และการไถพรวนแบบ Rotary ที่มีผลต่อต่อการนำความร้อนในดิน 2 ชนิด คือ ดินร่วนเหนียวกับดินร่วน พบว่าวิธีการไถแบบ Rotary สามารถลดการนำความร้อนได้มากกว่าวิธี chisel ในดินร่วนเหนียวพบว่าการไม่ไถพรวนมีค่าการนำความร้อนในดิน 4.05 - 0.78 W m^{-1} K^{-1} ,การไถพรวนแบบวิธี chisel มีค่าการนำความร้อนในดิน0.03 – 0.72 W m^{-1} K^{-1} และการไถพรวนแบบ Rotary มีค่าการนำความร้อนในดิน 0.30 – 0.48 W $m^{-1}K^{-1}$ ส่วนในดินร่วนพบว่าการไม่ไถพรวนมีค่าการนำความร้อนในดิน0.50 -0.79 W m^{-1} K^{-1}การไถพรวนแบบวิธี chisel มีค่าการนำความร้อนในดิน 0.40 – 0.75 W $m^{-1}K^{-1}$ และการไถพรวนแบบ Rotary มีค่าการนำความร้อนในดิน

0.34 – 0.57 W $m^{-1}K^{-1}$ แสดงว่าชนิดของดินมีผลต่อการนำความร้อนน้อยมาก

Osunbitan et al. (2005) ได้ศึกษาวิธีการไถพรวนดินทรายร่วน 4 วิธี ได้แก่ วิธีไม่ไถพรวน วิธี manual วิธีplough-plough และวิธีplough-harrow ที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของดิน การนำน้ำของดินในสภาพอิ่มตัว และความแข็งของดิน จากการทดลองพบว่าความหนาแน่นของดินไม่ไถพรวน > manual > plough-plough > plough-harrow ตามลำดับ การไม่ไถพรวนดินทำให้ดินมีความหนาแน่น การนำน้ำของดินในสภาพอิ่มตัวมีค่าสูงสุด ในขณะที่ความพรุนของดินไม่มีผลต่อการนำน้ำของดินในสภาพอิ่มตัว

Lima et al. (2009) ได้ศึกษาการจัดการนาข้าวในระบบชลประทานที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดินในพื้นที่ลุ่มเป็นระยะเวลา 1 ปี โดยทำการเปรียบเทียบระบบชลประทาน 3 ระบบได้แก่ ระบบ Semi-direct ระบบ conventional และระบบ pre-germinated จากการศึกษาพบว่าการปลูกข้าวในระบบ Semi-direct มีอินทรียวัตถุสูงที่สุด และมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพ และเคมีที่ดีที่สุด ส่วนระบบ conventional และ pre-germinated มีความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น

Jiang et al. (2011) ได้ศึกษาวิธีการไถพรวน 3 แบบ ได้แก่ แบบไม่ไถพรวน แบบ convention และการไถพรวนแบบ flooded paddy field ในระดับความลึก 20 cmในขนาดเม็ดดิน 6 ขนาด (> 4.76mm, 4.76 – 2.0mm, 2.0 – 1.0mm, 1.0 – 0.25mm, 0.25 – 0.053mm และ < 0.053mm) ต่อการเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพของรา และแบคทีเรีย พบว่ามวลชีวภาพของราและแบคทีเรียในดินที่ไม่ไถพรวนมีค่าสูงกว่าการไถพรวนแบบ convention tillage และ flooded paddy field อย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$ แต่ไม่มีความแตกต่างของค่าอัตราส่วนC: N

Clark et al. (1998) ได้ศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินโดยทำการทดลองเป็น Block ทั้งหมด 4 Block และมีการปลูกพืชหมุนเวียน (มะเขือเทศ,ดอกคำฝอย,ข้าวโพด และข้าวสาลี)เป็นระยะเวลา 4 ปี ในบริเวณพื้นที่ที่มีการจัดการ 4 ลักษณะ ได้แก่ การแบบเกษตรอินทรีย์, แบบ Low – input , แบบ conventional และ conventional ที่ปลูกมะเขือเทศกับข้าวสาลีเป็นระยะเวลา 2 ปีจากการศึกษาพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 4 ปี แปลงเกษตรอินทรีย์ และแบบ Low – input ดินจะมีคาร์บอนอินทรีย์ฟอสเฟตที่ละลายได้ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในปริมาณที่สูง

Prakongkep et al. (2008) ได้ศึกษาสมบัติทางแร่ และองค์ประกอบของธาตุของดินนาในประเทศไทยตาม พบว่ามีปริมาณของ Cr อยู่สูงกว่า Si, Al, Fe, K, Ca, Mg, Na, Mn, Ti, S, V, P, Li, Ni, Cu, Ga, Co, Ag, Be และ U เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน และมีการรวมกลุ่ม 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกประกอบด้วย sand, Si และ Cr ส่วนกลุ่มที่สอง ประกอบด้วย silt, clay, CEC, pH, Al, Fe, K, Ca, Mg, Na, Mn, Ti, S, V, P, Zn, Rb, Li, Ni, Sr, Cu, Ga, Co, As, Be, U, Ag และ Cd นอกจากนี้ยังพบว่าดินนาในภาคกลางพบแร่สเม็กไทต์มากที่สุด ส่วนแร่เคโอลิไนต์พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

Yoothong et al. (1997) ได้ศึกษาแร่ดินเหนียวในประเทศไทยโดยการแบ่งแร่ดินเหนียวที่พบมากออกเป็น 8 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มเคโอลิไนต์, กลุ่มเคโอลิไนต์กับอิลไลต์, กลุ่มเคโอลิไนต์กับสเม็กไทต์, กลุ่มเคโอลิไนต์ สเม็กไทต์ และอิลไลต์, กลุ่มเคโอลิไนต์ อิลไลต์ และสเม็กไทต์, กลุ่มสเม็กไทต์กับเคโอลิไนต์, กลุ่มสเม็กไทต์ เคโอลิไนต์กับอิลไลต์ และกลุ่มของเคโอลิไนต์กับกิบไซต์ พบว่าแร่เคโอลิไนต์มีอยู่ทุกพื้นที่ในประเทศไทย, แร่อิลไลต์เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นหินไมกา และแร่สเม็กไทต์พบมากในภาคกลางบริเวณปากแม่น้ำ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย

สำหรับกระบวนการวิจัยสามารถแบ่งเป็น ขั้นตอนใหญ่ ๆ ได้ 3 ขั้นตอน คือ

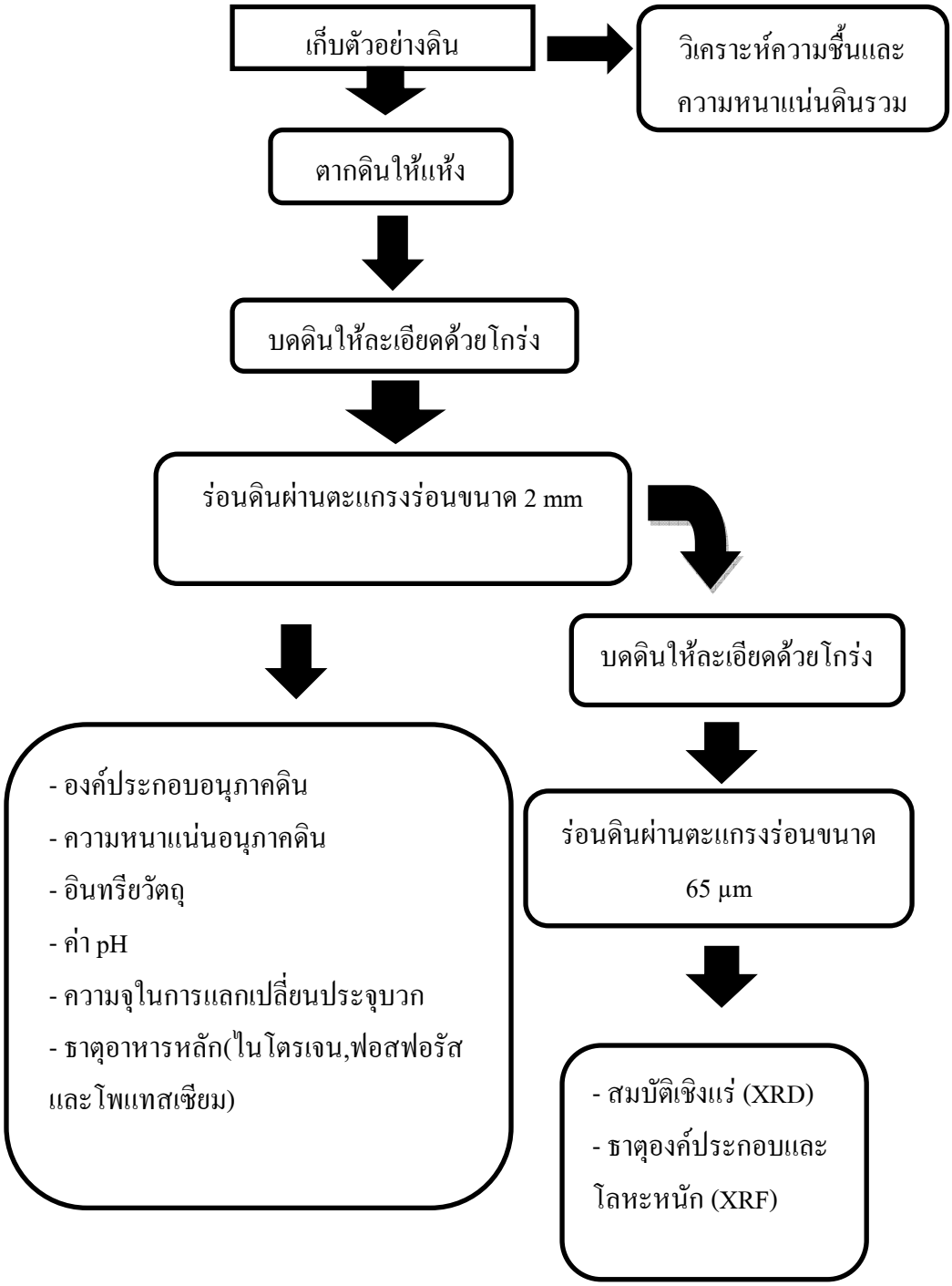
1. การเก็บตัวอย่างภาคสนาม

2. การเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์

3. วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์สมบัติของดินในด้านต่าง ๆ ดังนี้

3.1 สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ องค์ประกอบอนุภาคของดิน ความหนาแน่นดินรวม ความหนาแน่นอนุภาคดิน ความพรุนรวมของดิน ความชื้นในดิน และสมบัติทางแร่

3.2 สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง สภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน อินทรียวัตถุ ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ธาตุองค์ประกอบ และธาตุอาหารหลัก (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

สารเคมี

1. สารละลายแคลกอน 5 เปอร์เซ็นต์ (calgon 5%)
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เปอร์เซ็นต์ (H_2SO_4 36%)
3 สารละลายมาตรฐานพีเอช 4.0 (pH 4.0 standard buffer solution)
4. สารละลายมาตรฐานพีเอช 7.0 (pH 7.0 standard buffer solution)
5. สารละลายโปแตสเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลาร์ (KCl 0.01 M)
6. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมตร 1.0 นอร์มอลลิตี (standard $K_2Cr_2O_7$ solution, 1.0 N)
7. กรดซัลฟูริคเข้มข้น (conc. sulfulic acid)
8. รีดอกซ์อินดิเคเตอร์ (redox indicater)
9. สารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 นอร์มอลลิตี (ferous ammonium sulfate (FAS) solution, 0.5 N)
10. กรดฟอสโฟริคเข้มข้น 85 เปอร์เซ็นต์ (conc. phosphoric acid (H_3PO_4) 85%)
11. ผงโซเดียมฟูออไรด์ (sodium fluoride (NaF))
12. ตัวเร่งปฏิกิริยาสารผสม (catalyst mixture)
13. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 เปอร์เซ็นต์ (sodium hydroxide (NaOH) 40%)
14. สารละลายกรดบอริก 2 เปอร์เซ็นต์ (boric acid-indicator solution 2%)
15. น้ำยาสกัด BrayII (0.03 N NH_4F, 0.1 N HCl)
16. สารละลายสกัด (extracting solution)
17. สารละลาย develop สี (developing solution)
18. สารละลายกรดแอสคอร์บิค (ascorbic acid solution)
19. สารละลายเข้มข้น (stock solution)
20. สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Standard solution, 50 mg/kg P)
21. สารละลายแอมโมเนียมอะซิเตรตพีเอช 7.0 (ammonium acetate (NH_4OAC) 1M pH 7.0)
22. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (stock standard solution, 1,000 mgL^{-1} K)

อุปกรณ์ และเครื่องมือการวิจัย

1. เครื่องแก้ววิทยาศาสตร์พื้นฐาน (glassware scientific equipment)
2. ไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer)
3. โถดูดความชื้น และตู้อบความร้อน (desiccator and oven)
4. เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-Ray Diffraction, XRD)
5. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter)
6. เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (electrical conductivity)
7. เครื่องวัดอุณหภูมิ (thermometer)
8. เครื่องชั่งไฟฟ้าแบบละเอียด (analytical balance)
9. เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence, XRF)
10. ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl units)
11. เครื่องวัดความเข้มของแสง (UV/VIS spectrophotometer)
12. เครื่องวัดการเปล่งแสงโดยเปลวไฟ (flame spectrophotometer)

วิธีดำเนินการวิจัย

1 การเก็บตัวอย่างดิน

1.1 เก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่เพาะปลูกข้าว เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี โดยได้เลือกพื้นที่ใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา และ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

1.2 ทำการเลือกเก็บตัวอย่างแปลงละ 5 จุดในทั้งสองพื้นที่

1.3 ตัวอย่างดินในแต่ละจุดตามที่กำหนดจะเก็บตัวอย่างอย่างดินชั้นบน โดยการขุดหลุมเป็นรูปตัววี ขนาดความกว้างเท่ากับหน้าจอบ ลึกประมาณ 15 cm นำดินในหลุมออกให้หมด เอาปลายจอบวางลงที่ขอบหลุมด้านใดด้านหนึ่งที่มีหน้าตัดเรียบห่างจากขอบหลุมประมาณ 2 cm ขุดดินจนถึงระดับความลึก 15 cm จากนั้นใช้มีดตัดดินบนจอบออกเป็น 3 ส่วน ทิ้ง 2 ส่วน ด้านข้าง เหลือไว้แต่ตรงกลางประมาณ 3 cm

1.4 เก็บตัวอย่างดินชั้นล่างโดยเก็บต่อจากดินชั้นบนที่ปรับระดับแล้ว และนำดินในหลุมออกมาให้หมด จากนั้นขุดหลุดเป็นรูปตัววี ขนาดความกว้างเท่ากับหน้าจอบลึกลงไปอีก 15 cm

1.5 จากนั้นแบ่งตัวอย่างดินในแต่ละตำแหน่ง มาตำแหน่งละ 1 kg มาผสมเข้าด้วยกัน เพื่อใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่ต่อไป ทำการกำหนด label ด้วยสัญลักษณ

2 การเตรียมตัวอย่าง

2.1 นำดินตัวอย่างทั้งหมดมาตากแห้งด้วยการผึ่งลม (air dry) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

2.2 นำตัวอย่างดินที่แห้งแล้วมาคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 2 mm เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบด้านขนาด, ความหนาแน่นอนุภาคดิน, อินทรียวัตถุ, ค่า pH, ความจุการแลกเปลี่ยนประจุบวก และธาตุอาหารหลัก

2.3 นำตัวอย่างที่ผ่านการคัดขนาด และมีขนาดน้อยกว่า 2 mm มาทำการบดด้วยโกร่ง

2.4 นำตัวอย่างที่ผ่านการบดด้วยโกร่ง มาคัดขนาดด้วยตะแกรงจนมีขนาดน้อยกว่า 65μm เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้าง และธาตุองค์ประกอบ

3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

3.1 การหาองค์ประกอบอนุภาคดินโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

3.1.1 ชั่งตัวอย่างดินแห้งที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 mm จำนวน 50 g เติมสารละลาย calgon 50 ml และน้ำกลั่นประมาณ 300 ml คนให้ทั่ว ทิ้งไว้ค้างคืน

3.1.2 ผสมส่วนผสมโดยใช้เครื่องผสมไฟฟ้าประมาณ 1-2 นาที เพื่อให้เม็ดดินที่จับกันเป็นก้อนแยกออกจากกัน เทลงในกระบอกตกตะกอน ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษดินจากเครื่องผสมลงให้หมด เติมน้ำให้ได้ 1 L

3.1.3 ใส่สารละลาย calgon 5 % ลงในกระบอกตวงไว้ข้าง ๆ อีกกระบอกไว้อ่านค่าปรับแก้ผลเนื่องจากอุณหภูมิ และแช่ไฮโดรมิเตอร์ในระหว่างที่ไม่ใช้วัด

3.1.4 ใช้จุกยางปิดปากกระบอก เขย่าส่วนผสมให้เข้าโดยสม่ำเสมอ แล้ววางลง จับเวลาทันที

3.1.5 หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงไป อ่านค่าที่เวลา 40 วินาทีแรก จดบันทึกค่าที่อ่านได้ และวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง

3.1.6 วัดด้วยไฮโดรมิเตอร์ (จับเวลา 40 วินาที แล้วอ่านค่า) บันทึกผล และอุณหภูมิ

3.1.7 คำนวณเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว โดยใช้สมการที่ (3.1)-(3.4)

$$\% \text{ silt + clay} = \frac{(R_1 + C_1 \times 100)}{50} \qquad (3.1)$$

เมื่อ R_1 คือ ค่า Hydrometer ของตัวอย่างที่ 40 วินาทีแรก

C_1 คือ การเปลี่ยนจาก C° เป็น F° ของตัวอย่างที่ 40 วินาทีแรก

$$\% \text{ clay} = \frac{(R_s + C_2 \times 100)}{50} \qquad (3.2)$$

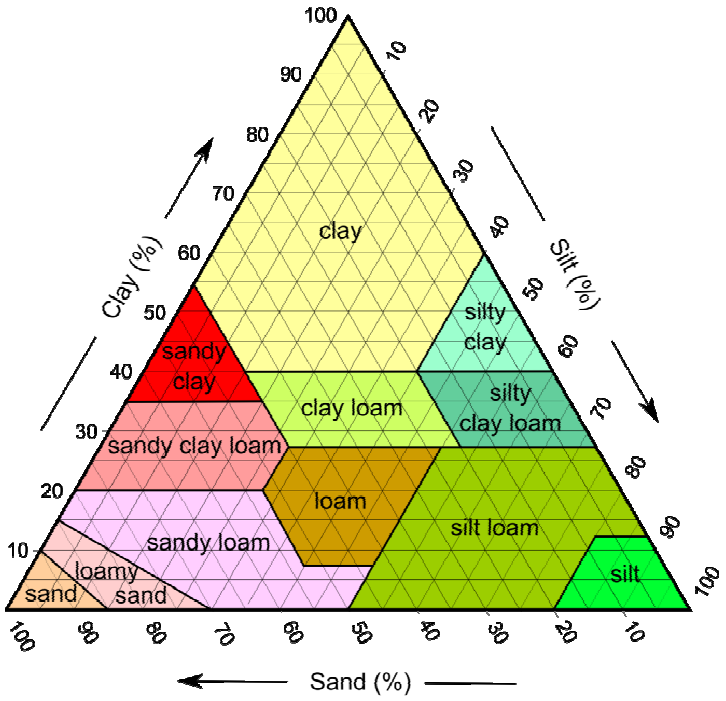
เมื่อ R_s คือ ค่า Hydrometer ของตัวอย่างที่ 2 ชั่วโมง

