



องค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์และสมบัติของดินภายใต้พืชร่วมยางพารา  
ที่แตกต่างกัน

Organic Carbon Composition and Properties of Soils  
Under Different Rubber-based Intercrops

วสิทธิ์ แซ่เตียว  
Wasit Saeteaw

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Science in Soil Resources Management  
Prince of Songkla University

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	องค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์และสมบัติของดินภายใต้พืชร่วมยางพาราที่แตกต่างกัน
ผู้เขียน	นายวิสิทธิ์ แซ่เตียว
สาขาวิชา	การจัดการทรัพยากรดิน

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวัญตา ขาวมี)	.....ประธานกรรมการ (ดร.ดาวจรัส เกตุโรจน์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวัญตา ขาวมี)
..... (รองศาสตราจารย์ ดร. จำเป็น อ่อนทอง)	.....กรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร. จำเป็น อ่อนทอง)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ  
ทรัพยากรดิน

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดำรงค์ดี ฟารุ่งแสง)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(3)

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวัญตา ขาวมี)  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นายวสิทธิ์ แซ่เตียว)  
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายวสิทธิ์ แซ่เตียว)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	องค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์และสมบัติของดินภายใต้พีชร่วม ยางพาราที่แตกต่างกัน
ผู้เขียน	นายวสิทธิ์ แซ่เตียว
สาขาวิชา	การจัดการทรัพยากรดิน
ปีการศึกษา	2562

### บทคัดย่อ

จากปัญหาราคายางพาราตกต่ำทำให้หน่วยงานต่าง ๆ หาแนวทางในการแก้ปัญหาการปลูกพีชร่วมยางพารา นอกจากจะเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรแล้ว ยังเป็นการเพิ่มปริมาณเศษซากพีชลงสู่ดิน ทำให้ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น อินทรีย์วัตถุเป็นอีกหนึ่งตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดังนั้นจึงศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ เคมีบางประการ และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินภายใต้พีชร่วมยางพาราที่แตกต่างกัน รวมทั้งประเมินปริมาณเศษซากพีชร่วมยางพาราที่กลับสู่ดิน องค์ประกอบทางชีวเคมี และปริมาณธาตุอาหารพืชในเศษซากพีชร่วมยางพารา และศึกษาผลของเศษซากใบพีชร่วมยางพาราต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน โดยเก็บตัวอย่างดินจากแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว ไร่ร่วมยางพารา ตะเคียนร่วมยางพารา และผักเหลียงร่วมยางพารา เพื่อวิเคราะห์สมบัติและองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน พบว่าสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวในแปลงที่ปลูกพีชร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงกว่าแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว แปลงที่ปลูกผักเหลียงร่วมยางพารามีแนวโน้มธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และหมู่อะลิฟาติกสูงที่สุด แต่หมู่คาร์บอกซิลและพอลิแซ็กคาไรด์มีแนวโน้มต่ำที่สุด นอกจากนี้ พบว่าปริมาณเศษซากที่ล่องลงสู่ดินในแปลงที่ปลูกไร่ร่วมยางพาราสูงที่สุด และในแปลงที่ปลูกตะเคียนร่วมยางพาราต่ำที่สุด แต่เศษซากใบผักเหลียงมีปริมาณธาตุอาหารหลักและปริมาณธาตุอาหารหลักที่คืนกลับสู่ดินสูงที่สุด และมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน คาร์บอนต่อฟอสฟอรัส และลิกนินต่อไนโตรเจนอยู่ในช่วงที่แคบที่สุด ผลการบ่มดินร่วมกับเศษซากใบพีชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด พบว่าทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีการปลดปล่อยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากเศษซากส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุด และยังพบว่า มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์คงเหลือค่อนข้างสูง อัตราการลดลงของหมู่อะลิฟาติกเมื่อสิ้นสุดการทดลองต่ำที่สุด และยังมีการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอกซิลต่ออะลิฟาติกต่ำที่สุด จากข้อมูลที่ได้ในแปลงและในห้องปฏิบัติการชี้ให้เห็นว่า ผักเหลียงเป็นพืชที่น่าสนใจที่จะนำมาปลูกร่วมยางพาราเพื่อปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน

Thesis Title	Organic Carbon Composition and Properties of Soils Under Different Rubber-based Intercrops
Author	Mr. Wasit Saeteaw
Major Program	Soil Resources Management
Academic Year	2019

## ABSTRACT

Due to low rubber price problem, various agencies are implementing to find a way to solve the problem. Rubber based intercropping is a way to raise farmer incomes and also increases plant residues to the soil. Addition of the plant residues increased soil organic matter as an indicator of soil fertility. Therefore, physico-chemical properties and the organic carbon composition of soils under different rubber-based intercrops were studied. In addition, the amount of rubber-based intercrop residues return to the soil, biochemical composition, plant nutrient content in plant residues and changes in soil nitrogen (N), phosphorus (P) and organic carbon (C) composition resulting from different rubber-based intercrop residues were also studied. Rubber growing soils were sampled from rubber monoculture, rubber-bamboo, rubber-*Hopea odorata* (Ta-khian) and rubber-*Gnetum gnemon* (Phak-liang) to evaluate soil properties and organic carbon composition. The result showed that soil saturated hydraulic conductivity in the rubber-based intercrop growing soils tended to be higher than in the rubber monoculture growing soil. The rubber-Phak-liang growing soils tended to gave the highest primary and secondary macronutrient contents and aliphatic group but tended to be the lowest carboxyl and polysaccharide group. In addition. the amount of plant residue returning to the soil was the highest in the rubber-bamboo plot while the lowest values was recorded in the rubber-Ta-khian plots. However, Phak-liang residue had the highest amount of primary macronutrient and C:N, C:P and L:N ratios were the narrowest range. For soil incubation with 3 types of plant residue, the result showed that soil incubation with Phak-liang leaves had the highest amount of N and P release from plant residue affecting to the highest amount of available N and P in soil. In addition, there were relatively high amount of remaining C and decreasing rate of aliphatic group was the lowest. The results from the field and in the laboratory indicates that Phak-liang is an interesting plant to intercrop with rubber for improving soil fertility.

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญตา ขาวมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.จำเป็น อ่อนทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมเป็นอย่างยิ่ง ที่กรุณาชี้แนะและให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จ และขอกราบขอบพระคุณ ดร.ดาวจรัส เกตุโรจน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่ทุ่มเทเอาใจใส่เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญตา ขาวมี อีกครั้ง ที่ให้โอกาสและสนับสนุนในการศึกษา โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา นวัตกรรมยางพารา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ NAT610343S

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณภาควิชาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และบุคคลที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

วสิทธิ์ แซ่เตียว

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการรูปภาพ	(10)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	19
2. วัสดุ อุปกรณ์ และระเบียบวิธีวิจัย	21
วัสดุและสารเคมี	21
วิธีการทดลอง	23
3. ผลการศึกษา	32
สมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ของดินที่ปลูก	
ยางพาราที่ปลูกพีชร่วมยางพาราแตกต่างกัน	32
องค์ประกอบทางชีวเคมี ความเข้มข้นของธาตุอาหาร ปริมาณเศษซากใบ	
พีชร่วมยางพารา และปริมาณธาตุอาหารที่คืนกลับสู่ดิน	52
ผลของพีชร่วมยางพาราต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน ฟอสฟอรัส	
และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินปลูกยางพารา	57
4. วิจารณ์ผลการศึกษา	76
5. สรุปผลการศึกษา	87
เอกสารอ้างอิง	89
ประวัติผู้เขียน	100



## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. กลุ่มและตำแหน่งที่พบหมู่ฟังก์ชันในสารชีวโมเลกุล	14
2. การจำแนกหมู่ฟังก์ชันจากพีคที่ได้ด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปี	19
3. ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชและองค์ประกอบทางชีวเคมีของใบพืชร่วมยางพารา	53
4. ปริมาณธาตุอาหารที่คืนกลับสู่ดินและน้ำหนักแห้งของใบพืชร่วมยางพารา	56
5. ความเข้มข้นของไนโตรเจน คาร์บอน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในใบพืชร่วมยางพารา	57
6. อัตราส่วนขององค์ประกอบทางเคมี อัตราส่วนขององค์ประกอบทางเคมีต่อองค์ประกอบทางชีวเคมี และร้อยละขององค์ประกอบทางชีวเคมีทั้งหมดในใบพืชร่วมยางพารา	58
7. สมบัติของดินก่อนบ่ม	59
8. การเปลี่ยนแปลงพีเอชของดินหลังบ่มแต่ละช่วงเวลา	60
9. การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในช่วงเวลาต่างกัน	68

## รายการรูป

ภาพที่	หน้า
1. แสดงการจัดชั้นคุณภาพของเศษซากพืช ตามองค์ประกอบทางชีวเคมี	9
2. กลไกการเปลี่ยนแปลงของเศษซากพืชเป็นสารฮิวมิค	13
3. หมู่คาร์บอกซิลทำปฏิกิริยากับสารประกอบกลุ่มที่เป็นต่าง	15
4. อิทธิพลของพีเอชต่อการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าในดิน	15
5. การเชื่อมของสารประกอบกับบองค์ประกอบของโมนเมอร์ที่แตกต่างกัน	16
6. การจับตัวกันระหว่างโมนเมอร์ของฮิวมัสและแร่ดินเหนียว	17
7. การเกิดคีเลตชั้นของฮิวมัสกับธาตุต่าง ๆ หรือโลหะ	17
8. การเกิดพันธะต่าง ๆ ระหว่างสารฮิวมิคกับสารกำจัดศัตรูพืช	18
9. บริเวณจุดเก็บตัวอย่างดินแต่ละแปลงในจังหวัดสงขลาและพัทลุง	24
10. แผนผังการเก็บดิน	25
11. ความหนาแน่นรวมของดินที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวและพืชร่วมยางพาราต่างกัน	33
12. สภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว	34
13. ไดอะแกรมแสดงการกระจายของเนื้อดิน ตามร้อยละโดยมวลของทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay)	34
14. พีเอชของดินจากแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราและแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว	35
15. สภาพการนำไฟฟ้าของดินแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราและแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว	36
16. ไนโตรเจนทั้งหมดในดินแปลงพืชร่วมยางพาราและแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว	37
17. ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินแปลงพืชร่วมยางพาราและแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว	38
18. โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินแปลงพืชร่วมยางพาราและแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว	39
19. แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินแปลงพืชร่วมยางพาราและแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว	40
20. แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินแปลงพืชร่วมยางพาราและแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว	41
21. คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินแปลงพืชร่วมยางพาราและแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว	42
22. ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินแปลงพืชร่วมยางพาราและแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว	43
23. พีคของหมู่ฟังก์ชันภายในดินที่ทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มสเปคโตรสโคปี ที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร	45
24. พีคของหมู่ฟังก์ชันภายในดินที่ทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มสเปคโตรสโคปี ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร	46
25. พีคของหมู่ฟังก์ชันภายในดินที่ทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียทรานสฟอร์มสเปคโตรสโคปี ที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร	47

## รายการรูป (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
26. พีคของหมู่ฟังก์ชันภายในดินที่ทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มสเปคโตรสโคปี ที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร	48
27. ร้อยละการดูดกลืนแสงของพีคที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนอินทรีย์ (%rA) 2920 $\text{cm}^{-1}$ : อะลิฟาติก (aliphatic-C)	50
28. ร้อยละการดูดกลืนแสงของพีคที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนอินทรีย์ (%rA) 1630 $\text{cm}^{-1}$ : คาร์บอกซิล (Carboxylic-C)	51
29. ร้อยละการดูดกลืนแสงของพีคที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนอินทรีย์ (%rA) 1160 $\text{cm}^{-1}$ : พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides)	51
30. อัตราส่วนร้อยละการดูดกลืนแสงของพีคที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนอินทรีย์ (%rA) 1630/2920	52
31. ปริมาณเศษซากใบพีชรวมยางพารารายเดือน พฤษภาคม 2561- เมษายน 2562	54
32. ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ อ.เมือง จ.พัทลุง ระหว่าง พ.ค. 2561-เม.ย.2562	55
33. ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ระหว่าง พ.ค. 2561-เม.ย.2562	55
34. ปริมาณของคาร์บอนอินทรีย์ในดินก่อนบ่ม (0 วัน) และหลังบ่ม (120 วัน)	61
35. หมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ที่พบในดินบ่มที่ 0 วัน	62
36. หมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ที่พบในดินหลังบ่มที่ 120 วัน	63
37. Relative absorbance หมู่ฟังก์ชันของอินทรีย์สาร อะลิฟาติก ( $2920 \text{ cm}^{-1}$ )	63
38. Relative absorbance หมู่ฟังก์ชันของอินทรีย์สาร คาร์บอกซิล ( $1630 \text{ cm}^{-1}$ )	64
39. Relative absorbance หมู่ฟังก์ชันของอินทรีย์สาร อะโรมาติก เอไมด์ ( $1510 \text{ cm}^{-1}$ )	64
40. 1630/2920 ratio	65
41. การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียมหลังบ่มดินร่วมกับเศษซากใบพีชรวมยางพารา	66
42. การเปลี่ยนแปลงไนเตรตหลังบ่มดินร่วมกับเศษซากใบพีชรวมยางพารา	67
43. ปริมาณอิมโมบิไลเซชัน-มิเนอรัลไลเซชันสุทธิของไนโตรเจนจากดินบ่ม	69
44. การปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากใบพีชรวมยางพาราในดินบ่ม	70
45. ร้อยละการปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากใบพีชรวมยางพาราในดินบ่ม	71
46. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่บ่มด้วยเศษซากใบพีชรวมยางพารา	72
47. ปริมาณอิมโมบิไลเซชัน-มิเนอรัลไลเซชันสุทธิของฟอสฟอรัสจากดินบ่ม	73
48. ปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากใบพีชรวมยางพาราในดินบ่ม	74
49. ร้อยละการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากใบพีชรวมยางพาราในดินบ่ม	75

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1. บทนำต้นเรื่อง

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลกมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 (กรมวิชาการเกษตร, 2560) โดยในปี พ.ศ. 2557 มีผลผลิต 4.42 ล้านตัน แต่ในปี พ.ศ. 2558 มีผลผลิตลดลงเหลือ 4.39 ล้านตัน เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นยางพาราที่เริ่มกรี๊ดได้เป็นปีแรก และยังให้ผลผลิตต่อไร่น้อย อีกทั้งในปี พ.ศ. 2557-2559 รัฐบาลมีการควบคุมปริมาณการผลิตยางพาราโดยโครงการตัดโค่นต้นยางอายุมาก เพื่อปลูกทดแทนหรือเปลี่ยนไปปลูกพืชอื่น โครงการทวงคืนพื้นที่เป็นสวนยางพารา และโครงการสนับสนุนสินเชื่อเกษตรกรชาวสวนยางพารารายย่อย เพื่อประกอบอาชีพเสริม โดยมีเงื่อนไขกำหนดให้เกษตรกรตัดโค่นต้นยางพาราบางส่วนเพื่อลดจำนวนยางพารา ทำให้จำนวนต้นยางพาราที่ให้ผลผลิตระหว่างปีลดลง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) และเนื่องด้วยสถานการณ์ราคายางพารามีแนวโน้มลดลง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555-2558 ที่ผ่านมา รัฐบาลรวมทั้งหน่วยงานต่าง ๆ เช่น การยางแห่งประเทศไทย กรมวิชาการเกษตรทั้งในส่วนกลางและศูนย์วิจัยในภูมิภาคมีการสนับสนุนให้ปลูกพืชแซมยางพาราและพืชร่วมยางพารา เพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่ชาวสวนยางพารา โดยพืชร่วมยางพาราเป็นพืชที่ปลูกเพื่อให้ผลผลิตพร้อม ๆ กับยางพาราได้ ซึ่งจะเป็นพืชที่สามารถขึ้นได้ดีในสภาพร่มเงา พืชร่วมยางพาราที่น่าสนใจ เช่น ผักเหลียง หน้าวัว ดาหลา สละ และไม้ป่า เป็นต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2560) พืชร่วมยางพาราเหล่านี้มีอายุหลายปี คาดว่าทำให้มีเศษซากพืชโดยเฉพาะใบที่ร่วงหล่นสะสมเป็นเวลาหลายปี มีรายงานว่า เศษซากพืชหรือสารอินทรีย์แต่ละชนิดมีความสามารถในการย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารได้แตกต่างกัน (Brady and Weil, 2010) การย่อยสลายและปลดปล่อยขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 2 ปัจจัย คือ สภาพแวดล้อมภายในดินและคุณภาพของเศษซากพืชที่ใส่ลงไปในดิน (Brady and Weil, 2010) วัสดุอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบทางชีวเคมีแตกต่างกัน (เช่น ไนโตรเจน ลิกนิน โพลีฟีนอล และเซลลูโลส) จะมีคุณภาพแตกต่างกัน (Palm *et al.*, 2001; Puttaso *et al.*, 2011) โดย Palm และคณะ (2001) ได้ทำการจำแนกชั้นคุณภาพของสารอินทรีย์ตามเกณฑ์ขององค์ประกอบทางชีวเคมีเพื่อใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยใช้ไนโตรเจน (โปรตีน) ลิกนิน และโพลีฟีนอล (polyphenol) เป็นเกณฑ์ ได้แบ่งสารอินทรีย์เป็น 4 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ชั้นคุณภาพที่ 1 คือ ส่วนที่เป็นแหล่งไนโตรเจนให้กับดินโดยตรง ชั้นคุณภาพที่ 2 คือ ส่วนที่ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ ชั้นคุณภาพที่ 3 คือ ส่วนที่ค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้า ๆ และชั้นคุณภาพที่ 4 คือ ส่วนที่คลุมผิวดินทำหน้าที่ลดการกร่อนของดิน และมีรายงานว่า การปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากพืชต่างชนิดกัน โดยบ่มดิน

(ร่วนเหนียวปนทราย) ร่วมกับเศษซากพืชตระกูลหญ้า ถั่วลันเตา และข้าวโอ๊ต พบว่า เศษซากพืชตระกูลหญ้าและถั่วลันเตามีการปลดปล่อยไนโตรเจนสูงใกล้เคียงกัน และสูงกว่าข้าวโอ๊ต เมื่อนำมาจัดลำดับชั้นคุณภาพตาม Palm และคณะ (2001) พบว่า เศษซากพืชตระกูลหญ้าและถั่วลันเตาจัดอยู่ในชั้นคุณภาพที่ 1 และเศษซากข้าวโอ๊ตจัดอยู่ในชั้นคุณภาพที่ 4 (Murungu *et al.*, 2011)

สถาบันวิจัยยาง (2551) ได้กำหนดระดับอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมของดินสำหรับปลูกยางพาราเท่ากับ 10-25 กรัมต่อกิโลกรัม แต่พบว่าดินปลูกยางพาราในภาคใต้ส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์และอินทรีย์วัตถุต่ำ (นุชนารถ และคณะ, 2522; นวลศรี และคณะ, 2543; จำเป็น และคณะ, 2556) และการเพิ่มเศษซากพืชสามารถเพิ่มอินทรีย์วัตถุ มีรายงานว่า การปลูกขาร่วมกับยางพารา (Zhang *et al.*, 2007) และการปลูกยางพาราร่วมกับกาแฟ โกโก้ มะเดื่อ และพะยูน (Chen *et al.*, 2017) มีแนวโน้มทำให้ปริมาณคาร์บอนในดินสูงกว่าการปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว ซึ่งคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon) เป็นอีกหนึ่งตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Reeves, 1997; González-Pérez *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2007) เนื่องจากอินทรีย์วัตถุในดินหรือคาร์บอนอินทรีย์ในดินเป็นตัวชี้วัดที่มีความสำคัญในการประเมินคุณภาพของดิน และมีผลต่อสมบัติทั้งทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของดิน (Brady and Weil, 2010; Sparks, 2003) โดยบทบาทของอินทรีย์วัตถุในการปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ เช่น ทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีขึ้น มีเม็ดดินมากขึ้น ลดความหนาแน่นรวม และช่วยให้ดินอุ้มน้ำได้มากขึ้น ในด้านเคมีของดิน อินทรีย์วัตถุช่วยเพิ่มความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน ความต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดิน และช่วยลดความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในดินกรดได้นอกจากนี้ในอินทรีย์วัตถุประกอบด้วยคาร์บอนเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์ในดินได้เป็นอย่างดี (Sparks, 2003; Brady and Weil, 2010; Molina, 2014; Novelli *et al.*, 2017) อีกทั้งคาร์บอนอินทรีย์มีองค์ประกอบหรือหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญที่มีบทบาทในการปรับปรุงสมบัติดังกล่าวข้างต้น เช่น หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl) หมู่อินอล (enol) หมู่ฟีนอลิก (phenolic OH) ควิโนน (quinone) แอลกอฮอล์ิก (alcoholic OH) อีเทอร์ (ether) คีโตน (ketone) ออลดีไฮด์ (aldehyde) เอสเทอร์ (ester) เอมีน (amine) และเอไมด์ (amide) หมู่ฟังก์ชันที่กล่าวมาเหล่านี้ประกอบด้วยโครงสร้างที่ซับซ้อน และไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แต่โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างเป็นสาย (aliphatic OH) และเป็นวงแหวน (aromatic OH) (Sparks, 2003)

ดังนั้นการศึกษารอบองค์ประกอบทางชีวเคมีของพืชร่วมยางพารา องค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์และสมบัติของดินภายใต้พืชร่วมยางพาราที่แตกต่างกันจะสามารถสะท้อนความเข้าใจในเรื่องอินทรีย์วัตถุที่ส่งผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และความอุดมสมบูรณ์ของดิน นำไปสู่การเลือกพืชร่วมยางพาราที่เหมาะสมและเป็นแนวทางในการจัดการดินปลูกยางพาราต่อไป

## 2. ตรวจสอบเอกสาร

### 2.1 ความสำคัญของพืชร่วมยางพาราในประเทศไทย

พืชร่วมยางพารา คือ พืชที่ปลูกเพื่อให้ผลผลิตพร้อม ๆ กับยางพารา ซึ่งจะเป็นพืชที่สามารถขึ้นได้ดีในสภาพร่มเงา (กรมวิชาการเกษตร, 2560) แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม มีดังนี้

1) พืชร่วมยางพาราที่สามารถเจริญเติบโตได้ภายใต้ร่มเงาของยางพารา เมื่อต้นยางพารามีอายุ 3 ปีขึ้นไป เช่น ชิง ข่า ขมิ้น ผักพื้นบ้าน และพืชสมุนไพรบางชนิด โดยปลูกระหว่างแถว ระยะห่างจากแถวยางพาราประมาณ 1.5 เมตร

2) พืชร่วมยางพาราที่ทนต่อสภาพร่มเงาของต้นยางพารา เมื่อต้นยางพารามีอายุประมาณ 10 ปี ซึ่งมีแสงรำไรเพียงพอและมีฝนตกชุก จะเหมาะสมต่อการปลูกไม้ดอกสกุลหน้าวัว ไม้ดอกตระกูลชิง เช่น ชิงแดง ดาหลา หงส์เหิน กระเจียวพังงา กระเจียวส้ม บัว ไม้ดอกสกุลเฮลิโกเนีย และไม้ประดับบางชนิด โดยปลูกระหว่างแถวยางพารา ระยะห่างจากแถวยางพาราประมาณ 1.5-1.7 เมตร

3) พืชร่วมยางพาราที่ทนต่อสภาพร่มเงาของต้นยางพาราที่มีอายุ 15 ปี ขึ้นไป ได้แก่ พืชสกุลระกำ เช่น ระกำหวาน สละเนืวนง สละหม้อ หวายตะค้าทอง กระวาน โดยปลูกกึ่งกลางแถวยางพารา สำหรับหวายตะค้าทอง อาจเป็นอุปสรรคต่อการปฏิบัติงานในสวนยางพารา แนะนำให้ปลูกเป็นพืชเสริมรายได้ก่อนการโค่นยางพารา

4) การปลูกไม้ป่าในสวนยางพารา มีไม้ป่าบางชนิดที่ทนต่อสภาพร่มเงาของต้นยางพาราขนาดใหญ่ โดยปลูกผสมผสานกึ่งกลางระหว่างแถวยางพาราและทดแทนการปลูกซ่อมต้นยางพารา เช่น ในสวนยางพาราทางภาคใต้ ได้แก่ กระถินเทพา กระถินณรงค์ สะเดาเทียม ทั้ง พะยอม มะฮอกกานี เคี่ยม ตะเคียนทอง ยางนา ยมหิน และตำเสา ในสวนยางพาราทางภาคตะวันออก ได้แก่ กระถินเทพา กระถินณรงค์ สะเดาไทย ยมหอม ตะเคียนทอง ยมหิน ยางนาแดง และประดู่ป่า และในสวนยางพาราทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ กระถินเทพา กระถินณรงค์ สะเดาไทย ยางนา ตะเคียนทอง ยมหิน พะยูง สาธร และประดู่ป่า เป็นต้น

กรมวิชาการเกษตร (2560) ได้แนะนำการปลูกพืชร่วมยางพาราบางชนิด ได้แก่

1) ผักเหลียง ซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเกือบทุกสภาพ ปลูกครั้งเดียว และสามารถเก็บยอดอ่อนได้หลายปี ควรปลูกหลังจากที่ต้นยางพาราอายุ 4 ปีขึ้นไป ดูแลรักษาง่าย ศัตรูพืชน้อย เป็นพืชที่ผู้บริโภคให้ความสนใจเนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการ และปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง 2) หน้าวัว เป็นพืชที่เหมาะสมกับการปลูกในสภาพสวนยางพาราอายุประมาณ 10 ปี มีแสงน้อย และมีความชื้นสูง มีอายุการเก็บเกี่ยวได้หลายปี ดอกหน้าวัวเป็นที่ต้องการของตลาด โดยเฉพาะในจังหวัดที่มีการส่งเสริมการท่องเที่ยว สามารถจำหน่ายทั้งเป็นไม้ตัดดอก และจำหน่ายเป็นต้นพันธุ์ 3) ดาหลา เป็นพืชที่ขึ้นได้ในสภาพร่มเงา ชอบอากาศชื้น เหมาะที่จะปลูกในระหว่างแถวยางพารา หลังจากปลูกยางพาราไปแล้ว 5 ปี ปลูกได้ในดินหลายชนิด มีความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศ อายุการเก็บเกี่ยวยาวนาน

ดอกสามารถจำหน่ายได้ทั้งเป็นไม้ประดับ เป็นอาหาร และลำต้นสามารถนำมาสกัดเป็นเส้นใยได้

4) สละ เป็นไม้ผลที่ขึ้นได้ดีในสภาพร่มเงา ปลูกได้ในดินหลายประเภท แต่ควรระบายน้ำดี ศัตรูพืชน้อย เป็นพืชที่ยังมีเกษตรกรปลูกน้อยเนื่องจากต้องใช้เวลาในการช่วยผสมเกสร ให้ผลผลิตได้ตลอดปี จำหน่ายได้ทั้งในรูปผลสด สละลอยแก้ว หรือขายต้นพันธุ์ ราคาผลผลิตดี และราคาค่อนข้างคงที่ตลอดปี และ 5) ไม้ป่าในสวนยางพารา ไม้ป่าเป็นพืชที่หวังผลระยะยาว ซึ่งจะมีช่วงอายุการตัดฟันเป็นระยะ เช่น ระยะ 5 ปี 10 ปี และ 20 ปี โดยแบ่งกลุ่มเป็น 3 กลุ่ม คือ ไม้โตเร็ว เช่น กระถินเทพา กระถินณรงค์ ไม้โตปานกลาง เช่น สะเดาเทียม สะเดาไทย หัง พะยอม ยมหิน และไม้โตช้า เช่น มะฮอกกานี เคี่ยม ตะเคียนทอง ยางนา ตำเสา ประดู่ป่า พะยูง เป็นต้น

### 2.1.2 ผลของพืชร่วมยางพารา การเจริญเติบโตของพืช และสมบัติดิน

ดินปลูกยางพาราส่วนใหญ่ในภาคใต้มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ซึ่งเป็นสมบัติทั่วไปของดินเขตร้อน (Kanket *et al.*, 2005; Navarrete *et al.*, 2007) มีการศึกษาระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ใช้ปลูกยางพาราในภาคใต้ ช่วงความลึก 0-25 เซนติเมตร พบว่า ดินส่วนใหญ่เป็นดินกรด พีเอชอยู่ในช่วง 5.1-5.5 อินทรีย์วัตถุ 15-35 กรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่สกัดได้ 60-90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (นวลศรี และคณะ, 2543) สอดคล้องกับการศึกษาสมบัติทางเคมีของดินบน (0-30 cm) ของดินปลูกยางพาราในภาคใต้ พบว่า พีเอช อยู่ในช่วง 4.3-5.0 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 4-23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่สกัดได้ 0.50-0.87 เซนติโมลต่อกิโลกรัม แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.06-2.08 เซนติโมลต่อกิโลกรัม แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 0.03-0.44 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (นุชนารถ และคณะ, 2522) นอกจากนี้มีการศึกษาสถานะโพแทสเซียมและสมบัติของดินนาร้างและดินดอนที่ใช้ปลูกยางพารา พบว่า ดินในที่ดินมีเนื้อหยาบกว่าดินในบริเวณที่ลุ่ม มีความหนาแน่นรวมสูงกว่า และสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวเร็วกว่าดินที่ลุ่ม ทั้งดินในที่ดินและที่ลุ่มมีสภาพเป็นกรด มีอินทรีย์วัตถุ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนและความอิ่มตัวเบส ส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำ (จำป๋น และคณะ, 2556) และมีรายงานว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เช่น เปลี่ยนจากพื้นที่ป่าเพื่อทำการเกษตร และมีการทำการเกษตรแบบระบบปลูกพืชเชิงเดี่ยวติดต่อกันเป็นระยะเวลา ทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง (Qing *et al.*, 2013) ดังนั้น การปลูกพืชร่วมยางพารานอกจากจะช่วยเพิ่มรายได้ให้เกษตรกร อาจจะช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุ และปรับปรุงสมบัติของดินให้ดีขึ้นได้

มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับพืชร่วมยางพาราของกรมวิชาการเกษตร แต่เน้นศึกษาในแง่ของความเป็นไปได้ที่จะปลูกร่วมกับยางพารา จากการศึกษาส่วนใหญ่ พบว่า การปลูกพืชร่วมยางพารา ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นยางพารา (ไววิทย์ และคณะ, 2546; อารักษ์ และคณะ, 2546; พันัส, 2546a; พันัส, 2546b) อย่างไรก็ตามจากการค้นหาข้อมูลงานวิจัยในประเทศไทย พบว่า ไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาผลของพืชร่วมยางพารากับสมบัติของดินปลูกยางพารา แต่พบว่า ทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศไทยมีการศึกษาการปลูกพืชร่วมกับยางพารา มีรายงานว่า การปลูกพืชร่วมกับยางพารามีแนวโน้มทำให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินสูงกว่าการปลูกยางพารา

เชิงเดี่ยว (Zhang *et al.*, 2007) และการปลูกยางพาราร่วมกับกาแฟ โกโก้ มะเดื่อ และพะยูน (*C. Arabica*, *T. cacao*, *F. macrophylla*, *D. cochinchinensis*) มีผลทำให้ปริมาณไนโตรเจนและอินทรีย์วัตถุสูงขึ้น ลดอัตราการสูญเสียไนโตรเจน และอินทรีย์วัตถุ โดยแต่ละสายพันธุ์ของพืชร่วมยางพารา ก็จะทำให้ผลที่แตกต่างเช่นกัน (Chen *et al.*, 2017) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของดินและการกักเก็บคาร์บอนในดินที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวในประเทศจีน พบว่าเมื่อยางพารามีอายุมากขึ้น (พ.ศ. 2497-2538) ความอุดมสมบูรณ์ของดินและคาร์บอนในดินลดลง จึงมีการแนะนำให้ปลูกพืชตระกูลถั่วเป็นพืชร่วมยางพารา (Cheng *et al.*, 2007) และมีการศึกษาการปลูกกาแฟ และโกโก้ร่วมกับยางพาราในประเทศจีน พบว่า การปลูกพืชร่วมยางพาราแต่ละชนิดทำให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำของยางพาราเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ยางพาราสามารถดูดใช้ธาตุอาหารได้มากขึ้น และมีการแนะนำให้ปลูกร่วมกับการปลูกชาติที่ดีที่สุด (Wu *et al.*, 2016) และยังมีการศึกษาการปลูกกาแฟร่วมกับยางพาราในระยะยาว (26 ปี) ในประเทศจีน พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ แอมโมเนียม และไนโตรเจนทั้งหมดลดลงเล็กน้อย แต่ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ พีเอช และไนเตรตเพิ่มขึ้น แสดงถึงอิทธิพลของการปลูกพืชร่วมยางพาราที่ต่างกัน (Juan *et al.*, 2017)

## 2.2 องค์ประกอบทางชีวเคมีของเศษซากพืช

### 2.2.1 องค์ประกอบทางชีวเคมีและการย่อยสลายของเศษซากพืช

สารประกอบที่มีมากที่สุดในพืช ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) รองลงมา ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) โปรตีน แป้ง และน้ำตาล ตามลำดับ สารประกอบเหล่านี้จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แตกต่างกันออกไป กระบวนการย่อยสลายหลัก ๆ มีอยู่ 2 ประเภท คือ 1) กระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (aerobic decomposition) และ 2) กระบวนการย่อยสลายที่ไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic decomposition) โดยในธรรมชาติ กระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นโดยทั่วไป เช่น ในพื้นที่ป่าไม้หรือพื้นที่ทำการเกษตร (ยกเว้นดินนาข้าว) หลักการโดยทั่วไปของการย่อยสลายสารประกอบจากเศษซากพืชมี 4 กลุ่มดังนี้ (อรรณ, 2551)

2.2.1.1 การย่อยสลายสารประกอบที่มีโครงสร้างง่ายต่อการทำลายพันธะเคมีโดยจุลินทรีย์ เช่น สารประกอบประเภทน้ำตาล แป้ง และโปรตีน

2.2.1.2 การย่อยสลายสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนในการทำลายพันธะเคมีโดยจุลินทรีย์ ซึ่งอาจจะใช้เวลาในการย่อยสลาย 2-3 ปี สารประกอบเหล่านี้ เช่น เซลลูโลสและลิกนิน

2.2.1.3 การย่อยสลายสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนกว่าข้อที่ 2.2.1.2 ซึ่งในการทำลายพันธะทางเคมีอาจจะต้องใช้เวลานาน 10 ปี เช่น สารประกอบกลุ่มไข (waxes)



และฟีนอล (phenols) ในกลุ่มนี้รวมถึงสารประกอบอินทรีย์ที่เชื่อมระหว่างเม็ดดินซึ่งค่อนข้างเสถียร และยากต่อการเข้าไปย่อยสลายของจุลินทรีย์

2.2.1.4 สารประกอบอื่น ๆ ที่ต้องใช้เวลานานหลายสัปดาห์ หรืออาจนานกว่า ในการย่อยสลาย เช่น สารประกอบฮิวมิก (humic substances) นอกจากนี้ยังรวมถึงสารประกอบที่เรียกว่า humus-like substances ซึ่งเป็นสารที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นจากการย่อยสลาย

เศษซากพืชหรือสารอินทรีย์แต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางชีวเคมีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิด สายพันธุ์ และอายุพืช โดยจะกล่าวถึงองค์ประกอบที่มีผลต่อการปลดปล่อยธาตุอาหารและการย่อยสลาย ดังนี้

**1) เซลลูโลส (cellulose)** เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งถือว่าเป็นองค์ประกอบโครงสร้างที่สำคัญของผนังเซลล์และมีมากถึงร้อยละ 40-45 ของน้ำหนักแห้งพืช (Kunlanit, 2014) และพบเซลลูโลสสูงในส่วนของก้านและลำต้น อีกทั้งยังเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ของสาหร่าย และแบคทีเรีย (Kögel-Knabner, 2002) เซลลูโลส ประกอบด้วยกลูโคสมากกว่า 10,000 โมเลกุล และกลูโคสเป็นตัวเชื่อมที่ carbon atom 1, 4 และเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่อยู่ร่วมกันกับเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ประมาณร้อยละ 15 ของโมเลกุลเซลลูโลสมีโครงสร้างแบบอะมอร์ฟัส (amorphous structure) (Klemm *et al.*, 1998; Kögel Knabner, 2002) การย่อยสลายเซลลูโลสเกิดขึ้นจากอิทธิพลของเอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) เอนไซม์เบต้า-โพลีกลูโคซิเดส ( $\beta$ -polyglucosidase) และเอนไซม์เบต้ากลูโคซิเดส ( $\beta$ -glucosidase) ได้เป็นกลูโคส (อัจฉรา, 2549)

**2) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)** เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งในพืช พบเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส จะมีความแตกต่างกับเซลลูโลสที่องค์ประกอบของหน่วยโครงสร้างน้ำตาล (ส่วนใหญ่ เพนโทส (pentoses) เฮกโซส (hexose) กรดเฮกซูโรนิก (hexuronic acids) และเดกโซซีเฮกโซส (desoxyhexoses)) ขนาดของโซ่และแขน ซึ่งแขนของเซลลูโลสจะจับกับโมเลกุลของน้ำตาล พันธะที่เชื่อมกับไกลโคไซด์ิก (glycosidic) และมีระดับของความเป็นพอลิเมอร์ต่ำกว่าเซลลูโลส อีกทั้งเฮมิเซลลูโลสยังถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ง่ายกว่าเซลลูโลส (Swift *et al.*, 1979) เช่นเดียวกับเซลลูโลส นอกจากจะพบในเซลล์พืชแล้ว ยังพบในเซลล์ของสาหร่าย แบคทีเรีย และเชื้อรา (Kögel-Knabner, 2002)

**3) ลิกนิน (lignin)** เป็นไบโพลิเมอร์ที่พบมากในธรรมชาติและประกอบในพืชที่พบมารองจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีโมเลกุลขนาดใหญ่ รูปร่างสามมิติ มีฟีนิลโพรเพนเป็นองค์ประกอบ และเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ของท่อลำเลียงพืช เพ็ริน และมอส โดยพบในผนังเซลล์ปฐมภูมิ ผนังเซลล์ทุติยภูมิ และมิตติลลามาเมลลา ของเส้นใยเซลลูโลสขนาดเล็ก (Kögel-Knabner, 2002) มีลักษณะแบบเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) และมีกลุ่มอะโรมาติกปริมาณสูง ลิกนินในพืชมาจาก 3 แหล่งใหญ่ ๆ 1) ลิกนินจากไม้เนื้ออ่อน 2) ลิกนินจากไม้เนื้อแข็ง และ 3) ลิกนินจากหญ้า ไม้ และปาล์ม (Tan, 2011) พืชที่อายุน้อยจะมีลิกนินอยู่น้อยกว่าพืชที่มีอายุมาก เช่น ในหญ้าหรือถั่วอ่อน ๆ พบลิกนินร้อยละ 3-6 ขณะที่ในต้นไม้ที่มีอายุมากจะมีลิกนินร้อยละ

15-30 (อัจฉรา, 2549) บางส่วนของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสจับกับลิกนินเรียกว่า ลิกโนเซลลูโลส (ligno-cellulose-) Fengel and Wegener, 1984; Sjöström, 1993 อ้างโดย (Kögel-Knabner, 2002) ลิกนินเป็นส่วนที่ทนทานต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และจะไม่ถูกย่อยสลายในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic conditions) (Kögel-Knabner, 2002) ลิกนินมีความแตกต่างกันตามชนิดอายุ และสภาพการเจริญเติบโตของพืช โดยทั่วไปลิกนินมีน้ำหนักโมเลกุล 300-11,000 โมเลกุล โครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบอะโรมาติก ในส่วนของโครงสร้างอะโรมาติกมีกลุ่มเมทอกซิลร้อยละ 14 (อัจฉรา, 2549) ลิกนินเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีอัตราการสลายค่อนข้างช้า ภายในเวลา 6-7 เดือน มีการย่อยสลายประมาณร้อยละ 50 เมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารชนิดอื่น ๆ หมด จึงย่อยสลายลิกนินเป็นสารสุดท้ายทั้งนี้เพราะลิกนินเป็นอินทรีย์สารที่ทนต่อการย่อยสลายโดยเอนไซม์มากที่สุด (อัจฉรา, 2549)

อัตราส่วนระหว่างลิกนินต่อไนโตรเจนเป็นอีกตัวชี้วัดในการย่อยสลาย (Melillo *et al.*, 1982) พบว่า อัตราส่วนลิกนินต่อไนโตรเจนมีอิทธิพลอย่างมากต่อการย่อยสลาย เนื่องจากไนโตรเจนจะไปทำปฏิกิริยากับลิกนิน ทำให้ทนทานต่อการย่อยสลายมากขึ้น (Aerts, 1997) และการใส่ไนโตรเจนจะไปยับยั้งการย่อยสลายของลิกนินโดยการยับยั้งการสังเคราะห์เอนไซม์ไลกโน-ไลติก (lignolytic) หรือส่งเสริมให้เกิดการจับกันเป็นรูปที่ทนทานต่อการย่อยสลายมากขึ้น (Berg and Matzner, 1997) แต่ปริมาณไนโตรเจนในเศษซากพืชที่ค่อนข้างสูงก็มีผลต่อการปลดปล่อยและย่อยสลาย เนื่องจากไนโตรเจนจำเป็นในกระบวนการย่อยสลายแบบภายนอกเซลล์ (extracellular) และแบบภายในเซลล์ (intracellular enzymes) ของจุลินทรีย์ (Mohanty *et al.*, 2011) ในส่วนของซากพืชที่ย่อยสลายไปบ้างแล้วหรือส่วนที่ย่อยสลายเกือบสมบูรณ์ จะมีลิกนินในสัดส่วนที่สูงซึ่งนับเป็นส่วนสำคัญในแง่การกำเนิดและมีผลต่อปริมาณสารฮิวมิก (อัจฉรา, 2549)

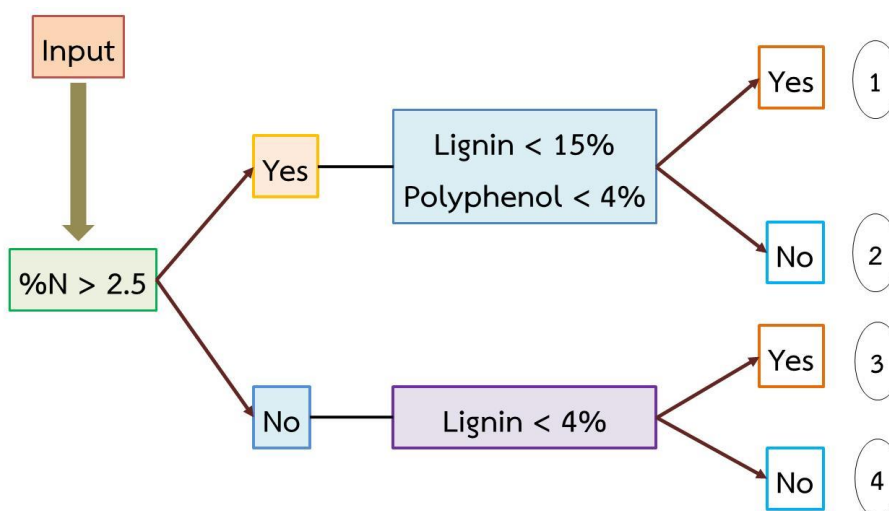
**4) โพลีฟีนอล (polyphenol)** เป็นสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลตั้งแต่ 500 ถึง 3000-4000 ดัลตัน และมีกลุ่มฟีนอลิกไฮดรอกซิก 12 ถึง 16 กลุ่มบนวงแหวนอะโรมาติก 5 ถึง 7 วงต่อ 1000 ดัลตัน ของมวลโมเลกุลสัมพัทธ์ (Watson *et al.*, 2010) สารประกอบฟีนอลสามารถตกตะกอนกับเจลาติน โปรตีน และอัลคาลอยด์บางชนิดในสารละลาย (Quideau *et al.*, 2011) มีการแบ่งโพลีฟีนอลในพืชออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) proanthocyanidins (condensed tannins) 2) gallo-ellagitannins (hydrolysable tannins) 3) phlorotannins (Kunlanit, 2014) นอกจากนี้โพลีฟีนอลมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการทำลายของแมลงหรือสัตว์ อีกทั้งโพลีฟีนอลจากเศษซากพืชในดินเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการควบคุมการย่อยสลายเศษซากพืชในดิน (Quideau *et al.*, 2011) โพลีฟีนอล และอัตราส่วนโพลีฟีนอลต่อไนโตรเจน มีความสำคัญต่อการย่อยสลายเศษซากพืชและกระบวนการมิเนอรัลไลเซชัน (Swift *et al.*, 1979) โพลีฟีนอลจะทำปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีนทำให้ย่อยสลายได้ยากขึ้น อีกทั้งอินทรีย์ไนโตรเจน-โพลีฟีนอลจะจับตัวกับไนโตรเจนในใบ ทำให้พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Handayanto *et al.*, 1997)

**5) โปรตีน (protein)** ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จับกันเป็นโพลิเมอร์แบบสั้น ๆ เรียกว่าเปปไทด์ แต่ถ้ามีจำนวนกรดอะมิโนเชื่อมต่อกันจำนวนมาก เรียกว่า โพลีเปปไทด์

(polypeptide) หรือโปรตีน มีสายโซ่ยาวของกรดอะมิโนต่าง ๆ ประกอบด้วยกรดอะมิโนมากกว่า 20 ชนิด (Kögel-Knabner, 2002; Sewald and Jakube, 2009 อ้างโดย Tan, 2011) เชื่อมกันด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) โดยมีกรดอะมิโน (-NH<sub>2</sub>) หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ไฮโดรเจนหนึ่งอะตอมและโซ่ด้านข้าง (-R) และที่ พีเอช 7 กรดอะมิโนจะเกิดการรับโปรตอน (protonation) เป็น -NH<sub>3</sub><sup>+</sup> และหมู่คาร์บอกซิลจะเกิดการสูญเสียโปรตอน (deprotonation) เป็น -COO<sup>-</sup> กรดอะมิโนได้จากกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของโปรตีน กรด  $\alpha$ -amino และสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ 1) อะลิฟาติก (aliphatic) 2) อะโรมาติก (aromatic) และ 3) กรดอะมิโนเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic amino acids) (Tan, 2011; Feher, 2017) โปรตีนจะทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ (enzymes) ขนส่งโปรตีน (transport proteins) และเก็บข้อมูลสารพันธุกรรม เป็นต้น โปรตีนจากพืชและเนื้อเยื่อเซลล์จุลินทรีย์สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ โดยทำให้องค์ประกอบของพืชมีความเสถียรลดลง และเกิดการปลดปล่อยธาตุต่าง ๆ กลับคืนสู่ดิน (Kögel-Knabner, 2002)

### 2.3 การจำแนกชั้นคุณภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมีของเศษซากพืชต่อการปลดปล่อยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคาร์บอนในดิน

องค์ประกอบทางชีวเคมีในเศษซากพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทั้งปริมาณและโครงสร้าง ซึ่งจะส่งผลต่อการย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารจากเศษซากพืชแตกต่างกัน โดยโครงสร้างหรือสารประกอบทางเคมีที่มีความซับซ้อนและอยู่ในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสม จะมีผลต่อคุณภาพหรือความสามารถในการย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหารได้ (Brady and Weil, 2010; Vahdat *et al.*, 2011) แต่ก็ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการย่อยสลายและปลดปล่อยธาตุอาหาร เช่น การถ่ายเทอากาศ ระดับความชื้น อุณหภูมิและความเป็นกรดเป็นด่างของดิน และเมื่อมีการย่อยสลายก็จะปลดปล่อยธาตุอาหารสู่ดินและเป็นแหล่งธาตุอาหารแก่พืชและสิ่งมีชีวิต (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548; Pizzeghello *et al.*, 2017) โดย Palm และคณะ (2001) ได้ทำการจำแนกชั้นคุณภาพของสารอินทรีย์ โดยจำแนกสารอินทรีย์ตามเกณฑ์ขององค์ประกอบทางชีวเคมีเพื่อใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยใช้ไนโตรเจน (โปรตีน) ลิกนิน และโพลีฟีนอล (polyphenol) เป็นเกณฑ์ ได้แบ่งสารอินทรีย์เป็น 4 ชั้นคุณภาพ ได้แก่ ชั้นคุณภาพที่ 1 คือ ส่วนที่เป็นแหล่งไนโตรเจนให้กับดินโดยตรง (สารอินทรีย์ที่มีปริมาณไนโตรเจน > ร้อยละ 2.5 ลิกนิน < ร้อยละ 15 และมีโพลีฟีนอล < ร้อยละ 4 ของน้ำหนักแห้ง) ชั้นคุณภาพที่ 2 คือ ส่วนที่ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ (สารอินทรีย์ที่มีปริมาณไนโตรเจน > ร้อยละ 2.5 ลิกนิน > ร้อยละ 15 และโพลีฟีนอล > ร้อยละ 4 ของน้ำหนักแห้ง) ชั้นคุณภาพที่ 3 คือ ส่วนที่ค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้า ๆ (สารอินทรีย์ที่มีปริมาณไนโตรเจน < ร้อยละ 2.5 ลิกนิน < ร้อยละ 15 ของน้ำหนักแห้ง) และชั้นคุณภาพที่ 4 คือ ส่วนที่คลุมผิวหน้าดินทำหน้าที่ลดการกร่อนของดิน (สารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจน < ร้อยละ 2.5 และลิกนิน > ร้อยละ 15 ของน้ำหนักแห้ง) (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แสดงการจัดชั้นคุณภาพของเศษซากพืช ตามองค์ประกอบทางชีวเคมีและไนโตรเจน  
ที่มา : ดัดแปลงจาก Palm และคณะ (2001)

มีการศึกษาผลของคุณภาพของสารอินทรีย์ต่อกระบวนการมิเนอรัลไลเซชันหรืออิมโมบิไลเซชันของไนโตรเจน และปริมาณคาร์บอนในดินโดยใช้พืชตระกูลถั่ว (ชั้นคุณภาพที่ 1 และ 2) และไม้ใช้พืชตระกูลถั่ว (ชั้นคุณภาพที่ 3 และ 4) โดยนำมาบ่มร่วมกับดินร่วนเหนียว และศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจน พบว่า เศษซากพืชตระกูลถั่วเกิดมิเนอรัลไลเซชัน และในส่วนของไม้ใช้พืชตระกูลถั่วจะเกิดอิมโมบิไลเซชันของไนโตรเจน และไนโตรเจนที่ปลดปล่อยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณไนโตรเจนในเศษซากพืช ( $r = 0.89$ ;  $p \leq 0.01$ ) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณลิกนิน ( $r = -0.84$ ;  $p \leq 0.01$ ) สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ( $r = -0.69$ ;  $p \leq 0.05$ ) สัดส่วนลิกนินต่อไนโตรเจน ( $r = -0.68$ ;  $p \leq 0.05$ ) สัดส่วนโพลีฟีนอลต่อไนโตรเจน ( $r = -0.73$ ;  $p \leq 0.05$ ) และสัดส่วนลิกนินบวกโพลีฟีนอลต่อไนโตรเจน ( $r = -0.70$ ;  $p \leq 0.05$ ) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกว่าองค์ประกอบทางชีวเคมีของเศษซากพืชเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่จะกำหนดการปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากพืชและการเกิดมิเนอรัลไลเซชันหรืออิมโมบิไลเซชันของไนโตรเจนในดิน (Abbasi *et al.*, 2015) สอดคล้องกับการศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีของเศษซากพืชที่แตกต่างกันต่อการมิเนอรัลไลเซชันของไนโตรเจนในดิน โดยบ่มดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ร่วมกับเศษซากพืชที่มีองค์ประกอบทางชีวเคมีที่แตกต่างกันทั้งหมด 8 ชนิด เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับการปลดปล่อยไนโตรเจน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในเศษซากพืชมีความสัมพันธ์เชิงลบกับลิกนิน ( $r = -0.965$ ;  $p \leq 0.001$ ) และสัดส่วนลิกนินต่อไนโตรเจน ( $r = -0.943$ ;  $p \leq 0.001$ ) และพบว่า มิเนอรัลไลเซชันของไนโตรเจน มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณไนโตรเจนในเศษซากพืช ( $r = 0.965$ ;  $p \leq 0.001$ ) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณลิกนิน ( $r = -0.974$ ;  $p \leq 0.001$ ) (Vahdat *et al.*, 2011) จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าปริมาณลิกนินในเศษซากพืชเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของเศษซากพืชต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน และคุณภาพของเศษซากพืชยังควบคุมองค์ประกอบทางเคมี

(หมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ) และปริมาณของคาร์บอนที่คงเหลืออยู่ในดินเช่นกัน (Dieckow *et al.*, 2005) นอกจากนี้มีการศึกษาการบ่มดินในอันดับเวอร์ทิซอลส์ ร่วมกับเศษซากพืชต่างชนิดในอัตราแตกต่างกันต่อการปลดปล่อยไนโตรเจน ระยะเวลา 98 วัน พบว่า ในทรีตเมนต์ที่ใช้เศษซากพืชที่มีลิกนินสูงมีการปลดปล่อยไนโตรเจนต่ำกว่าทรีตเมนต์ที่ใช้เศษซากพืชที่มีปริมาณลิกนินต่ำ (Mohanty *et al.*, 2011) อีกทั้งปริมาณฟอสฟอรัสจากวัสดุอินทรีย์ก็เป็นอีกปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยไนโตรเจน เป็นองค์ประกอบทางชีวเคมีของสิ่งมีชีวิต เช่น กรดนิวคลีอิก นิวคลีโอโปรตีน และทำหน้าที่เกี่ยวกับกระบวนการเมแทบอลิซึม เช่น กระบวนการไกลโคไลซิสของอะไมโลส และกระบวนการเกี่ยวกับการสังเคราะห์และลำเลียง เช่น adenosine triphosphate หรือ ATP เป็นต้น (ยงยุทธ, 2552) แต่อย่างไรก็ตาม ในดินเขตร้อนมีปริมาณฟอสฟอรัสในรูปฟอสฟอรัสอินทรีย์มากถึงประมาณร้อยละ 15-80 ของฟอสฟอรัสในดิน ซึ่งต้องผ่านกระบวนการมิเนอร์ลไลเซชัน-อิมโมบิไลเซชันเช่นเดียวกับไนโตรเจน ซึ่งเศษซากพืชแต่ละชนิดจะมีอัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากแตกต่างกัน ทั้งปริมาณฟอสฟอรัสในเศษซากและระยะเวลาในการปลดปล่อย โดยมีผลจากปัจจัยที่เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต (จุลินทรีย์ดิน) และสิ่งไม่มีชีวิต (สมบัติทางเคมีของดิน) (Azeez and Averbek, 2010) มีรายงานว่า เกณฑ์ในการเกิดกระบวนการมิเนอร์ลไลเซชัน วัสดุอินทรีย์หรือเศษซากพืชต้องมีปริมาณฟอสฟอรัสในเศษซากมากกว่าร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักแห้งของเศษซากพืช (Floate, 1970)

มีการศึกษาการสลายตัวและปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากเศษซากพืชต่างชนิดกัน โดยวัดจากการปลดปล่อยคาร์บอนและการมิเนอร์ลไลเซชันของไนโตรเจนในดินที่มีค่าพีเอชสูง แต่ไม่ใช้ดินเนื้อปูน โดยใช้เศษซากถั่วเขียว ข้าวสาลี และมูลไก่ พบว่า การปลดปล่อยคาร์บอนในมูลไก่ > เศษซากถั่วเขียว > เศษซากข้าวสาลี ตามลำดับ และในดินกรดจะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นอัตราการสลายตัวมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมากกับพีเอช ( $R^2 = 0.59^{***}$ ) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ( $R^2 = 0.61^{***}$ ) ในส่วนผลรวมของมิเนอร์ลไลเซชันของไนโตรเจนและไนตริฟิเคชันมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน ( $R^2 = 0.26-0.42^*$ ) (Khalil *et al.*, 2005) มีการศึกษาการบ่มดินร่วมกับวัสดุอินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดยพบว่า เศษซากพืชที่มีฟอสฟอรัสมากกว่าร้อยละ 0.2 ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในเศษซาก จะทำให้มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ หรือเกิดมิเนอร์ลไลเซชัน (Adediran *et al.*, 2003; Mafongoya, 2000) และยังมีรายงานถึงอัตราส่วนคาร์บอนต่อฟอสฟอรัสในช่วงที่ต่ำกว่า 200 มีแนวโน้มจะเกิดมิเนอร์ลไลเซชันของฟอสฟอรัสเช่นกัน (Brady and Weil, 2010) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาองค์ประกอบทางชีวเคมีที่แตกต่างกันต่อการปลดปล่อยคาร์บอนในดิน โดยการบ่มดินที่ 105 วัน พบว่า ร้อยละการคงเหลือของคาร์บอนในดินที่บ่มมีความแตกต่างกันมาก และพบว่า ในทรีตเมนต์ที่บ่มกับเศษซากพืชที่มีปริมาณลิกนินสูงจะมีอัตราการย่อยสลายที่ลดลงและลดลงอย่างชัดเจนในส่วนที่บ่มร่วมกับรากเมื่อเทียบกับทรีตเมนต์อื่น ๆ (Walela *et al.*, 2014) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Yue และคณะ (2016) โดยทำการศึกษาปริมาณลิกนินและเซลลูโลสในเศษซากพืชที่แตกต่างกันเช่นกัน และมีการศึกษาของ Puttas และคณะ (2011) ได้ศึกษาผลของการใส่เศษซากพืชที่มีคุณภาพแตกต่างกันในดินทรายเขตร้อน พบว่า ในดินที่ใส่เศษซากพืชที่มีคุณภาพสูง (ไนโตรเจนสูง แต่ลิกนินและโพลีฟีนอลต่ำ) เช่น ซากถั่วลิสง และเศษซากพืชคุณภาพปานกลาง (ไนโตรเจน ลิกนิน และโพลีฟีนอลปานกลาง) เช่น เศษซากใบมะขาม

มีการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในดินสูงกว่าเศษซากพืชที่มีคุณภาพต่ำ เช่น ใบพลวง (ไนโตรเจนต่ำ แต่ลิกนินและโพลีฟีนอลสูง) และมีการแนะนำให้ใช้เศษซากพืชที่มีปริมาณไนโตรเจนสูง เซลลูโลสต่ำ ลิกนินและโพลีฟีนอลปานกลาง ซึ่งให้ผลดีที่สุดในการปรับปรุงอินทรีย์วัตถุในดินทราย และมีการศึกษาผลของการใช้ที่ดินระยะยาว (17 ปี) ในดินร่วนเหนียวปนทราย ประเทศบราซิล ที่มีการปลูกพืชต่างกัน ได้แก่ หญ้า ข้าวโอ๊ต (C:N = 29:1) สลับการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และปลูกถั่ว (C:N = 14:1) ร่วมกับข้าวโพด ซึ่งมีองค์ประกอบทางชีวเคมีที่แตกต่างกัน พบว่า สารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบทางชีวเคมีแตกต่างกันมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของคาร์บอนอินทรีย์ กล่าวคือ การย่อยสลายของเศษซากพืชที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำแต่มีสารประกอบที่ย่อยสลายง่าย เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ทำให้ในดินมีคาร์บอนอินทรีย์ที่เป็นสารประกอบอะลิฟาติก (aliphatic compound) สูงกว่าสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) พืชตระกูลถั่วจะมีปริมาณหมู่คาร์บอนิล คาร์บอนที่สูงกว่าในข้าวโอ๊ต หญ้า และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตามลำดับ โดยคาร์บอนิลคาร์บอนจะพบมากในเปปไทด์ เอมีนคาร์บอน และเมทิล ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของเศษซากพืชที่ส่งผลต่อการดูดซับแคตไอออนและแอนไอออน (Dieckow *et al.*, 2005)