C_1 คือ การเปลี่ยนจาก C° เป็น F° ของตัวอย่างที่ 2 ชั่วโมง

$$\% \text{ silt} = (\% \text{ silt + clay}) - \% \text{ clay} \qquad (3.3)$$

$$\% \text{ sand} = 100 - (\% \text{ silt + clay}) \qquad (3.4)$$

เมื่อทราบค่า เปอร์เซ็นต์ทราย เปอร์เซ็นต์ทรายแป้ง และเปอร์เซ็นต์ดินเหนียว แล้วนำตัวเลขนี้ไปเทียบกับตารางสามเหลี่ยมสำหรับพิจารณาประเภทเนื้อดินก็จะทราบว่าเป็นเนื้อดินชนิดใด ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ตารางจำแนกองค์ประกอบอนุภาคดินตามมาตรฐาน USDA (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

ตารางที่ 6 การจำแนกประเภทชนิดของดิน

Textural class	ชนิดของเนื้อดิน
clay	ดินเหนียว
loam	ดินร่วน
sand	ดินทราย
silt	ดินทรายแป้ง
silt loam	ดินร่วนปนทรายแป้ง
silty clay loam	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
silty clay	ดินเหนียวปนทรายแป้ง
sandy clay loam	ดินร่วนเหนียวปนทราย
sandy loam	ดินร่วนปนทราย
sandy clay	ดินเหนียวปนทราย
loamy sand	ดินทรายปนดินร่วน
clay loam	ดินร่วนปนดินเหนียว

3.2 วิเคราะห์ความหนาแน่นดินรวม

3.2.1 นำดินสดใส่ในกระบอกโลหะ ปาดหน้าดินให้เสมอกับขอบกระบอกโลหะแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 C° เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และนำไปชั่งน้ำหนัก (W_S) โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม

3.2.2 นำดินในกระบอกโลหะออกให้หมด ล้างกระบอกให้สะอาด อบให้แห้งอีกครั้งในตู้อบ และนำไปชั่งน้ำหนัก (W_A)

3.2.3 ทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงของกระบอกโดยใช้ vernier เพื่อคำนวณหาปริมาตรกระบอกโลหะ (V_S)

3.2.4 คำนวณหาความหนาแน่นดินรวม จากสมการที่ (3.5)

$$\rho_b = \frac{W_S}{V_S} \qquad (3.5)$$

3.3 วิเคราะห์ความหนาแน่นของอนุภาคดิน

3.3.1 ชั่งหาน้ำหนักของ Volumetric flask ที่แห้ง และสะอาดแล้วบันทึกน้ำหนักไว้ (W_A) โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.3.2 เติมน้ำกรองซึ่งไล่อากาศออกแล้ว (โดยการต้มน้ำกรองปริมาณ 1,600 ml ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 ml ที่ตั้งบน hot plate ต้มนาน 5 ชั่วโมง อุณหภูมิ 50 C°จนกว่าฟองอากาศหมด และปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง) ลงใน volumetric flask จนได้ปริมาตร 50 ml เช็ดให้แห้ง และนำไปชั่งน้ำหนัก (W_W)

3.3.3 เทน้ำใน volumetric flask ออกแล้วใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2,000 ml (นำไปใช้สำหรับขั้นตอนที่ 5) และนำ volumetric flask ไปอบให้แห้งในตู้อบใช้เวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 C°

3.3.4 ชั่งตัวอย่างดินที่มีขนาดน้อยกว่า 2 mm 10 g ใส่ลงใน volumetric flask แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W_S)

3.3.5 นำ volumetric flask ในขั้นตอนที่ 4 เติมน้ำกรองที่ผ่านการต้มไล่อากาศแล้วปริมาณ 15 ml และนำ volumetric flask ที่บรรจุลงถาดทรงสูงแล้วนำมาต้มบน hot plate เพื่อไล่อากาศ นำ volumetric flask ที่ต้มไล่อากาศมาพักจนเย็นเท่าอุณหภูมิห้อง เติมน้ำกรองจนได้ปริมาณ 50 ml เช็ดให้แห้งแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W_{SW}) และนำมาหาค่าความหนาแน่นของอนุภาคดิน จากสมการที่ (3.6)

$$\rho_S = \frac{\rho_w(W_S)}{W_W - W_{SW} + W_S} \qquad (3.6)$$

เมื่อ ρ_b เท่ากับ ความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1.0 g/cm^3

3.4 ความพรุนรวม สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.7)

$$E = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_S} \times 100 \qquad (3.7)$$

3.5 ความชื้นในดิน สามารถวิเคราะห์โดยชั่งตัวอย่างดินสด 2 g นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 C° เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้น เพื่อชั่งหาน้ำหนักปริมาณของแข็งทั้งหมด น้ำหนักที่คงเหลืออยู่คือปริมาณของแข็งทั้งหมด ส่วนน้ำหนักที่หายไปคือค่าความชื้นของ ดังสมการที่ (3.8)

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักดินก่อนอบ} - \text{น้ำหนักดินหลังอบ})}{\text{น้ำหนักดินหลังอบ}} \times 100 \qquad (3.8)$$

3.6 ทดสอบลักษณะสมบัติทางแร่โดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction, XRD) การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer, XRD) เครื่องมือทดสอบ: Bruker AXS, Germany Model

4 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

4.1 การหาอินทรียวัตถุในดินโดยวิธี Walkley-Black

4.4.1 ชั่งดินที่บด และผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm 2 g ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml เติม standard 1.0 N $K_2Cr_2O_7$ ลงไป10.0 ml โดยใช้ pipet แกว่ง flask เบา ๆ เพื่อให้ดิน และสารละลายผสมกัน แล้วเติม conc. sulfulic acid ลงไป 20 ml โดยพยายามล้างเม็ดดินที่ให้ลงไปอยู่ในกรดให้หมด อย่าให้เม็ดดินเกาะอยู่ตามข้าง flask แกว่ง flask ค่อนข้างแรงประมาณ 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที หรือ จนกระทั่งดิน และสารละลายที่ผสมกันอยู่เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง

4.4.2 เติมน้ำกลั่นลงไป 100 ml แล้วเติม conc. H_3PO_4 10 ml แล้วจึงหยด indicator ลงไป 2-3 หยด แกว่ง flask จนของผสม (mixture) เข้ากันดี สีของ mixture จะเป็นสีม่วงปนน้ำเงินหรือสีม่วงแดง

4.4.3 ไทเทรต mixture ด้วย FAS 0.5 N solution จาก burette สีของ mixture จะเป็นสีม่วงเข้มขึ้น ๆ ไทเทรตต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึง end point สีของ mixture จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ค่อย ๆ หยด FAS ทีละหยดจนถึง end point สีของ mixture จะเปลี่ยนเป็นสีเขียวจัด

4.4.4 เพื่อให้ได้ end point ที่ถูกต้อง เติม standard 1.0 N $H_2Cr_2O_7$ ลงไปอีก 0.5 ml เพื่อให้มี dichromate เหลือใน solution อีก สีของ mixture จะเปลี่ยนเป็นสีม่วงปนน้ำเงินหรือม่วงแดงอีกครั้ง แล้วค่อย ๆ ไทเทรตต่อ โดยหยด FAS 0.5 N solution ลงไปทีละหยด จนถึง end point อีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของอินทรียวัตถุจากสมการที่ (3.9)

$$\% \text{ OM} = \frac{(B-S)\times 3\times N\times 10{,}000}{B\times W\times 4{,}466} \qquad (3.9)$$

เมื่อ B เท่ากับ ปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไทเทรต Blank (ml)

S เท่ากับ ปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (ml)

W เท่ากับ น้ำหนักดินที่ใช้ (g)

N เท่ากับ ความเข้มข้นของ $K_2Cr_2O_7$ (N)

4.2 ทดสอบความเป็นกรดเป็นด่างโดยใช้ pH meter ใช้ดินต่อน้ำ 1: 1 โดยชั่งดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm จำนวน 20 g ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 ml เติมน้ำกลั่น 20 ml ใช้แท่งแก้วคนให้ดิน และน้ำเข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ในขณะทิ้งไว้ให้คนดินเป็นครั้งคราว ก่อนวัด pH ต้องปรับ pH meter ด้วย buffer solution pH 4 และ pH 7 ก่อนแล้วจึงทำการวัดตัวอย่างดิน

4.3 วัดสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายดิน โดยการวัดความนำไฟฟ้าของสารละลายดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยการชั่งดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 200 ml ค่อย ๆ เติมน้ำลงไปพร้อมกับคนดินจนกระทั่งอิ่มตัวด้วยน้ำ และตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที จนไม่มี free water อยู่บนผิวดิน ถ้าดินยังไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ให้เติมดินหรือน้ำลงไปอีกแล้วแต่กรณี ตั้งดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำไว้ 10 นาที ถ่ายดินลงในกรวย Buchner กรองสารละลายดินโดยใช้ suction pump นำสารละลายดินที่ได้ไปวัดหาความนำไฟฟ้า

4.4 การวิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน

4.4.1 ชั่งดิน 2 g ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm ใส่ leaching tube ซึ่งกรองด้วยสำลี และ asbestos

4.4.2 ชะดินด้วย NH_4OAC 1M pH 7 100 ml โดยค่อย ๆ หยดทีละน้อย

4.4.3 ล้างดินใน leaching tube ด้วย ethyalcohol 95 % จำนวน 100 ml เพื่อไล่ NH_4OAC ออกให้หมด

4.4.4 ชะดินด้วย 10 % acidified NaCl จำนวน 100 ml เพื่อไล่ NH_4^+ ที่ดูดซับอยู่ที่ผิวดิน โดยการชะต้องทำอย่างช้า ๆ หลังจากนั้นนำ leachage มาปรับปริมาตรเป็น 200 ml ด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปหาปริมาณของ NH_4^+ โดยใช้ 2 % Boric acid indicator 5 ml รองรับสิ่งที่กลั่นได้ แล้วไทเทรตด้วย สารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 0.02 N จนถึง end point โดยสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง บันทึกสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4ที่ใช้ไทเทรต

4.4.5 ทำ blank โดยไม่มีตัวอย่างดินควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน หลังจากนั้นนำมาคำนวณจากสมการที่ (3.10)

$$CEC = N \times (T\text{-}F) \times \frac{\text{total volume}}{\text{ml of aliquot}} \times \frac{100}{\text{wt of sample}} \qquad (3.10)$$

เมื่อ N เท่ากับ normality ของสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4

T เท่ากับ ปริมาณของสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง

F เท่ากับ ปริมาณของสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4ที่ใช้ไทเทรต blank

4.5 ทดสอบธาตุองค์ประกอบ และโลหะหนัก โดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence, XRF) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างทดสอบ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณ และคุณภาพ

4.6 การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) โดยวิธี Kjeldahl digestion

4.6.1 ชั่งดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm 2 g ใส่ weighing cup หลังจากนั้นนำดินใส่ไปใน Kjeldahl flask ปริมาตร 500 ml ตวงสารผสม catalyst 1 ช้อน (ประมาณ 10 g) และเติม conc. H_2HO_4 30 ml

4.6.2 ทำการ digest เปิดไฟให้ความร้อน และหมุน flask ทุก 10 นาที

4.6.3 เคี่ยวต่ออีก 20 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น ต่อจากนั้นรินน้ำกลั่นลงใน flask 200 ml ทิ้งไว้ให้เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง

4.6.4 เติมน้ำยา H_3BO_3 2 % 50 ml และใส่ pumice 1 ช้อนชา หล่อ flask ด้วยน้ำเย็น เติม NaOH 150 ml เติมช้า ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ก๊าซ NH_3 สูญหาย ก่อนเริ่มกลั่นต่อ flask เข้ากับ condenser ผสมน้ำยาให้เข่ากัน โดยการหมุน flask ไปรอบ ๆ เร่งไฟเตาให้ของผสมใน flask เดือด และกลั่นจนเหลือปริมาตรประมาณ 150 ml ล้างปลาย condenser ปลด Kjeldahl flask แล้วนำไปหล่อเย็นด้วยน้ำประปา

4.6.5 ทำการไทเทรตของเหลวที่กลั่นได้ด้วย standard H_2SO_4 จนเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง หลังจากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจน จากสมการที่ (3.11)

$$\% \text{ nitrogen} = \frac{(A\text{-}E) \times C \times 1.4}{D} \qquad (3.11)$$

เมื่อ A เท่ากับ ปริมาณของกรดที่ใช้กับตัวอย่าง (ml)

E เท่ากับ ปริมาณของกรดที่ใช้กับ blank (ml)

C เท่ากับ ความเข้มข้นของกรด (N)

D เท่ากับ น้ำหนักของดินตัวอย่าง (g)

4.7 การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชโดยวิธี Bray II

4.7.1 ชั่งดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm 1.0 g ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 500 ml

4.7.2 เติมน้ำยาสกัด BrayII 10 ml เขย่า 1 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 ขนาด 11 cm

4.7.3 ปิเปตสารละลายที่สกัดได้ในอัตราส่วนต่อ working solution 16 ส่วน ลงในหลอดแก้ว ทิ้งไว้ครึ่งชั่วโมง นำไปอ่านค่าความเข้มข้นด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงคลื่น 882 nm

4.7.4 ทำ blank และชุดของสารละลายมาตรฐาน จากสมการที่ (3.12)

$$P = \frac{N \times DF \times (\text{sample}) \times X}{A \times DF \times (\text{standard})} \qquad (3.12)$$

เมื่อ A เท่ากับ น้ำหนักของตัวอย่างดิน (g)

N เท่ากับ น้ำยาสกัด (ml)

X เท่ากับ ค่าที่อ่านได้ เมื่อวัดเทียบกับ standard set

DF เท่ากับ อัตราส่วนการเจือจาง (dilution factor)

4.8 การวิเคราะห์โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available potassium)

4.8.1 ชั่งดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm 2.5 g ใส่ในขวดชมพู่ขนาด 50 ml

4.8.2 เติม 1 M NH_4OAc pH 7.0 ปริมาตร 25 ml เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 30 นาที

4.8.3 กรองดิน และเก็บสารละลายที่กรองได้

4.8.4 วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมด้วยเครื่อง flame spectrophotometer โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน จากสมการที่ (3.13)

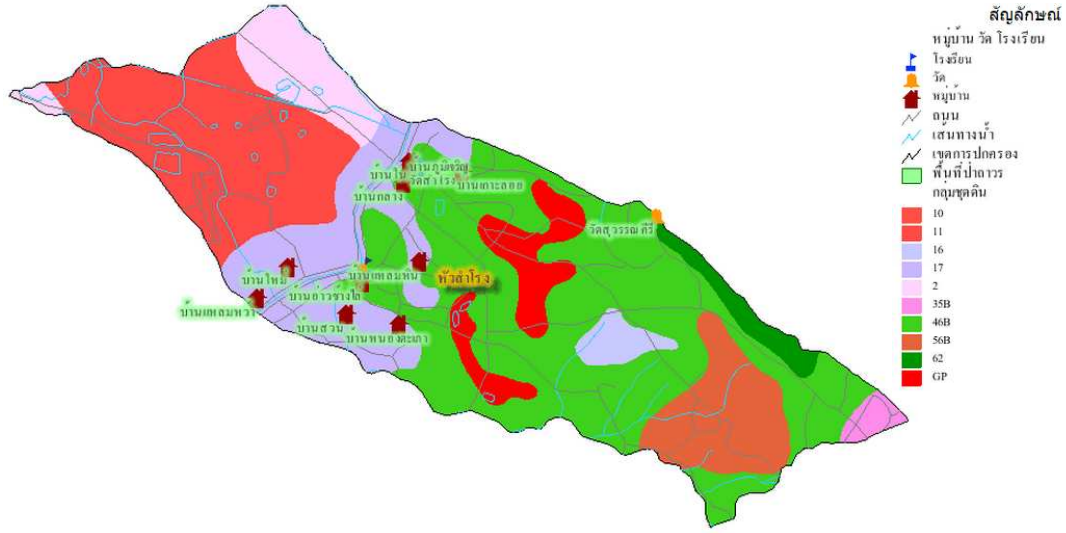
$$mg\ kg^{-1} = 10\ K \times df \qquad (3.13)$$