## 2.4 ความสำคัญของอินทรีย์วัตถุและองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

### 2.4.1 บทบาทของอินทรีย์วัตถุต่อสมบัติของดิน

อินทรีย์วัตถุหรือคาร์บอนอินทรีย์เป็นตัวชี้วัดที่มีความสำคัญในการประเมินคุณภาพของดิน และมีผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของดิน (Brady and Weil, 2010; Sparks, 2003) อินทรีย์วัตถุโดยทั่วไปมีธาตุองค์ประกอบดังนี้ คือ คาร์บอนร้อยละ 58 ไฮโดรเจนร้อยละ 10 ออกซิเจนร้อยละ 20 ไนโตรเจนร้อยละ 5 ฟอสฟอรัสร้อยละ 1 กำมะถันร้อยละ 1 และธาตุอื่น ๆ โดยทั่วไปการใส่เศษซากพืชลงไปในดิน เมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 ปี พบว่า คาร์บอนในเศษซากพืชประมาณร้อยละ 70-80 จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเพียงร้อยละ 15-30 ที่ยังคงอยู่ในดิน โดยเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กในเซลล์และโครงสร้างที่ได้จากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ดังนั้น ฮิวมัสโดยทั่วไปจะมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1-10 ของมวลดินทั้งหมด (Kirk *et al.*, 1981) แต่เป็นส่วนที่มีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ เช่น ทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีขึ้น มีเม็ดดินมากขึ้น ลดความหนาแน่นรวม และช่วยให้ดินอุ้มน้ำได้มากขึ้น ในด้านเคมีของดิน อินทรีย์วัตถุช่วยเพิ่มความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน เพิ่มความต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอช เพิ่มความสามารถในการกักเก็บสารพิษในดิน การเกิดปฏิกิริยาคีเลชัน (chelation reaction) และช่วยลดความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในดินกรดได้ นอกจากนี้อินทรีย์วัตถุประกอบด้วยคาร์บอนเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์ในดินได้เป็นอย่างดี (Sparks, 2003; Brady and Weil, 2010; Molina, 2014; Novelli *et al.*, 2017; Marschner *et al.*, 2007)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ (Reeves, 1997; González-Pérez *et al.*, 2004) เพราะเป็นแหล่งสำรองของธาตุอาหารพืชในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ซึ่งธาตุเหล่านี้เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์เมื่อสารอินทรีย์สลายตัวก็จะปลดปล่อยธาตุเหล่านี้ออกมา (Singh and Rengel, 2007; Sparks, 2003) อินทรีย์วัตถุมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง (ประมาณ 800-900 ตารางเมตรต่อกรัม) และความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในช่วง 150-300 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของการดูดซับธาตุอาหารพืช โลหะหนัก และสารกำจัดศัตรูพืช (sparks, 2003) การเพิ่มเศษซากพืชลงสู่ดินถือว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สามารถปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพของดินให้ดีขึ้นได้ (Sparks, 2003; Brady and Weil, 2010) ถึงแม้ว่าการที่จะรักษาให้อินทรีย์วัตถุอยู่ในดินได้นานเป็นสิ่งที่ยาก แต่มีงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ

มีการศึกษาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินภายใต้การใส่ฟางข้าวและไม่ใส่ฟางข้าวในระบบการปลูกพืชหมุนเวียน (ข้าว-ข้าวสาลี) 3 ปี พบว่า ทริตเมนต์ที่มีการใส่ฟางข้าวมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าทริตเมนต์ที่ไม่ใส่ฟางข้าวอย่างชัดเจน และมีปริมาณของแบคทีเรียและแอคติโนมัยซีทเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 75 และ 56 ตามลำดับ นั่นแสดงให้เห็นว่าสมบัติทางชีวภาพที่ดีขึ้นมาจากปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น (Chen *et al.*, 2017) มีการศึกษาการใส่ฟางข้าวในอัตราร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ของปริมาณฟางข้าวที่คืนกลับสู่ดิน (คำนวณจากเศษซากฟางข้าวในการปลูกรอบก่อนการทดลอง) ร่วมกับการปลูกข้าวสาลีในประเทศจีน พบว่า เมื่อใส่ฟางข้าวในอัตราที่เพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มขึ้น และพบว่าที่ระดับการใส่ฟางข้าวร้อยละ 50 ให้ผลผลิตของข้าวสาลีสูงที่สุด (Zhu *et al.*, 2015) และจากการศึกษาของ Bandyopadhyay และคณะ (2010) พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับเศษวัสดุอินทรีย์ ทำให้ความคงทนของเม็ดดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 73.88 เมื่อเทียบกับทริตเมนต์ที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยร่วมกับเศษวัสดุอินทรีย์ เนื่องจากเศษวัสดุอินทรีย์เหล่านี้มีสารที่ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมอนุภาคของเม็ดดินให้คงทนยิ่งขึ้น สะท้อนให้เห็นถึงปริมาณของสารอินทรีย์ในส่วนที่เป็นสารเชื่อมเม็ดดินเพิ่มขึ้นเช่นกัน

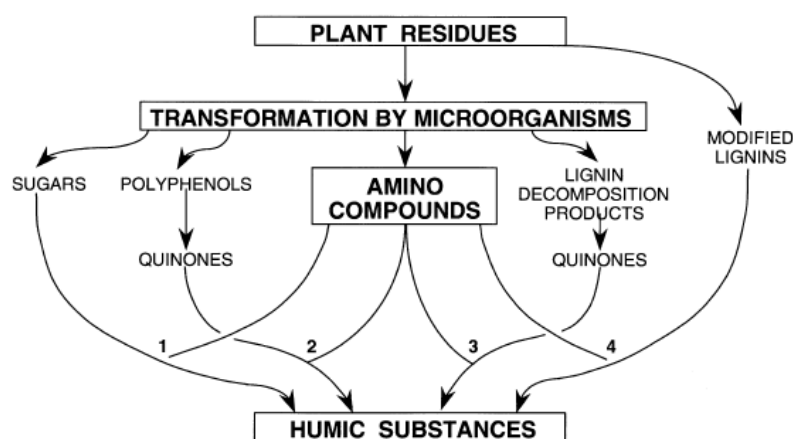
#### 2.4.2 องค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

คาร์บอนอินทรีย์ในดินโดยทั่วไป ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่สำคัญและสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน (Sparks, 2003; Brady and Weil, 2010) คือ

1) ส่วนที่ไม่ใช่สารฮิวมิก (non-humic substance) เป็นสารที่ส่งผลต่อดินทั้งทางฟิสิกส์และเคมี ประกอบไปด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เปปไทด์ กรดอะมิโน และไขมัน เป็นต้น โดยสารประกอบเหล่านี้จะถูกทำลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ และจะคงอยู่ในดินเพียงแคระยะสั้น

2) สารฮิวมิก (humic substance) เป็นกลุ่มของสารประกอบที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นหลังการย่อยสลายตัวของวัสดุอินทรีย์โดยกระบวนการเกิดฮิวมิส (humification) โดยในช่วงแรกของการย่อยสลายเศษซากของสิ่งมีชีวิตกระบวนการแปรสภาพจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วจากนั้นจะช้าลงเรื่อย ๆ เนื่องจากสารเหล่านั้นแปรสภาพเป็นสารฮิวมิก ซึ่งเป็นสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนสลายตัวยาก แต่ก็ยังค่อย ๆ สลายตัวต่อไปจนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น

3 กลุ่ม คือ ฮิวมิน (humins) กรดฮิวมิก (humic acid) และกรดฟุลวิก (fulvic acid) โดยฮิวมินเป็นสารที่ไม่ละลายทั้งในสารละลายกรดและด่าง ส่วนกรดฮิวมิกจะละลายในด่างแต่จะตกตะกอนในกรด ส่วนกรดฟุลวิกละลายได้ทั้งในด่างและในกรด กลไกการเปลี่ยนแปลงเศษซากพืชไปเป็นสารฮิวมิก (ภาพที่ 2) ประกอบด้วย 4 กลไกสำคัญ โดยกลไกที่ 1 อธิบายการเปลี่ยนแปลงกลุ่มของน้ำตาลไปเป็นสารฮิวมิก กลไกที่ 2 อธิบายกระบวนการย่อยสลายเศษซากพืชในส่วนที่ไม่ใช่ลิกนินโดยจุลินทรีย์ เช่น เซลลูโลส และถูกออกซิไดซ์โดยเอนไซม์กลายเป็นควิโนน และเป็นสารฮิวมิกต่อไป กลไกที่ 3 อธิบายการเปลี่ยนแปลงลิกนินเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสร้างสารฮิวมิก โดยกลุ่มของฟีนอลิก-แอลดีไฮด์ (phenolic aldehyde) และกรดที่ได้จากการปลดปล่อยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในระหว่างการย่อยสลายลิกนินจะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นควิโนน และเป็นสารฮิวมิก กลไกที่ 4 คือส่วนของลิกนินที่เหลือจากการถูกเปลี่ยนแปลงโดยจุลินทรีย์ไปเป็นสารฮิวมิก ลิกนินจะถูกเปลี่ยนไปโดยการสูญเสียกลุ่มเมทอกซิล ( $\text{OCH}_3$ ) ออร์โธ-ไฮดรอกซีฟีนอล และการออกซิเดชันส่วนแขนของอะลิฟาติกเป็นกลุ่มคาร์บอกซิลิก (Stevenson, 1994; Spark, 2003)



ภาพที่ 2 กลไกการเปลี่ยนแปลงของเศษซากพืชเป็นสารฮิวมิก  
ที่มา : Stevenson (1994)

โดยทั่วไปพบว่า ฮิวมินมีสีดำ เป็นสารที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ พื้นที่ผิวจำเพาะน้อย ดังนั้นในการศึกษาเกี่ยวกับสารฮิวมิกจึงเน้นศึกษากรดฮิวมิกและกรดฟุลวิก โดยกรดฮิวมิกมีสีน้ำตาลดำถึงดำเทา มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าฮิวมิน และมีหมู่คาร์บอกซิลมากกว่าฮิวมิน และกรดฟุลวิกมีสีเหลืองถึงน้ำตาลเหลือง เป็นส่วนที่มีขนาดเล็กที่สุดและมีหมู่คาร์บอกซิลเป็นจำนวนมาก จึงเป็นส่วนที่มีบทบาทสำคัญในดิน สารฮิวมิกส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดฮิวมิกและกรดฟุลวิก มีคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และกำมะถันเป็นส่วนใหญ่ พบคาร์บอนและไนโตรเจนในกรดฮิวมิกมากกว่ากรดฟุลวิก แต่พบไฮโดรเจน ออกซิเจน และกำมะถันในกรดฟุลวิกมากกว่ากรดฮิวมิก (Sparks, 2003; Brady and Weil, 2010)



### 2.4.3 หมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนอินทรีย์ในดินและความสำคัญ

องค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นส่วนของคอลลอยด์ในดิน เป็นเรื่องที่ยังมีความเข้าใจน้อยมากในแวดวงของวิทยาศาสตร์ทางดิน มีข้อสงสัยอีกมากเกี่ยวกับหน้าที่และความสำคัญของหมู่ฟังก์ชันในฮิวมัส รวมไปถึงผลต่อโครงสร้างดิน การเป็นสารเคลือบของโลหะหนัก การดูดซับสารกำจัดศัตรูพืชและสารพิษอื่น ๆ แต่ทราบถึงโครงสร้างทางเคมีของกรดฮิวมิกและกรดฟุลวิก โดยความหลากหลายของหมู่ฟังก์ชัน เช่น คาร์บอกซิลิก ฟีนอลิก อินอลิก ควิโนน ไฮดรอกซีควิโนน แลคโตน อีเทอร์ และแอลกอฮอล์ ซึ่งพบในสารฮิวมิกหมู่คาร์บอกซิลและหมู่คาร์บอนิล และจะเพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการเกิดฮิวมัส ซึ่งทำให้แอลกอฮอล์ไฮดรอกซิลและเมทอกซิลลดลง และสัดส่วนออกซิเจนในคาร์บอกซิล รวมถึงออกซิเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้น อีกทั้งหมู่เมทอกซิลและคาร์บอนิลจะไม่แตกต่างกันในสารฮิวมิก ความแตกต่างระหว่างปริมาณหมู่ฟังก์ชันของกรดฮิวมิกและกรดฟุลวิกมีเพียงเล็กน้อย โดยการนับออกซิเจนในหมู่คาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล และคาร์บอนิล พบว่า กรดฟุลวิกมีปริมาณออกซิเจนสูงกว่ากรดฮิวมิก (Stevenson, 1994)

สารฮิวมิกในดินเชื่อมโยงเข้าด้วยกันระหว่างแต่ละหน่วยโครงสร้างของโครงสร้างโมเลกุลหรือโมโนเมอร์ หน่วยพื้นฐานที่สำคัญ คือ วงแหวนอะโรมาติกที่ถูกแทนที่ด้วยหมู่คาร์บอกซิลและไฮดรอกซิล สารฮิวมิกอาจมีประเภทของหมู่ฟังก์ชันดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กลุ่มและตำแหน่งที่พบหมู่ฟังก์ชันในสารฮิวมิก

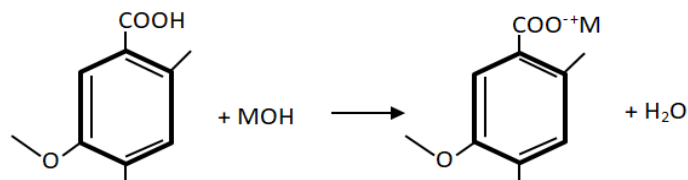
คาร์บอกซิล (COOH)	ไฮดรอกซิล (OH)	เอมีน	คาร์บอนิล (C=O)
พบบนวงแหวนอะโรมาติกและโซ่ด้านข้าง	พบในกลุ่มอะลิฟาติกและฟีนอลิก	พบแบบ (-NH <sub>2</sub> ) ปฐมภูมิ(-NH-) ทุติยภูมิ และ (-N=) ตติยภูมิ	พบในกลุ่มคีโตนิกและควิโนน

มีการศึกษาความแตกต่างขององค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินป่า โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared spectroscopy, FTIR) จากพื้นที่ 3 แห่ง คือ จากประเทศไอร์แลนด์ 1 แห่ง และออสเตรเลีย 2 แห่ง แบ่งดินออกเป็น 5 ชั้น จากชั้นดินบน (L, F, H และ Ah ตามลำดับ) พบว่า หมู่ฟังก์ชันที่พบมีลักษณะเหมือนกันเกือบทั้งหมด และจากชั้นดินบนถึงชั้นดินล่างจะพบช่วงคลื่น 1630 cm<sup>-1</sup> (หมู่คาร์บอกซิลิกและอะโรมาติก) เพิ่มขึ้น แต่ช่วงคลื่น 1510 (เอไมด์) ลดลง เนื่องจากมีกระบวนการเกิดฮิวมัส (Haberhauer *et al.*, 1998) สอดคล้องกับศึกษาคุณภาพของอินทรีย์วัตถุที่ได้จากเศษซากพืชตระกูลถั่วต่างสายพันธุ์ (*Arachis pintoi*, *Pueraria phaseoloides*, *Macroptilium atropurpureum*) บ่มร่วมกับดินในอันดับอัลทิสอลส์ เป็นเวลา 28 เดือน พบว่า มีกระบวนการเกิดฮิวมัสเพิ่มขึ้น ทำให้กลุ่มของอะโรมาติกเพิ่มขึ้น และกลุ่มไฮดรอกซิลลดลง (Canellas *et al.*, 2004) และยังสอดคล้องกับ

การศึกษาผลของการใช้ที่ดินที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (ทุ่งหญ้า ป่าไม้ สมบูรณ์ และป่าสมบูรณ์) โดยทดสอบด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี พบว่า ในทรีตเมนต์ที่เป็นป่าสมบูรณ์จะมีหมู่คาร์บอกซิลิกและอะโรมาติกสูงกว่าในทรีตเมนต์อื่น ๆ เนื่องจากมีกระบวนการเกิดฮิวมัสสูงกว่าการใช้ที่ดินแบบอื่น ๆ (Pizzeghello *et al.*, 2017)

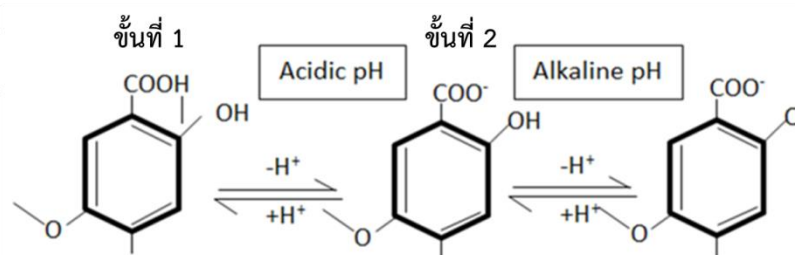
โครงสร้างพื้นฐานของสารฮิวมิกอย่างง่ายแสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของปฏิกิริยาของอินทรีย์สารในดินที่ส่งผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของดินบางประการดังนี้

1) จากสมบัติความเป็นกรดของหมู่คาร์บอกซิลิกและฟีนอลิกไฮดรอกซิล องค์ประกอบของโมโนเมอร์มีผลต่อความต้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดิน ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของอินทรีย์วัตถุ และความต้องการปูน เป็นต้น เมื่อหมู่คาร์บอกซิลิกทำปฏิกิริยากับกลุ่มที่เป็นด่าง (MOH) จะมีการสูญเสีย  $H^+$  ทำให้เกิดประจุที่สามารถจับกับแคตไอออนอื่นได้ (ภาพที่ 3)



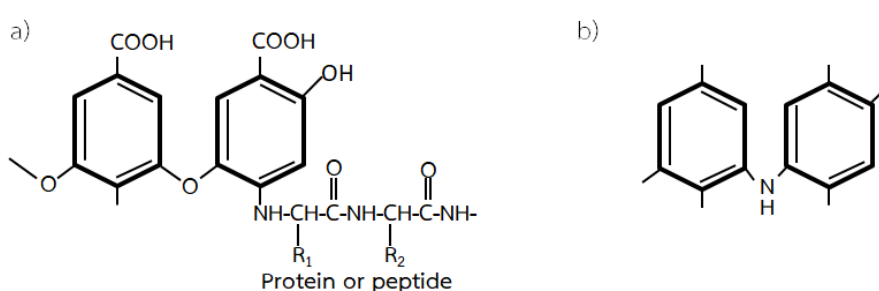
ภาพที่ 3 หมู่คาร์บอกซิลิกทำปฏิกิริยากับสารประกอบกลุ่มที่เป็นด่าง  
ที่มา : ดัดแปลงจาก Stevenson (1994)

2) องค์ประกอบของสารอินทรีย์ได้รับอิทธิพลจากพีเอช ซึ่งจะส่งผลต่อความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน เมื่อพีเอชของดินเพิ่มขึ้น ค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนก็จะเพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มประจุลบในคอลลอยด์ดิน จากไดอะแกรมแสดงให้เห็นปฏิกิริยาไอออนในเซชันของหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรดในสารฮิวมิก ขั้นที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของแอนไอออน  $COO^-$  ซึ่งเกิดจากกรดเล็กน้อย ขั้นที่ 2 แสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาของฟีนอลิกไฮดรอกซิล ( $-O^-$ ) ซึ่งเกิดในสภาพด่าง (ภาพที่ 4)



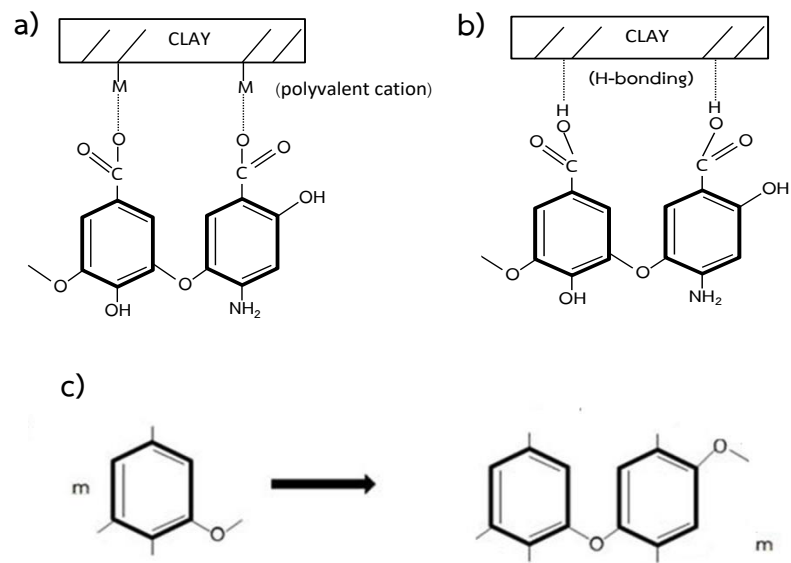
ภาพที่ 4 อิทธิพลของพีเอชต่อการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าในดิน  
ที่มา : ดัดแปลงจาก Stevenson (1994)

3) อิทธิพลของหมู่เอมีน เอไมด์ หรืออินทรีย์ไนโตรเจน พบว่า องค์ประกอบของโมโนเมอร์จะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช โปรตีนหรือเปปไทด์ จะเชื่อมต่อกันกับโครงสร้างโมโนเมอร์ บางส่วนของโปรตีนจะมีเสถียรภาพ แต่ก็มีบางส่วนที่ถูกทำลายโดยจุลินทรีย์เพื่อปลดปล่อยเป็นไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ โดยกระบวนการนี้อาจมีบางส่วนของหมู่  $\text{NH}_2$  อยู่กับแกนกลางของโครงสร้าง (ภาพที่ 5a) อินทรีย์ไนโตรเจนส่วนที่ยากต่อการย่อยสลายในดินอาจเป็นตัวเชื่อมกันระหว่างหน่วยโมโนเมอร์ด้วยกัน (ภาพที่ 5b)



ภาพที่ 5 การเชื่อมของสารประกอบกับองค์ประกอบของโมโนเมอร์ที่แตกต่างกัน a) แสดงตำแหน่งของกลุ่มโปรตีนในโมโนเมอร์ที่ง่ายต่อการทำลายโดยจุลินทรีย์; b) แสดงตำแหน่งของกลุ่มอินทรีย์ไนโตรเจนที่ยากต่อการทำลายโดยจุลินทรีย์

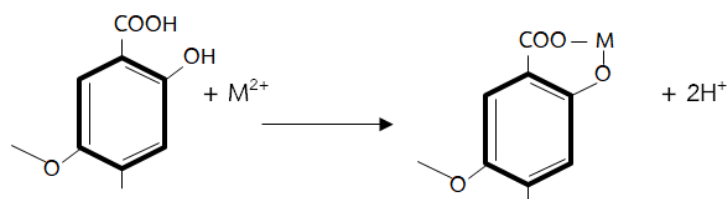
4) อิทธิพลเกิดพันธะกับพื้นที่ผิวของดินเหนียวและแร่ซิลิเกตอื่น ๆ โดยการเชื่อมกันด้วยโพลีวาเลนซ์แคตไอออน (polyvalent cation) (ภาพที่ 6a) และพันธะไฮโดรเจน (H-bonding) (ภาพที่ 6b) ความสามารถของอิทธิพลในการทนทานต่อกระบวนการย่อยสลายในดินสามารถแบ่งออกได้ 2 แบบ 1) ทางเคมี โดยโมโนเมอร์แต่ละตัวสามารถเชื่อมโยงระหว่างกันเป็นเครือข่ายเหมือนโซ่ ทำให้มีความทนทานต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (ภาพที่ 6c) 2) การป้องกันการสลายทางฟิสิกส์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงจากแร่ดินเหนียวไปเป็นสารประกอบที่เกิดพันธะร่วมกันระหว่างดิน โลหะ และสารอินทรีย์ (clay-metal-organic) และสารประกอบที่เกิดพันธะร่วมกันระหว่างดินและสารอินทรีย์ (clay-organic)



ภาพที่ 6 การจับตัวกันระหว่างโมโนเมอร์ของฮิวมัสและแร่ดินเหนียว; a) โมโนเมอร์ของฮิวมัสที่จับกับแร่ดินเหนียวซิลิเกตด้วยโพลิวาเลนซ์แคตไอออน; b) พันธะไฮโดรเจน (H-bonding) ที่จับกันในแร่ ดินเหนียวและฮิวมัส; c) การเชื่อมกันของโมโนเมอร์ที่ทนต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์

ที่มา : ดัดแปลงจาก Stevenson (1994)

5) องค์ประกอบของโมโนเมอร์ในฮิวมัสสามารถจับกับธาตุอื่น ๆ และโลหะหนักได้ (M) โดยกระบวนการคีเลชัน สามารถเกิดได้เมื่อมีออกซิเจนของหมู่ฟังก์ชันอยู่ติดหรือใกล้กับบนวงแหวนอะโรมาติก (ภาพที่ 7)

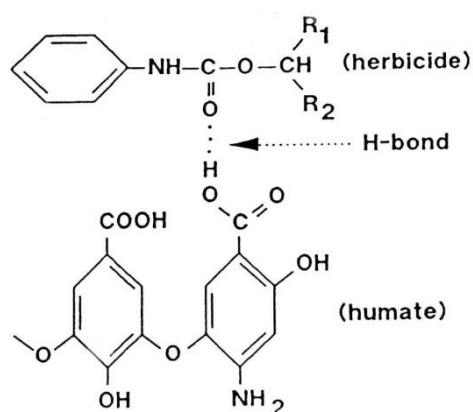


ภาพที่ 7 การเกิดคีเลชันของฮิวมัสกับธาตุต่าง ๆ หรือโลหะ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Stevenson (1994)

6) องค์ประกอบของไดเมอร์สามารถเกิดพันธะกับสารกำจัดศัตรูพืช เป็นที่น่าสนใจอย่างมากในกลุ่มนักประมงพืษวิทยา การเพิ่มอินทรีย์วัตถุในดินสามารถดูดซับสารกลุ่มนี้ได้ ซึ่งสามารถลดการปนเปื้อนลงสู่ น้ำและน้ำใต้ดิน ปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยในการดูดซับสารกำจัดศัตรูพืช

(herbicide) โดยอินทรีย์วัตถุ 1) สมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของการดูดซับ ส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นคอลลอยด์ 2) ธรรมชาติของสารกำจัดศัตรูพืช 3) สมบัติของดิน เช่น องค์ประกอบของแร่ดินเหนียว พีเอช ชนิดและปริมาณของไอออน ความชื้น และอุณหภูมิ สารอินทรีย์ที่มีแหล่งที่มาจากวัสดุที่เป็นคาร์โบไฮเดรตหรือพอลิแซ็กคาไรด์ อาจเป็นส่วนที่ทำให้เกิดพันธะใกล้เคียงกับแกนกลางของโครงสร้างโมโนเมอร์ ตลอดจนพันธะไฮโดรเจนกับสารกำจัดศัตรูพืช (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 การเกิดพันธะต่าง ๆ ระหว่างสารอินทรีย์กับสารกำจัดศัตรูพืช  
ที่มา : ดัดแปลงจาก Stevenson (1994)

#### 2.4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform mid-infrared spectroscopy)

ปัจจุบันการศึกษาเชิงลึกยังเป็นเรื่องที่ซับซ้อน ด้วยข้อจำกัดหลายอย่าง แต่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบแบบโครงสร้างของคาร์บอนอินทรีย์ได้หลายวิธี โดยวิธีการสกัดทางเคมี และวิธีสเปกโทรสโกปีที่ค่อนข้างหลากหลาย เช่น การดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตและวิธีเปิดอิเล็กตรอนสปีนเรโซแนนซ์ และ Mössbauer spectroscopy (Stevenson, 1994) โดยทั่วไปวิธีที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ คือ นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์และวิธีฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ซึ่งวิธีวิเคราะห์แบบฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีเป็นวิธีที่น่าสนใจ เนื่องจากวิธีนี้ใช้สารเคมีที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเหมือนวิธี Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy (NMR) (Skjernstad *et al.*, 1999) โดยหลักการคือ ใช้อินฟราเรดช่วงกลาง  $400-4000\text{ cm}^{-1}$  ทำให้สารอินทรีย์เกิดการดูดกลืนและพันธะภายในโมเลกุลของสารอินทรีย์เกิดทรานซิชันการสั่น และแสดงออกมาเป็นพื้นที่ (peak area) โดยการสั่นในแต่ละช่วงคลื่นจะจำเพาะเฉพาะหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะนั้น ๆ (Kunlanit *et al.*, 2014) หรือคิดเป็นร้อยละการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์ (% relative absorbance) เพื่อเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละ

ทรีตเมนต์เพื่อทราบความแตกต่าง (Haberhauer *et al.*, 1998) และจำแนกหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** การจำแนกหมู่ฟังก์ชันจากพีคด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี

Peak name	Band (cm <sup>-1</sup> )	Probable organic carbon assignment
2920	2800-3000	Aliphatic C-H stretch <sup>a,b,c,d,e,f,g,h</sup>
1630	1575-1685	Carboxylates and amide I, aromatic C=C vibration <sup>a, b, c, d, g, e, f, h</sup>
1540	1540	Amide II (N-H deformation + C=N stretching) <sup>b, d, f</sup>
1520	1492-1529	C=C of aromatic groups. <sup>a, e, f</sup>
1160	1146-1182	C-O-C of cyclic structures of polysaccharides <sup>e</sup>

หมายเหตุ : a = Base and Bloom (1989), b = Leifgld (2006), c = Bornemann และคณะ (2008), d =Haberhauer และคณะ (1998), e = Dubog และคณะ (2012), f = Inbar และคณะ (1989), g = Calderon และคณะ (2011), h = Niemeyer และคณะ (1992)

### 3. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ของดินปลูกยางพาราที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน
2. เพื่อศึกษาปริมาณเศษซากพืชร่วมยางพาราที่กลับสู่ดิน องค์ประกอบทางชีวเคมี และปริมาณธาตุอาหารพืชในเศษซากพืชร่วมยางพารา
3. เพื่อศึกษาผลของพืชร่วมยางพาราต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินปลูกยางพารา

#### 4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลปริมาณที่คืนกลับสู่ดิน องค์กรประกอบทางชีวเคมี และปริมาณธาตุอาหารพืชของเศษซากผักเหียง ไม้ และตะเคียน รวมทั้งทราบถึงผลของเศษซากพืชเหล่านี้ต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน องค์กรประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ และสมบัติของดินปลูกยางพาราที่ปลูกพืชร่วม
2. ได้ข้อมูลเป็นแนวทางในการจัดการดินปลูกยางที่ปลูกพืชร่วมและเป็นแนวทางแก่เกษตรกรในการเลือกพืชร่วมยางพาราที่เหมาะสมต่อไป

## บทที่ 2

### วัสดุ อุปกรณ์ และระเบียบวิธีวิจัย

#### 1. วัสดุ และอุปกรณ์

##### 1.1 วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดิน และพืช

- 1) ท่อพีวีซี ขนาดครึ่งนิ้ว ข้อต่อตัวงอแบบ 3 ทาง
- 2) ถังพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างดิน
- 3) ตะแกรงร่อนดินขนาด 2 มิลลิเมตร (10 mesh) และ 0.5 มิลลิเมตร (35 mesh)
- 4) ค้อน
- 5) พลั่วสนาม
- 6) จอบ
- 7) ถังพลาสติก
- 8) ถังกระดาษสำหรับเก็บตัวอย่างพืช
- 9) เชือกฟาง
- 10) ตาชั่ง
- 11) กระบอกรับตัวอย่างดินแบบไม่กระทบโครงสร้างดิน
- 12) ตลับเมตร

##### 1.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์

- 1) กระดาษกรองวัดแอมน
- 2) เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
- 3) เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)
- 4) เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (AAS)
- 5) เครื่องคอนดักทิวิตีมิเตอร์ (Conductivity meter)
- 6) โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 7) ตู้อบตัวอย่างพืช (Hot air oven)
- 8) เตาย่อยตัวอย่าง (Digestion block)



- 9) เตาให้ความร้อน (Hot plate)
- 10) เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Nitrogen distillation apparatus)
- 11) เครื่องแก้ว อุปกรณ์ตรวจวัดชนิดต่าง ๆ และวัสดุสิ้นเปลือง
- 12) เครื่องเขย่า (Shaker)
- 13) เครื่องเขย่าผสมสารละลาย (Vortex mixer)
- 14) เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม และ 0.0001 กรัม
- 15) เครื่องบดตัวอย่างพืช (Grinder)
- 16) เครื่องวิเคราะห์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Visible spectrophotometer)

### 1.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช

- 1) กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid : 98% w/w  $H_2SO_4$ )
- 2) กรดไนตริก (Nitric acid : 65% w/w  $HNO_3$ )
- 3) กรดบอริก (Boric acid :  $H_3BO_3$ )
- 4) กรดเพอร์คลอริก (Perchloric acid : 70% w/w  $HClO_4$ )
- 5) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid :  $C_6H_8O_6$ )
- 6) กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 7) กรดซาลิไซลิก (Salicylic acid :  $C_7H_6O_3$ )
- 8) กรดอะซิติก (Glacail acetic acid : 99.5 %  $CH_3COOH$ )
- 9) โพลิน รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu reagent :  $C_{10}H_5NaO_5S$ )
- 10) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride : NaCl)
- 11) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide : NaOH)
- 12) น้ำยาสกัดเบรย์ทู (Bray II reagent : 0.10 M HCl + 0.03 M  $NH_4F$ )
- 13) โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate :  $K_2Cr_2O_7$ )
- 14) เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต (Ferrous ammonium sulfate hexahydrate :  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ )
- 15) สารผสมเร่งปฏิกิริยา (Catalyst mixture)
- 16) สารละลายมาตรฐานแคลเซียม (Standard calcium : 1,000 mg  $L^{-1}$ )
- 17) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม (Standard potassium : 1,000 mg  $L^{-1}$ )
- 18) สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (Standard phosphorus : 1,000 mg  $L^{-1}$ )
- 19) สารละลายมาตรฐานแมกนีเซียม (Standard magnicium : 1,000 mg  $L^{-1}$ )
- 20) กรดแกลลิก (Gallic acid :  $C_7H_6O_5$ )
- 21) สารละลายแลนทานัมคลอไรด์ (Lanthanum chloride :  $LaCl_3 \cdot xH_2O$ )
- 22) สารละลายมาตรฐานแอมโมเนียมไนโตรเจน ( $NH_4^+ - N$  : 1, 000 mg  $L^{-1}$ )
- 23) สารละลายมาตรฐานไนเตรตไนโตรเจน ( $NO_3^- - N$  : 1, 000 mg  $L^{-1}$ )

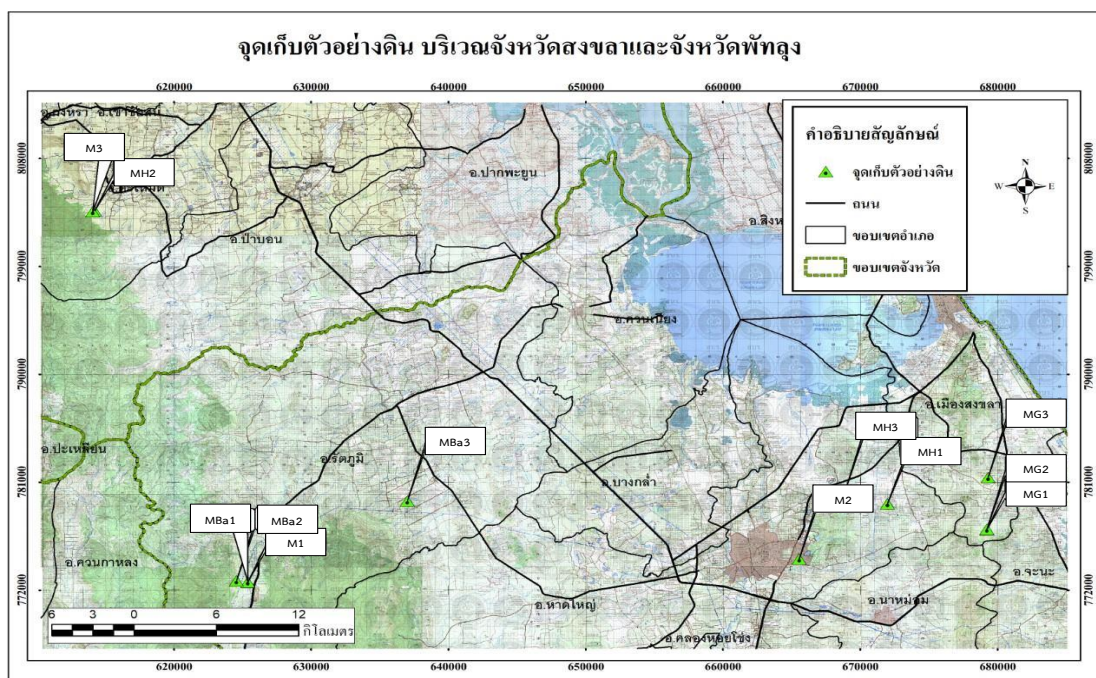
- 24) สทรอนเทียมคลอไรด์ (Strontium chloride :  $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )
- 25) อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator)
- 26) เฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator)
- 27) แอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เตรต (Antimony potassium tartrate :  
 $\text{KSbO} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ )
- 28) แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate :  $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )
- 29) แอมโมเนียมอะซิเตต (Ammonium acetate :  $\text{NH}_4\text{OAc}$ )
- 30) แอมโมเนียมเมทาวานาเดต (Ammonium metavanadate :  $\text{NH}_4\text{VO}_3$ )
- 31) แอมโมเนียมฟลูออไรด์ (Ammonium fluoride :  $\text{NH}_4\text{F}$ )
- 32) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide :  $\text{NH}_4\text{OH}$ )
- 33) สารละลายเอทานอล (Ethanol :  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )
- 34) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate :  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )
- 35) โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride :  $\text{KCl}$ )
- 36) ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตไฮเดรต (Di-sodium hydrogen phosphate dihydrate :  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- 37) โซเดียม-โพแทสเซียม ทาร์เตรต (Na-K Tartrate :  $\text{C}_4\text{H}_4\text{KNaO}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )
- 38) โซเดียมซาลิไซเลต (Sodium salicylate :  $\text{HOC}_6\text{H}_4\text{OONa}$ )
- 39) โซเดียมไนโตรพรัสไซด์ (Sodium nitroprusside dehydrate :  
 $\text{C}_5\text{FeN}_6\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- 40) โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (Sodium hypochloride :  $\text{NaClO}$ )
- 41) โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfate :  $\text{K}_2\text{SO}_4$ )
- 42) เฮกซะเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรมิเด :  
 $\text{C}_{19}\text{H}_{42}\text{BrN}$ )
- 43) เดคาไฮโดรแนฟทาซีน (Decahydronaphthalene, mixture of  
cis + trans 98% :  $\text{C}_{10}\text{H}_{18}$ )
- 44) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide :  $\text{H}_2\text{O}_2$ )

## 2. วิธีการทดลอง

2.1 ศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ของดินปลูก  
ยางพาราที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน

2.1.1 การเลือกพื้นที่ศึกษา ศึกษาข้อมูลดินพื้นฐานบริเวณที่จะทำการทดลอง โดยใช้  
แผนที่ดินจังหวัดสงขลา มาตรฐาน 1:100,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน (กองสำรวจดิน, 2516)

เลือกสวนยางพาราที่มีการปลูกพีชร่วมยางพารามาแล้วอย่างน้อย 3 ปี ในจังหวัดสงขลาและพัทลุง  
 พีชร่วมยางพาราที่ศึกษา คือ ไม้ ผักเหลียง และตะเคียน พีชร่วมละ 3 ซ้ำ (แปลง) โดยเลือกลักษณะ  
 เนื้อดินที่ใกล้เคียงกัน รวมถึงอายุยางพารา และพีชร่วมเปรียบเทียบกับแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว  
 รวม 12 แปลง (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างดินแต่ละแปลงในจังหวัดสงขลาและพัทลุง

หมายเหตุ : M = ยางพาราเชิงเดี่ยว; MBa = ไม้ร่วมยางพารา, MH = ตะเคียนร่วมยางพารา,  
 MG = ผักเหลียงร่วมยางพารา

M1 = พิกัด E0625392, N0772662; ต. เขาพระ อ. รัตภูมิ จ. สงขลา (<sup>1</sup> 27 ปี)

M2 = พิกัด E0665559, N0774587; ต. หุ่น อ. เมือง จ. สงขลา (<sup>1</sup> 15 ปี)

M3 = พิกัด E0614085, N0803583; ต. ตะโหมด อ. ตะโหมด จ. พัทลุง (<sup>1</sup> 30 ปี)

MBa1 = พิกัด E0625385, N0772673 ต. เขาพระ อ. รัตภูมิ จ. สงขลา (<sup>1</sup> 20 และ <sup>2</sup> 13 ปี)

MBa2 = พิกัด E0624556, N0772764 ต. เขาพระ อ. รัตภูมิ จ. สงขลา (<sup>1</sup> 10 และ <sup>2</sup> 10 ปี)

MBa3 = พิกัด E0637012, N0779427 ต. ท่าชะมวง อ. รัตภูมิ จ. สงขลา (<sup>1</sup> 11 และ <sup>2</sup> 4 ปี)

MH1 = พิกัด E0671991, N0779207 ต. หุ่น อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา (<sup>1</sup> 20 และ <sup>2</sup> 13 ปี)

MH2 = พิกัด E0668907, N0780326 ต. ตะโหมด อ. ตะโหมด จ. พัทลุง (<sup>1</sup> 10 และ <sup>2</sup> 8 ปี)

MH3 = พิกัด E0614233, N0803631 ต. หุ่น อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา (<sup>1</sup> 9 และ <sup>2</sup> 6 ปี)

MG1 = พิกัด E0679217, N0777040 ต. หุ่น อ. เมือง จ. สงขลา (<sup>1</sup> 20 และ <sup>2</sup> 10 ปี)

MG2 = พิกัด E0679235, N0777090 ต. พะวง อ. เมือง จ. สงขลา (<sup>1</sup> 30 และ <sup>2</sup> 10 ปี)

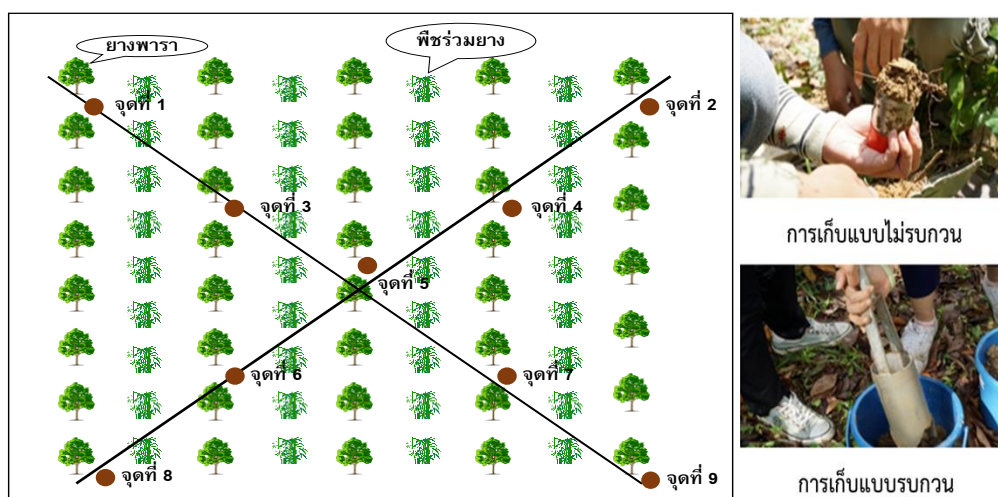
MG3 = พิกัด E0679312, N0781400 ต. หุ่น อ. เมือง จ. สงขลา (<sup>1</sup> 25 และ <sup>2</sup> 13 ปี)

<sup>1</sup> คือ อายุยางพารา และ <sup>2</sup> คือ อายุพีชร่วมยางพารา

## 2.2 การเก็บตัวอย่างดิน

2.2.1 เก็บดินแบบรบกวนโครงสร้าง เก็บดินโดยใช้พลั่วและสว่านเจาะดิน แปลงละ 9 จุด โดยสุ่มแบบ X-Shape (ภาพที่ 10) นำดินแต่ละจุดคลุกเคล้ากัน แบ่งดินนำมาผึ่งให้แห้ง ร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 2 มิลลิเมตร เพื่อใช้วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของดิน และใช้สำหรับการทดลององค์ประกอบทางเคมีของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน และการบ่มดิน

2.2.2 เก็บดินแบบไม่กระทบโครงสร้าง เก็บโดยใช้อุปกรณ์ กระทบเก็บตัวอย่างดิน (soil sampler : Daiki DIK-1600) เก็บที่ความลึก 0-10, 10-20, 20-30 และ 30-60 เซนติเมตร แปลงละ 5 จุด โดยสุ่มแบบ X-Shape โดยเก็บตัวอย่างดินในจุดที่ 1, 2, 5, 8 และ 9 เพื่อศึกษาความหนาแน่นรวมและสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 แผนผังการเก็บดิน

## 2.3 วิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

2.3.1 ขนาดอนุภาคดิน (partical size) โดยวิธีปิเปต ชั่งดินแห้งที่ผ่านการกำจัดอินทรีย์วัตถุด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) 20 กรัม เติม calgon (5% sodium hexametaphosphate) แล้วคนเพื่อให้อนุภาคดินกระจาย เติใส่กระบอกตวงขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรของสารละลายดินให้เป็น 1 ลิตร จากนั้นเขย่าให้อนุภาคดินกระจายตัวอีกครั้ง ตั้งทิ้งไว้ให้อนุภาคดินตกตะกอนแล้วดูดสารละลายด้วยปิเปต ตามช่วงเวลาต่าง ๆ โดยพิจารณาความลึกที่ปลายปิเปตจุ่มในสารละลายดิน และช่วงเวลาที่ดูดสารละลายดินตามกฎของ Stoke จากนั้นนำตะกอนที่ปิเปตได้ไปอบและชั่งน้ำหนักแห้งและนำค่าที่ได้ไปคำนวณร้อยละอนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว (Day, 1965)

### 2.3.2 สภาพนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว (saturated hydraulic conductivity)

วิเคราะห์ด้วยวิธี Falling head permeameter โดยนำกระบอกโลหะบรรจุตัวอย่างดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ วางบนจานรอง สวมวงแหวนยางเข้ากับหลอดแก้ว เติมน้ำลงในหลอดแก้วจนเต็ม เริ่มจับเวลาเมื่อน้ำไหลผ่านขีดปริมาตรส่วนบนจนถึงขีดส่วนล่าง บันทึกและคำนวณ (Youngs, 2000)

### 2.3.3 ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) วิเคราะห์ด้วยวิธี core method

อบดินที่เก็บโดยกระบอกที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างมวลดินแห้งกับปริมาตรทั้งหมดของดิน (Blake and Hartge, 1986)

## 2.4 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

### 2.4.1 พีเอชดิน (pH) ชั่งดิน 5 กรัม ใส่หลอดเหวี่ยงพลาสติก เติมน้ำปราศจากไอออน

25 มิลลิลิตร (ใช้ดิน : น้ำ อัตราส่วน 1:5) เขย่า 1 นาที วางทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้ววัดด้วย pH meter (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

### 2.4.2 ค่าการนำไฟฟ้าของดิน (EC) ชั่งดิน 5 กรัม ใส่หลอดเหวี่ยงพลาสติก เติมน้ำ

ปราศจากไอออน 25 มิลลิลิตร (ดิน : น้ำ อัตราส่วน 1 : 5) เขย่า 1 นาที วางทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที วัดด้วย Conductivity meter (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

### 2.4.3 คาร์บอนอินทรีย์ (OC) โดยการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ด้วยการ

ออกซิไดซ์คาร์บอนอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ในกรดกำมะถันเข้มข้น แล้ววิเคราะห์โพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือด้วยการไทเทรตกับสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้ 1-10 phenanthroline เป็นอินดิเคเตอร์ (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

### 2.4.4 ไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (total N) โดยวิธีเจลดาล (Kjeldahl Method)

ชั่งตัวอย่างดิน 1.00 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตรแล้วเติมสารเร่งปฏิกิริยาที่มีทองแดง โพแทสเซียมซัลเฟต และซีลีเนียม ย่อยจนดินเปลี่ยนเป็นสีขาวหรือสีเทา จากนั้นนำไปเติมต่าง และกลั่นหาแอมโมเนียโดยมีสารละลายกรดบอริกเป็นตัวจับก๊าซแอมโมเนีย แล้วไทเทรตหาแอมโมเนียที่ถูกจับในกรดบอริกด้วยสารละลายกรดที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

### 2.4.5 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) โดยวิธีเบรย์ทู (Bray II method)

ชั่งดิน 1.00 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) เติมน้ำยาสกัดเบรย์ทู (0.10 M HCl + 0.03 M  $NH_4F$ ) 10 มิลลิลิตร เขย่า กรอง แล้วทำให้เกิดสีโดยวิธีโมลิบดีนัมบลู นำไปวัดด้วยเครื่อง Visible spectrophotometer (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

### 2.4.6 โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K, Ca and Mg) สกัดดินด้วยสารละลาย 1.0 โมลาร์ แอมโมเนียมอะซิเตต ( $NH_4OAc$ pH 7.0) แล้ว

วิเคราะห์ความเข้มข้นของโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ด้วยวิธี Atomic absorption spectrophotometry (จำเริญ และจักรกฤษณ์, 2557)

**2.4.7 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity : CEC)** โดยใช้แอมโมเนียมอะซิเตต (1 M  $\text{NH}_4\text{OAc}$  pH 7) ไลที่แคตไอออนที่ติดดูดซับไว้ ล้างแอมโมเนียมส่วนเกินออกด้วยเอทานอล แล้วไลที่แอมโมเนียมที่ติดดูดซับไว้โดยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) นำสารละลายไปเติมต่างเพื่อให้แอมโมเนียมเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนีย หลังจากนั้น กลั่นแอมโมเนียโดยมีสารละลายกรดบอริก ( $\text{HBO}_3$ ) เป็นตัวจับก๊าซแอมโมเนีย แล้วไทเทรตแอมโมเนียที่ถูกจับในกรดบอริกด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (จำเริญ และจักรกฤษณ์, 2557)

**2.4.8 ศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินปลูกยางพาราที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน** นำตัวอย่างดินทุกความลึกและทุกแปลงที่เก็บแบบรบกวนจากข้อ 2.2.1 ศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี โดยเทคนิค Pellet (KBr) technique (Jindaluang *et al.*, 2013) และนำข้อมูลที่ได้คำนวณร้อยละการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์ (% relative absorbance) (Haberhauer *et al.*, 1998) โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer, Vertex70, Bruker, Germany จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา

## 2.5 ศึกษาปริมาณเศษซากพืชร่วมยางพาราที่กลับสู่ดิน องค์ประกอบทางชีวเคมี และปริมาณธาตุอาหารพืชในเศษซากพืชร่วมยางพารา

**2.5.1 การเก็บตัวอย่าง การประเมินปริมาณเศษซากพืชร่วมยางพาราที่กลับสู่ดิน และปริมาณของธาตุอาหารที่คืนกลับสู่ดิน** เก็บตัวอย่างเศษซากใบพืชร่วมยางพารา ได้แก่ ผักเห็ดเลี้ยง ไม้ และตะเคียน โดยใช้ตาข่ายรองรับเศษซากพืชที่ร่วงหล่น (litter trap) ขนาด 100 x 100 เซนติเมตร วางในแปลงที่จะศึกษา แปลงละ 5 จุด โดยสุ่มวางแบบ X-Shape (จุดที่ 1, 2, 5, 8 และ 9) (ภาพที่ 10) (ยกเว้นผักเห็ดเลี้ยง ทำการเก็บโดยสุ่มในพื้นที่ 1 ตารางเมตร แปลงละ 5 จุด ตัดที่ความสูง 50 เซนติเมตรขึ้นไป เพื่อให้ใกล้เคียงกับการตัดแต่งของเกษตรกร โดยคิดเป็นปริมาณเศษซากใน 1 ปี เนื่องจากเกษตรกรจะทำตัดแต่งเพียงปีละครั้ง) และใช้ตาข่ายรองรับเศษซากพืชที่ร่วงหล่นลงในตาข่าย ทุก ๆ ต้นเดือน (ภายในวันที่ 1-5 ของทุกเดือน) เป็นระยะเวลา 1 ปี เพื่อประเมินปริมาณเศษซากพืชร่วมยางพาราที่กลับสู่ดินและนำตัวอย่างเศษซากพืชจากเดือนแรกที่เก็บตัวอย่าง นำมาทำการเตรียมตัวอย่างในลักษณะเดียวกับการเตรียมตัวอย่างใบเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช โดยนำเศษซากพืชมากำจัดสิ่งปนเปื้อน และอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-3 วัน หรือรองจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ หลังจากนั้นบดตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาด 20-40 เมช และเก็บไว้เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีและธาตุอาหารพืช และคำนวณปริมาณธาตุอาหารที่คืนกลับสู่ดิน (element fluxes) โดยความเข้มข้นของธาตุอาหารแต่ละธาตุคูณด้วยปริมาณเศษซากใบพืชร่วมยางพาราที่ร่วงหล่นแต่ละชนิด

## 2.5.2 วิเคราะห์ธาตุอาหารในพืชร่วมยางพารา

**2.5.2.1 ไนโตรเจนทั้งหมดในพืช (total N)** วิเคราะห์ด้วยวิธีเจลดาล์ท (Kjeldahl method) โดยชั่งตัวอย่างพืช 0.1000 กรัม (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) เติมกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 3 มิลลิลิตร และสารเร่งปฏิกิริยาที่มีทองแดง โพแทสเซียมซัลเฟต และซีลีเนียมเป็นองค์ประกอบ จากนั้นนำไปต้มต่าง และกลั่นหาแอมโมเนียโดยมีสารละลายกรดบอริกเป็นตัวจับก๊าซแอมโมเนีย หรือแอมโมเนียไอออน แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายกรด ที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

**2.5.2.2 ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในพืช (total P, K, Ca, Mg)** ย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรดผสมไนตริกและเพอร์คลอริก ( $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ ; 3:1) แล้ววิเคราะห์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสด้วยวิธี Vanadomolybdate แล้วนำไปวัดด้วยเครื่อง Visible-spectrophotometer วิเคราะห์โพแทสเซียมด้วยวิธี Atomic Emission Spectrophotometry วิเคราะห์แคลเซียมและแมกนีเซียม ด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

**2.5.2.3 คาร์บอนทั้งหมดในพืช (total C)** โดยการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ด้วยการออกซิไดซ์คาร์บอนอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยโพแทสเซียมไดโครเมตในกรดกำมะถันเข้มข้น แล้ววิเคราะห์โพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือด้วยการไทเทรตกับสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้ 1-10 phenanthroline เป็นอินดิเคเตอร์ แล้วคำนวณเป็นปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2557)

## 2.5.3 วิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีของพืชร่วมยางพารา

**2.5.3.1 ลิกนินและเซลลูโลส (lignin and cellulose)** วิเคราะห์โดย acid detergent fibre (ADF) ชั่งพืช 0.500-1.000 กรัม (W1) (ทราบน้ำหนักที่แน่นอน) เติม cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) 0.5 โมลาร์ 100 มิลลิลิตร (ละลาย CTAB 10 กรัม ในกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลาร์) หยด Anti-foam ต้มให้เดือดแบบ reflux เมื่อเดือด ลดอุณหภูมิลงวางต่อ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมารองผ่านครุชีเบลแก้ว (Sinter Glass Crucible) no.1 หรือ no.2 (W2) ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน กรองแบบสุญญากาศ ล้างด้วยน้ำต้มปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตร 3 ครั้ง ล้างต่อด้วย อะซิโตน (acetone) จนไม่มีสี ดูดสารให้แห้ง แล้วนำตัวอย่างไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส ตั้งให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก (W3) สามารถคำนวณร้อยละ ADF ได้จากสมการที่ 1

$$\%ADF = (W3-W2)*100/W1 \quad (1)$$

หลังจากนั้นนำเยื่อใยที่ผ่านการทำ ADF มาเติมกรดซัลฟิวริก (72% V/V) ประมาณครึ่งของครุชีเบลแก้ว หล่อเย็นไว้ตลอด และใช้แท่งแก้วคนเบาๆ ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ทำเช่นเดิมอีกสองครั้ง จนครบ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้น นำไปกรองแบบสุญญากาศ ล้างกรดด้วยน้ำร้อน 3 ครั้ง และล้างเยื่อใยด้วยอะซิโตน จนกรดหมด นำครุชีเบลแก้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง รอให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก (W4) นำตัวอย่างไปเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส

2 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (W5) (Rowland and Roberts, 1994) และคำนวณร้อยละลิกนินและเซลลูโลสได้จากสมการที่ 2 และ 3

$$\% \text{ LIGNIN} = (W4 - W5) * 100 / W1 \quad (2)$$

$$\% \text{ CELLULOSE} = (W3 - W4) * 100 / W1 \quad (3)$$

**2.5.3.2 โพลีฟีนอล (polyphenols) วิเคราะห์โดยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric method** ที่ดัดแปลงจาก Lui และคณะ (2007) และสัญญา (2558) โดยเริ่มจากเตรียมสารละลาย Gallic acid stock solution ที่ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่ง Gallic acid 0.5 กรัม ใน 95% (V/V) Ethanol 10.50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร ปิเปตสาร 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็น 50 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มา 0.3 มิลลิลิตร เติม Folin-Ciocalteu reagent 2.5 มิลลิลิตร น้ำปราศจากไอออน 6 มิลลิลิตร และ 7.5% (W/V) Sodium carbonate 2 มิลลิลิตร บ่มไว้ในสภาพมืด 150 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Visible-spectrophotometer สกัดพืชด้วยตัวทำละลาย 70% (V/V) Ethanol 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในสภาพมืด เป็นเวลา 150 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ทำเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐาน Gallic acid