เมื่อ K เท่ากับ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือ

df เท่ากับ dilution factor

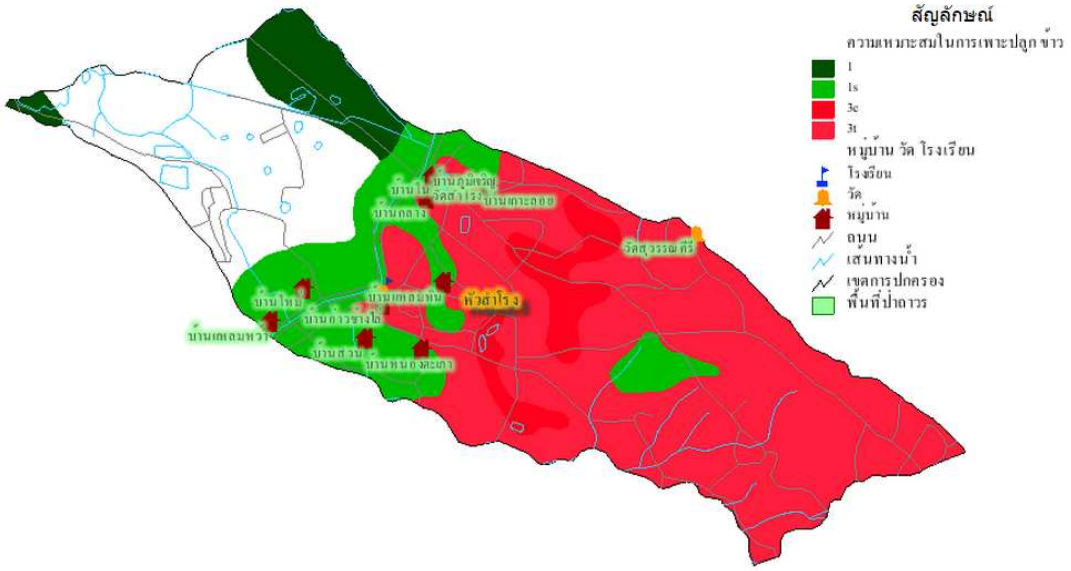
บทที่ 4
ผลการวิจัย

ตามระบบการจำแนกดินประจำชาติ ที่ใช้จำแนกดินของประเทศไทยโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการใช้ที่ดินทางการเกษตร ด้วยระบบอนุกรมวิธานดิน (soil taxonomy) และการจำแนกระดับชุดดินของดินในประเทศไทยครั้งล่าสุดในปี 2547 พบว่ามีทั้งหมด 240 ชุดดินเป็นชุดดินที่จัดตั้งในภาคเหนือ 45 ชุดดิน ภาคกลาง 44 ชุดดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 44 ชุดดิน และภาคใต้กับพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกเฉียงใต้อีก 96 ชุดดิน โดยคำว่า "ชุดดิน" ภาษาอังกฤษใช้คำว่า "soil series" ตามระบบอนุกรมวิธานดิน ถือว่า ชุดดิน เป็นขั้นการจำแนกที่ต่ำที่สุด ต่อจาก วงศ์ดิน (family) กลุ่มดินย่อย (subgroup) กลุ่มดินใหญ่ (great group) อันดับย่อย (suborder) อันดับ (order) ตามลำดับ โดยทั่วไปการตั้งชื่อชุดดินจะใช้ชื่อของสถานที่หรือบริเวณที่รู้จักกันแพร่หลาย สำหรับประเทศไทยใช้ชื่อของจังหวัด อำเภอ ตำบล หมู่บ้าน หรือชื่อท้องถิ่น บางครั้งอาจใช้ชื่อของแม่น้ำ ลำคลอง ก็ได้ โดยดินนั้นต้องมีลักษณะ และสมบัติแตกต่างจากดินอื่นๆ ที่ได้เคยจัดตั้งไว้แล้วเป็นครั้งแรก และมีอาณาเขตกว้างขวางมากพอซึ่งในประเทศไทยใช้พื้นที่ 20 ตารางกิโลเมตรเป็นเกณฑ์ จากลักษณะและสมบัติของดินในกลุ่มชุดดินต่าง ๆ ที่พบแพร่กระจายอยู่ในพื้นที่ ต. หัวสำโรง อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ลักษณะชุดดินที่พบในพื้นที่ ต.หัวสำโรง อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา

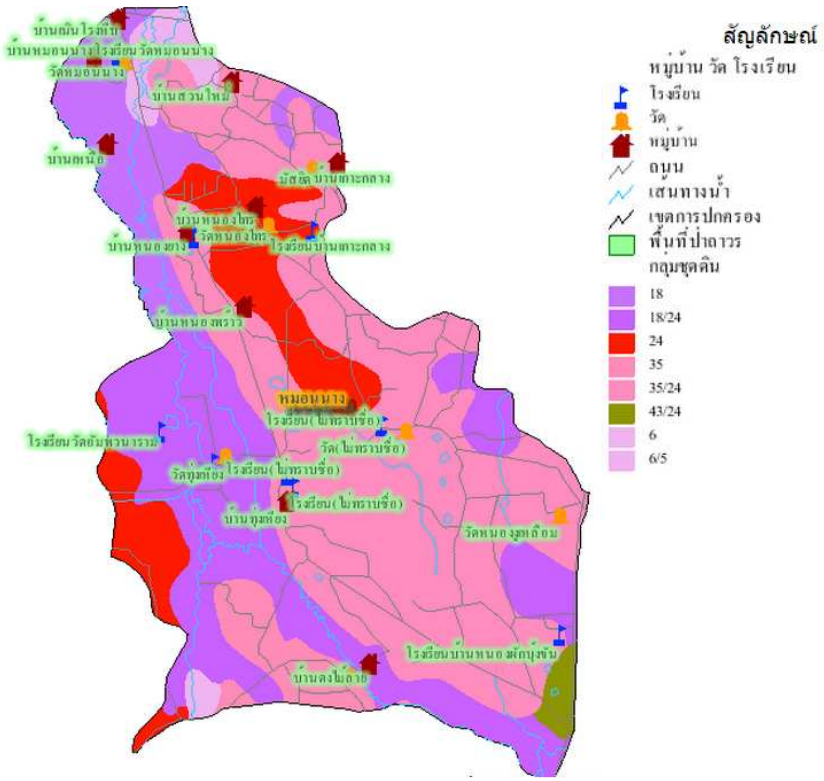
(http://www.ldd.go.th/gisweb/soildata/main_soildata.html)



ภาพที่ 16 พื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกข้าวบริเวณ ต.หัวสำโรง อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา (http://www.ldd.go.th/gisweb/soildata/main_soildata.html)

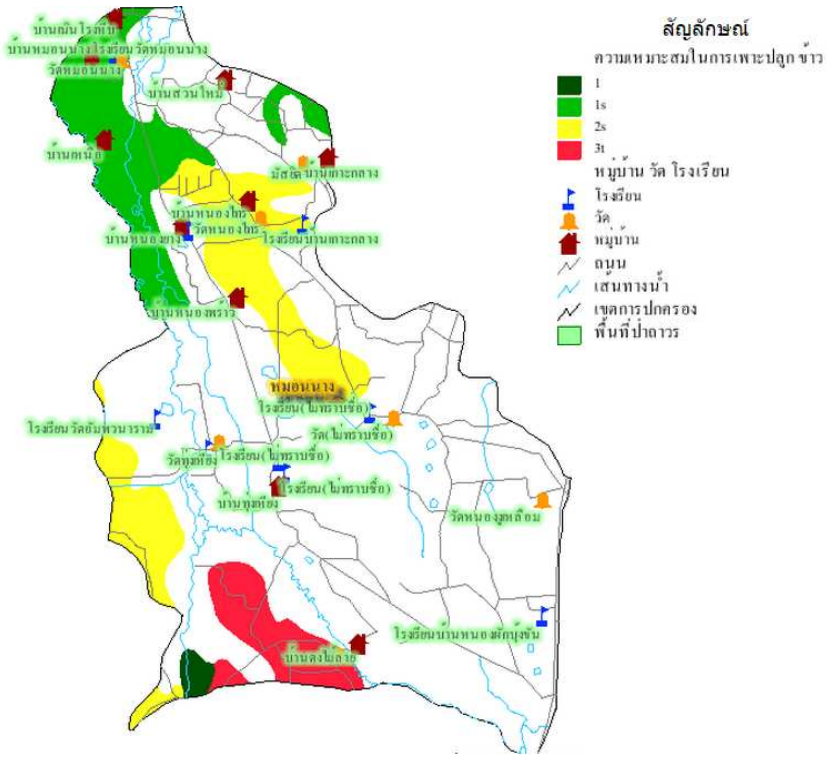
จากข้อมูลกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าลักษณะดินสอดคล้องกับชุดดินที่ 46 ตามระบบฐานข้อมูลกลุ่มชุดดิน โดยมีลักษณะทั่วไปเป็นพวกดินเหนียวปนกรวด หรือปนลูกรัง ดินมีสีน้ำตาลแดงหรือ สีเหลือง เป็นดินตื้นมาก มีการระบายน้ำดี มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ค่า pH 4.5-7.0 ซึ่งไม่ค่อยเหมาะสมในการปลูกพืชไร่ พืชผัก และไม้ผล รวมถึงไม่เหมาะสมในการทำนา อย่างไรก็ตามมีศักยภาพพอที่ใช้ปลูกหญ้าเลี้ยงสัตว์ หรือ พัฒนาเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ได้ ในกรณีที่ใช้ปลูกพืชไร่ ควรเลือกพืชไร่ที่มีรากตื้น และเมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการปลูกข้าว พบว่าดินไม่เหมาะสม เนื่องจากมีชั้นที่อัดตัวแน่นแข็ง(3c) ดังภาพที่ 16

สำหรับสมบัติของดิน ที่พบแพร่กระจายอยู่ในพื้นที่ ต. หมอนนาง อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี สามารถแสดงได้ดัง ภาพที่ 17



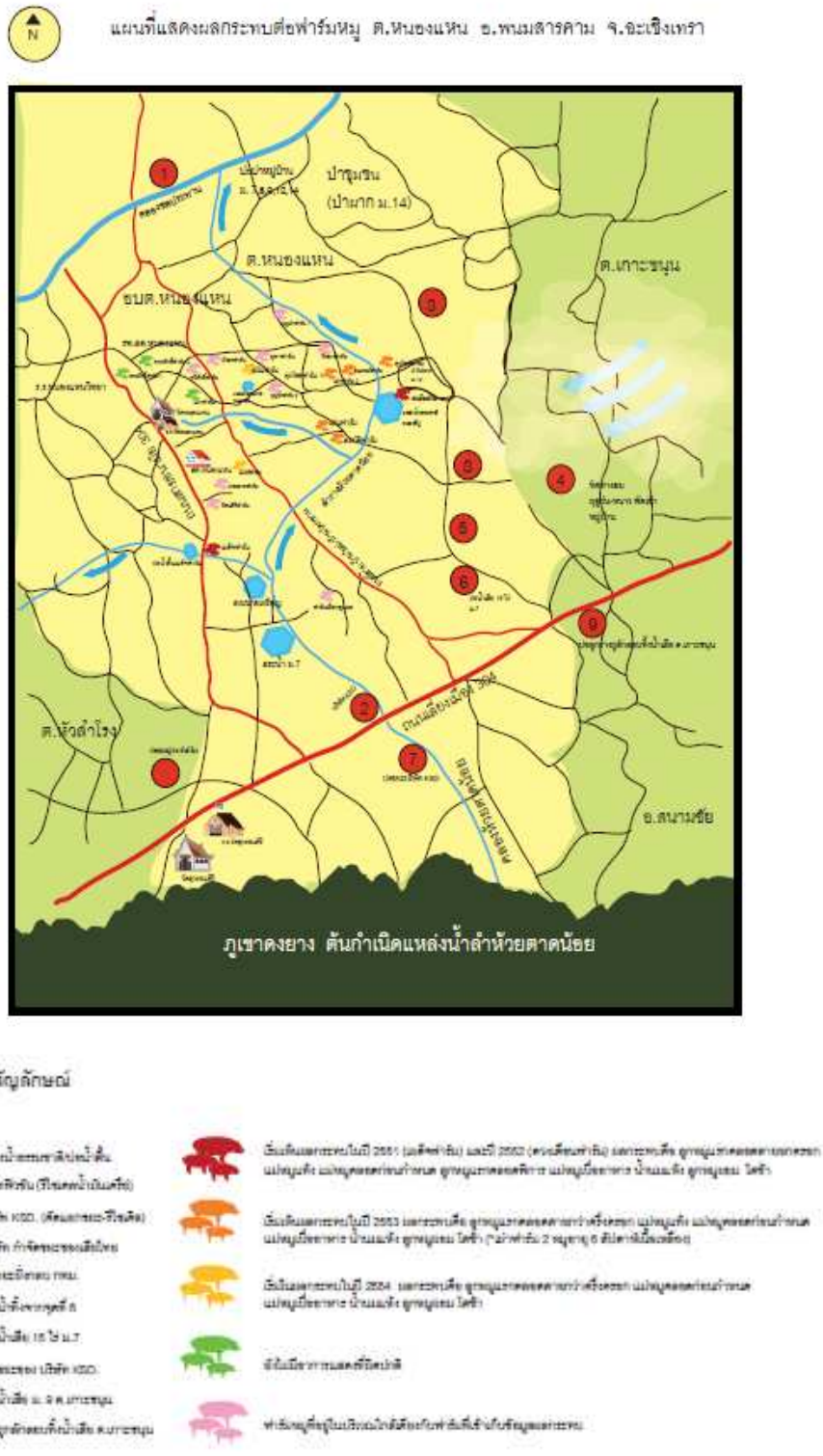
ภาพที่ 17 ลักษณะชุดดินที่พบในพื้นที่ ต. หมอนนาง อ. พนัสนิคม จ.ชลบุรี

(http://www.ldd.go.th/gisweb/soildata/main_soildata.html)



ภาพที่ 18 พื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกข้าวบริเวณ ต.หมอนนาง อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี

(http://www.ldd.go.th/gisweb/soildata/main_soildata.html)



ภาพที่ 19 บริเวณที่มีความเสี่ยงในการปนเปื้อนสารพิษ ต.หนองแหน อ.พนมสาร จ.ฉะเชิงเทรา (http://www.thia.in.th/uploads/file/August%202013/HIA%20movements/HIA_Nongnae_seminar_by_Somporn.pdf)

จากข้อมูลกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ พบว่าลักษณะดินสอดคล้องกับชุดดินที่ 18 ตามระบบฐานข้อมูลกลุ่มชุดดิน ลักษณะทั่วไปของดินเป็นดินร่วนปนทราย สีเทาปนน้ำตาลอ่อน มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติค่อนข้างต่ำ ดินชั้นบน pH 6.0-7.0 ส่วนดินชั้นล่าง 5.5-6.5 มีศักยภาพเหมาะสมในการทำนามากกว่าการปลูกพืชไร่ พืชผัก และผลไม้ เมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการปลูกข้าว พบว่าดินมีความเหมาะสมแต่โครงสร้างดิน เนื้อดินค่อนข้างเหนียวหรือเป็นทราย (1s)

ซึ่งจากข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ใน ต. หัวสำโรง อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา ไม่เหมาะสมในการเพาะปลูกข้าว แต่ในปัจจุบันยังพบว่ามีเกษตรกรได้ทำการเพาะปลูกข้าวในเขตพื้นที่ดังกล่าว ประกอบกับ บริเวณพื้นที่ดังกล่าวอยู่ใกล้เคียงกับ พื้นที่ ต. หนองแหน อ. พนมสารคาม จ. ฉะเชิงเทรา ดังภาพที่ 18 ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวได้เป็นข่าว เกี่ยวกับการลักลอบทิ้งกากอุตสาหกรรม นอกจากนี้บริเวณดังกล่าวยังพบบ่อฝังกลบของเสียทั้งอันตรายและไม่เป็นอันตราย ดังภาพที่ 19 ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาถึงสมบัติทางด้านกายภาพ และเคมีของดินในพื้นที่เพาะปลูกข้าวใน จ. ฉะเชิงเทรา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมในการเพาะปลูกข้าว และเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในการปนเปื้อนสารพิษ โดยทำการเปรียบเทียบกับ พื้นที่ใน จ. ชลบุรี ซึ่งตามข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้แสดงให้เห็นว่าเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมในการเพาะปลูกข้าว และไม่มีความเสี่ยงในการปนเปื้อนสารพิษจากอุตสาหกรรม โดยผลการสามารถแสดงผลการศึกษาได้ดังนี้

สมบัติด้านกายภาพ

1. ความหนาแน่นดินรวม

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นดินรวมตามสมการที่ (3.5) ของดินนาใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา พบว่าดินชั้นบนมีความหนาแน่นดินเฉลี่ย 1.37 g/ cm^3 ส่วนดินชั้นล่างมีค่า ความหนาแน่นดินเฉลี่ย 1.37 g/ cm^3 จากการเปรียบเทียบความหนาแน่นดินรวมบริเวณดินชั้นบนกับดินชั้นล่างพบว่ามีค่าความหนาแน่นดินใกล้เคียงกัน สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ความหนาแน่นดินรวมบริเวณ อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	ความหนาแน่นดินรวม (g/ cm^3)	
	ดินนาชั้นบน	ดินนาชั้นล่าง
1	1.41	1.40
2	1.35	1.39
3	1.33	1.34
4	1.40	1.37
5	1.37	1.36
ค่าเฉลี่ย	1.37	1.37

สำหรับผลจากการวิเคราะห์ความหนาแน่นดินใน อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรีพบว่าดินชั้นบนมีความหนาแน่นดินเฉลี่ย 1.14 g/ cm^3 ส่วนดินนาชั้นล่างมีความหนาแน่นดินเฉลี่ย 1.35 g/ cm^3 จากการเปรียบเทียบความหนาแน่นรวมของดินชั้นบนกับดินชั้นล่าง พบว่าความหนาแน่นดินบริเวณชั้นล่างมีค่าสูงกว่าความหนาแน่นดินชั้นบน ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ความหนาแน่นดินรวมของดินนา อ. พนัสนิคม จ.ชลบุรี

ตัวอย่าง	ความหนาแน่นดินรวม (g/ cm^3)	
	ดินนาชั้นบน	ดินนาชั้นล่าง
1	1.12	1.35
2	1.14	1.35
3	1.15	1.34
4	1.11	1.36
5	1.19	1.36
ค่าเฉลี่ย	1.14	1.35

2. ความหนาแน่นอนุภาคดิน

ผลจากการวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคตามสมการที่ (3.6) ของดินใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา พบว่า ดินนาชั้นบนมีความหนาแน่นอนุภาคของดินเฉลี่ย 2.52 g/ cm^3 ส่วนดินชั้นล่างมีความหนาแน่นอนุภาคของดินเฉลี่ย 2.53 g/ cm^3 จากการเปรียบเทียบความหนาแน่นอนุภาคของดินบริเวณดินชั้นบนกับดินชั้นล่าง พบว่ามีค่าความหนาแน่นอนุภาคของดินใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ความหนาแน่นอนุภาคของดิน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	ความหนาแน่นอนุภาคของดิน (g/ cm^3)	
	ดินนาชั้นบน	ดินนาชั้นล่าง
1	2.49	2.46
2	2.58	2.58
3	2.54	2.50
4	2.52	2.60
5	2.48	2.53
ค่าเฉลี่ย	2.52	2.53

สำหรับผลจากการวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคของดินใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี พบว่า ดินนาชั้นบนมีค่าความหนาแน่นอนุภาคของดินเฉลี่ย 2.25 g/ cm^3 ส่วนดินนาชั้นล่างมีความหนาแน่นของอนุภาคดินเฉลี่ย 2.42 g/ cm^3 จากการเปรียบเทียบความหนาแน่นอนุภาคของดินบริเวณดินชั้นบนกับดินชั้นล่าง พบว่ามีค่าความหนาแน่นอนุภาคของดินชั้นล่างมีค่าสูงกว่าดินชั้นบน สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ความหนาแน่นอนุภาคของดินนา อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

ตัวอย่าง	ความหนาแน่นอนุภาคของดิน (g/ cm^3)	
	ดินนาชั้นบน	ดินนาชั้นล่าง
1	2.35	2.34
2	2.25	2.41
3	2.22	2.41
4	2.14	2.44
5	2.30	2.52
ค่าเฉลี่ย	2.25	2.42

3. ความพรุนรวม

ผลการวิเคราะห์ความพรุนรวมของดินตามสมการที่ (3.7) ใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา พบว่าดินชั้นบนมีความพรุนรวม เฉลี่ย 45.58 % ส่วนดินนาชั้นล่างมีความพรุนรวมเฉลี่ย 45.83 % จากการเปรียบเทียบความพรุนรวมดินนาบริเวณดินนาชั้นบนกับดินนาชั้นล่าง พบว่าดินชั้นล่างมีความพรุนสูงกว่าดินชั้นบน และสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความพรุนรวมของดินนาใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	ความพรุนรวมของดิน (%)	
	ดินนาชั้นบน	ดินนาชั้นล่าง
1	43.37	43.09
2	47.67	46.12
3	47.64	46.40
4	44.44	47.31
5	44.76	46.25
ค่าเฉลี่ย	45.58	45.83

สำหรับผลการวิเคราะห์ความพรุนรวมของดินใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี พบว่าดินชั้นบนมีความพรุนรวมของดินเฉลี่ย 49.25 % ส่วนดินชั้นล่างมีความพรุนเฉลี่ย 44.19 % เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความพรุนรวมของดินบริเวณดินนาชั้นบนกับดินนาชั้นล่าง พบว่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนรวมดินนาชั้นบนสูงกว่าดินนาชั้นล่าง และสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ความพรุนของดินนาใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

ตัวอย่าง	ความพรุนรวมของดิน (%)	
	ดินนาชั้นบน	ดินนาชั้นล่าง
1	52.34	42.30
2	49.33	43.98
3	48.20	44.40
4	48.13	44.26
5	48.26	46.03
ค่าเฉลี่ย	49.25	44.19

4. ความชื้นในดิน

จากการวิเคราะห์ความชื้นของดินนาตามสมการที่ (3.8) ใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา พบว่าดินชั้นบนมีความชื้นเฉลี่ย 23.98 % ส่วนดินชั้นล่างมีความชื้นเฉลี่ย 14.58 % จากการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินบริเวณดินชั้นบนกับดินชั้นล่าง พบว่าดินชั้นบนมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินความชื้นสูงกว่าดินชั้นล่าง และสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ความชื้นในดินนา อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	
	ดินนาชั้นบน	ดินนาชั้นล่าง
1	24.77	14.75
2	27.76	13.90
3	25.90	14.15
4	24.06	14.83
5	17.17	13.56
ค่าเฉลี่ย	23.93	14.24

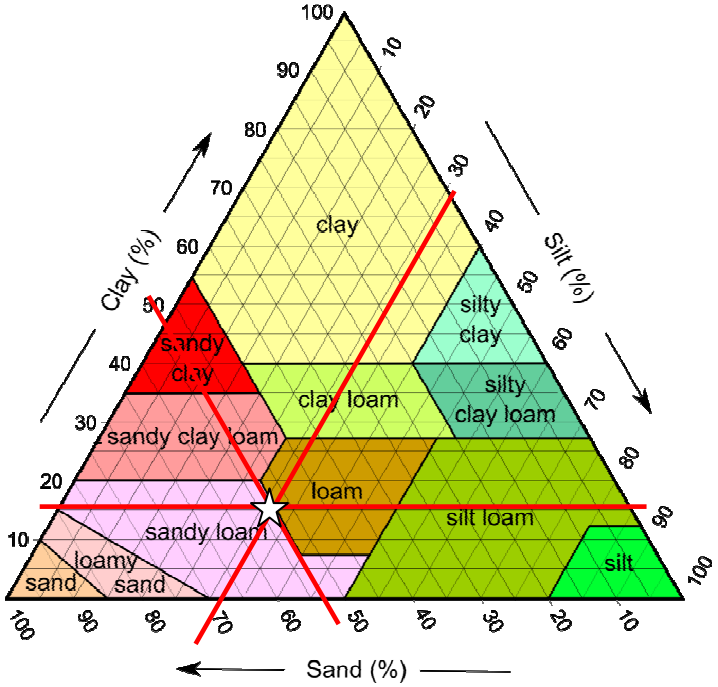
สำหรับผลการวิเคราะห์ดินใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี พบว่าดินชั้นบนมีความชื้นเฉลี่ย 38.57 % ส่วนดินชั้นล่างมีเฉลี่ย 18.78 % เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นบริเวณดินนาชั้นบนกับดินนาชั้นล่าง พบว่าดินนาชั้นบนมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นความชื้นสูงกว่าดินนาชั้นล่าง สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ความชื้นในดินนา อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

ตัวอย่าง	ความชื้น (%)	
	ดินนาชั้นบน	ดินนาชั้นล่าง
1	46.75	25.36
2	35.22	16.99
3	36.42	18.83
4	39.64	16.11
5	34.83	16.57
ค่าเฉลี่ย	38.57	18.78

5. องค์ประกอบอนุภาคของดิน

จากการศึกษาองค์ประกอบอนุภาคของดิน ในนาปลูกข้าวบริเวณ อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา จากสมการที่ (3.1)-(3.4) และนำมาหาชนิดของดินด้วยตารางจำแนกองค์ประกอบอนุภาคดินตามมาตรฐาน USDA ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ตารางจำแนกองค์ประกอบอนุภาคดินตามมาตรฐาน USDA (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

พบว่าดินนาชั้นบนที่ระดับความลึก 0-15 cm มีองค์ประกอบอนุภาคของทราย 53.5 % ทรายแป้ง 31.3 % และดินเหนียว 15.3 % ดังนั้นเนื้อดินบริเวณดังกล่าวสอดคล้องกับดินร่วนปนทราย สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 องค์ประกอบอนุภาคของดินชั้นบนบริเวณ อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา

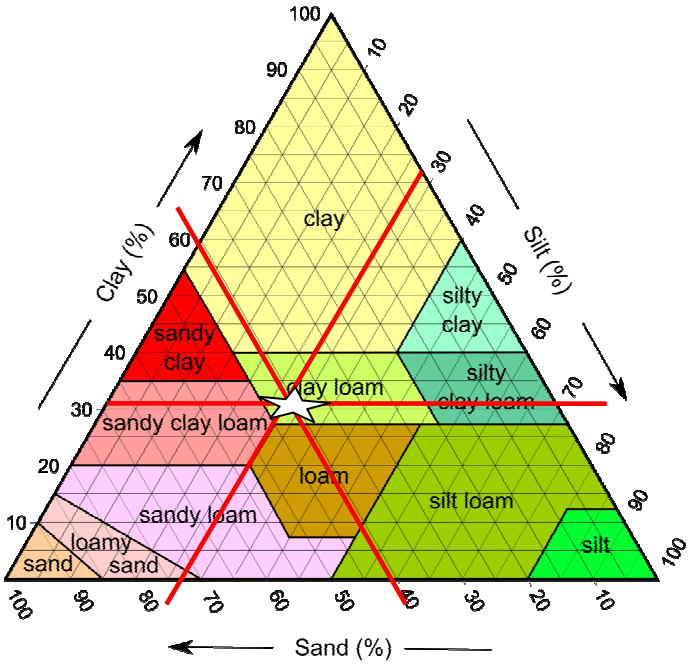
ตัวอย่าง	ชั้นดิน	องค์ประกอบอนุภาคของดิน (%)			ชนิดของดิน
		ทราย	ทรายแป้ง	ดินเหนียว	
1	ดินชั้นบน	53.9	31.3	14.9	ดินร่วนปนทราย
2	ดินชั้นบน	57.9	29.3	12.9	ดินร่วนปนทราย
3	ดินชั้นบน	51.8	31.3	16.9	ดินร่วนปนทราย
4	ดินชั้นบน	49.9	33.3	16.9	ดินร่วนปนทราย
5	ดินชั้นบน	53.8	31.3	14.9	ดินร่วนปนทราย
ค่าเฉลี่ย	ดินชั้นบน	53.5	31.3	15.3	ดินร่วนปนทราย

สำหรับองค์ประกอบของอนุภาคดินนาชั้นล่างที่ระดับความลึก 15-30 cm มีองค์ประกอบอนุภาคของทราย 51.4 %, ทรายแป้ง 32.1 % และดินเหนียว 16.5 % ดังนั้นเนื้อดินบริเวณดังกล่าวสอดคล้องกับดินร่วนปนทรายเช่นกัน โดยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบอนุภาคของดินในแต่ละตัวอย่าง สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 องค์ประกอบอนุภาคของดินชั้นล่างบริเวณ อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	ชั้นดิน	องค์ประกอบอนุภาคของดิน (%)			ชนิดของดิน
		ทราย	ทรายแป้ง	ดินเหนียว	
1	ดินชั้นล่าง	53.8	29.3	16.9	ดินร่วนปนทราย
2	ดินชั้นล่าง	53.8	33.3	12.9	ดินร่วนปนทราย
3	ดินชั้นล่าง	51.9	31.3	16.9	ดินร่วนปนทราย
4	ดินชั้นล่าง	45.9	35.3	18.9	ดินร่วนปนทราย
5	ดินชั้นล่าง	51.3	31.3	16.5	ดินร่วนปนทราย
ค่าเฉลี่ย	ดินชั้นล่าง	51.4	32.1	16.5	ดินร่วนปนทราย

สำหรับผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบอนุภาคของดินใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี พบว่าดินนาชั้นบนที่ระดับความลึก 0-15 cm มีค่าเฉลี่ยของปริมาณอนุภาคทราย 40.8 % ปริมาณอนุภาคทรายแป้ง 27.9 % และปริมาณอนุภาคดินเหนียว 31.3 % ดังนั้นเนื้อดินบริเวณดังกล่าวสอดคล้องกับดินร่วนปนดินเหนียว เมื่อจำแนกองค์ประกอบอนุภาคดินตามมาตรฐาน USDA ดังภาพที่ 21 และสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 17



ภาพที่ 21 ตารางจำแนกองค์ประกอบอนุภาคดินตามมาตรฐาน USDA (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541)

ตารางที่ 17 องค์ประกอบอนุภาคของดินชั้นบนบริเวณ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

ตัวอย่าง	ชั้นดิน	องค์ประกอบอนุภาคของดิน (%)			ชนิดของดิน
		ทราย	ทรายแป้ง	ดินเหนียว	
1	ดินชั้นบน	41.8	27.3	30.9	ดินร่วนปนดินเหนียว
2	ดินชั้นบน	41.8	27.3	30.9	ดินร่วนปนดินเหนียว
3	ดินชั้นบน	40.9	28.3	30.9	ดินร่วนปนดินเหนียว
4	ดินชั้นบน	39.8	27.3	32.9	ดินร่วนปนดินเหนียว
5	ดินชั้นบน	39.8	27.3	30.9	ดินร่วนปนดินเหนียว
ค่าเฉลี่ย	ดินชั้นบน	40.8	27.9	31.3	ดินร่วนปนดินเหนียว

ส่วนองค์ประกอบของดินนาชั้นล่างที่ระดับความลึก 15-30 cm มีปริมาณอนุภาคของทราย 40.8 % อนุภาคของทรายแป้ง 27.9 % และอนุภาคของดินเหนียว 31.3 % ดังนั้นเนื้อดินบริเวณดังกล่าวสอดคล้องกับดินร่วนปนดินเหนียวเช่นกัน โดยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบอนุภาคของดินในแต่ละตัวอย่าง สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 18

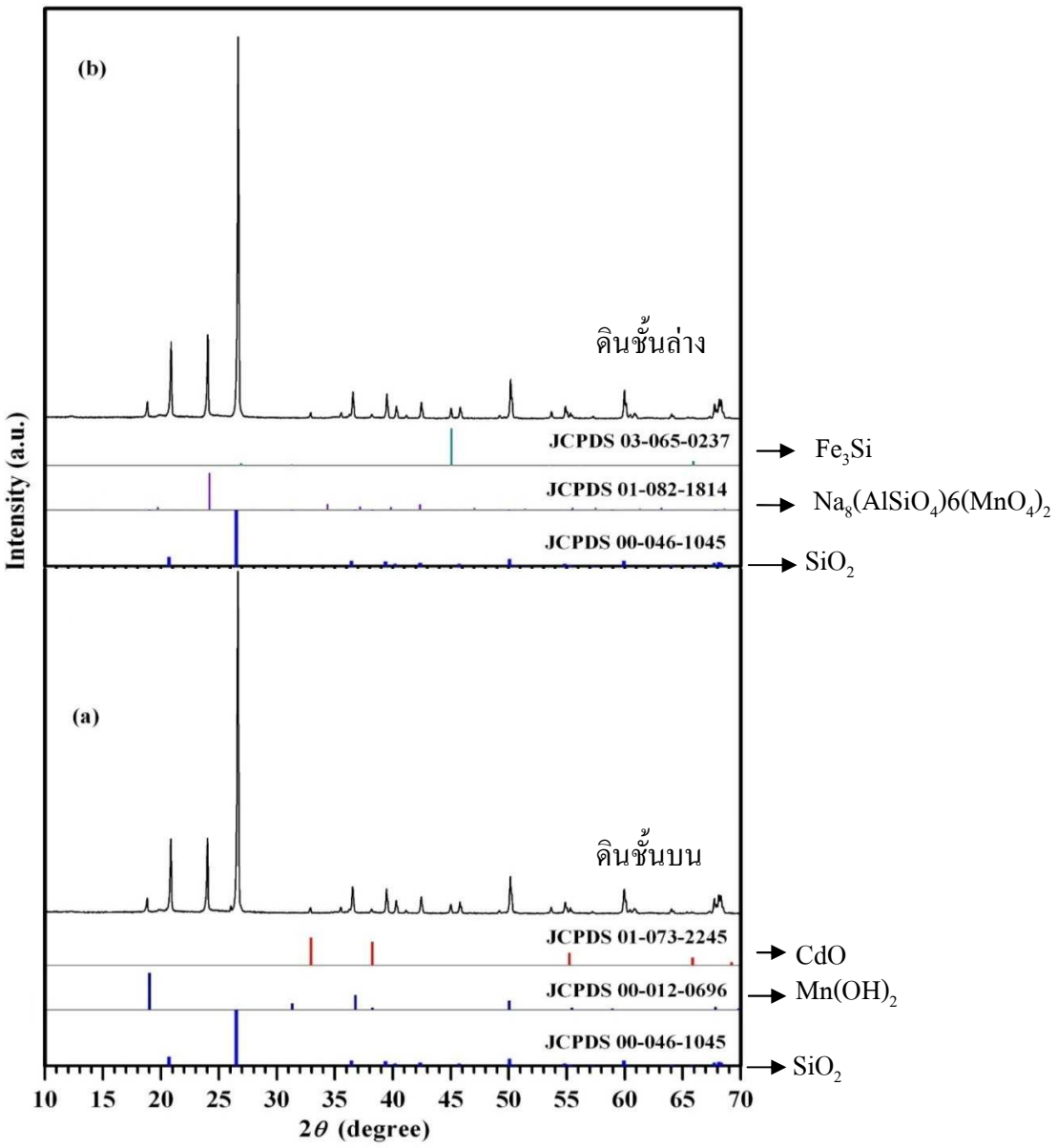
ตารางที่ 18 องค์ประกอบอนุภาคของดินชั้นล่างบริเวณ อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี

ตัวอย่าง	ชั้นดิน	องค์ประกอบอนุภาคของดิน (%)			ชนิดของดิน
		ทราย	ทรายแป้ง	ดินเหนียว	
1	ดินชั้นบน	41.8	27.3	30.9	ดินร่วนปนดินเหนียว
2	ดินชั้นบน	41.8	27.3	30.9	ดินร่วนปนดินเหนียว
3	ดินชั้นบน	40.9	28.3	30.9	ดินร่วนปนดินเหนียว
4	ดินชั้นบน	39.8	27.3	32.9	ดินร่วนปนดินเหนียว
5	ดินชั้นบน	39.8	29.3	30.9	ดินร่วนปนดินเหนียว
ค่าเฉลี่ย	ดินชั้นบน	40.8	27.9	31.3	ดินร่วนปนดินเหนียว

ซึ่งจากการศึกษาความหนาแน่นดินรวม ความหนาแน่นอนุภาคดิน ความพรุนรวม ความชื้นในดิน และองค์ประกอบของอนุภาคดินมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์การจำแนกดินของกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ใช้เกณฑ์พื้นที่ 20 km^2 โดยที่ดินนั้นต้องมีลักษณะ และสมบัติที่เหมือนกัน ซึ่งสำหรับการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดยใช้ตัวอย่างดินรวมตามวิธีการการเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์ ของกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยนำดินในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ปริมาณเท่า ๆ กัน มารวมในถังพลาสติก แล้วคลุกเคล้าดินในถังให้เข้ากันอย่างดี จากนั้นเทดินลงกองบนแผ่นพลาสติกคลุกเคล้าให้เข้ากันดีอีกครั้งหนึ่งทำให้ได้ตัวอย่างดินรวม (composite sample) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของดิน หลังจากนั้น พูนดินให้เป็นกองและทำเครื่องหมาย + บนยอดกองดินเพื่อแบ่งดินออกเป็นส่วน ๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