**2.6 ศึกษาผลของเศษซากพืชร่วมยางพาราต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจน พอสฟอรัส และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินปลูกยางพารา** นำดินจากการทดลองที่ 2.2.1 ที่ได้จากการเก็บที่ความลึก 0-30 เซนติเมตร นำมาบ่มร่วมกับเศษซากใบพืชร่วมเป็นเวลา 0, 7, 14, 21, 28, 45, 60, 90 และ 120 วัน ทริตเมนต์ที่ 1 คือ ทริตเมนต์ควบคุม (ไม่ใส่เศษซากพืชร่วมยางพารา ทริตเมนต์ที่ 2, 3 และ 4 ใส่เศษซากพืชได้แก่ ไม้ ตะเคียน และ ผักเหลียง ตามลำดับ) โดยใส่ในอัตราที่มีไนโตรเจนจากเศษซากใบพืช 200 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อกิโลกรัมดิน ทำ 3 ซ้ำ วางตัวอย่างแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เติมน้ำให้ได้ร้อยละ 58 ของความสามารถในการอุ้มน้ำทั้งหมด (อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเกิดมิเนอรัลไลเซชันของไนโตรเจน) โดยทำการเติมน้ำทุก ๆ 3 วัน ตั้งในตู้ควบคุมอุณหภูมิ หาปริมาณแอมโมเนียมที่ปลดปล่อยออกมาที่เวลาต่าง ๆ ด้วย 2 โมลาร์ KCl และไนเตรท ด้วย 0.5 โมลาร์ K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (จำเป็น และจักรกฤษณ์, 2560) และคำนวณหา Net cumulative N mineralized (mg kg<sup>-1</sup>) ได้จากสมการที่ 4 (หากค่าที่ได้เป็นลบแสดงถึงการเกิดอิมโมบิไลเซชันและค่าบวกแสดงถึงการเกิดมิเนอรัลไลเซชัน)

$$\text{Net cumulative N mineralized (mg kg}^{-1}\text{)} = [(\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-)_t - (\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-)_{t=0}]_{\text{พืช}} - [(\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-)_t - (\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-)_{t=0}]_{\text{ควบคุม}} \quad (4)$$



โดยที่  $t$  คือ การปลดปล่อยไนโตรเจนในช่วงเวลาต่าง ๆ;  $t = 0$  คือ การปลดปล่อยไนโตรเจนที่ 0 วัน; การปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากพืช ( $N_{rel}$ ) คำนวณได้จากสมการที่ 5

$$N_{rel} \text{ (mg kg}^{-1} \text{ soil)} = (Ni)_{t \text{ of residues}} - (Ni)_{t \text{ of unamended}} \quad (5)$$

โดย  $(Ni)_{t \text{ of residues}}$  = การปลดปล่อยไนโตรเจนในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซาก ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ;  $(Ni)_{t \text{ of unamended}}$  คือ การปลดปล่อยไนโตรเจนในทริตเมนต์ควบคุม ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ และร้อยละการปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากพืช ( $\% N_{rel}$ ) $_{N \text{ source}}$  คำนวณจากสมการที่ 6

$$(\% N_{rel})_{N \text{ source}} = [(N_{rel})_{residues} / NO_{(N \text{ source})}] * 100 \quad (6)$$

โดย  $(N_{rel})_{residues}$  คือ การปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากพืช;  $NO_{(N \text{ source})}$  คือ ปริมาณไนโตรเจนจากเศษซากพืชที่ใส่ลงไป ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) (Abbasi *et al.*, 2007) และนำมาคำนวณ Net P mineralized ( $P_{min}$ ) ได้จากสมการที่ 7 (หากค่าที่ได้เป็นลบแสดงถึงการเกิดอิมโมบิไลเซชันและค่าบวกแสดงถึงการเกิดมิเนอร์ลไลเซชัน)

$$P_{min} \text{ (mg kg}^{-1} \text{ soil)} = \{(Pi)_t - (Pi)_{t=0}\}_{residues} - \{(Pi)_t - (Pi)_{t=0}\}_{unamended} \quad (7)$$

โดย  $(Pi)_t$  คือ การปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัส ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ;  $(Pi)_{t=0}$  คือ ปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัส ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) ช่วง 0 วัน และการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากพืช ( $P_{rel}$ ) คำนวณได้จากสมการที่ 8

$$P_{rel} \text{ (mg kg}^{-1} \text{ soil)} = (Pi)_{t \text{ of residues}} - (Pi)_{t \text{ of unamended}} \quad (8)$$

โดย  $(Pi)_{t \text{ of residues}}$  = การปลดปล่อยฟอสฟอรัสในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซาก ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ;  $(Pi)_{t \text{ of unamended}}$  คือ การปลดปล่อยฟอสฟอรัสในทริตเมนต์ควบคุม ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ และร้อยละการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากพืช ( $\% P_{rel}$ ) $_{P \text{ source}}$  คำนวณจากสมการที่ 9

$$(\% P_{rel})_{P \text{ source}} = [(P_{rel})_{residues} / PO_{(P \text{ source})}] * 100 \quad (9)$$

โดย  $(P_{rel})_{residues}$  คือ การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากพืช;  $PO_{(P \text{ source})}$  คือ ปริมาณฟอสฟอรัสจากเศษซากพืชที่ใส่ลงไป ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) (Azeezi and Averbek, 2010) และศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างดินที่บ่มที่ 0 และ 120 วัน โดยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Jindaluang *et al.*, 2013) และนำข้อมูลที่ได้คำนวณร้อยละการดูดกลืนแสงสัมพันธ์ ( $\% \text{ relative absorbance}$ ) (Haberhauer *et al.*, 1998)

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่ 1 (สมบัติของดินทางฟิสิกส์ เคมี และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน) การทดลองที่ 2 (ปริมาณเศษซากและธาตุอาหารที่กลับคืนสู่ดิน ธาตุอาหารพืช และองค์ประกอบทางชีวเคมี) และการทดลองที่ 3 (การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนและองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์) มาหาค่าเฉลี่ย และนำไปวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนทางเดียวด้วยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT

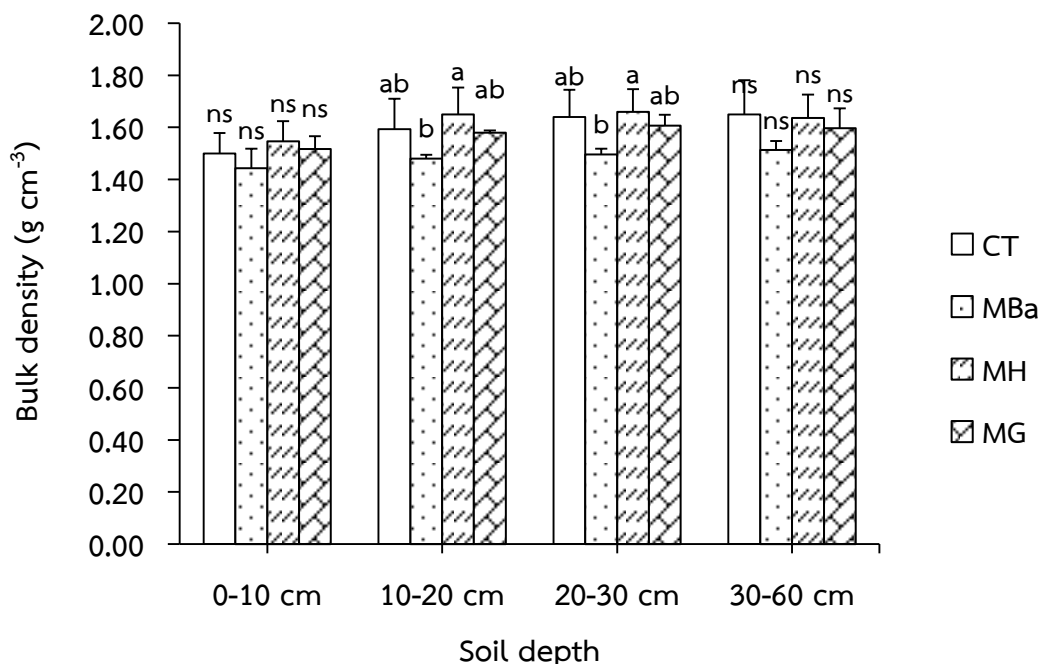
### บทที่ 3

#### ผลการทดลอง

#### 1. สมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ของดินปลูกยางพาราที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน

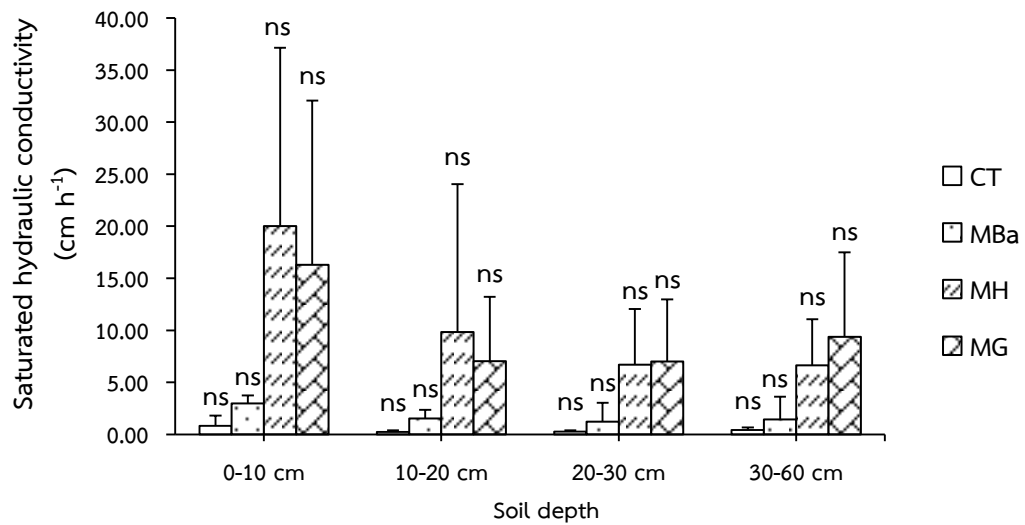
##### สมบัติทางฟิสิกส์ของดินบางประการ

ความหนาแน่นรวมของดินที่ปลูกพืชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด และยางพาราเชิงเดี่ยว ที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร พบว่า ความหนาแน่นรวมของดินในแปลงตะเคียนร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงสุด รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา (1.55, 1.52, 1.50 และ 1.44 g cm<sup>-3</sup> ตามลำดับ) ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร ความหนาแน่นรวมของดินในแปลงตะเคียนสูงที่สุด รองลงมา คือ แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา (1.65, 1.59, 1.58 และ 1.48 g cm<sup>-3</sup> ตามลำดับ) ที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร ความหนาแน่นรวมของดินมีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร (1.66, 1.64, 1.61 และ 1.50 g cm<sup>-3</sup> ตามลำดับ) และที่ความลึก 30-60 เซนติเมตร ความหนาแน่นรวมของดินในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวมีแนวโน้มสูงสุด รองลงมา คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพารา แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา (1.65, 1.64, 1.60 และ 1.51 g cm<sup>-3</sup> ตามลำดับ) (ภาพที่ 11)



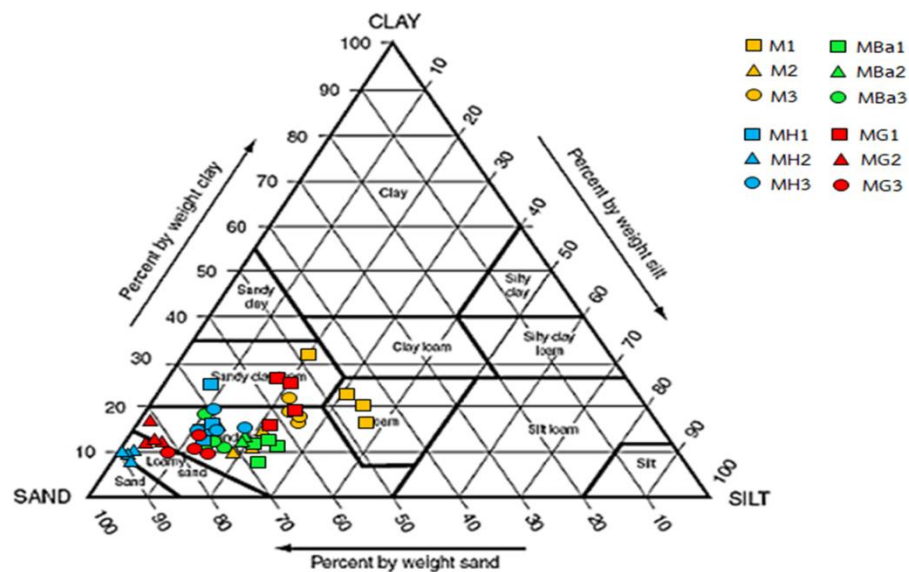
ภาพที่ 11 ความหนาแน่นรวมของดินที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวและพืชร่วมยางพาราต่างกัน; CT=แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว, MBa = ไม้ร่วมยางพารา, MH = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = ผักเหลียงร่วมยางพารา; ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงถึงความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99; บาร์แสดงแถบความคลาดเคลื่อนโดยใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

สภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวในแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิดมีแนวโน้มสูงกว่าในแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ และมีแนวโน้มลดลงตามความลึกของดิน โดยที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร สภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงไม้ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (20.02, 16.31, 2.98 และ 0.82 cm h<sup>-1</sup> ตามลำดับ) ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร สภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวมีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร (9.84, 7.04, 1.54 และ 0.24 cm h<sup>-1</sup> ตามลำดับ) ที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร สภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพารา แปลงไม้ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (7.00, 6.68, 1.21 และ 0.28 cm h<sup>-1</sup> ตามลำดับ) และที่ความลึก 30-60 เซนติเมตร สภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวมีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่ระดับความลึก 20-30 เซนติเมตร (9.38, 6.65, 1.45 และ 0.41 cm h<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 สภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว; CT=ยางพาราเชิงเดี่ยว, MBa = ไร่ร่วมยางพารา, MH = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = ผักเหลียงร่วมยางพารา  
ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; บาร์แสดงแถบความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.

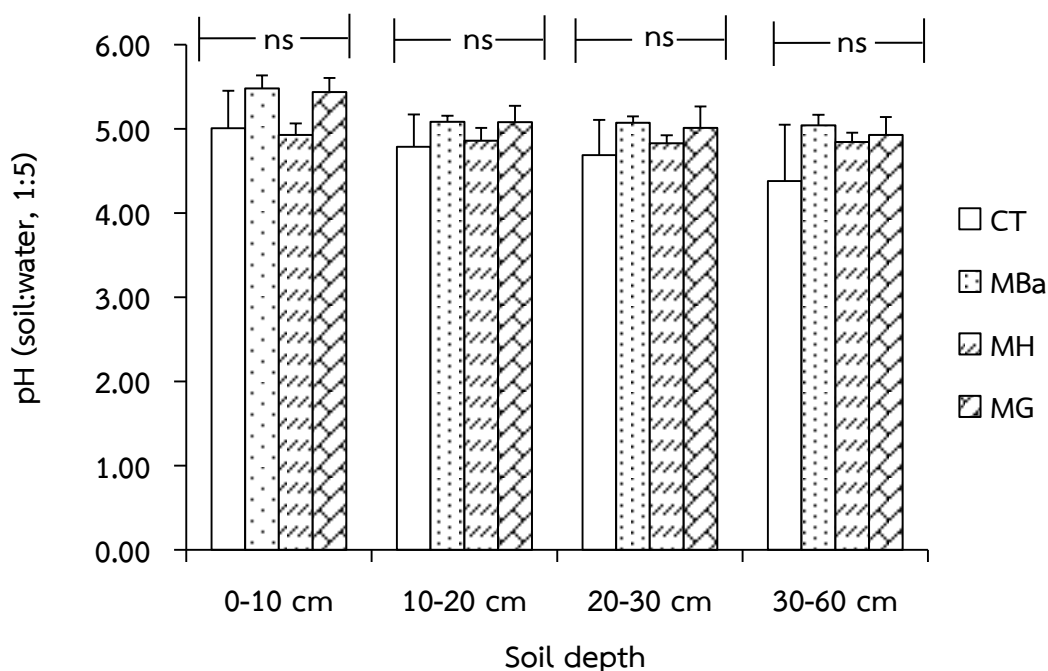
เนื้อดินส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อหยาบ (coarse-textured soils; sandy loam and loamy sand) และบางส่วนเป็นกลุ่มดินเนื้อปานกลาง (medium-textured soils; sandy clay loam and loam) (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 ไดอะแกรมการกระจายของเนื้อดินแต่ละแปลง ตามสัดส่วนโดยมวลของทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay); M1-3 = ยางพาราเชิงเดี่ยว, MBa1-3 = ไร่ร่วมยางพารา, MH1-3 = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = ผักเหลียงร่วมยางพารา

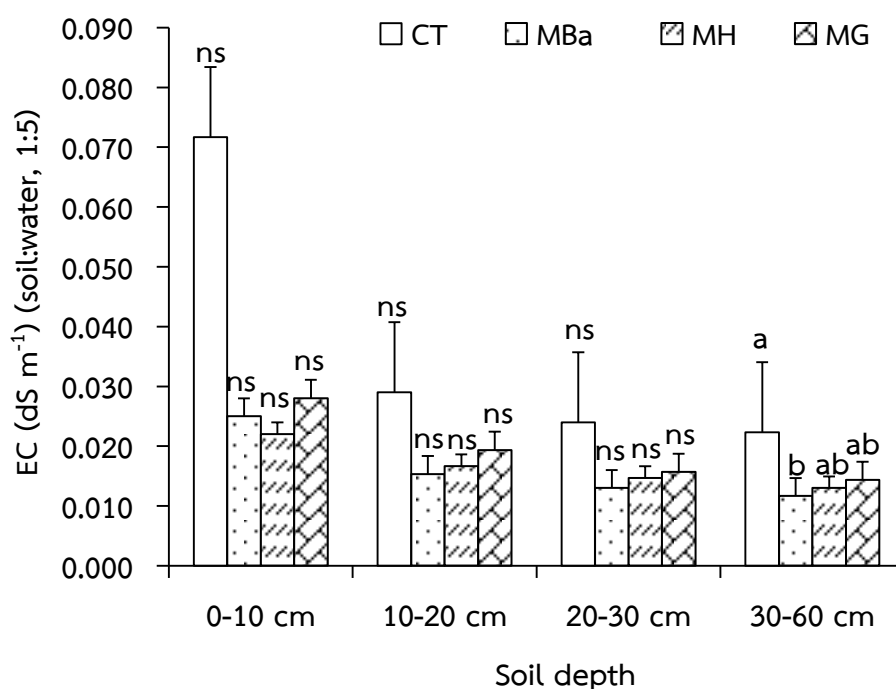
### สมบัติทางเคมีของดินบางประการ

พีเอชของดินในทุกแปลงไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดิน ที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร พีเอชของดินในแปลงไผ่ร่วมยางพาราและผักเหลียงร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงสุด รองลงมา คือ แปลงยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (5.48, 5.44, 5.00 และ 4.93 ตามลำดับ) ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร พีเอชของดินในแปลงไผ่ร่วมยางพาราและผักเหลียงร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงสุด รองลงมา คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพาราและแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (5.08, 5.08, 4.86 และ 4.79 ตามลำดับ) ที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร พีเอชของดินในแปลงไผ่ร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงสุด รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (5.07, 5.01, 4.83 และ 4.69 ตามลำดับ) และที่ความลึก 30-60 เซนติเมตร พีเอชของดินมีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร (5.04, 4.93, 4.84 และ 4.38 ตามลำดับ) (ภาพที่ 14)



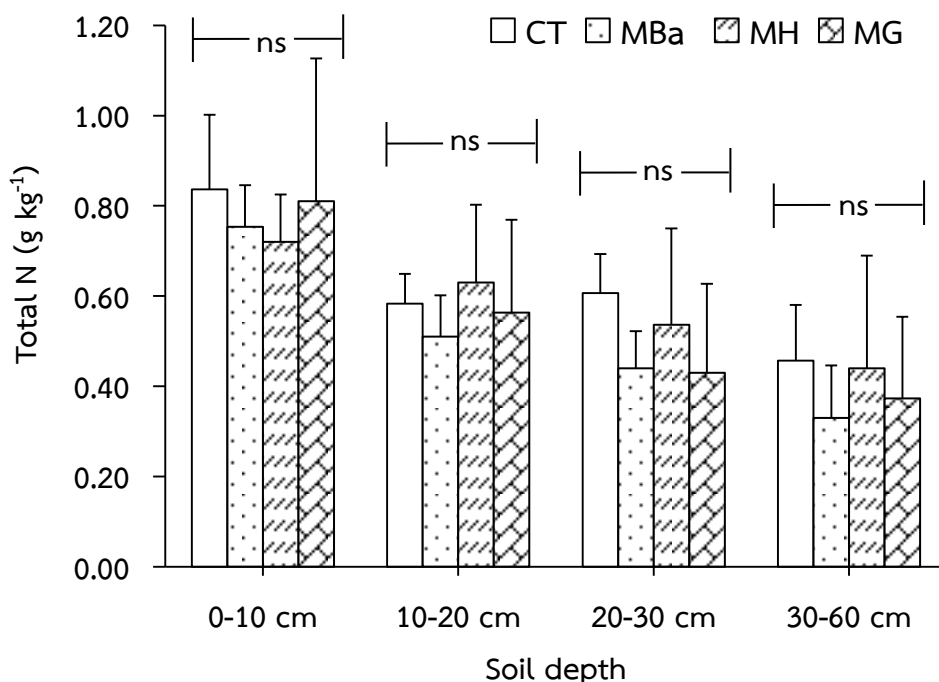
ภาพที่ 14 พีเอชของดินจากแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยว ที่ความลึก 0-10, 10-20, 20-30 และ 30-60 cm; CT = ยางพาราเชิงเดี่ยว, MBa = ไผ่ร่วมยางพารา, MH = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = ผักเหลียงร่วมยางพารา  
หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; บาร์แสดงแถบความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.

สภาพการนำไฟฟ้าของดินทุกแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพารามีแนวโน้มต่ำกว่ายางพาราเชิงเดี่ยว แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดิน โดยที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร สภาพการนำไฟฟ้าของดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงไผ่ร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.072, 0.028, 0.025 และ 0.022  $\text{dS m}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร สภาพการนำไฟฟ้าในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวมีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา (0.029, 0.019, 0.017 และ 0.015  $\text{dS m}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร มีแนวโน้มเช่นเดียวกับความลึกที่ 10-20 เซนติเมตร (0.024, 0.016, 0.015 และ 0.013  $\text{dS m}^{-1}$  ตามลำดับ) และที่ 30-60 เซนติเมตร มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับทั้ง 10-20 และ 20-30 เซนติเมตร (0.022, 0.014, 0.013 และ 0.012  $\text{dS m}^{-1}$  ตามลำดับ) (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 ค่าการนำไฟฟ้าของดินแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว และแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน ที่ความลึก 0-10, 10-20, 20-30 และ 30-60 cm; CT = แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว, MBa = แปลงไผ่ร่วมยางพารา, MH = แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา; ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่าง แสดงถึงความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ ด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99; บาร์แสดงแถบความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.

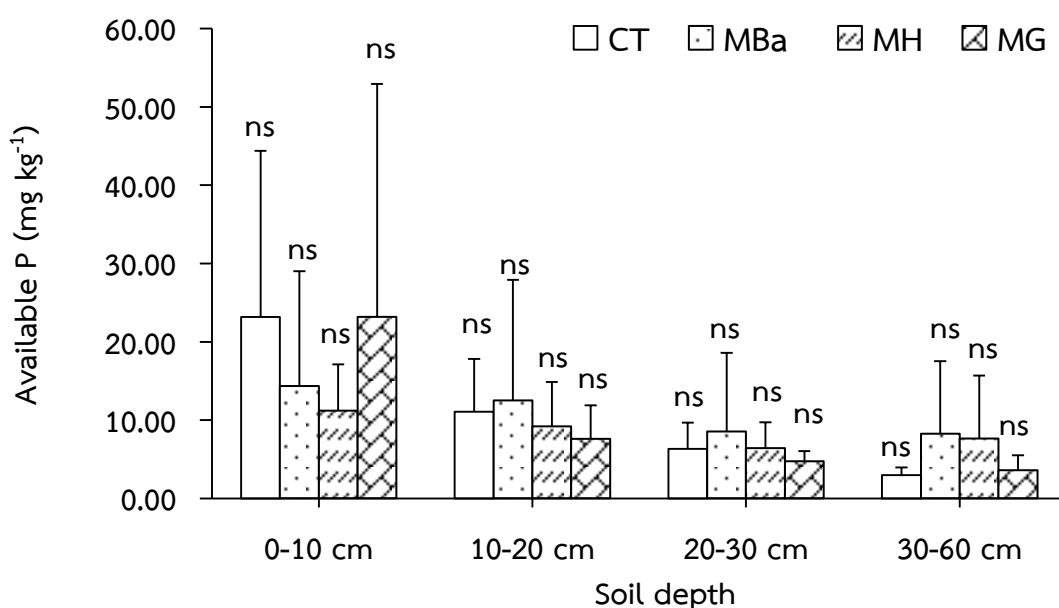
ไนโตรเจนทั้งหมดในดินแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวมีแนวโน้มสูงกว่าแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราอื่น ๆ และมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดิน โดยที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร ไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงไผ่ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.84, 0.81, 0.75 และ 0.72  $\text{g kg}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร ไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา และแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา (0.63, 0.58, 0.56 และ 0.51  $\text{g kg}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร ไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพารา แปลงไผ่ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา (0.61, 0.54, 0.44 และ 0.43  $\text{g kg}^{-1}$  ตามลำดับ) และที่ความลึก 30-60 เซนติเมตร ไนโตรเจนทั้งหมดในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพารา แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา (0.46, 0.44, 0.37 และ 0.33  $\text{g kg}^{-1}$  ตามลำดับ) (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 ไนโตรเจนทั้งหมดของดินแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว และแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน ที่ความลึก 0-10, 10-20, 20-30 และ 30-60 cm; CT = แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว, MBa = แปลงไผ่ร่วมยางพารา, MH = แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา  
ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; บาร์แสดงแถบความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.



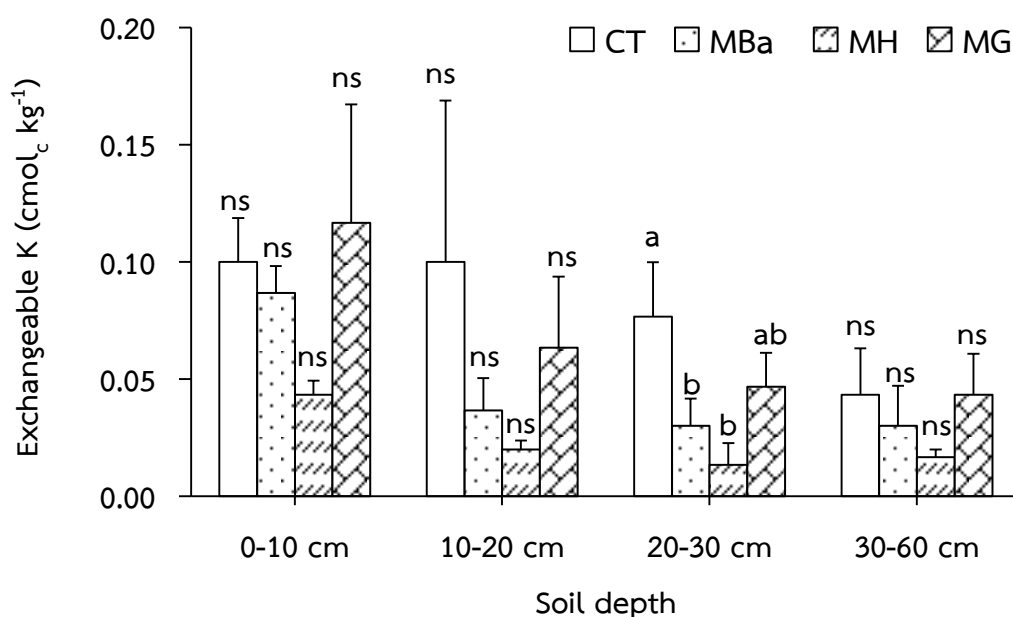
ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดิน โดยที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว และแปลงผักเหียงร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (23.19, 23.16, 14.35 และ 11.18 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงผักเหียงร่วมยางพารา (12.49, 11.05, 9.20 และ 7.60 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) ที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพาราและแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงผักเหียงร่วมยางพารา (8.55, 6.41, 6.35 และ 4.75 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) และที่ความลึก 30-60 เซนติเมตร ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพารา แปลงผักเหียงร่วมยางพารา และแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (8.24, 7.64, 3.58 และ 2.97 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน ที่ความลึก 0-10, 10-20, 20-30 และ 30-60 cm; CT = ยางพาราเชิงเดี่ยว, MBa = ไผ่ร่วมยางพารา, MH = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = ผักเหียงร่วมยางพารา

หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; บาร์แสดงแถบความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.