6. สมบัติทางแร่

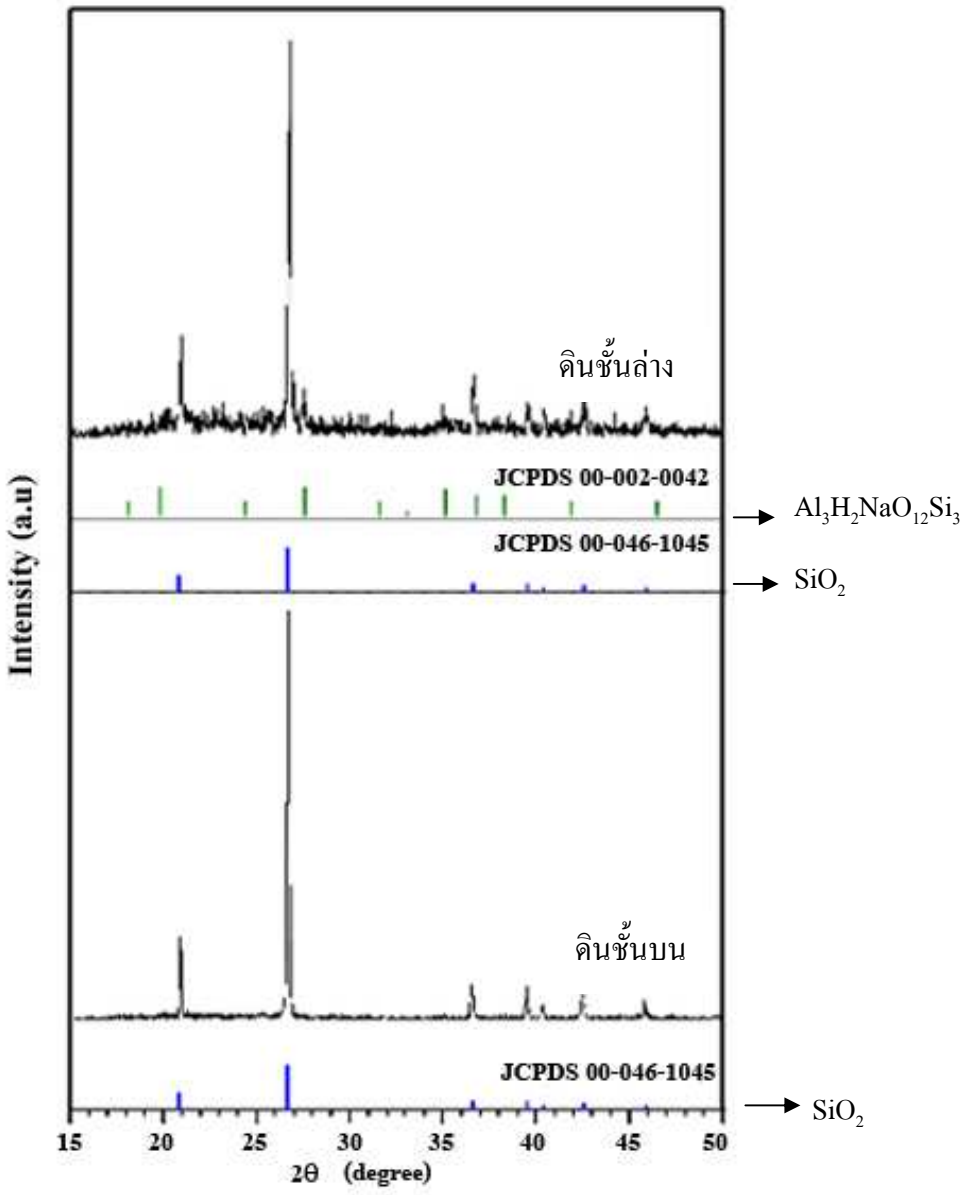
สำหรับดินส่วนที่นำมาศึกษาลักษณะทางโครงสร้างผลึก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ได้ทำการกำหนดสัญลักษณ์ สำหรับดินชั้นบน และดินชั้นล่างของพื้นที่ใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ พบว่าบริเวณดินชั้นบน และ ดินชั้นล่างมีลักษณะรูปแบบของยอดแหลมในตำแหน่งที่ 26° ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบควอตซ์ โดยรูปแบบสเปกตรัมจากการวิเคราะห์ สอดคล้องสเปกตรัมของฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 00-046-1045 ที่แสดงรูปแบบของซิลิกอนออกไซด์ และหมายเลข 00-0120696 แสดงรูปแบบของแมงกานีสไฮดรอกไซด์ และหมายเลข 01-073-2245 แสดงรูปแบบของแคดเมียมออกไซด์ รายละเอียดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 แผนภาพ XRD ของพื้นที่ปลูกข้าวในดินชั้นบน และดินชั้นล่าง
อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา ด้วยเทคนิคการเลี่ยวเบนของรังสีเอกซ์

ส่วนดินชั้นล่างพบว่ามีลักษณะของการเลี่ยวเบนของรังสีเอกซ์ สอดคล้องกับสเปกตรัมของฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 01-082-1814 ที่แสดงรูปแบบของโซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกตแมงกานีสออกไซด์ และหมายเลข 03-065-0237 แสดงรูปแบบของเหล็กซิลิกอน

สำหรับการศึกษาลักษณะทางโครงสร้างผลึก ของดินชั้นบน และดินชั้นล่างของพื้นที่ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี จากผลการวิเคราะห์ พบว่ามียอดแหลมที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 26° ซึ่งสอดคล้องเป็นโครงสร้างแบบควอตซ์ และสเปกตรัมสอดคล้องกับฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 00-046-1045 ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 แผนภาพ XRD ของพื้นที่ปลูกข้าวในดินชั้นบน (CH-R1) และดินชั้นล่าง (CH-R2) อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี ด้วยเทคนิคการเลี่ยวเบนของรังสีเอกซ์

ส่วนบริเวณดินชั้นล่างเป็นโครงสร้างแบบผสมระหว่างควอตซ์ และอิลไลต์ซึ่งสอดคล้องกับสเปกตรัมของฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 00-002-0042

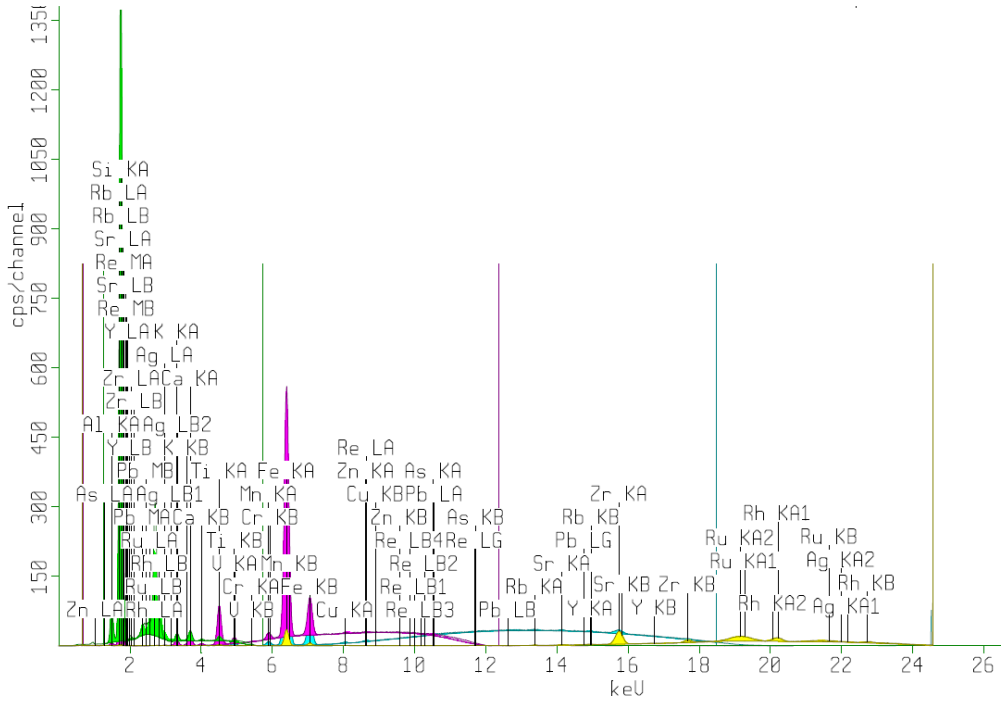
จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพของดินในพื้นที่เพาะปลูกข้าวในเขตพื้นที่ อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา และใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี พบว่าดินใน จ. ฉะเชิงเทรา มีลักษณะของดิน เป็นดินร่วนปนทราย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วย เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ คือ ดินมีโครงสร้างแบบควอตซ์ เนื่องจากมีทรายอยู่ในสัดส่วนที่มากกว่า 80 % ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองความหนาแน่นดินรวม และความชื้นในดิน แสดงให้เห็นว่า ดินใน จ. ฉะเชิงเทรา มีความหนาแน่นดินรวมมากกว่า จ. ชลบุรี โดยดินใน จ. ชลบุรีมีทรายอยู่ในสัดส่วนของทรายน้อยกว่า 70 % จึงทำให้ดินในจังหวัดชลบุรี มีความพรุน และความชื้นมากกว่า จ. ฉะเชิงเทรา นอกจากนั้น ดินใน จ. ชลบุรีมีโครงสร้างผสมระหว่างควอตซ์ และอิลไลต์ ซึ่งตรงกับลักษณะของดินที่เป็น ดินร่วนปนดินเหนียว ดังนั้นเพื่อต้องการทราบถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ดังกล่าว จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์สมบัติทางเคมี เพื่อศึกษาธาตุองค์ประกอบ ธาตุอาหารสำหรับพืช และสมบัติด้านอื่น ๆ ต่อไป

สมบัติด้านเคมี

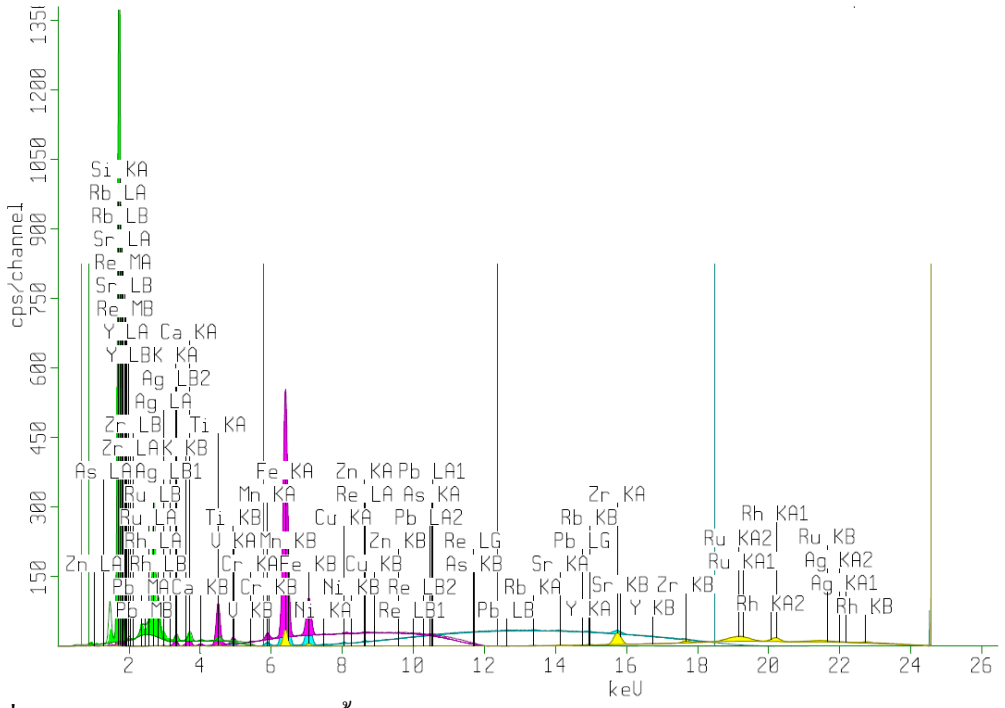
จากผลการศึกษาลักษณะทางโครงสร้างผลึก ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และข้อมูลข่าวเกี่ยวกับ การลักลอบทิ้งกากอุตสาหกรรม รวมถึงการมีบ่อฝังกลบของเสียทั้งอันตรายและไม่อันตรายในพื้นที่ ซึ่งสเปกตรัมของดินชั้นบนใน จ. ฉะเชิงเทรานั้น มีสเปกตรัมของแมงกานีสไฮดรอกไซด์ และแคดเมียมออกไซด์ ในขณะที่ สเปกตรัมของดินชั้นบนของ จ.ชลบุรี มีเพียงซิลิกอนไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นเพื่อเป็นการศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบของธาตุโลหะในดินด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

1. ธาตุองค์ประกอบของดิน

จากการศึกษาองค์ประกอบในดินนา อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทราด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ พบว่าดินชั้นบน และดินชั้นล่างพบ ซิลิกอน (Si), อะลูมิเนียม (Al) และ อินทรีย์วัตถุ (CHO) เป็นธาตุองค์ประกอบหลักในดิน โดยพบปริมาณของ อินทรีย์วัตถุในปริมาณที่สูงที่สุดทั้งในดินชั้นบน และในดินชั้นล่าง เมื่อพิจารณากลุ่มธาตุโลหะหนัก ได้แก่ โครเมียม (Cr) , ทองแดง (Cu), ตะกั่ว (Pb), สังกะสี (Zn), และสารหนู (As) โดยพบว่าดินชั้นบน และดินชั้นล่าง มีปริมาณธาตุอยู่ในเกณฑ์น้อยกว่าค่ามาตรฐานติดตามตรวจสอบที่กำหนดไว้ จึงไม่ส่งผลกระทบ และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและ สิ่งแวดล้อม โดยรายละเอียดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 24 ,25 และตารางที่ 19



ภาพที่ 24 องค์ประกอบของดินนาชั้นบนใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทราด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

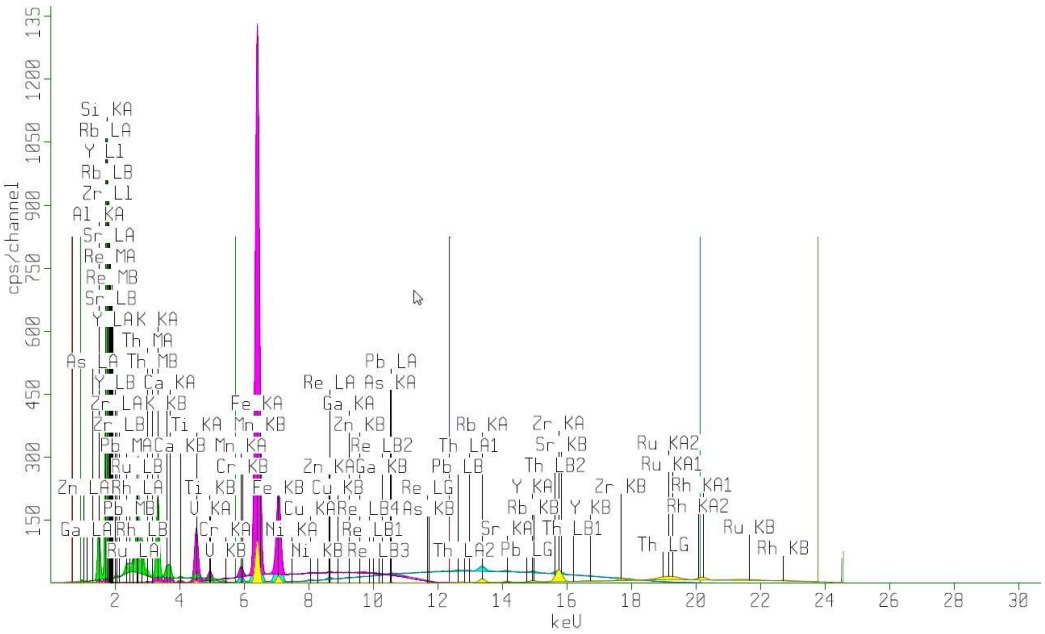


ภาพที่ 25 องค์ประกอบของดินนาชั้นล่างใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทราด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

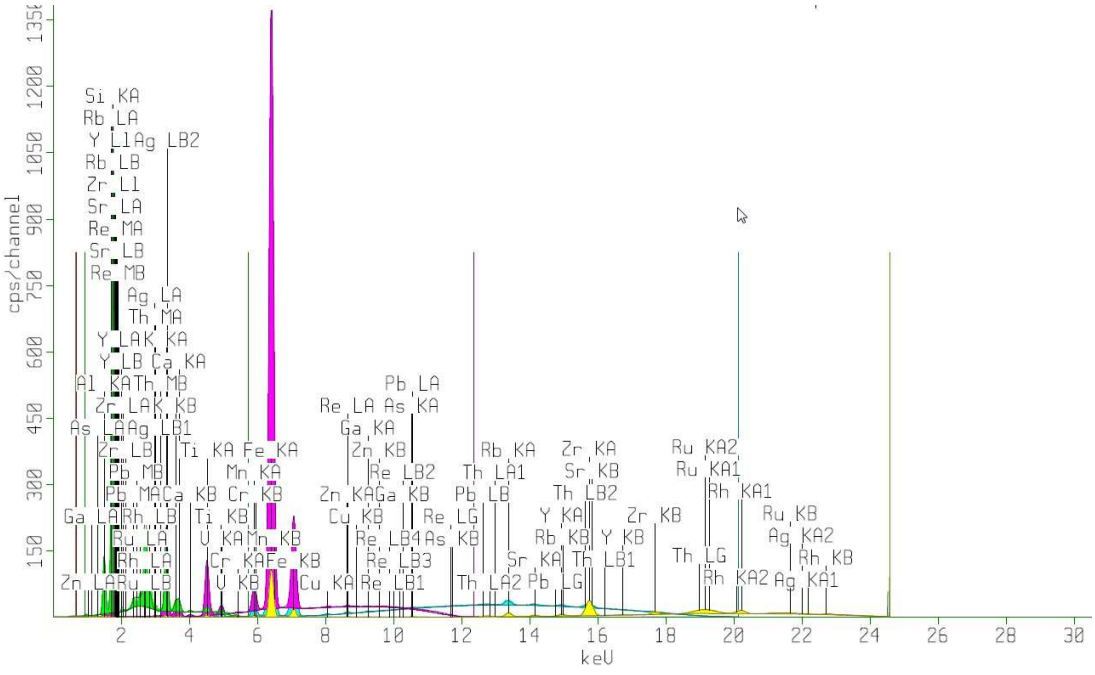
ตารางที่ 19 องค์ประกอบของดินและเกณฑ์มาตรฐานติดตามตรวจสอบโลหะหนักในดิน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

องค์ประกอบของดิน	ดินชั้นบน (Wt %)	ดินชั้นล่าง (Wt %)	เกณฑ์มาตรฐานติดตามตรวจสอบโลหะหนักในดิน (Wt %)
Si	45.621	9.579	-
CHO	45.503	89.756	-
Al	7.251	-	-
Fe	0.810	0.328	-
Ti	0.312	0.137	-
Ca	0.211	0.082	-
K	0.167	0.067	-
Ag	0.047	0.021	-
Zr	0.042	0.016	-
Mn	0.022	0.008	-
Cr	0.002	0.001	0.080
Cu	0.002	0.001	0.045
Zn	0.002	0.001	0.070
Pb	0.001	0	0.055
As	0	0	0.003