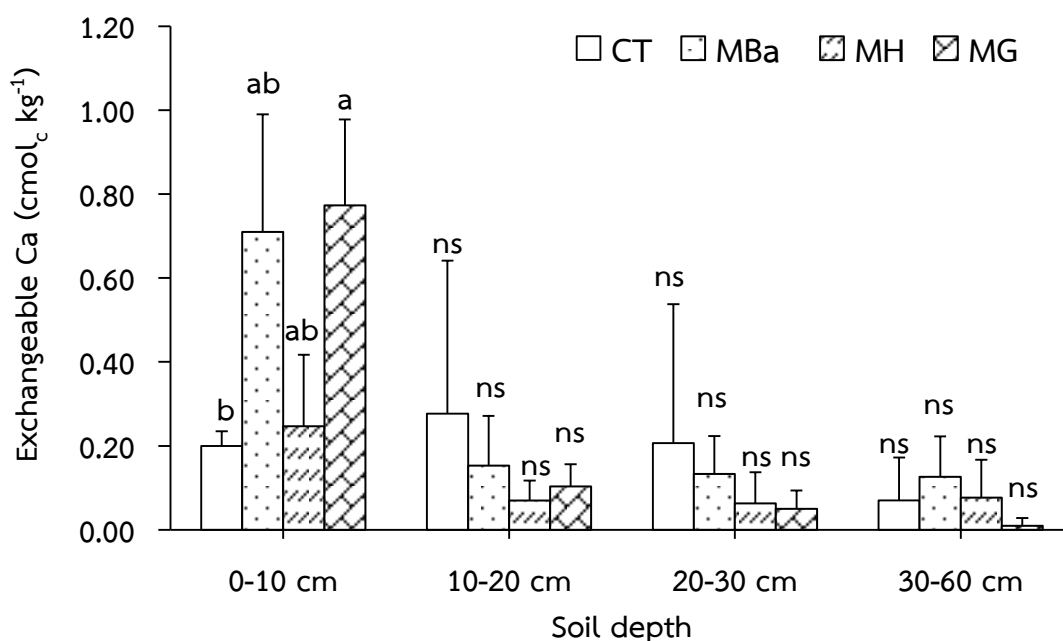
โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดิน โดยที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา และแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพาราและแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.12, 0.10, 0.09 และ 0.04  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงไผ่ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.10, 0.06, 0.04 และ 0.02  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพาราและแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.08, 0.05, 0.03 และ 0.01  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  ตามลำดับ) และที่ความลึก 30-60 เซนติเมตร โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.04, 0.04, 0.03 และ 0.02  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  ตามลำดับ) (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน แปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน ที่ความลึก 0-10, 10-20, 20-30 และ 30-60 cm; CT = ยางพาราเชิงเดี่ยว, MBa = ไผ่ร่วมยางพารา, MH = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = ผักเหลียงร่วมยางพารา

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างแสดงถึงความแตกต่างด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99; ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; บาร์แสดงแถบความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.

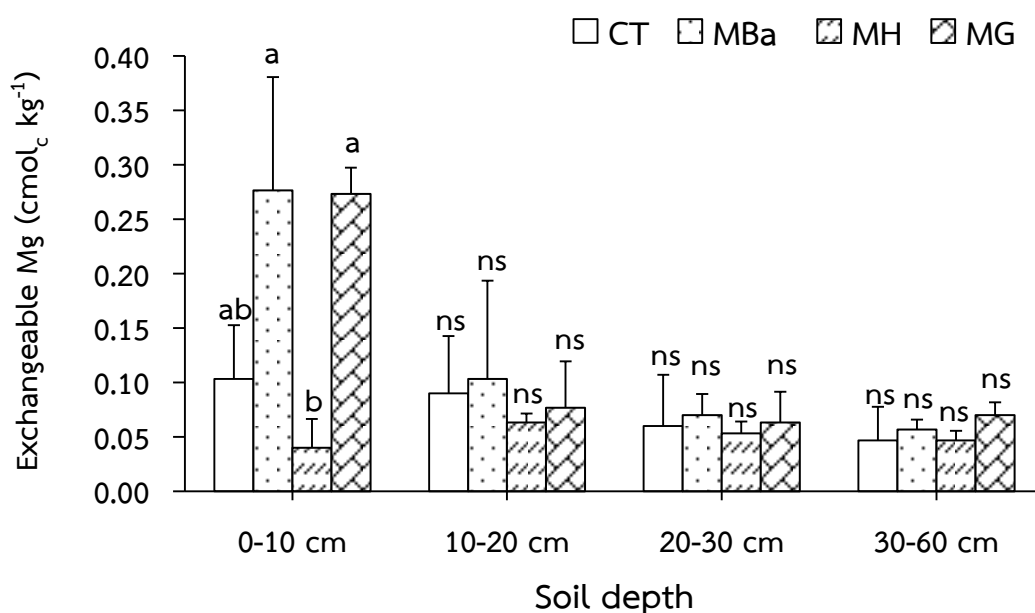
แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดิน โดยที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพารา แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว ( $0.77, 0.71, 0.25$  และ  $0.20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพารา แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา ( $0.28, 0.15, 0.10$  และ  $0.07 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) ที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพารา แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา ( $0.21, 0.13, 0.06$  และ  $0.05 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) และที่ความลึก 30-60 เซนติเมตร แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพารา แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา ( $0.13, 0.08, 0.07$  และ  $0.01 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) (ภาพที่ 19)



ภาพที่ 19 แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน แปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน ที่ความลึก 0-10, 10-20, 20-30 และ 30-60 cm; CT = ยางพาราเชิงเดี่ยว, MBa = ไผ่ร่วมยางพารา, MH = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = ผักเหลียงร่วมยางพารา

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างแสดงถึงความแตกต่างด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99; ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; บาร์แสดงความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.

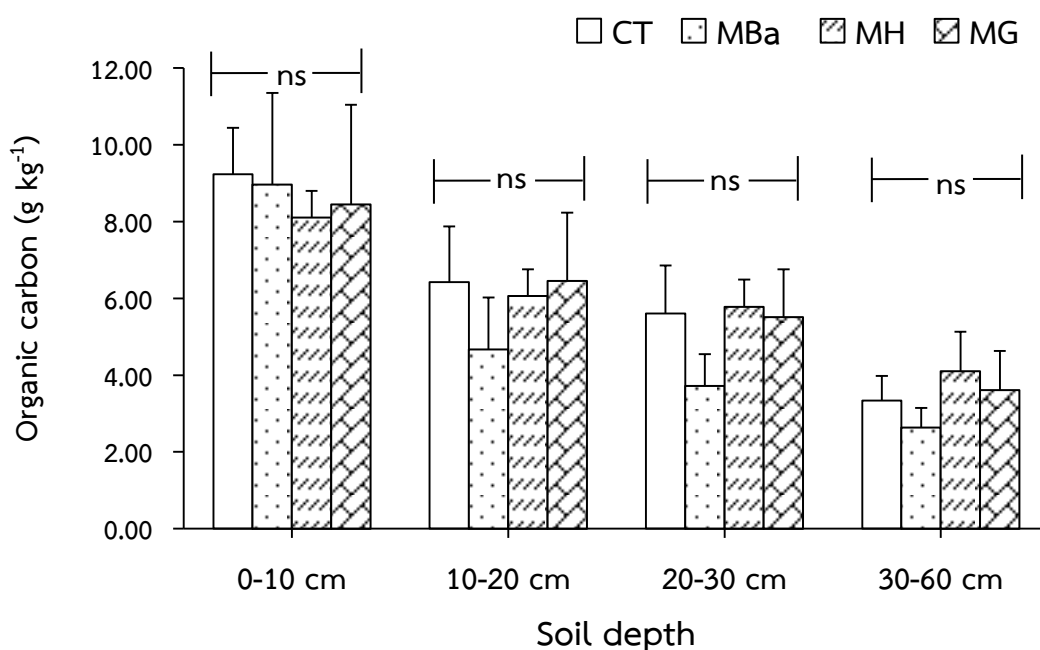
แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดิน โดยที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพาราและแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว และต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.28, 0.27, 0.10 และ 0.04  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.10, 0.09, 0.08 และ 0.06  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพาราและแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.07, 0.06, 0.06 และ 0.05  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 30-60 เซนติเมตร แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.07, 0.06, 0.05 และ 0.05  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) (ภาพที่ 20)



ภาพที่ 20 แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน แปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน ที่ความลึก 0-10, 10-20, 20-30 และ 30-60 cm; CT = ยางพาราเชิงเดี่ยว, MBa = ไผ่ร่วมยางพารา, MH = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = ผักเหลียงร่วมยางพารา

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างแสดงถึงความแตกต่างด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99; ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; บาร์แสดงความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.

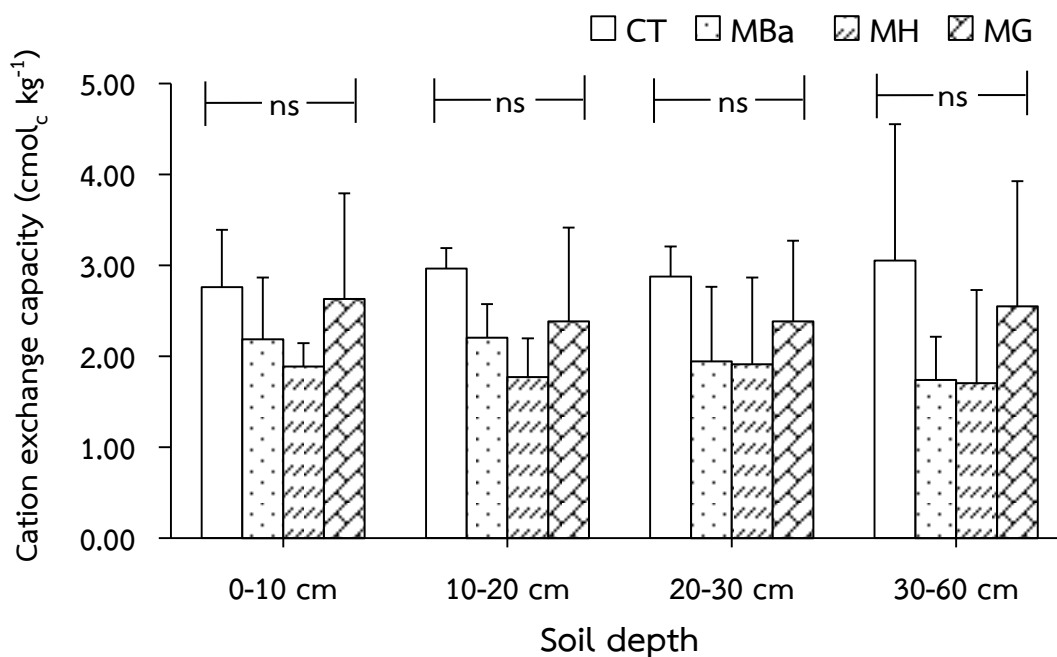
คาร์บอนอินทรีย์มีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดิน ที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร คาร์บอนอินทรีย์มีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพารา แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา ( $9.23, 8.97, 8.45$  และ  $8.11 \text{ g kg}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์มีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพาราและแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา ( $6.45, 6.42, 6.07$  และ  $4.67 \text{ g kg}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร คาร์บอนอินทรีย์ในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว และแปลงผักเหลียงร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงใกล้เคียงกัน แต่แปลงไผ่ร่วมยางพารามีแนวโน้มต่ำที่สุด ( $5.78, 5.60, 5.51$  และ  $3.72 \text{ g kg}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 30-60 เซนติเมตร คาร์บอนอินทรีย์มีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา ( $4.11, 3.62, 3.34$  และ  $2.64 \text{ g kg}^{-1}$  ตามลำดับ) (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 21 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน ที่ความลึก 0-10, 10-20, 20-30 และ 30-60 cm; CT = ยางพาราเชิงเดี่ยว, MBa = ไผ่ร่วมยางพารา, MH = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = ผักเหลียงร่วมยางพารา

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างแสดงถึงความแตกต่างด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99; ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; บาร์แสดงแถบความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.

ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดิน ยกเว้นในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว ที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงผักเหลียงร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (2.76, 2.63, 2.19 และ 1.89  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวมีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงไผ่ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (2.97, 2.39, 2.21 และ 1.77  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ความลึก 20-30 และ 30-60 เซนติเมตร มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร (2.88, 2.39, 1.94 และ 1.91  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  ตามลำดับ และ 3.05, 2.55, 1.74 และ 1.71  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  ตามลำดับ) (ภาพที่ 22)

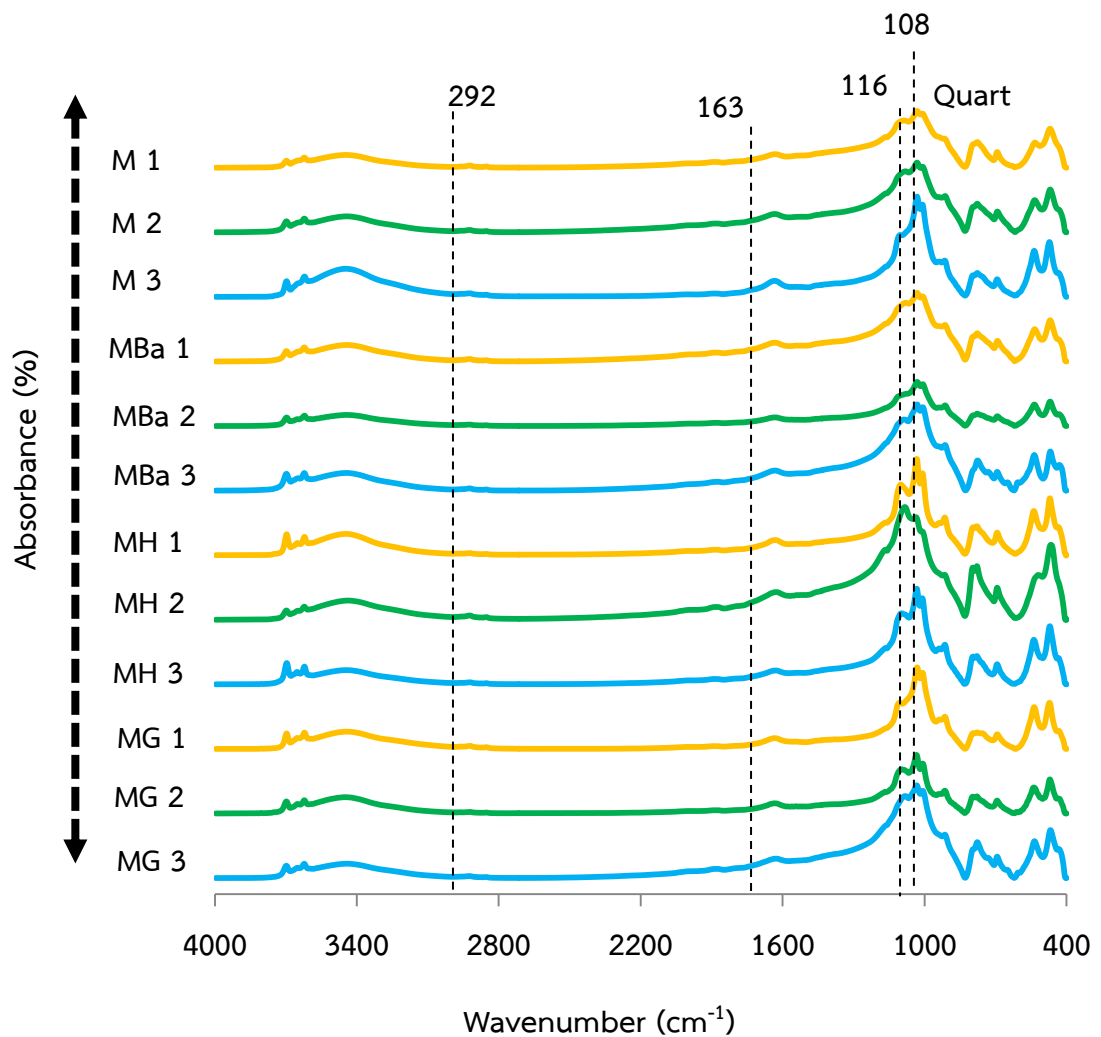


ภาพที่ 22 ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน ที่ความลึก 0-10, 10-20, 20-30 และ 30-60 cm; CT = ยางพาราเชิงเดี่ยว, MBa = ไผ่ร่วมยางพารา, MH = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = ผักเหลียงร่วมยางพารา; ns = ไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ; บาร์แสดง ความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.

## องค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินโดยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี

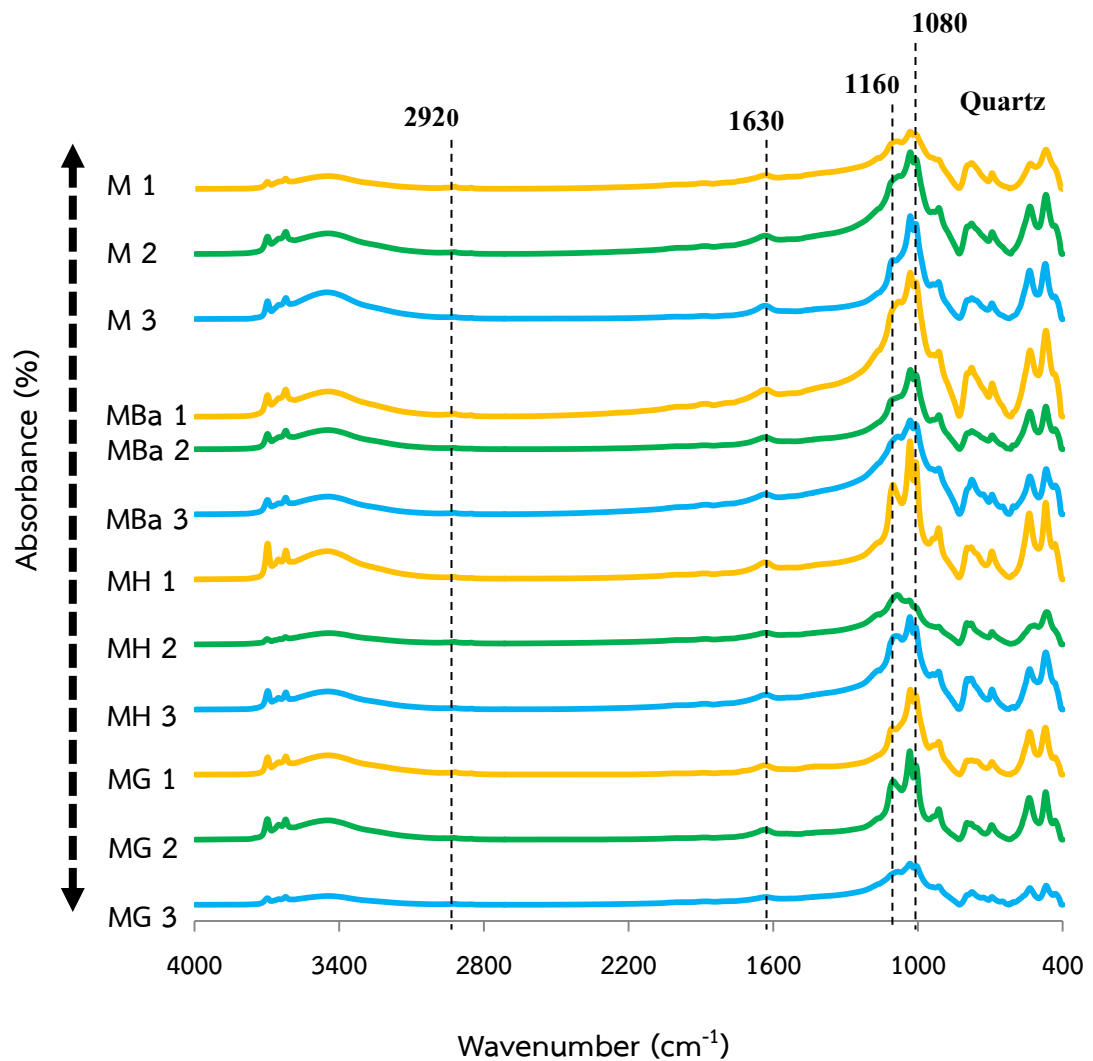
ใช้เทคนิคทางแสงอินฟราเรดช่วงกลาง (FTIR spectroscopy) ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี หรือหมู่ฟังก์ชันในดิน โดยแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และแปลงไผ่ร่วมยางพารา ที่ 4 ระดับความลึก คือ 0-10, 10-20, 20-30 และ 30-60 เซนติเมตร เพื่อหาองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน โดยจำแนกการดูดกลืนแสงตามพีคในช่วงคลื่น  $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$  พบว่า ช่วงพีคของหมู่ฟังก์ชันที่พบในทุกแปลงและทุกระดับความลึกเหมือนกันทั้งหมด (ภาพที่ 23, 24, 25 และ 26)

สรุปโดยรวมได้ดังนี้ อะลูมินัมไฮดรอกไซด์ หรือหมู่ไฮดรอกซิลของแร่ดินเหนียว ( $3800\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$ ; Nguyen *et al.*, 1991) อะลิฟาติก ( $3050\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ ; Nguyen *et al.*, 1991; Calderón *et al.*, 2011; Base and Bloom, 1989; Haberhauer *et al.*, 1998; Stevenson, 1994) คาร์บอกซิล ( $1630\text{ cm}^{-1}$  Calderón *et al.*, 2011; Base and Bloom, 1989; Haberhauer *et al.*, 1998; Stevenson, 1994) พันธะ C-O ของพอลิแซ็กคาไรด์ ( $1182\text{-}1142\text{ cm}^{-1}$ ; Dubog *et al.*, 2012; Stevenson, 1994) และอิทธิพลของควอตซ์ หรือ พันธะ C-O ของเซลลูโลส ( $1080\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ ; Calderón *et al.*, 2011; Haberhauer *et al.*, 1998) แต่ควอตซ์จะเด่นชัดมากที่พีค  $1030\text{-}1020\text{ cm}^{-1}$  (Nguyen *et al.*, 1991) และช่วงคลื่นที่ต่ำกว่า  $1000\text{ cm}^{-1}$  เป็นอิทธิพลของแร่ดินเหนียวและควอตซ์ (Haberhauer *et al.*, 1998) (ภาพที่ 23, 24, 25 และ 26)

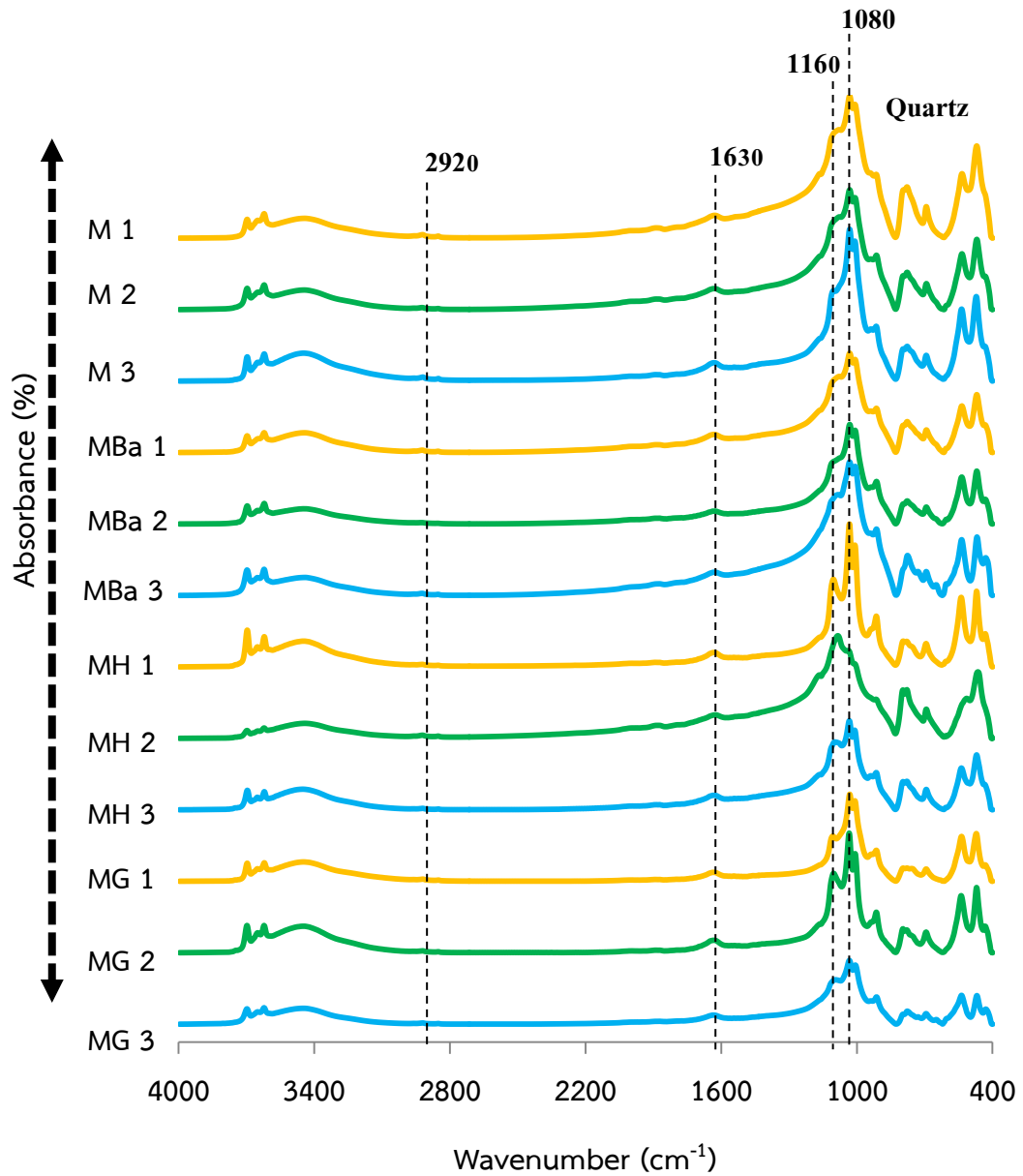


ภาพที่ 23 พีคของหมู่ฟังก์ชันภายในดินที่ทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มสเปกโทรสโคปี ที่ความถี่ 0-10 cm;  $2920\text{ cm}^{-1}$  = อะลิฟาติก;  $1630\text{ cm}^{-1}$  = คาร์บอกซิล;  $1160\text{ cm}^{-1}$  = พอลิแซ็กคาไรด์ และ  $1080\text{ cm}^{-1}$  = ควอตซ์ และเซลลูโลส  
 หมายเหตุ : M1-3 = ยางพาราเชิงเดี่ยว; MBa1-3 = ไม้ร่วมยางพารา; MH1-3 = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG1-3 = ผักเหลียงร่วมยางพารา

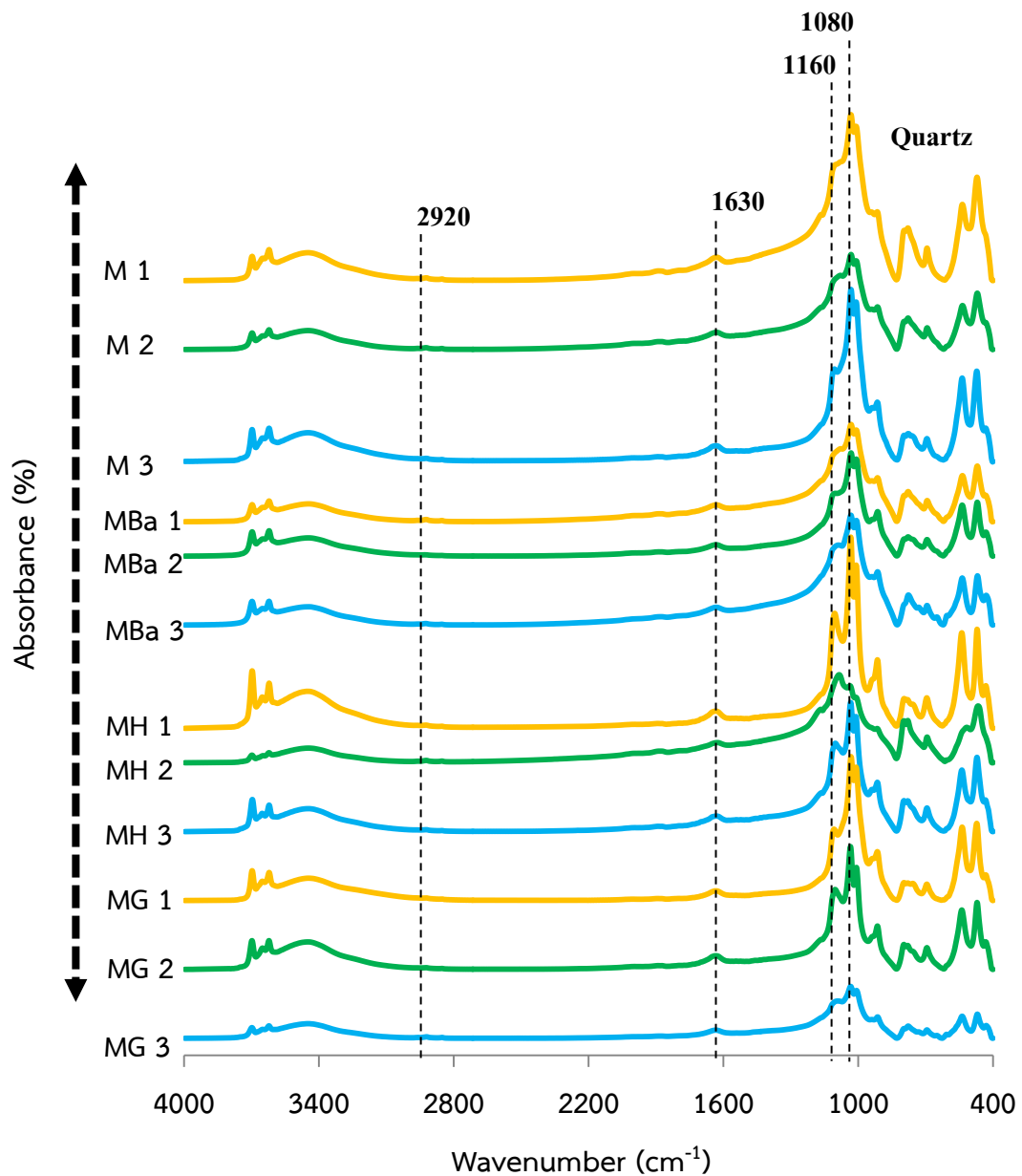




ภาพที่ 24 พีคของหมู่ฟังก์ชันภายในดินที่ทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มสเปกโทรสโคปี ที่ความลึก 10-20 cm;  $2920\text{ cm}^{-1}$  = อะลิฟาติก;  $1630\text{ cm}^{-1}$  = คาร์บอกซิล;  $1160\text{ cm}^{-1}$  = พอลิแซ็กคาไรด์ และ  $1080\text{ cm}^{-1}$  = ควอตซ์ และเซลลูโลส  
 หมายเหตุ : M1-3 = ยางพาราเชิงเดี่ยว; MBa1-3 = ไม้ร่วมยางพารา; MH1-3 = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG1-3 = ผักเหลียงร่วมยางพารา