สำหรับพื้นที่ใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี พบ ธาตุ ซิลิกอน (Si), อะลูมิเนียม (Al) และอินทรีย์วัตถุ (CHO) เป็นธาตุองค์ประกอบหลักในดิน โดยพบปริมาณของ อินทรีย์วัตถุในปริมาณที่สูงที่สุดทั้งในดินชั้นบนและในดินชั้นล่าง เมื่อพิจารณากลุ่มธาตุโลหะหนัก ได้แก่ โครเมียม (Cr) , ทองแดง (Cu) , ตะกั่ว (Pb), สังกะสี (Zn), และสารหนู (As) โดยพบว่าดินชั้นบน และดินชั้นล่าง มีปริมาณธาตุอยู่ในเกณฑ์น้อยกว่าค่ามาตรฐานติดตามตรวจสอบที่กำหนดไว้ และสอดคล้องกับ กิตติศักดิ์ชัย แนมจันทร์ ที่ได้ทำการศึกษาปริมาณธาตุองค์ประกอบในดินตั้งแต่ระดับความลึกตั้งแต่ 1-31 m พบว่า Si เป็นธาตุที่พบมากที่สุด ส่วนธาตุ Al, K, Cu, Fe, Mg, Na, Zn, Ca และ Ti เป็นธาตุที่พบในปริมาณที่น้อยกว่า 10 Wt % ดังภาพที่ 26, 27 และตารางที่ 20



ภาพที่ 26 ปริมาณของธาตุองค์ประกอบของดินนาชั้นบนใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์



ภาพที่ 27 ธาตุองค์ประกอบของดินนาชั้นล่างใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

ตารางที่ 20 องค์ประกอบในดินนาและเกณฑ์มาตรฐานติดตามตรวจสอบโลหะหนักในดิน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

องค์ประกอบของดิน	ดินชั้นบน (Wt %)	ดินชั้นล่าง (Wt %)	เกณฑ์มาตรฐานติดตามตรวจสอบโลหะหนักในดิน (Wt %)
Si	37.418	39.082	-
Al	13.467	12.656	-
Fe	2.365	2.596	-
K	2.013	2.019	-
Ti	0.545	0.548	-
Ca	0.304	0.283	-
Zr	0.049	0.062	-
Mn	0.047	0.117	-
Zn	0.005	0.004	0.070
Cr	0.004	0.004	0.080
Cu	0.004	0.004	0.045
Pb	0.003	0.003	0.055
Ni	0.002	-	0.045
As	0.001	0.001	0.030
CHO	43.733	42.503	-

จากผลการศึกษาถึงธาตุองค์ประกอบในดินชั้นบน และดินชั้นล่าง ใน อ แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา และใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี พบว่าองค์ประกอบหลักของดินเป็น อินทรีย์วัตถุ โดยใน จ.ฉะเชิงเทรา ดินชั้นล่างมีอินทรีย์วัตถุมากกว่าดินชั้นบน ในขณะที่ จ. ชลบุรี มีปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินใกล้เคียงกันระหว่างดินชั้นบนกับดินชั้นล่างโดยดินชั้นบนมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่าเล็กน้อย ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารของพืชทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงอินทรีย์วัตถุด้วยวิธีทางเคมีต่อไป

2. อินทรียวัตถุในดิน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดินตามสมการที่ (16) บริเวณ อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา และ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี บริเวณดินชั้นบนมีค่า 0.67 % และ 2.50 % ตามลำดับ สำหรับดินชั้นล่างมีค่า 1.56 % และ 1.08 % ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาจากเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ที่ใน จ. ฉะเชิงเทรา ดินชั้นบนมี อินทรียวัตถุในดิน น้อยกว่าดินชั้นล่าง และใน จ. ชลบุรี ดินชั้นบนมี อินทรียวัตถุในดินมากกว่าดินชั้นล่าง นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาถึงสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินตามเกณฑ์มาตรฐานของดินที่ดี คือมีอินทรียวัตถุในดินมากกว่า 2.5 % พบว่าดินใน จ.ชลบุรีเป็นอยู่ในเกณฑ์ดินดี คือ อินทรียวัตถุในดินค่อนข้างสูง และดินใน จ. ฉะเชิงเทรา เป็นดินที่มีอินทรียวัตถุในดินระดับต่ำ ต้องปรับปรุงคุณภาพ

3. ค่า pH

ค่า pH ของดินนาชั้นบนใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา และใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี มีค่า 5.77 และมีค่า pH 5.45 ตามลำดับ ส่วนดินชั้นล่างมีค่า 6.88 และ pH 6.30 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาบริเวณดินนาชั้นบนกับดินนาชั้นล่าง สำหรับค่า pH พบว่าบริเวณดินนาชั้นบนมีค่า pH ต่ำกว่าดินนาชั้นล่าง และเมื่อพิจารณาถึงคุณภาพดินทั้งสองพื้นที่พบว่าดินชั้นล่างอยู่ในเกณฑ์ของดินที่ดี คือ มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.5-7.5 แต่ดินชั้นบนนั้นมี ค่า pH 4.5-7.0 ซึ่งตามข้อมูลของ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ ดินไม่ค่อยเหมาะสมในการปลูกพืชไร่ พืชผัก และไม้ผล รวมถึงไม่เหมาะสมที่ในการเพาะปลูกข้าว จึงควรมีการปรับปรุงเรื่องความเป็นกรดในดิน

4. ค่าการนำไฟฟ้าของดิน

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการนำไฟฟ้าของดิน พบว่าดินนาชั้นบนในพื้นที่ อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรามีค่าการนำไฟฟ้า 0.76 ds/ m และบริเวณดินชั้นล่างมีค่า 0.61 ds/ m ส่วนบริเวณดินนาชั้นบนใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี มีค่าการนำไฟฟ้า 1.57 ds/ m และบริเวณดินชั้นล่างมีค่าการนำไฟฟ้า 1.24 ds/ m จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่า ซึ่งทั้งสองพื้นที่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของดินดี คือมีค่าการนำไฟฟ้าของดินมากกว่า 2 ds/ m เห็นได้ว่าดินใน จ ชลบุรี มีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าดินใน จ.ฉะเชิงเทราทั้งดินชั้นบน และดินชั้นล่าง เนื่องมาจากความชื้นของดินทำให้เกิดการละลายของเกลือได้ดี แต่ยังอยู่ในระดับที่น้อยกว่า 2 ds/ m

5. ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ผลจากการวิเคราะห์ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกจากสมการที่ (17) พบว่าบริเวณพื้นที่ปลูกข้าวของดินชั้นบนใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 6.58 cmol/ kg และบริเวณดินชั้นล่างมีค่า 5.64 cmol/ kg ส่วนบริเวณดินนาชั้นบนใน อ.พนัสนิคม จ. ชลบุรี มีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 11.59 cmol/ kg และบริเวณดินชั้นล่างมีค่า 10.65

cmol/ kg แสดงให้เห็นว่าบริเวณดินชั้นบนมีค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากกว่าบริเวณดินชั้นล่าง อันเนื่องมาจากบริเวณดินชั้นบนมีปริมาณอินทรียวัตถุมากกว่าดินชั้นล่าง

6. ไนโตรเจนทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนทั้งหมดของดินนาตามสมการที่ (18) บริเวณ อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา พบว่าดินชั้นบน และดินชั้นล่างมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 532.88 mg/ kg และ 888.13 mg/ kg ตามลำดับ ส่วนผลการวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมดบริเวณดินนาของ อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี พบว่าดินชั้นล่างมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1,361.79 mg/ kg และ 532.88 mg/ kg ตามลำดับ ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก ดินที่ใช้เพื่อการเพาะปลูกโดยทั่วไปมักมีไนโตรเจนไม่เพียงพอ ต่อความต้องการของพืช นอกจากนี้พืชสามารถใช้ประโยชน์โดยตรงได้เฉพาะกรณีที่ไนโตรเจนอยู่ในรูปแอมโมเนียม ($NH4^{+}$) หรือไนเตรต ($NO3^{-}$) เท่านั้น ในขณะที่ไนโตรเจนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งต้องรอให้จุลินทรีย์ย่อยสลายก่อน อินทรีย์วัตถุในดินมีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 5 จึงสามารถทราบค่าปริมาณไนโตรเจนคร่าว ๆ ได้จากปริมาณของอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่ามีความสอดคล้องกันกับข้อมูลปริมาณอินทรียวัตถุในดินเป็นอย่างดี

7. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสทั้งหมดในดินตามสมการที่ (19) บริเวณ อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา พบว่าดินชั้นบนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 117 ppm และดินชั้นล่างมีค่า 42.32 ppm เมื่อพิจารณาใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี พบว่าบริเวณดินชั้นบนมีปริมาณฟอสฟอรัส 313.34 ppm และดินชั้นล่างมีค่า 212.50 ppm เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชตามเกณฑ์มาตรฐานดินดีควรมีปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสตั้งแต่ 45 ppm จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า ปริมาณธาตุฟอสฟอรัสของดินใน จ. ฉะเชิงเทรา บริเวณดินชั้นบน และ ดินใน จ. ชลบุรี มีปริมาณฟอสฟอรัสในดินระดับสูงมาก โดยมีเพียงพอกับความต้องการของพืช และเหลือใช้ ซึ่งมีผลทำให้พืชมีผลผลิต 100 % ของผลผลิตสูงสุด นอกจากนี้ยังมีธาตุฟอสฟอรัสสำรองไว้ใช้ต่อไปได้อีก

โดยฟอสฟอรัสในดินเป็นธาตุอาหารพืชที่ไม่มีการเคลื่อนที่ (immoblie) และเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตในระยะแรกเนื่องจากรากยังไม่มีมาก ทำให้การดูดอาหาร และน้ำได้น้อย โดยฟอสฟอรัสเป็นตัวกระตุ้นให้รากเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว

8. โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร โพแทสเซียมทั้งหมดจากสมการที่ (20) ในดินบริเวณ อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา พบว่าดินชั้นบนมีปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช 618.19 ppm และดินชั้นล่างมีค่า 646.46 ppm และเมื่อพิจารณาใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี พบว่าบริเวณดินชั้นบนมีปริมาณฟอสฟอรัส 2,796.67 ppm และดินชั้นล่างมีค่า 2,540.33 ppm เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหาร โพแทสเซียมทั้งหมดในดิน ตามเกณฑ์มาตรฐานดินดีควรมี ปริมาณธาตุอาหาร โพแทสเซียมมากกว่า 130 ppm ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่า ปริมาณธาตุโพแทสเซียมของดินใน จ. ฉะเชิงเทรา และดินใน จ. ชลบุรี มีปริมาณโพแทสเซียมในดินระดับสูงมาก โดยใน จ. ชลบุรีมีมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานประมาณ 20 เท่า ซึ่งทั้งสองพื้นที่มีโพแทสเซียมเพียงพอกับความต้องการของพืช และเหลือใช้ ซึ่งมีผลทำให้พืชมีผลผลิต 100 % ของผลผลิตสูงสุด และมีธาตุโพแทสเซียมสำรองไว้ใช้ต่อไปได้อีก โพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็น ต่อการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณโพแทสเซียมที่มี อยู่ในดินแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน ระยะเวลาของการกัดกร่อน และการชะล้างดิน ดินที่มีปริมาณดินเหนียวสูง มีปริมาณโพแทสเซียมเพียงสูงซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ที่ได้แสดงให้เห็นว่า ดินใน จ. ชลบุรีมีโครงสร้างผสมระหว่างควอตซ์ และอิลไลต์ ซึ่งตรงกับลักษณะของดินที่เป็นดินร่วนปนดินเหนียว

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเคมีของดินในพื้นที่เพาะปลูกข้าว อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา และ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี โดยแบ่งตัวอย่างดินออกเป็นดินชั้นบนกับดินชั้นล่าง มีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้

ตารางที่ 21 สมบัติทางกายภาพของดินชั้นบนในพื้นที่เพาะปลูกข้าว อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา และ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

สมบัติที่วิเคราะห์	**ดินชั้นบน**	
	จ. ฉะเชิงเทรา	**จ. ชลบุรี**
ความหนาแน่นดินรวม	1.40 g/ cm^3	1.17 g/ cm^3
ความหนาแน่นอนุภาคดิน	2.50 g/ cm^3	2.21 g/ cm^3
ความพรุน	44.00 %	47.05 %
ความชื้น	21.28 %	40.14 %
โครงสร้างดิน	เป็นแบบควอตซ์	เป็นแบบควอตซ์
ชนิดของดิน	ร่วนปนทราย	ร่วนปนดินเหนียว

ตารางที่ 22 สมบัติทางกายภาพของดินชั้นล่างในพื้นที่เพาะปลูกข้าว อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา และ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

สมบัติที่วิเคราะห์	**ดินชั้นล่าง**	
	จ. ฉะเชิงเทรา	**จ. ชลบุรี**
ความหนาแน่นดินรวม	1.38 g/ cm^3	1.30 g/ cm^3
ความหนาแน่นอนุภาคดิน	2.46 g/ cm^3	2.42 g/ cm^3
ความพรุน	43.90 %	46.28 %
ความชื้น	15.27 %	19.12 %
โครงสร้างดิน	เป็นแบบควอตซ์	ผสมระหว่างควอตซ์ และอิไลต์
ชนิดของดิน	ร่วนปนทราย	ร่วนปนดินเหนียว

ตารางที่ 23 สมบัติทางเคมีของดินชั้นบนในพื้นที่เพาะปลูกข้าว อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา และ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

สมบัติที่วิเคราะห์	**ดินชั้นบน**	
	จ. ฉะเชิงเทรา	**จ. ชลบุรี**
อินทรียวัตถุ	1.56 %	2.50 %
ความเป็นกรดเป็นด่าง	5.77	5.45
การนำไฟฟ้า	0.76 ds/ m	1.57 ds/ m
ความจุการแลกเปลี่ยนประจุบวก	6.58 cmol/ kg	11.59 cmol/ kg
ไนโตรเจนทั้งหมด	888.13mg/ kg	1361 mg/ kg
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	117 ppm	313.34 ppm
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	618.19 ppm	2796.67 ppm

ตารางที่ 24 สมบัติทางเคมีของดินชั้นล่างในพื้นที่เพาะปลูกข้าว อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา และ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

สมบัติที่วิเคราะห์	ดินชั้นล่าง	
	จ. ฉะเชิงเทรา	**จ. ชลบุรี**
อินทรียวัตถุ	0.67 %	1.08 %
ความเป็นกรดเป็นด่าง	6.88	6.30
การนำไฟฟ้า	0.61 ds/ m	1.24 ds/ m
ความจุการแลกเปลี่ยนประจุบวก	5.64 cmol/ kg	10.65 cmol/ kg
ไนโตรเจนทั้งหมด	532.88 mg/ kg	532 mg/ kg
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	42.32 ppm	212.50 ppm
โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	646.64 ppm	2540.33 ppm

จากข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า

1. ดินบริเวณพื้นที่เพาะปลูกข้าวใน อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา เป็นดินร่วนปนทราย ส่วนบริเวณ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี เป็นดินร่วนปนดินเหนียว ซึ่งไม่สอดคล้องกับข้อมูล กลุ่มชุดดินจากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ ที่ได้รายงานว่าดินใน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา มีลักษณะทั่วไปเป็นพวกดินเหนียวปนกรวด และดินใน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี เป็นดินร่วนปนทราย และเมื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมในการเพาะปลูกข้าวของทั้งสองจังหวัด พบว่าพื้นที่ทั้งสองมีความเหมาะสมกับการเพาะปลูกข้าวทั้งสองพื้นที่ แต่โครงสร้างดินเนื้อดินค่อนข้างเหนียวหรือเป็นทราย (1s) อ้างอิงตามข้อมูลของ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ โดยดินใน จ. ชลบุรีนั้นเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ทำให้ ดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงเลว ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขปัญหาน้ำขัง และการรยะบายน้ำของดิน แต่ใน จ. ฉะเชิงเทรา เป็นดินร่วนปนทราย มีการระบายน้ำได้เร็ว ดังนั้นเพื่อให้เป็นประโยชน์เพิ่มมากขึ้นจึงควรใช้วิธีการปรับปรุงสภาพดินโดยอาศัยข้อมูลด้านเคมีมาร่วมในการปรับปรุงดินดังกล่าว

2. ระดับปริมาณธาตุอาหารพืชในดิน ซึ่งประเมินได้จากความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน (OM) ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (P) ปริมาณโพแทสเซียมในดิน (K) พบว่าดินใน จ.ชลบุรี มีความเป็นกรดเล็กน้อย แต่มีอินทรียวัตถุ ธาตุอาหารพืช ฟอสฟอรัสหรือโพแทสเซียม ในระดับสูงมาก แต่ดินใน จ.ฉะเชิงเทรา เป็นดินที่มีปัญหาต้องได้รับการการแก้ไขปรับปรุง เพื่อให้สามารถใช้ในการเพาะปลูก และสามารถใช้ในการเพาะปลูกได้อย่างคุ้มค่า

ในการลงทุน โดยต้องปรับปรุงเรื่องความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เนื่องจากดินมีความเป็นกรดเล็กน้อย และอินทรียวัตถุในดิน เนื่องจากดินมีอินทรียวัตถุในระดับค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง แต่มีฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมอยู่ในระดับสูง จึงไม่ต้องปรับปรุง

3. แนวทางในการแก้ไขปรับปรุงดินตามค่าวิเคราะห์ดิน โดยประเมินจากค่ามาตรฐานของดินใน จ. ฉะเชิงเทราดินเป็นกรดเล็กน้อย ไม่จำเป็นต้องใส่ปูน เพื่อปรับสภาพความเป็นกรดในดิน แต่ดินมีอินทรียวัตถุต่ำ ควรปรับปรุงดินโดยใช้ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก หรือปุ๋ยพืชสด เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุในดินนา เพื่อความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว และเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ดิน เช่น กรดฮิวมิก กรดอะมิโน ธาตุอาหารพืช ทำให้ดินมีอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้น มีจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์อาศัยอยู่ในดินมากขึ้น นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มช่องว่างในดินให้การระบายน้ำ และอากาศดียิ่งขึ้น และทำให้เกิดความพรุนของผิวหน้าดิน ลดการจับตัวเป็นแผ่นแข็งของหน้าดิน ช่วยให้ระบบรากพืชสามารถแพร่กระจายตัวในดินได้ดี มีความสามารถในการดูดซับน้ำในดิน ทำให้ดินชุ่มชื้นขึ้น

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน. (2533). *คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางกายภาพ*. เข้าถึงได้จาก http://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf

กรมพัฒนาที่ดิน. (2533). *คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี*. เข้าถึงได้จาก http://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf

กรมพัฒนาที่ดิน. (2550). *ระบบฐานข้อมูลกลุ่มชุดดิน*. เข้าถึงได้จาก http://www.ldd.go.th/gisweb/soildata/main_soildata.html

กิตติศักดิ์ แนมจันทร์. (2547). *การศึกษาเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เพื่อวิเคราะห์ทางธรณีเคมีของดิน*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณะทำงานปรับปรุงมาตรฐานการวิเคราะห์ดิน พืช น้ำและปุ๋ยเคมี. (2536). *วิธีวิเคราะห์ดิน* (พิมพ์ครั้งที่ 2).

บุญเลิศ คุ้มนก. (2535). *อิทธิพลความเป็นกรด-ด่างของดินที่มีต่อการดูดอนุมูลฟอสเฟตในดินบนที่สูง*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาปฐพีศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บำรุง ทรัพย์มาก. (2543). *การศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของดินซึ่งใช้ปลูกยางพาราในภาคตะวันออกของประเทศไทย*.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาปฐพีศาสตร์, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปวีณา เกียรตระกลกาล. (2551). *สภาพความอุดมสมบูรณ์ของดินและการจัดการปุ๋ยเคมีอย่างเหมาะสมในการปลูกผักบนพื้นที่สูง*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชสวน, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไพบูลย์ วิวัฒน์วงศ์วนา. (2546). *เคมีดิน*. เชียงใหม่: เชียงใหม่พิมพ์สวย.

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2543). *หลักการกสิกรรม*. เข้าถึงได้จาก (http://natres.psu.ac.th/Department/plantscience/510-111web/index.htm)

แม้น อมรสิทธิ์. (2534). *หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ*. กรุงเทพฯ: ชวนพิมพ์.

ยงยุทธ โอสถสถา. (2541). *ปฐพีวิทยาเบื้องต้น* (พิมพ์ครั้งที่ 8). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจิตร วังใน. (2552). *ธาตุอาหารกับการผลิตพืชผล*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรสิทธิ์ วัชโรทยาน. (2549). *สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่มที่ 18* (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: อาคารโครงการสารานุกรมไทยฯ สนามเสือป่า.

สุชาติ เหรียญทอง และดวงใจ วัยเจริญ. (2550). *การประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงพื้นที่เพื่อประเมินความเสื่อมโทรมของที่ดินในประเทศไทย*. สำนักบริหาร และพัฒนาการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน.

สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ. (2556). *ผลกระทบด้านสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมของชุมชน ต. หนองแหน อ.พนมสารคาม จ.ชลบุรี*.เข้าถึงได้จาก http://www.thia.in.th/uploads/file/August%202013/HIA%20movements/HIA_Nongnae seminar_by_Somporn.pdf

โสพส ไกรแสน. (2552). *การสำรวจโครงสร้างของเครื่องปั้นดินเผาในอำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี*. สถาบันวิจัย และพัฒนา, มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.

อรอนงค์ ทวีบุตร. (2545). *การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดิน และปุ๋ยโดยวิธีนิวเคลียร์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรุชา มณฑปใหญ่. (2540). ผลของการใช้สารปรับปรุงดินต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีบางประการของดิน. ใน *การประชุมวิชาการครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน* (หน้า 38-45).

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. (2542). *คู่มือปฏิบัติการการสำรวจดิน* (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอิบ เขียวรื่นรมณ์. (2542). *การสำรวจดิน*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abu-Hamdeh, N.H. (2000). Effect of tillage treatments on soil thermal conductivity for some Jordanian clay loam and loam soils. *Soil & Tillage Research*, *56*, 145-151.

Aciego Pietri, J.C., & Brookes, P.C. (2008). Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil. *Soil Biology & Biochemistry*, *40*, 1856-1861.

Clark, M.S., Horwath, W.R., Shennan, C., & Scow, K.M. (1998). Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. *Agron*, *90*, 662-671.

Jiang, X., Wright, A.L., Wang, X., & Liang, F. (2011). Tillage-inducted changes in fungal and bacterial biomass associated with soil aggregates: A long-term field study in a subtropical rice soil in China. *Applied Soil Ecology*, *48*, 168-173.

Lee, S.B., Lee, C.H., Jung, K.Y., Park, K.D., Lee, D., & Kim, P.J. (2009). Changes of soil organic carbon and its fractions in relation to soil physical properties in a long-term fertilized paddy. *Soil & Tillage Research*, *104*, 227-232.

Lima, A.C.R., Hoogmoed, W.B., Pauletto, E.A., & Pinto, L.F.S. (2009). Management systems in irrigated rice affect physical and chemical soil properties. *Soil & Tillage Research*, *103*, 92-97.

Mavi, M.S., Marschner, P., Chittleborough, D.J., Cox, J.W., & Sanderman, J. (2012). Salinity and sodicity affect soil respiration and dissolved organic matter dynamics differentially in soils varying in texture. *Soil Biology & Biochemistry*, *45*, 8-13.

Osunbitan, J.A., Oyedele, D.J., & Adekalu, K.O. (2005). Tillage effects on bulk density, hydraulic conductivity and strength of a loamy sand soil in southwestern Nigeria. *Soil & Tillage Research*, *82*, 57-64.

Prakongkep, N., Suddhiprakarn, A., Kheoruenromne, I., Smirk, M., & Gilkes, R.J. (2008).The geochemistry of Thai paddy soils. *Journal of Geodema*, *144*, 310-324.

Toya, T., Jotaki, R., & Kato, A. (1986). Specimen Preparations in EPMA and SEM. *JEOL Training Center EP Section.*

Yoothong, K., Moncharorn, L., Vijarnson, P., & Eswaran, H. (1997). Clay mineralogy of Thai soils. *Journal of Applied clay science*, *11*, 357-371.

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นดินรวม, ความหนาแน่นอนุภาคดิน, ความพรุนรวม, ความชื้น และองค์ประกอบอนุภาคดิน

ตารางวิเคราะห์ความหนาแน่นดินรวมบริเวณดินนาชั้นบน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	W_S (g)	V_S (g)	ρ_b (g/cm^3)
1	127.25	90.32	1.41
2	123.22	91.27	1.35
3	119.48	89.54	1.33
4	125.28	89.69	1.40
5	127.23	92.84	1.37
ดินรวม	126.42	90.30	1.40

ตารางวิเคราะห์ความหนาแน่นดินรวมบริเวณดินนาชั้นล่าง อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	W_S (g)	V_S (g)	ρ_b (g/cm^3)
1	139.42	99.73	1.40
2	139.58	100.42	1.39
3	139.10	103.82	1.34
4	131.78	96.19	1.37
5	118.21	86.92	1.36
ดินรวม	138.55	100.40	1.38

ตารางวิเคราะห์ความหนาแน่นดินรวมบริเวณดินนาชั้นบน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

ตัวอย่าง	W_S (g)	V_S (g)	ρ_b(g/cm^3)
1	110.35	98.53	1.12
2	111.12	97.47	1.14
3	111.02	96.64	1.15
4	99.38	89.54	1.11
5	106.71	89.69	1.19
ดินรวม	112.79	96.40	1.17

ตารางวิเคราะห์ความหนาแน่นดินรวมบริเวณดินนาชั้นล่าง อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

ตัวอย่าง	W_S (g)	V_S (g)	ρ_b (g/cm^3)
1	134.64	99.73	1.35
2	135.56	100.43	1.35
3	130.46	97.36	1.34
4	141.23	103.82	1.36
5	143.75	105.70	1.36
ดินรวม	129.61	99.70	1.30

ตารางวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคของดินบริเวณดินนาชั้นบน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	W_w (g)	W_{sw} (g)	W_s (g)	ρ_s (g/ cm^3)
1	89.18	95.17	10.00	2.49
2	89.20	95.32	10.00	2.58
3	89.38	95.44	10.00	2.54
4	89.33	95.36	10.00	2.52
5	89.47	95.44	10.00	2.48
ดินรวม	89.42	95.50	10.00	2.50

ตารางวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคของดินบริเวณดินนาชั้นล่าง อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	W_w (g)	W_{sw} (g)	W_s (g)	ρ_s (g/ cm^3)
1	89.37	95.31	10.00	2.46
2	89.20	95.32	10.00	2.58
3	89.38	95.38	10.00	2.50
4	89.22	95.37	10.00	2.60
5	89.65	95.70	10.00	2.53
ดินรวม	89.71	95.65	10.00	2.46

ตารางวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคของดินบริเวณดินนาชั้นบน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

ตัวอย่าง	W_w (g)	W_{sw} (g)	W_s (g)	ρ_s (g/ cm^3)
1	89.38	95.12	10.00	2.35
2	89.20	94.75	10.00	2.25
3	89.01	94.50	10.00	2.22
4	89.23	94.55	10.00	2.14
5	89.04	94.69	10.00	2.30
ดินรวม	89.40	94.89	10.00	2.21

ตารางวิเคราะห์ความหนาแน่นอนุภาคของดินบริเวณดินนาชั้นล่าง อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

ตัวอย่าง	W_w (g)	W_{sw} (g)	W_s (g)	ρ_s (g/ cm^3)
1	89.59	95.32	10.00	2.34
2	88.76	94.61	10.00	2.41
3	89.64	95.49	10.00	2.41
4	89.38	95.29	10.00	2.44
5	89.25	95.29	10.00	2.52
ดินรวม	89.53	95.40	10.00	2.42

ตารางความพรุนรวมบริเวณดินนาชั้นบน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	ρ_b (g/ cm^3)	ρ_s (g/ cm^3)	ความพรุนรวม (%)
1	1.41	2.49	43.37
2	1.35	2.58	47.67
3	1.33	2.54	47.64
4	1.40	2.52	44.44
5	1.37	2.48	44.76
ดินรวม	1.40	2.50	44.00

ตารางความพรุนรวมบริเวณดินนาชั้นล่าง อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	ρ_b (g/ cm^3)	ρ_s (g/ cm^3)	ความพรุนรวม (%)
1	1.40	2.46	43.09
2	1.39	2.58	46.12
3	1.34	2.50	46.40
4	1.37	2.60	47.31
5	1.36	2.53	46.25
ดินรวม	1.38	2.46	43.90

ตารางความพรุนรวมบริเวณดินนาชั้นบน อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

ตัวอย่าง	ρ_b (g/ cm^3)	ρ_s (g/ cm^3)	ความพรุนรวม (%)
1	1.12	2.35	52.34
2	1.14	2.25	49.33
3	1.15	2.22	48.20
4	1.11	2.14	48.13
5	1.19	2.30	48.26
ดินรวม	1.17	2.21	47.05

ตารางความพรุนรวมบริเวณดินนาชั้นล่าง อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

ตัวอย่าง	ρ_b (g/ cm^3)	ρ_s (g/ cm^3)	ความพรุนรวม (%)
1	1.35	2.34	42.30
2	1.35	2.41	43.98
3	1.34	2.41	44.40
4	1.36	2.44	44.26
5	1.36	2.52	46.03
ดินรวม	1.30	2.42	46.28

ตารางวิเคราะห์ความชื้นบริเวณดินนาชั้นบน อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	น้ำหนักดินก่อนอบ (g)	น้ำหนักดินหลังอบ (g)	ความชื้น (%)
1	10.83	8.68	24.77
2	12.24	9.58	27.76
3	12.20	9.04	25.90
4	11.24	9.06	24.06
5	10.03	8.56	17.17
ดินรวม	10.43	8.60	21.28

ตารางวิเคราะห์ความชื้นบริเวณดินนาชั้นล่าง อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	น้ำหนักดินก่อนอบ(g)	น้ำหนักดินหลังอบ (g)	ความชื้น (%)
1	11.67	10.17	14.75
2	10.22	8.97	13.90
3	10.89	9.54	14.15
4	10.99	9.57	14.83
5	10.47	9.22	13.56
ดินรวม	11.02	9.56	15.27

ตารางวิเคราะห์ความชื้นบริเวณดินนาชั้นบน อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี

ตัวอย่าง	น้ำหนักดินก่อนอบ (g)	น้ำหนักดินหลังอบ (g)	ความชื้น (%)
1	10.17	6.93	46.75
2	11.94	8.83	35.22
3	11.65	8.54	36.42
4	10.04	7.19	39.64
5	10.53	7.81	34.83
ดินรวม	10.02	7.15	40.14

ตารางวิเคราะห์ความชื้นบริเวณดินนาชั้นล่าง อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

ตัวอย่าง	น้ำหนักดินก่อนอบ (g)	น้ำหนักดินหลังอบ (g)	ความชื้น (%)
1	12.90	10.29	25.36
2	10.95	9.36	16.99
3	11.74	9.88	18.83
4	10.59	9.12	16.11
5	13.51	11.59	16.57
ดินรวม	11.65	9.78	19.12

ตารางวิเคราะห์องค์ประกอบอนุภาคของดินชั้นบนบริเวณ อ.แปลงยาว จ.ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	C_1	C_2	% silt + clay	% clay	% silt	% sand
1	1.08	1.44	46.2	14.9	31.3	53.9
2	1.08	1.44	42.2	12.9	29.3	57.9
3	1.08	1.44	48.2	16.9	31.3	51.8
4	1.08	1.44	50.2	16.9	33.3	49.9
5	1.08	1.44	46.2	14.9	31.3	53.8
ดินรวม	1.08	1.44	51.6	16.9	34.7	48.8

ตารางวิเคราะห์องค์ประกอบอนุภาคของดินชั้นล่างบริเวณ อ. แปลงยาว จ. ฉะเชิงเทรา

ตัวอย่าง	C_1	C_2	% silt + clay	% clay	% silt	% sand
1	1.08	1.44	46.1	16.9	29.3	53.8
2	1.08	1.44	46.1	12.9	33.3	53.8
3	1.08	1.44	48.1	16.9	31.3	51.9
4	1.08	1.44	54.1	18.9	35.3	45.9
5	1.08	1.44	48.1	16.9	31.3	51.8
ดินรวม	1.08	1.44	55.5	18.9	36.7	44.4

ตารางวิเคราะห์องค์ประกอบอนุภาคของดินชั้นบนบริเวณ อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

ตัวอย่าง	C_1	C_2	% silt + clay	% clay	% silt	% sand
1	1.08	1.44	58.2	30.9	27.3	41.8
2	1.08	1.44	58.2	30.9	27.3	41.8
3	1.08	1.44	59.1	30.9	28.3	40.9
4	1.08	1.44	60.2	32.9	27.3	39.8
5	1.08	1.44	58.2	30.9	27.3	39.8
ดินรวม	1.08	1.44	57.5	32.9	24.7	42.4

ตารางวิเคราะห์องค์ประกอบอนุภาคของดินชั้นล่างบริเวณ อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี

ตัวอย่าง	C_1	C_2	% silt + clay	% clay	% silt	% sand
1	1.08	1.44	58.2	30.9	27.3	41.8
2	1.08	1.44	58.2	30.9	27.3	41.8
3	1.08	1.44	59.2	30.9	28.3	40.9
4	1.08	1.44	60.2	32.9	27.3	39.8
5	1.08	1.44	60.2	30.9	29.3	39.8
ดินรวม	1.08	1.44	59.59	32.9	26.7	40.4

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Proceedings on

The 1st

Engineering Physics Conference

July 25th, 2014

King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Analysis of Physical and Chemical Properties of Soil from Paddy Rice Fields: A Case Study in Chachoengsao Province

Opas Wongtangprasert
Graduate School Program, Environmental Science, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, Thailand

Kanyakorn Teanchai
Material Science and Applied Physics Research Unit, Faculty of Science at Si Racha, Kasetsart University, Si Racha campus, Chonburi, Thailand

Wichian Siriprom*
Material Science and Applied Physics Research Unit, Faculty of Science at Si Racha, Kasetsart University, Si Racha campus, Chonburi, Thailand

Sopanat Kongsriprapan
Material Science and Applied Physics Research Unit, Faculty of Science at Si Racha, Kasetsart University, Si Racha campus, Chonburi, Thailand

Attapol Choeysuppaket
Department of Physics, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, Thailand, 20131

* Corresponding author. E-mail: w.siriprom@hotmail.com

Abstract
In this study the X-Ray Diffraction (XRD), Energy Dispersive X-Ray Fluorescence (EDXRF) and Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy were employed to characterize the physical and chemical properties of topsoil and subsoil which collected from paddy rice fields in Chachoengsao province. The results show that the subsoil structure is not entirely the same as topsoil while the chemical of topsoil is almost the same as subsoil. Moreover, we also used Thermo-Gravimetric Analysis (TGA) to investigated the removal of moisture from the paddy rice fields.

Keywords*: Soil, physical properties, chemical properties*

1. Introduction

Thailand is an agricultural country, agriculture area approximately is 200,000 square kilometers. The east part of Thailand comprises 34,380square.The area of Chachoengsao Province is 5,351 square kilometers kilometers or approximately13.8% of land area in the east part of Thailand. The most economics and famous is paddy rice because of the most of region is a lowland, but some area have infertile due to upland areas with mostly sandy soils which the texture of sandy soil is formed by the disintegration and weathering of rocks such as limestone, granite, quartz and shale[1].Quartz is most commonly found in nature as silicon dioxide, also known as silica.While, the silicon isone of essential nutrient elements for paddy rice,which can be found in the utilization of silicate fertilizers applications in the area with

silicon deficiency [2]. Another that, the contamination of metal element in soils due to improper use of heavy metal-enriched materials in agriculture, including chemical fertilizer and pesticides, industrial effluents, sewage sludge and wastewater irrigation. Increments of the pollutants in soil have influence to soil properties. Another that, accumulation of pollutants from the paddy rice areas has become a concern of consumers. Especially, the accumulation of the heavy metals can have toxic effects and create the toxic and may pose a great threat to plants, animals and humans through the food chain. The formation of heavy metal in soils have several formsand have different levels of solubility as follows: (i) dissolved (in soil solution), (ii) exchangeable (in organic and inorganic components), (iii) structural components of the lattices in soils and (iv) insolubly precipitated with other soil components [3-4]. Although, the chemical composition of soil mineral may be highly changeable. This changeability is the results of and one of the main control of the chemical, physical, and biological properties of soils [4].For this reason, examination of soil mineral morphology is very important in the study of soil. X-ray diffractometer (XRD) and Energy Dispersive X-rays spectrometer (EDXRF) have long been regarded as effective tools for identifying minerals in geological material, especially those containing significant proportions of soil mineral [5]. The aim to this study is to estimate the mineral and structural in both qualitatively and quantitatively, as well as the thermal and physical properties.

2. Methodology

The soil samples were obtained from the paddy rice fields area in of Chachoengsao Province, (47P X=0749171 mN, Y=1510099 mE), the soil sample were collected on diagonal pattern, Five soil samples were collected from two layer, the first layer, 0-15 cm depth, and the second layer, 15-30 cm depth. The five sample were mixed to obtain a composite sample, which both layer were denoted as CH-R1 and CH-R2, respectively. All soil sample was pretreated before characterization by evaporates with sunlight in an open area for 5 days. The samples for soil textural determinations were oven dried at 40°C and passed through a sieved into fine powder to desired sizes (<700 micron).Another that, the samples were separately to characterization, 50.0 g of fine earth were used to determine soil texture by hydrometer method according to Gee and Bauder (1986). Moreover, the crystal structure was characterized by a powder X-Ray Diffractometer. Powder diffraction data were recorded at room temperature using a Bruker AXS D8 Advance powder diffractomter [CuKα (Ni filtered) with scintillation detector; 2θ range, 10-80° step size 0.02°]. The minerals in each case were identified from the diffractograms by reference to Joint Committee on Powder Diffraction Standard File (JCPDS). The functional groups present in the samples were obtained using Fourier Transform Infrared spectrophotometer (FTIR), Perkin Elmer model PE2000 (FTIR). All spectra were recorded from 4000-500 cm^{-1} at 4 cm^{-1} resolution. For FTIR measurements, 2 mg sample were dispersed in 300 mg KBr. Energy X-Ray Fluorescence was used for the qualitative and quantitative analyses of in chemical composition in the samples by Energy Dispersive X-rays spectrometer (EDXRF) Panalytical minipal-4. Themogravimetric data were recorded on a NETZSCH STA 449F3 STA449F3A-0863-M, which allows simultaneous recording of the weight losses (TG), the temperature

increases in a static air atmosphere at a uniform heating rate of 20°C/min in temperature range 25-1000°C.

3. Results and Discussion

The X-Ray Fluorescence spectrometer (EDXRF) analysis is presented in Fig. 1. The element content of both soil samples compose of Si, Ca, Fe, K, Mn, Ti, Cr, Zn, Ag and Cu. On this basis, the elements found according to their weight percentage can be seen the recorded in Table 1.

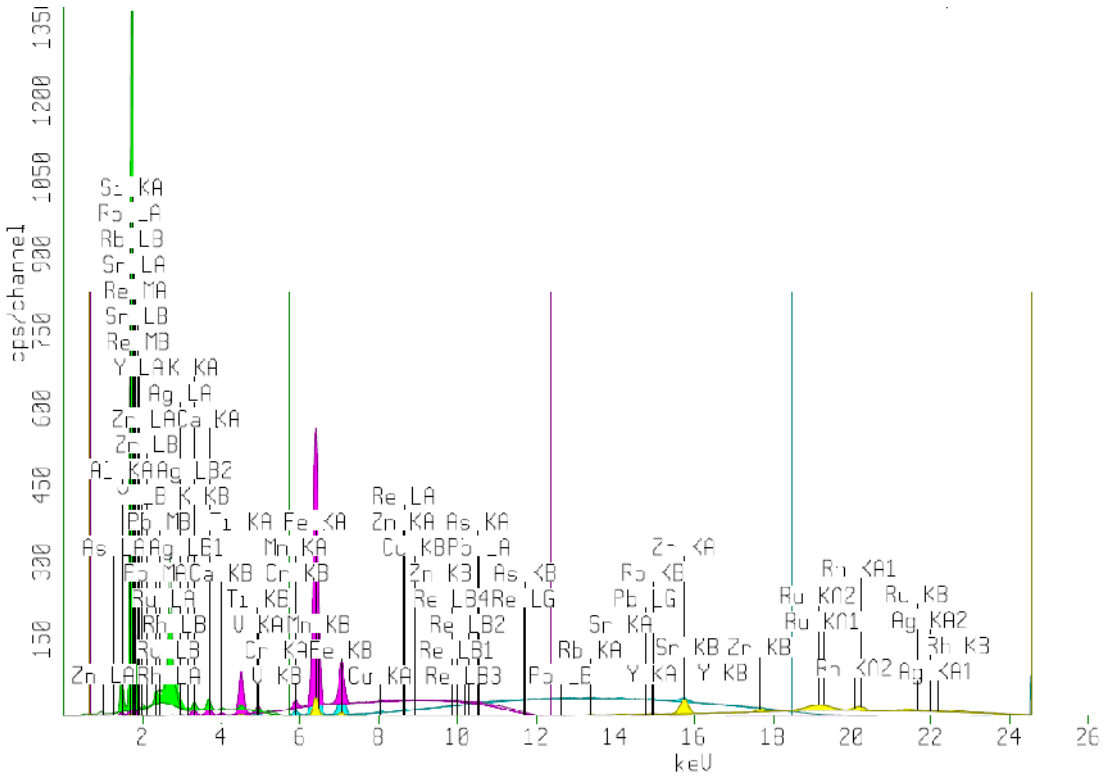


Figure 1 EDXRF spectra of the Topsoil (CH-R1)

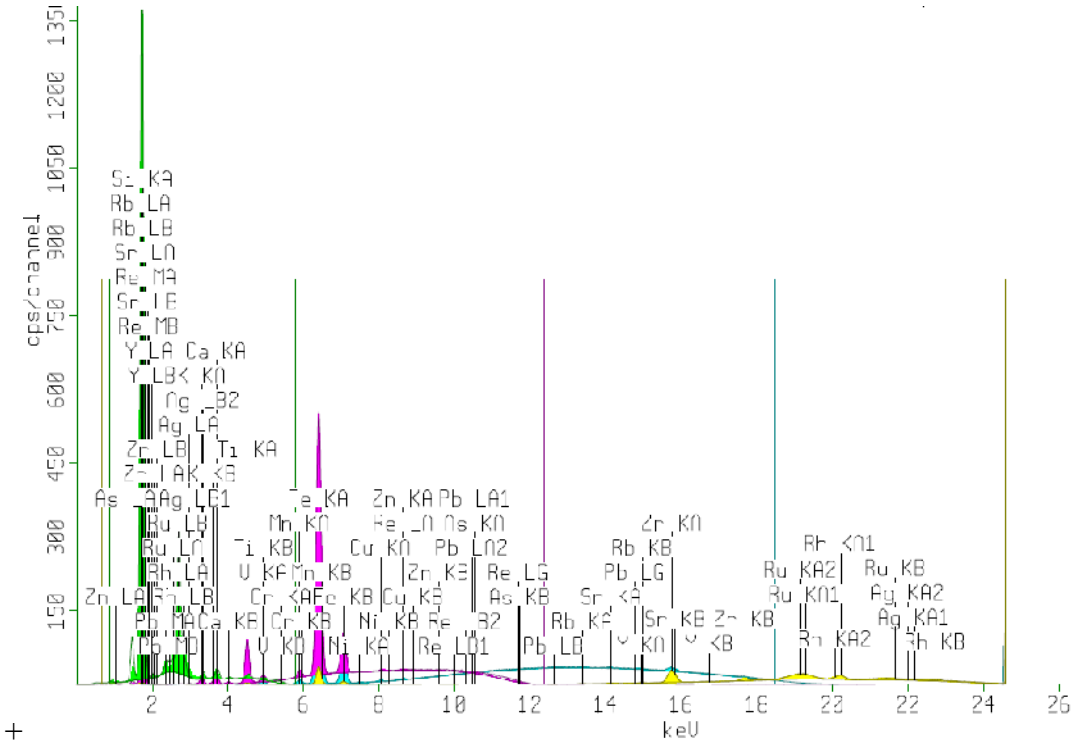


Figure 2 EDXRF spectra of the subsoil (CH-R2)

Table 1. XRF analysis of constituents of Topsoil (CH-R1) and subsoil (CH-R2) (Wt%)

Element	CH-R1	CH-R2
Si	45.621	9.579
K	0.167	0.067
Ca	0.211	0.082
Ti	0.312	0.137
Cr	0.002	0.001
Mn	0.022	0.008
Fe	0.81	0.328
Cu	0.002	0.001
Zn	0.002	0.001
Ag	0.047	0.021

The powder X-ray diffraction patterns of both soil samples are shown in Fig. 3. The structural of topsoil and subsoil as follows the XRD diffraction peaks showed strongest reflection with a maximum at approximately 26° which corresponding to the alpha quartz (SiO_2) as major phase and the minor phase is pyrochroite ($Mn(OH)_2$), Monteponite (CdO), Sodalite ($Na_8(AlSiO_4)6(MnO_4)_2$) and Gupeite (Fe_3Si) which corresponding with the result of EDXRF which report in Table.1 . The XRD data also indicated that the crystalline structure of both soil samples corresponds to the diffractograms by reference to the Joint Committee on Powder Diffraction Standard (JCPDS) numbers 00-046-1045 (SiO_2: Silicon Oxide), 00-012-0696 ($Mn(OH)_2$: Manganese Hydroxide), 01-073-2245 (CdO: Cadmium

Oxide), 01-082-1814 (Na_8 ($AlSiO_4$)6 (MnO_4)$_2$: Sodium Aluminum Silicate Manganese Oxide) and 03-065-0237 (Fe_3Si: Iron Silicon), respectively.

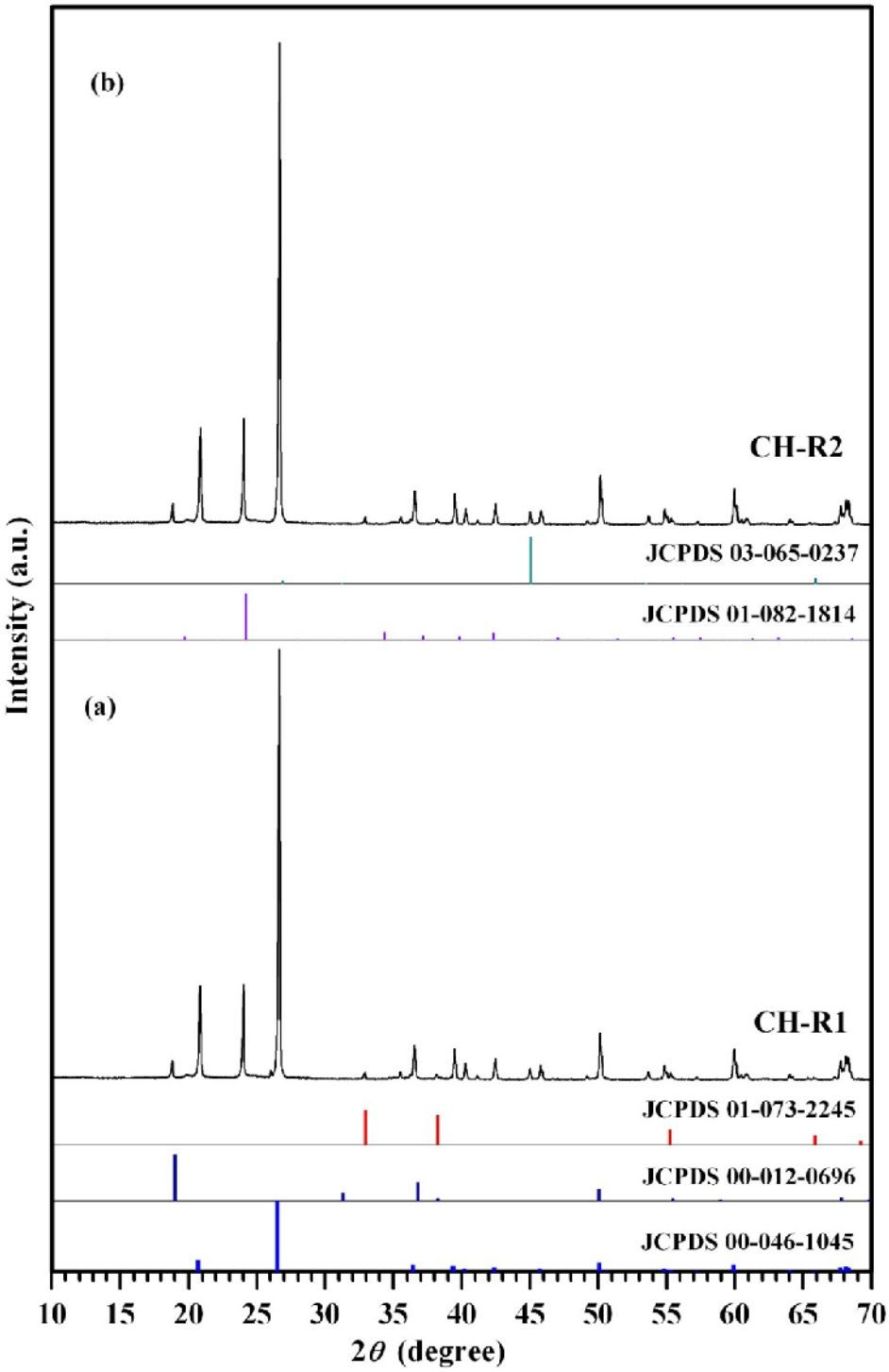


Figure 3 Powder XRD pattern of Topsoil (CH-R1) and subsoil (CH-R2) samples

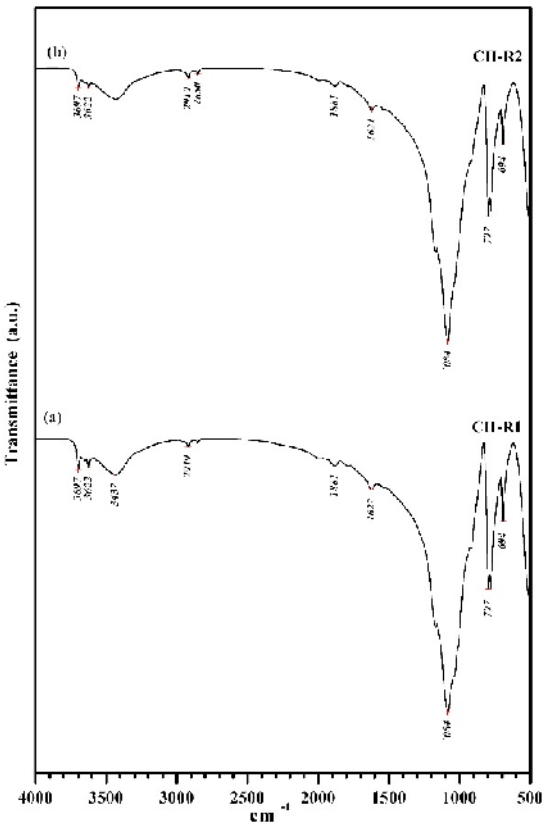


Figure 4 Thermal analysis curves of Topsoil (CH-R1) and subsoil (CH-R2) samples

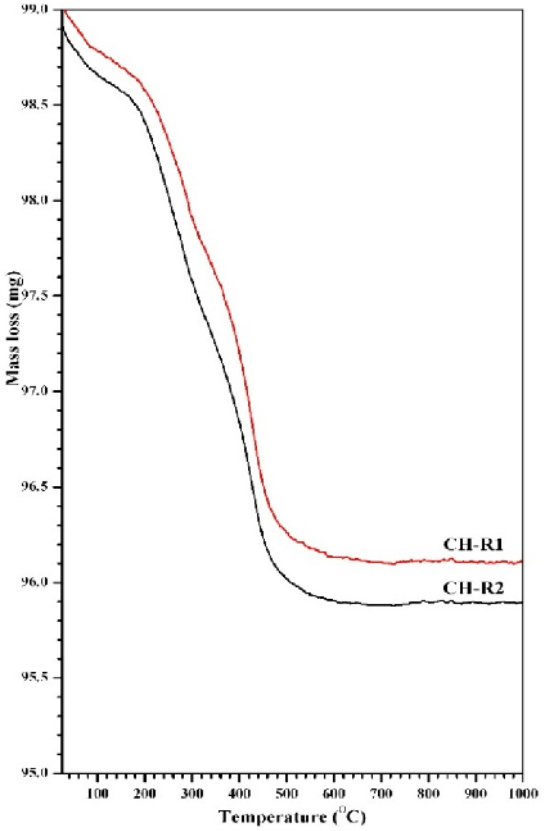


Figure 5 FTIR spectra of Topsoil (CH-R1) and subsoil (CH-R2) samples

From Fig. 4 represents the FT-IR spectrum of both soil samples. The absorption bands of two peaks situated in the region of 3697 and 3622 cm^{-1}, were interpreted as relative of the cation(s) to which OH is bonded, especially the Al_2OH vibration at ~3620 cm^{-1}.The characteristic spectrum exhibits a broad absorption band at ~3437 cm^{-1} is caused by OH vibration. The silicate spectra are characterized by three strong Si–O frequencies between 1120 and 950 cm^{-1} and interval of 600 to 400 cm^{-1} which corresponding with the report of D. Pravel et al. [4]. For vibration at interval of 2840–2890 cm^{-1} correspond with C-H vibration and H–O–H deformation vibrations from absorbed water have peaks at 1700–1550 cm^{-1}..

Thermal gravimetric analysis (TGA) was also carried out in order to study the change promoted by the effect of heat treatment as shown in Fig. 5. The TGA curves of both soil sample show the mass is being lost due to presence of small amount of moisture in both samples at temperature range (50-200°C), and then, at temperature range (200-500°C) have greater weight loss because of dehydroxylation. Another that, the TGA curves shown the recrystallization of soil samples at temperature 1000°C, which corresponding of the mainly inorganic residue remained at the this temperature.

3. Conclusion

The TGA, XRD and FTIR techniques, have been used to investigate the structural and the thermal activation behavior of solid state transformation on heat treatment. While, both soil sample are consists of quartz phase as major phase. For the chemical component from the EDXRF results may be enough to identification of the pollutans in soils, which the contamination levels of Si, Ca, Fe, K, Mn, Ti, Cr, Zn, Ag and Cu. All of the heavy metal concentrations measured were very low and much lower than critical levels.

Acknowledgments

The authors wish to thank Plasma for Surface Sciences Laboratory, Thailand Center of Excellence in Physics (ThEP), PERDO, CHE and the Center of Excellence in Glass Technology and Materials Science (CEGM), Nakhon Pathom Rajabhat University to some analytical equipment. This work was financial support provided from Faculty of Science at Si Racha, Kasetsart University, Si Racha campus, the authors gratefully acknowledged.

References

[1] L. Jiang-Tao, and Z. Bin, "Paddy Soil Stability and Mechanical Properties as Affected by Long-Term Application of Chemical Fertilizer and Animal Manure in Subtropical China," Pedosphere 17(5), 2007, pp. 568-579.

[2] H. Li-Yuan, L. Hua-Xing, Z. Xin-Ming, L. Wei-Sheng, and L. Yuan-Jin, "Silicate Adsorption in Paddy Soils pf Guangdong Province, China," Pedosphere 16(5), 2006, pp. 654-659.

[3] K. Peerapat, G.F. John, W.O. Ian, and C.G. Margaret, "Geochemical associations and availability of cadmium (Cd) in a paddy field system," Northweatern Thailand, Environment Pollution 187,2014, pp. 153-161.

[4] F. Zeng, S. Ali, H. Zhang, Y. Ouyang, B. Qiu, and F. Wu, "The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants," Environmental Pollution 159, 2011, pp. 84-91.

[5] C.D. Ruan, and R.W. Colin, "Quantitative X-ray powder diffraction analysis of clay minerals in Australian coals using Rietveld methods," Appl Clay Sci 21, 2002, pp. 227–240.