ภาพที่ 25 พิกของหมู่ฟังก์ชันภายในดินที่ทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มสเปกโทรสโคปี ที่ความลึก 20-30 cm; 2920 cm<sup>-1</sup> = อะลิฟาติก; 1630 cm<sup>-1</sup> = คาร์บอกซิล; 1160 cm<sup>-1</sup> = พอลิแซ็กคาไรด์ และ 1080 cm<sup>-1</sup> = ควอตซ์ และเซลลูโลส  
 หมายเหตุ : M1-3 = ยางพาราเชิงเดี่ยว; MBa1-3 = ไร่ร่วมยางพารา; MH1-3 = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG1-3 = ผักเหลียงร่วมยางพารา



ภาพที่ 26 พีคของหมู่ฟังก์ชันภายในดินที่ทดสอบด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มสเปคโตรสโคปี ที่ความลึก 30-60 cm;  $2920\text{ cm}^{-1}$  = อะลิฟาติก;  $1630\text{ cm}^{-1}$  = คาร์บอกซิล;  $1160\text{ cm}^{-1}$  = พอลิแซ็กคาไรด์ และ  $1080\text{ cm}^{-1}$  = ควอตซ์ และเซลลูโลส  
 หมายเหตุ : M1-3 = ยางพาราเชิงเดี่ยว; MBa1-3 = ไร่ร่วมยางพารา; MH1-3 = ตะเคียนร่วมยางพารา และ MG1-3 = ผักเหลียงร่วมยางพารา

นำข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบร้อยละของ relative absorbance (%rA) คำนวณตาม Haberhauer และคณะ (1998) โดยใช้พีคดังนี้  $2920$ ,  $1630$ ,  $1160$  และ  $1080$  และเมื่อนำมาหา %rA หรือ relative absorbance ในดิน ที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร พบว่า %rA ของหมู่อะลิฟาติก ( $2920$ ) ในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวมีแนวโน้มสูงที่สุดใกล้เคียงกับแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา

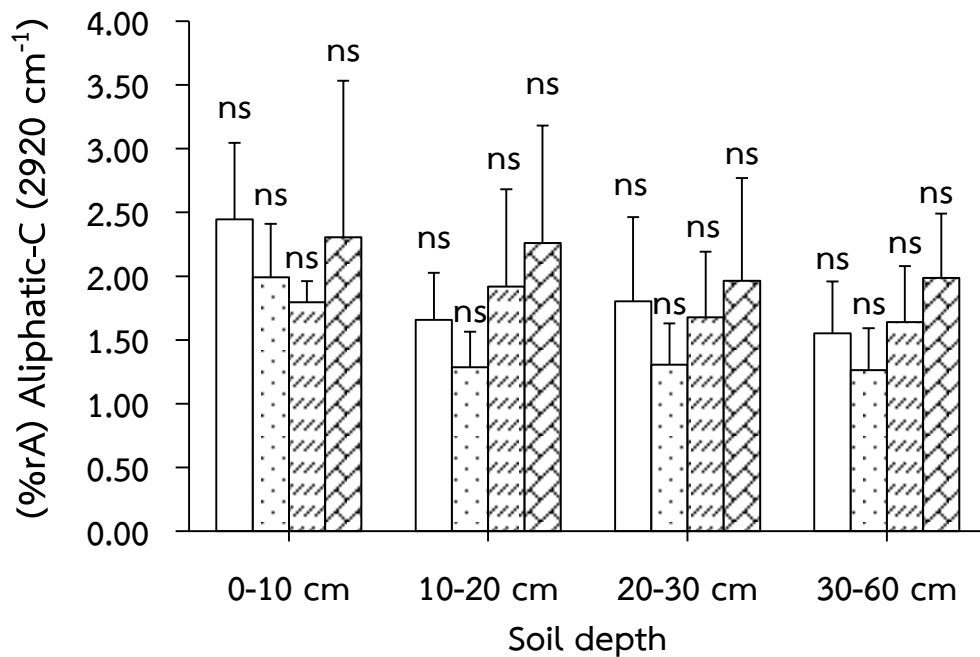
รองลงมา คือ แผลงไผ่ร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (2.44, 2.31, 1.99 และ 1.80 % ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (ภาพที่ 27) และพบว่า แผลงไผ่ร่วมยางพารามีหมู่คาร์บอกซิล (1630) สูงที่สุดใกล้เคียงกับแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แผลงผักเหลียงร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (14.79, 14.53, 12.89, 12.42 % ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (ภาพที่ 28) และยังพบว่า พอลิแซ็กคาไรด์ (1160) ในแผลงไผ่ร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมา คือ แผลงยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงตะเคียนร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา (32.04, 30.56, 30.18, 28.88 % ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (ภาพที่ 29) และพบ %rA ควอตซ์ (1080) ซึ่งเป็นพีคที่เด่นชัดเกี่ยวกับควอตซ์มากกว่าเซลลูโลส เนื่องจากเป็นดินเขตร้อนที่มีแร่เคโอลิไนต์เด่น จึงไม่แตกต่างทางสถิติ

ที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร หมู่อะลิฟาติก (2920) ในดินของแปลงตะเคียนร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมา คือ แผลงยางพาราเชิงเดี่ยว แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแผลงไผ่ร่วมยางพารา (2.26, 1.92, 1.66 และ 1.29% ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (ภาพที่ 27) สำหรับหมู่คาร์บอกซิล (1630) ในดินพบว่า แผลงไผ่ร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมา คือ แผลงยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (13.03, 12.55, 12.07 และ 11.92% ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (ภาพที่ 28) และพบว่า พอลิแซ็กคาไรด์ (1160) ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแผลงไผ่ร่วมยางพารา รองลงมา คือ แผลงยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงตะเคียนร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา (31.53, 29.99, 29.80 และ 28.77% ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (ภาพที่ 29)

ที่ความลึก 20-30 เซนติเมตร หมู่อะลิฟาติก (2920) ในดินมีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่ความลึก 10-20 เซนติเมตร (1.96, 1.80, 1.68, 1.31 % ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (ภาพที่ 27) สำหรับหมู่คาร์บอกซิล (1630) ในดินพบว่า แปลงตะเคียนร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมา คือ แผลงยางพาราเชิงเดี่ยวและแผลงไผ่ร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา (12.37, 11.79, 11.34 และ 11.28% ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (ภาพที่ 28) และพบว่า พอลิแซ็กคาไรด์ (1160) ในดินของแผลงยางพาราเชิงเดี่ยวมีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมา คือ แผลงไผ่ร่วมยางพาราและแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (30.28, 29.23, 25.63 และ 23.62% ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (ภาพที่ 29)

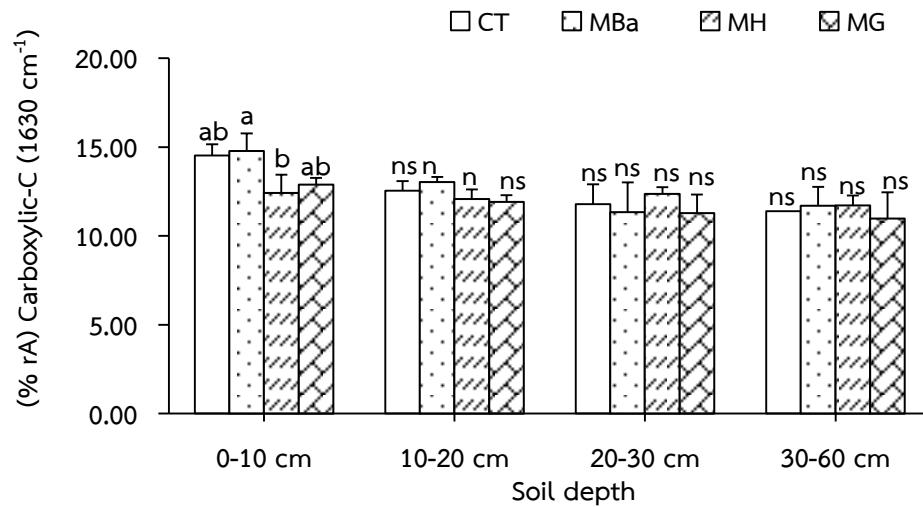
ที่ความลึก 30-60 เซนติเมตร หมู่อะลิฟาติก (2920) ในดินมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับที่ความลึก 10-20 และ 20-30 เซนติเมตร (1.99, 1.64, 1.55 และ 1.26% ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (ภาพที่ 27) และสำหรับหมู่คาร์บอกซิล (1630) ในดิน พบว่า แผลงไผ่ร่วมยางพาราและแปลงตะเคียนร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุดใกล้เคียงกัน รองลงมา คือ แผลงยางพาราเชิงเดี่ยว และต่ำที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา (11.71, 11.71, 11.39 และ 10.97% ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (ภาพที่ 28) อีกทั้งยังพบว่า พอลิแซ็กคาไรด์ (1160) ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแผลงไผ่ร่วมยางพารา รองลงมา คือ แผลงยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงตะเคียนร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา (31.09, 29.16, 27.85 และ 25.98% ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (ภาพที่ 29) และทุกหมู่ฟังก์ชันมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดิน ยกเว้น 1080 (ภาพที่ 27, 28 และ 29) และอัตราส่วน 1630/2920  $\text{cm}^{-1}$  ความลึก 0-10 เซนติเมตร

มีแนวโน้มช่วงกว้างที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา (7.65) รองลงมา คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา (6.92 และ 6.68) และมีแนวโน้มแคบที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (6.22) ที่ระดับความลึก 10-20, 20-30 และ 30-60 เซนติเมตร มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับความลึกที่ 0-10 เซนติเมตรทั้งหมด (ภาพที่ 30)

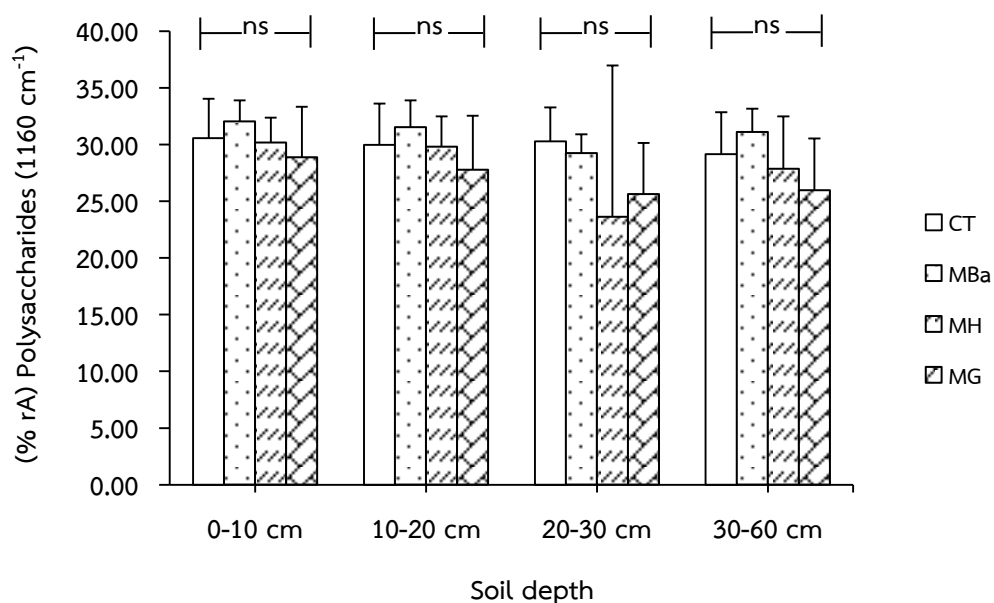


ภาพที่ 27 ร้อยละการดูดกลืนแสงของพีคที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนอินทรีย์ (%rA) 2920  $\text{cm}^{-1}$ : อะลิฟาติก (aliphatic-C)

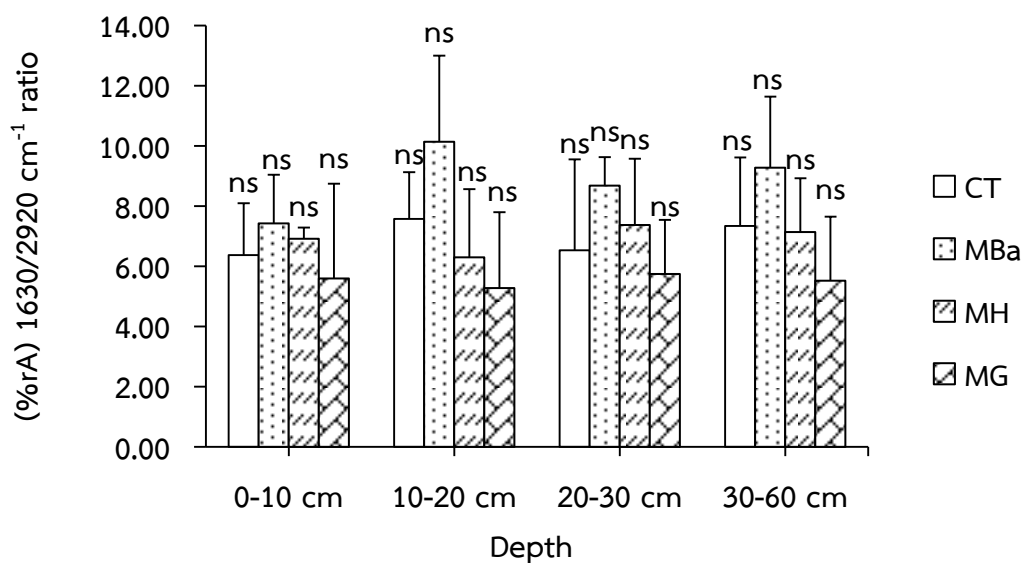
หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; CT = แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว; MBa แปลงไผ่ร่วมยางพารา; MH = แปลงตะเคียนร่วมยางพารา; MG = แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา; บาร์แสดงแถบความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.



**ภาพที่ 28** ร้อยละการดูดกลืนแสงของพีคที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนอินทรีย์ (%rA) 1630 cm<sup>-1</sup>: คาร์บอกซิล (Carboxylic-C); CT = แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว; MBa แปลงไผ่ร่วมยางพารา; MH = แปลงตะเคียนร่วมยางพารา; MG = แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา  
หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างแสดงถึงความแตกต่างด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99; บาร์แสดงแถบความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.



**ภาพที่ 29** ร้อยละการดูดกลืนแสงของพีคที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนอินทรีย์ (%rA) 1160 cm<sup>-1</sup>: พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides); ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; CT = แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว; MBa แปลงไผ่ร่วมยางพารา; MH = แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา; บาร์แสดงแถบความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.



ภาพที่ 30 อัตราส่วนร้อยละการดูดกลืนแสง  $1630/2920 \text{ cm}^{-1}$ ; ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; CT = แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว; MBa แปลงไม้ร่วมยางพารา; MH = แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และ MG = แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา; บาร์แสดงความคลาดเคลื่อนแบบ S.D.

## 2. องค์ประกอบทางชีวเคมี ความเข้มข้นของธาตุอาหาร ปริมาณเศษซากใบพีชร่วมยางพารา และปริมาณธาตุอาหารที่คืนกลับสู่ดิน

### องค์ประกอบทางชีวเคมีของเศษซากใบพีชร่วมยางพารา

องค์ประกอบทางชีวเคมีในเศษซากใบพีชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด คือ ไม้ ตะเคียน และ ผักเหลียง พบว่า เศษซากใบตะเคียนมีปริมาณโพลีฟีนอลสูงที่สุด รองลงมา คือ เศษซากใบผักเหลียง และมีแวนิโน้มต่ำที่สุดในเศษซากใบไม้ (1.68, 0.57 และ 0.13% ตามลำดับ) และมีปริมาณลิกนินสูงที่สุดในเศษซากใบตะเคียน รองลงมา คือ เศษซากใบผักเหลียง และมีแวนิโน้มต่ำที่สุดในเศษซากใบไม้ (27.76, 15.03 และ 9.77% ตามลำดับ) และพบว่า ปริมาณเซลลูโลสมีแวนิโน้มสูงที่สุดในเศษซากใบไม้ รองลงมา คือ เศษซากใบตะเคียน และต่ำที่สุดในเศษซากใบผักเหลียง แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 3)

### ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเศษซากใบพีชรวมยางพารา

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเศษซากใบพีชรวมยางพาราทั้ง 3 ชนิด พบว่า ไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุดในเศษซากใบผักเหลียง รองลงมา คือ เศษซากใบตะเคียน และต่ำที่สุดในเศษซากใบไผ่ (28.11, 15.92 และ 9.65 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) คาร์บอนทั้งหมดสูงที่สุดในเศษซากใบผักเหลียง รองลงมา คือ เศษซากใบไผ่ และมีแวนิเนียมต่ำที่สุดในเศษซากใบตะเคียน (398.20, 331.14 และ 301.31 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) ฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุดในเศษซากใบผักเหลียง รองลงมา คือ เศษซากใบตะเคียน และมีแวนิเนียมต่ำที่สุดในเศษซากใบไผ่ (1.57, 0.58 และ 0.19 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) โพแทสเซียมทั้งหมดในพีชสูงที่สุดในเศษซากใบผักเหลียง รองลงมา คือ เศษซากใบตะเคียน และมีแวนิเนียมต่ำที่สุดในเศษซากใบไผ่ (18.44, 3.24 และ 1.16 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) แคลเซียมทั้งหมดในพีชสูงที่สุดเศษซากใบตะเคียน รองลงมา คือ เศษซากใบไผ่ และมีแวนิเนียมต่ำที่สุดในเศษซากใบผักเหลียง (14.37, 7.75 และ 6.62 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) แมกนีเซียมทั้งหมดในพีชสูงที่สุดในเศษซากใบตะเคียน รองลงมา คือ เศษซากใบไผ่ และมีแวนิเนียมต่ำที่สุดในเศษซากใบผักเหลียง (2.64, 1.71 และ 1.56 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (ตารางที่ 3) และเมื่อนำมาจัดชั้นคุณภาพของวัสดุอินทรีย์ (Palm *et al.*, 2001) พบว่า เศษซากใบผักเหลียงอยู่ระหว่างชั้นคุณภาพที่ 1 และ 2 (ไนโตรเจน = 2.81%; ลิกนิน = 15.03% และ โพลีฟีนอล = 0.566% ของน้ำหนักแห้งพีช) เศษซากใบตะเคียนเป็นชั้นคุณภาพที่ 4 (ไนโตรเจน = 1.59%; ลิกนิน = 27.76% และ โพลีฟีนอล = 1.68% ของน้ำหนักแห้งพีช) และเศษซากใบไผ่อยู่ในชั้นคุณภาพที่ 3 (ไนโตรเจน = 0.96%; ลิกนิน = 9.77% และ โพลีฟีนอล = 0.13% ของน้ำหนักแห้งพีช) (ตารางที่ 3)

**ตารางที่ 3** ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชและองค์ประกอบทางชีวเคมีของใบพีชรวมยางพารา

Plant residues	Total								
	N	C	P	K	Ca	Mg	Poly phenols	Lignin	Cellulose
	(g kg <sup>-1</sup> )						%		
Ba	9.65c	331.14b	0.19b	1.16b	7.75ab	1.71b	0.13b	9.77b	28.92
H	15.92b	301.31b	0.58b	3.24b	14.37a	2.64a	1.68a	27.76a	27.25
G	28.11a	398.20a	1.57a	18.44a	6.62b	1.56b	0.57b	15.03b	26.64
F-Test	**	**	**	**	**	**	**	**	ns
C.V. (%)	17.15	7.46	38.83	23.9	32.35	7.01	53.14	22.04	12.06

หมายเหตุ : Ba = ใบไผ่; H = ใบตะเคียน และ G = ใบผักเหลียง;

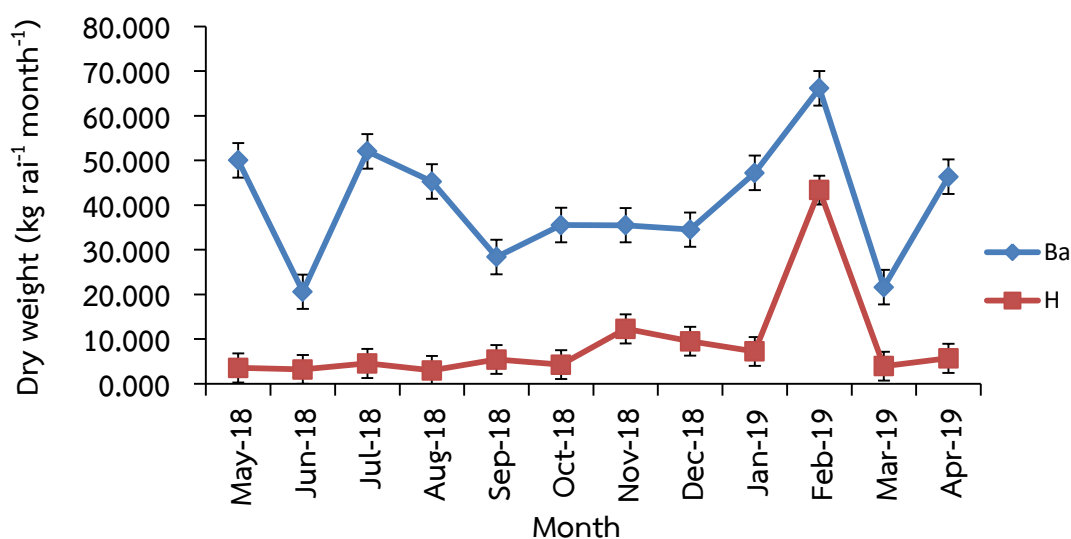
\*\* มีความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



### ปริมาณเศษซากใบพืชร่วมยางพาราและธาตุอาหารพืชที่คืนกลับสู่ดิน

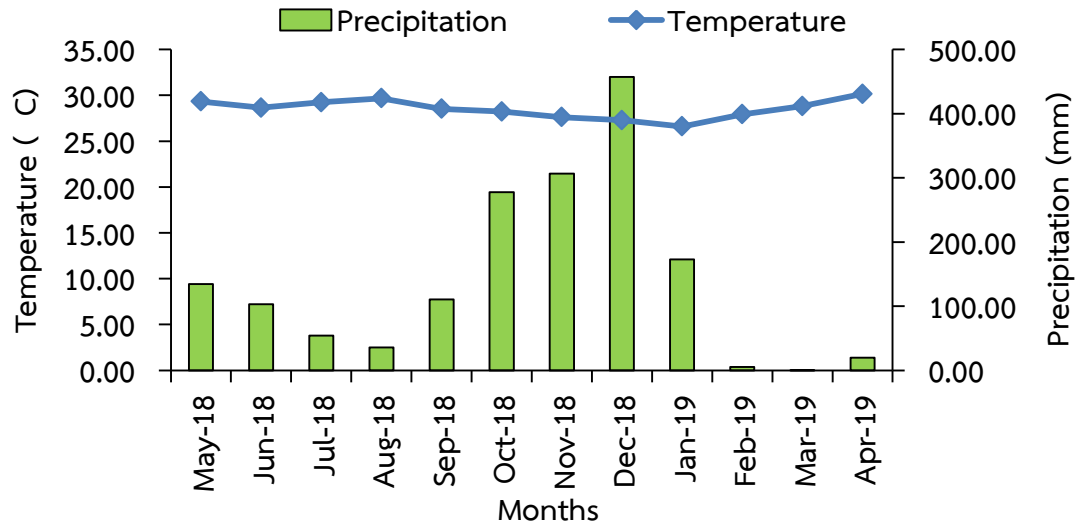
ปริมาณเศษซากพืชร่วมยางพาราแบบรายเดือนในแปลงไร่ร่วมยางพาราและตะเคียนร่วมยางพารา พบว่า เศษซากใบไม้มีแนวโน้มสูงกว่าเศษซากใบตะเคียน และเดือนมิถุนายน 2561 เศษซากใบไม้มีแนวโน้มลดลง และเพิ่มขึ้นในเดือนถัดมา เดือนสิงหาคม 2561 เศษซากใบไม้มีแนวโน้มลดลงในขณะที่ใบตะเคียนค่อนข้างคงที่ และตั้งแต่เดือนตุลาคม 2561 ถึงกุมภาพันธ์ 2562 พบว่า เศษซากใบทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน และสูงที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ 2562 (ไผ่ยังคงสูงกว่าตะเคียน; 66.18 และ 43.37 kg rai<sup>-1</sup> month<sup>-1</sup>) และลดลงอย่างเห็นได้ชัดในเดือนถัดไป และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนเมษายน 2562 (ภาพที่ 31) (สำหรับผักเหลียงไม่สามารถเก็บข้อมูลเป็นแบบรายเดือนได้ เนื่องจากผักเหลียงเป็นไม้ที่ไม่สูงจนมีทรงพุ่มและเกษตรกรจะตัดแต่งหลังเก็บผลผลิตปีละ 1 ครั้ง ไม่มีเศษซากที่ร่วงหล่นตามธรรมชาติ)



ภาพที่ 31 ปริมาณเศษซากใบพืชร่วมยางพาราแบบเป็นรายเดือนตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2561 ถึง เมษายน 2562; Ba = เศษซากใบไม้; H = เศษซากใบตะเคียน

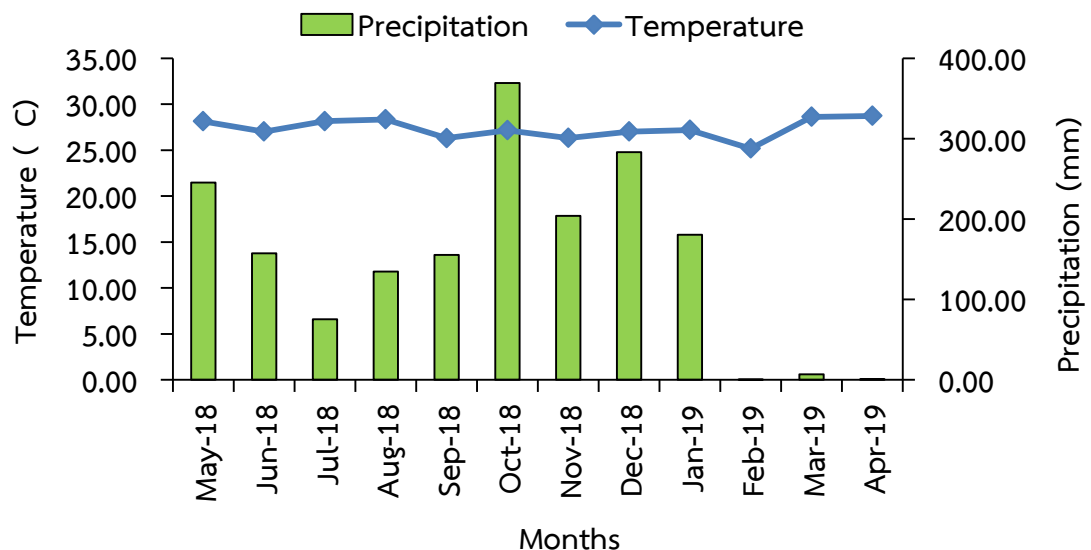
ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ยแบบในจังหวัดสงขลา พบว่า มีแนวโน้มปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีสูงกว่าจังหวัดพัทลุง (สงขลา = 1813.50 และพัทลุง = 1678.00 mm year<sup>-1</sup>) และมีอุณหภูมิเฉลี่ยใกล้เคียงกัน (สงขลา = 27.35 และพัทลุง = 28.51 องศาเซลเซียส) (ภาพที่ 32 และ 33) ปริมาณน้ำฝนในจังหวัดสงขลา มีแนวโน้มลดลงค่อนข้างต่ำในช่วงเดือนกรกฎาคม และจังหวัดพัทลุงในเดือนสิงหาคม 2561 (75.40 และ 35.90 mm) และเพิ่มขึ้นสูงที่สุดในเดือนตุลาคมและธันวาคม 2561 (369.40 และ 457.20 mm) และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2562 (180.40 และ 172.90 mm) อุณหภูมิเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนต่ำที่สุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และ

มกราคม 2562 (25.71 และ 26.61 องศาเซลเซียส) อย่างไรก็ตาม ทั้งปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ย มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน (ภาพที่ 32 และ 33)



ภาพที่ 32 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ย อ.เมือง จ.พัทลุง ระหว่างเดือน พ.ค.2561 ถึง เม.ย. 2562

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา (2562)



ภาพที่ 33 ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิเฉลี่ยของ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ระหว่างเดือน พ.ค.2561 ถึง เม.ย. 2562

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา (2562)

ปริมาณเศษซากใบพีชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด คือ ไม้ ตะเคียน และฝักเหียง พบว่าเศษซากใบไม้มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา คือ เศษซากใบฝักเหียง และต่ำที่สุดในเศษซากใบตะเคียน (483.26, 379.29 และ 105.92 kg rai<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) (ตารางที่ 4) และจากปริมาณธาตุอาหารพืชที่คืนกลับสู่ดินโดยคำนวณจากปริมาณเศษซากใบพีชร่วมยางพาราที่ล่องหล่นสู่ดินทั้ง 3 ชนิด พบว่าไนโตรเจนทั้งหมดที่คืนกลับสู่ดินสูงสุดในเศษซากใบฝักเหียง รองลงมา คือ เศษซากใบไม้ และต่ำที่สุดในเศษซากใบตะเคียน (10.56, 5.31 และ 1.74 kg rai<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) ฟอสฟอรัสทั้งหมดที่คืนกลับสู่ดินสูงสุดในเศษซากใบฝักเหียง รองลงมา คือ เศษซากใบไม้ และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในเศษซากใบตะเคียน (0.6, 0.14 และ 0.07 kg rai<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) โพแทสเซียมทั้งหมดที่คืนกลับสู่ดินมีแนวโน้มสูงสุดในเศษซากใบฝักเหียง รองลงมา คือ เศษซากใบไม้ และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในเศษซากใบตะเคียน (6.68, 0.61 และ 0.37 kg rai<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) แคลเซียมทั้งหมดที่คืนกลับสู่ดินมีแนวโน้มสูงสุดในเศษซากใบไม้ รองลงมา คือ เศษซากใบฝักเหียง และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในเศษซากใบตะเคียน (4.12, 2.42 และ 1.49 kg rai<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) แมกนีเซียมทั้งหมดที่คืนกลับสู่ดินมีแนวโน้มสูงสุดในเศษซากใบไม้ รองลงมา คือ เศษซากใบฝักเหียง และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในเศษซากใบตะเคียน (0.82, 0.58 และ 0.28 kg rai<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) คาร์บอนอินทรีย์ที่คืนกลับสู่ดินมีแนวโน้มสูงสุดในเศษซากใบไม้ รองลงมา คือ เศษซากใบฝักเหียง และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในเศษซากใบตะเคียน (167.37, 152.30 และ 31.72 kg rai<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 4** ปริมาณธาตุอาหารที่คืนกลับสู่ดินและน้ำหนักแห้งของใบพีชร่วมยางพารา

Treatment	Dry weight	N	P	K	Ca	Mg	OC
	(kg rai <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )	Total element fluxes (kg rai <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )					
Ba	483.26	5.31ab	0.14b	0.61	4.12	0.82	167.37
H	105.92	1.74b	0.07b	0.37	1.49	0.28	31.72
G	379.29	10.56a	0.6a	6.68	2.42	0.58	152.30
F-test	ns	*	*	*	ns	ns	ns
C.V. (%)	67.91	68.78	55.94	44.42	84.16	64.98	74.44

หมายเหตุ : Ba = ใบไม้; H = ใบตะเคียน และ G = ใบฝักเหียง; \* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

### 3. ผลของพืชร่วมยางพาราต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินปลูกยางพารา

อัตราส่วน ความเข้มข้นธาตุอาหาร องค์ประกอบทางชีวเคมี และอัตราส่วนธาตุอาหารต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีในเศษซากใบพืชร่วมยางพารา

ความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบพืชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด (เลือกเศษซากใบพืชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด จาก 1 แปลง เพื่อใช้ในการบ่มดิน) พบว่า เศษซากใบผักเหลียงมีไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด รองลงมา คือ เศษซากใบตะเคียน และต่ำที่สุดในเศษซากใบไม้ (30.05, 12.63 และ 6.38 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) คาร์บอนทั้งหมดสูงที่สุดในเศษซากใบผักเหลียง รองลงมา คือ เศษซากใบไม้ และเศษซากใบตะเคียน (373.19, 340.01 และ 313.08 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) ฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุดในเศษซากใบผักเหลียง รองลงมาคือ เศษซากใบตะเคียน และเศษซากใบไม้ (2.18, 0.48, 0.14 g kg<sup>-1</sup> หรือคิดเป็นร้อยละ 0.22, 0.05 และ 0.01 ของน้ำหนักแห้งพืช ตามลำดับ) โพแทสเซียมทั้งหมดสูงที่สุดในเศษซากใบผักเหลียง รองลงมา คือ เศษซากใบตะเคียน และต่ำที่สุดในเศษซากใบไม้ (19.85, 1.66 และ 0.67 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) แคลเซียมทั้งหมดสูงที่สุดในเศษซากใบตะเคียน รองลงมา คือ เศษซากใบผักเหลียง และต่ำที่สุดในเศษซากใบไม้ (16.43, 8.58 และ 6.65 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) แมกนีเซียมทั้งหมดสูงที่สุดในเศษซากใบตะเคียน รองลงมา คือ เศษซากใบผักเหลียง และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในเศษซากใบไม้ (2.66, 1.65 และ 1.56 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ความเข้มข้นของไนโตรเจน คาร์บอน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ทั้งหมดในใบพืชร่วมยางพารา

Plant residues	N	C	P	K	Ca	Mg
	(g kg <sup>-1</sup> )					
Ba	6.38c	340.01ab	0.14b	0.67c	6.65c	1.56b
H	12.63b	313.08b	0.48b	1.66b	16.43a	2.66a
G	30.05a	373.19a	2.18a	19.85a	8.58b	1.65b
F-Test	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	3.15	1.77	16.6	4.12	3.96	7.04

หมายเหตุ : Ba = ใบไม้; H = ใบตะเคียน และ G = ใบผักเหลียง; \*\* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99; ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างในแนวคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่าง เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงที่สุดในเศษซากใบไม้ รองลงมา คือ เศษซากใบตะเคียน และต่ำที่สุดในเศษซากใบผักเหลียง (53.47, 24.63 และ 12.29 ตามลำดับ) อัตราส่วนคาร์บอนต่อฟอสฟอรัสสูงที่สุดในเศษซากใบไม้ รองลงมา คือ เศษซากใบตะเคียน และต่ำที่สุดในเศษซากใบผักเหลียง (2,464.35, 677.27 และ 183.32) อัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสสูงที่สุดในเศษซากใบไม้ รองลงมา คือ เศษซากใบตะเคียน และต่ำที่สุดในเศษซากใบผักเหลียง (46.83, 26.44 และ 13.92 ตามลำดับ) ลิกนินทั้งหมดสูงที่สุดในเศษซากใบตะเคียน รองลงมา คือ เศษซากใบผักเหลียง และต่ำที่สุดในเศษซากใบไม้ (21.28, 14.44 และ 8.71 % ของน้ำหนักแห้งพืช) เซลลูโลสสูงที่สุดในเศษซากใบไม้ รองลงมา คือ เศษซากใบผักเหลียง และมีแวนิโนมต่ำที่สุดในเศษซากใบตะเคียน (28.56, 24.66 และ 23.32 % ของน้ำหนักแห้งพืช) โพลีฟีนอลทั้งหมด พบว่า เศษซากใบตะเคียนสูงที่สุด รองลงมา คือ เศษซากใบผักเหลียง และมีแวนิโนมต่ำที่สุดในเศษซากใบไม้ (1.03, 0.42 และ 0.13 % ของน้ำหนักแห้งพืช) และอัตราส่วนลิกนินต่อไนโตรเจน พบว่า เศษซากใบผักเหลียงมีอัตราส่วนที่แคบที่สุด รองลงมา คือ เศษซากใบไม้ และสูงที่สุดในเศษซากใบตะเคียน (4.78, 13.69 และ 16.85 ตามลำดับ) (ตารางที่ 6) และเมื่อนำมาจัดชั้นคุณภาพ (Palm *et al.*, 2001) พบว่า เศษซากใบผักเหลียงอยู่ในชั้นคุณภาพที่ 1 (ไนโตรเจน = 3.00%, ลิกนิน = 14.44% และโพลีฟีนอล = 0.42%) เศษซากใบตะเคียนอยู่ในชั้นคุณภาพที่ 4 (ไนโตรเจน = 1.26% และลิกนิน = 21.28%) เศษซากใบไม้จัดอยู่ในชั้นคุณภาพที่ 3 (ไนโตรเจน = 0.64% และลิกนิน = 8.71%) (ตารางที่ 5 และ 6)

**ตารางที่ 6** อัตราส่วนขององค์ประกอบทางเคมี อัตราส่วนขององค์ประกอบทางเคมีต่อองค์ประกอบทางชีวเคมีและร้อยละองค์ประกอบทางชีวเคมีทั้งหมดในใบพืชร่วมยางพารา

Plant residues	C : N ratio	C : P ratio	N : P ratio	Lignin	Cellulose	Total phenol	L : N ratio
				%			
Ba	53.47a	2464.35a	46.83a	8.71c	28.56a	0.13c	13.69b
H	24.63b	677.27b	26.44b	21.28a	23.32b	1.03a	16.85a
G	12.29c	183.32c	13.92c	14.44b	24.66b	0.42b	4.78c
F-Test	**	**	**	**	*	**	**
C.V. (%)	2.23	4.13	6.37	3.21	4.01	8.49	2.1

**หมายเหตุ :** Ba = ใบไม้; H = ใบตะเคียน และ G = ใบผักเหลียง; \* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ; \*\*มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99; ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างเมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT

## สมบัติของดินก่อนบ่มและอิทธิพลของเศษซากพืชต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน

สมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีบางประการของดินที่ใช้บ่ม พบว่า เนื้อดินจัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อหยาบ (อนุภาคขนาดทราย เท่ากับ  $650 \text{ g kg}^{-1}$ ; อนุภาคขนาดทรายแป้ง เท่ากับ  $240 \text{ g kg}^{-1}$  และอนุภาคขนาดดินเหนียว เท่ากับ  $110 \text{ g kg}^{-1}$ ) พีเอชของดิน เท่ากับ 5.4 เป็นกรดปานกลาง (Tussanee *et al.*, 2016) คาร์บอนอินทรีย์ เท่ากับ 6.61 กรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับปานกลาง (นุชนารถ, 2554) ไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.56 กรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับต่ำ (นุชนารถ, 2554) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 11.80 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ เท่ากับ 6.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับต่ำ (นุชนารถ, 2554) และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เท่ากับ 0.09 เซนติโมลประจุบวกต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับต่ำ (นุชนารถ, 2554) (ตารางที่ 7)

พีเอชของดินในช่วง 0-14 วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกทริตเมนต์ ช่วง 21-45 วัน มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และจะเริ่มลดลงที่ 60-120 วัน และที่ 0 วัน พบว่า ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้มีพีเอชสูงสุด (5.34) รองลงมา คือ ทริตเมนต์ควบคุมและทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหียง (5.14 และ 4.97) และต่ำที่สุด คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน (4.82) และที่ 120 วัน พบว่า ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนทำให้พีเอชสูงสุด (5.40) รองลงมา คือ ทริตเมนต์ควบคุมและทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหียง (5.09 และ 5.10) และต่ำที่สุด คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ (4.84) (ตารางที่ 8)

### ตารางที่ 7 สมบัติของดินก่อนบ่ม

Soil properties	Values
Sand (%)	65
Silt (%)	24
Clay (%)	11
Texture class	sandy loam
pH	5.4
Organic C ( $\text{g kg}^{-1}$ )	6.61
Total N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	0.56
C:N ratio	11.80
Avail. P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	6.27
Exch. K ( $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ )	0.09

**ตารางที่ 8** การเปลี่ยนแปลงพีเอชของดินหลังบ่มแต่ละช่วงเวลา

Treatment	0	7	14	21	28	45	60	90	120
	Time (day)								
CT	5.14b	5.58b	5.53±0.09	5.78ab	5.76b	5.89b	5.89b	5.80a	5.09b
MBa	5.34a	5.52b	5.68±0.02	5.43b	5.36c	5.61b	5.20d	5.18b	4.84c
MH	4.82c	5.44c	5.70±0.02	5.45b	5.63b	5.72b	5.61c	5.86a	5.40a
MG	4.97c	5.72a	5.71±0.09	5.86a	6.01a	6.33a	6.34a	5.68a	5.10b
F-test	**	**	ns	**	**	**	**	**	**
C.V. (%)	4.85	0.57	2.01	2.25	1.11	1.86	1.73	1.59	1.96

หมายเหตุ : \*\* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

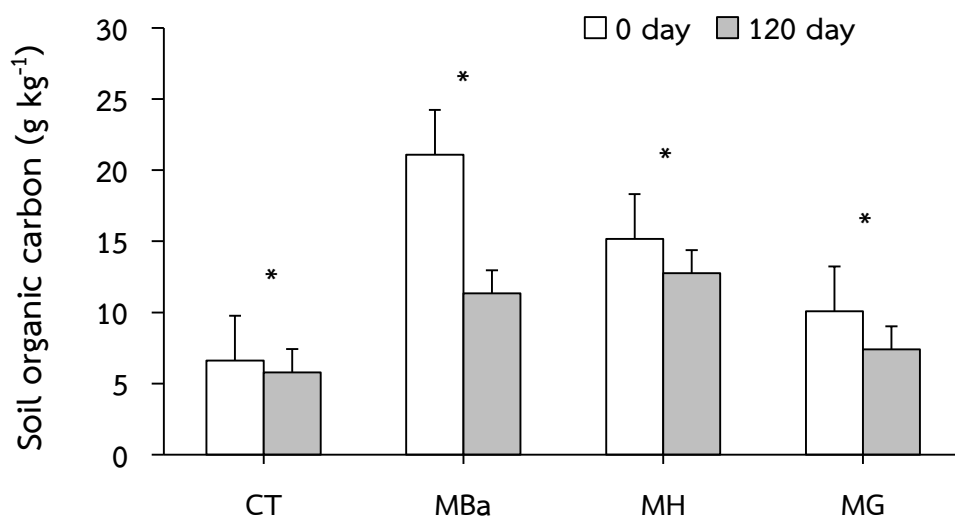
ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตัวอักษรที่แตกต่างในแนวคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างเมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT

CT = ทริตเมนต์ควบคุม; MBa = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้;

MH = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และ MG = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง

ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบพืชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด ที่ 0 วัน พบว่า ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้มีคาร์บอนอินทรีย์ในดินสูงที่สุด รองลงมา คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง และต่ำที่สุดในทริตเมนต์ควบคุม (21.09, 15.16, 10.07 และ 6.62 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) และเมื่อสิ้นสุดวันบ่มที่ 120 วัน พบว่า ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนมีคาร์บอนอินทรีย์คงเหลือในดินสูงที่สุด รองลงมา คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้และทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง และต่ำที่สุดในทริตเมนต์ควบคุม (12.75, 11.34, 7.40 และ 5.79 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) หรือคิดเป็นร้อยละ 84.10, 53.77, 73.49 และ 87.46 ของคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดิน (ภาพที่ 34)



ภาพที่ 34 ปริมาณของคาร์บอนอินทรีย์ก่อนบ่ม (0 วัน) และหลังบ่ม (120 วัน)

หมายเหตุ : \* มีความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ; CT = ทรัสต์เมนต์ควบคุม;

MBa = ทรัสต์เมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้; MH = ทรัสต์เมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษ

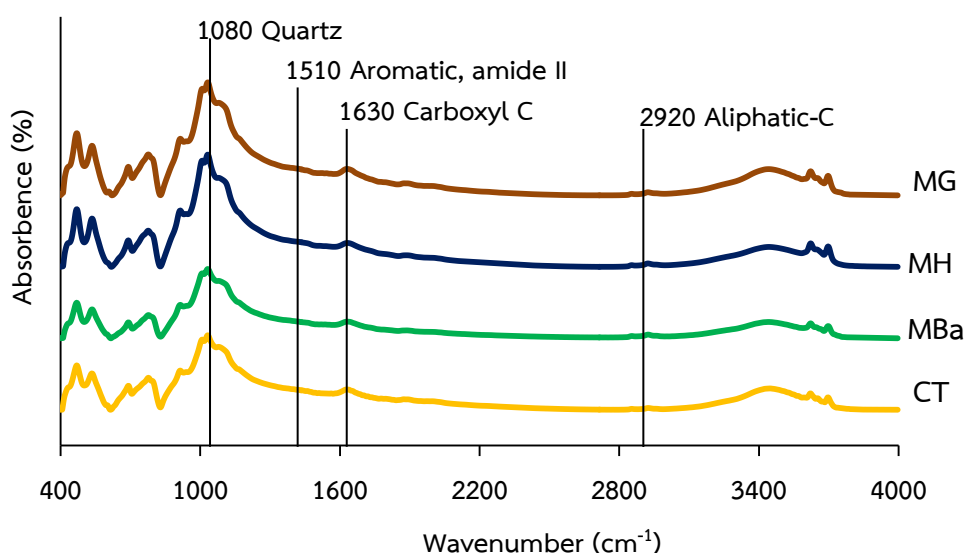
ซากใบตะเคียน และ MG = ทรัสต์เมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง

#### อิทธิพลของเศษซากใบพืชร่วมอย่างพาราต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

องค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินบ่มโดยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม ที่ 0 วัน และ 120 วัน พบหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ที่เหมือนกัน คือ  $2920\text{ cm}^{-1}$ ,  $1630\text{ cm}^{-1}$  และ  $1510\text{ cm}^{-1}$  (ภาพที่ 35 และ 36) และเมื่อนำมาหาร้อยละการดูดกลืนแสงของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน พบว่า ที่ 120 วัน หมู่อะลิฟาติก ( $2920$ ) มีแนวโน้มลดลง เมื่อเทียบกับ 0 วัน และพบว่า ที่ 0 วัน ทรัสต์เมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้มีอะลิฟาติกสูงที่สุด รองลงมาคือ ทรัสต์เมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และทรัสต์เมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง และทรัสต์เมนต์ควบคุม (3.30, 2.67, 2.17 และ 1.93 % ของผลรวมของพีคที่เกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ทั้งหมด ตามลำดับ) (ภาพที่ 37) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ทรัสต์เมนต์ควบคุมมีอะลิฟาติกสูงที่สุด รองลงมาคือ ทรัสต์เมนต์บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนและทรัสต์เมนต์บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในทรัสต์เมนต์บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ (2.25, 2.10, 1.89 และ 1.58 % ของผลรวมของพีคที่เกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ทั้งหมด ตามลำดับ) แต่ที่ 0 วัน และ 120 วัน ไม่แตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 37) โดยหมู่คาร์บอกซิลคาร์บอน ( $1630$ ) ที่ 0 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ที่ 120 วัน ทรัสต์เมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนมีร้อยละการดูดกลืนแสงสูงที่สุด รองลงมาคือ ทรัสต์เมนต์บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง ทรัสต์เมนต์ควบคุม และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในทรัสต์เมนต์บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ (18.17, 17.34, 16.45 และ 16.06 % ของผลรวมของพีคที่เกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ทั้งหมด ตามลำดับ) และที่



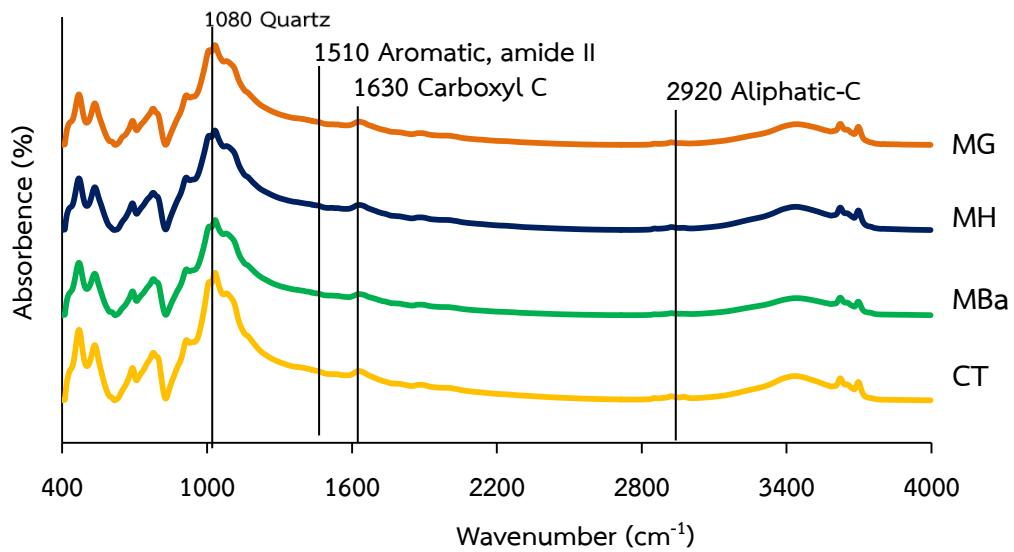
0 วัน และ 120 วัน ไม่แตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 38) หมู่อะโรมาติกและเอไมด์ (1510) ที่ 0 วัน และ 120 วัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ทั้งทรีตเมนต์และวันบ่ม (ภาพที่ 39) และสำหรับอัตราส่วนคาร์บอกซิลต่ออะลิฟาติก ( $1630/2920 \text{ cm}^{-1}$ ) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่มีการเปลี่ยนแปลงของดินก่อนและหลังบ่ม โดยอัตราส่วน  $1630/2920 \text{ cm}^{-1}$  ในดินบ่มที่ 0 วัน พบว่า ทรีตเมนต์ควบคุมมีอัตราส่วนสูงที่สุด (9.63) รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหียง (8.44) และทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน (6.88) และต่ำที่สุดในทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่ (6.33) และเมื่อครบจำนวนวันบ่ม 120 วัน พบว่า ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่สูงที่สุด (10.04) รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหียง (9.26) และทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน (8.68) และต่ำที่สุดในทรีตเมนต์ควบคุม (7.31) (ภาพที่ 40)



ภาพที่ 35 หมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ที่พบในดินบ่มหลังบ่มที่ 0 วัน

หมายเหตุ : 2920 = อะลิฟาติก; 1630 = คาร์บอกซิล; 1510 = อะโรมาติกและเอไมด์;

1080 = ควอตซ์; CT = ทรีตเมนต์ควบคุม; MBa = ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่; MH = ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และ MG = ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหียง

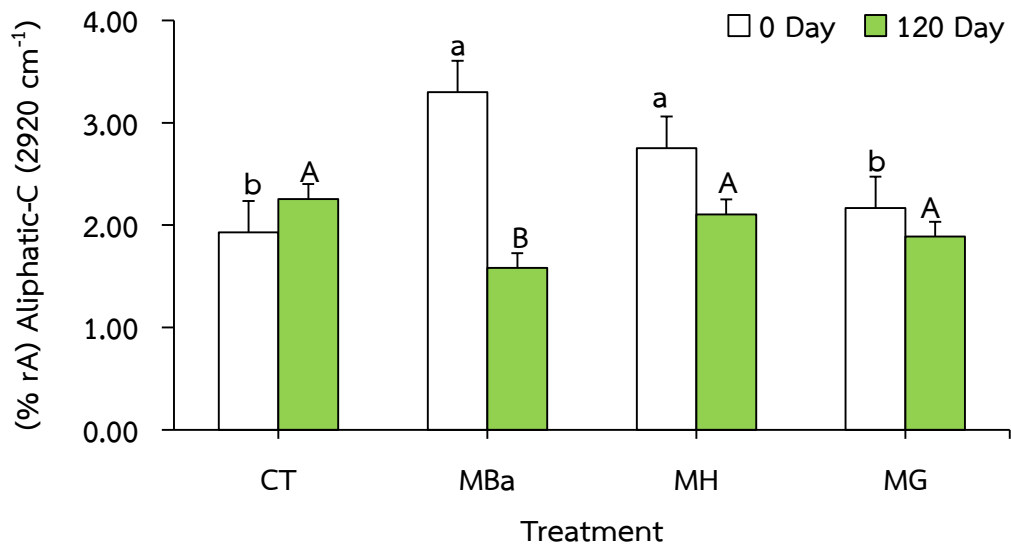


ภาพที่ 36 หมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ที่พบในดินบ่มหลังบ่มที่ 120 วัน

หมายเหตุ : 2920 = อะลิฟาติก; 1630 = คาร์บอกซิล; 1510 = อะโรมาติกและเอไมด์;

1080 = ควอตซ์; CT = ทรีตเมนต์ควบคุม; MBa = ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซาก

ใบไผ่; MH = ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และ MG = ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง

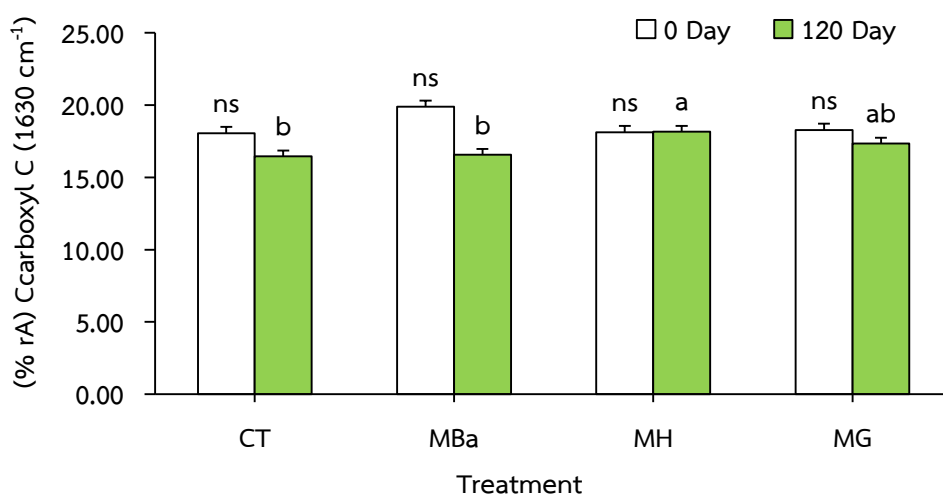


ภาพที่ 37 Relative absorbance ของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของอินทรีย์สาร อะลิฟาติก ( $2920\text{ cm}^{-1}$ );

บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่ (MBa); บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน (MH);

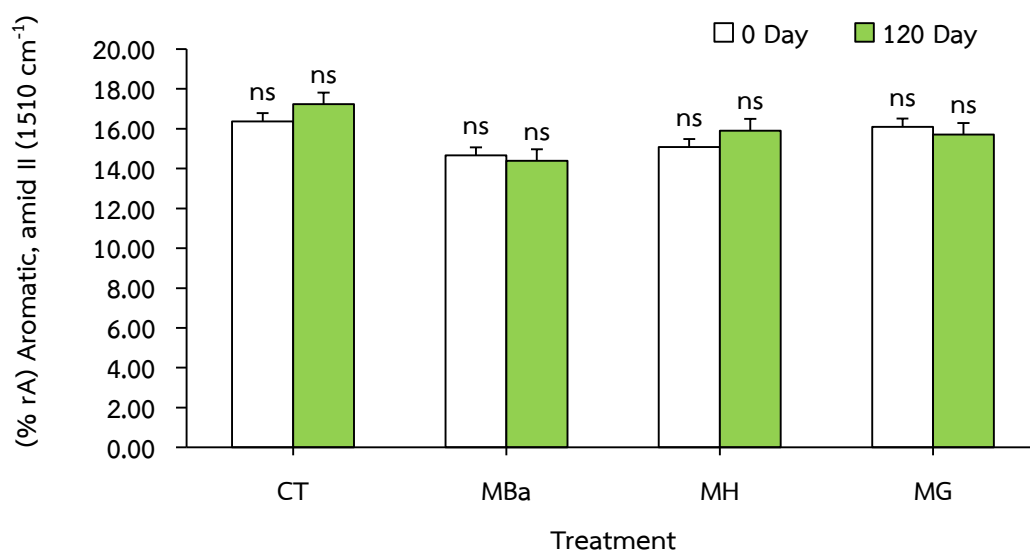
บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง (MG); ทรีตเมนต์ควบคุม (CT)

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษเล็กและพิมพ์ใหญ่ แสดงถึงความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์แต่ละวันบ่มด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95



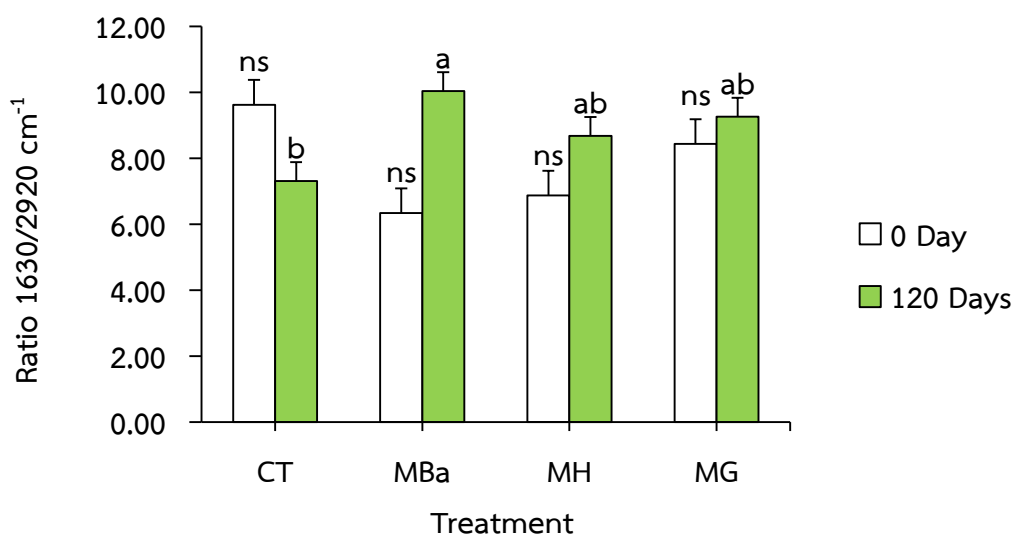
ภาพที่ 38 Relative absorbance ของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของอินทรีย์สาร คาร์บอกซิล ( $1630\text{ cm}^{-1}$ ); บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ (MBa); บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน (MH); บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง (MG); ทรีทเมนต์ควบคุม (CT)

หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างในแนวคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 39 Relative absorbance ของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของอินทรีย์สาร อะโรมาติก เอไมด์ ( $1510\text{ cm}^{-1}$ ); บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ (MBa); บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน (MH); บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง (MG); ทรีทเมนต์ควบคุม (CT)

หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างในแนวคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

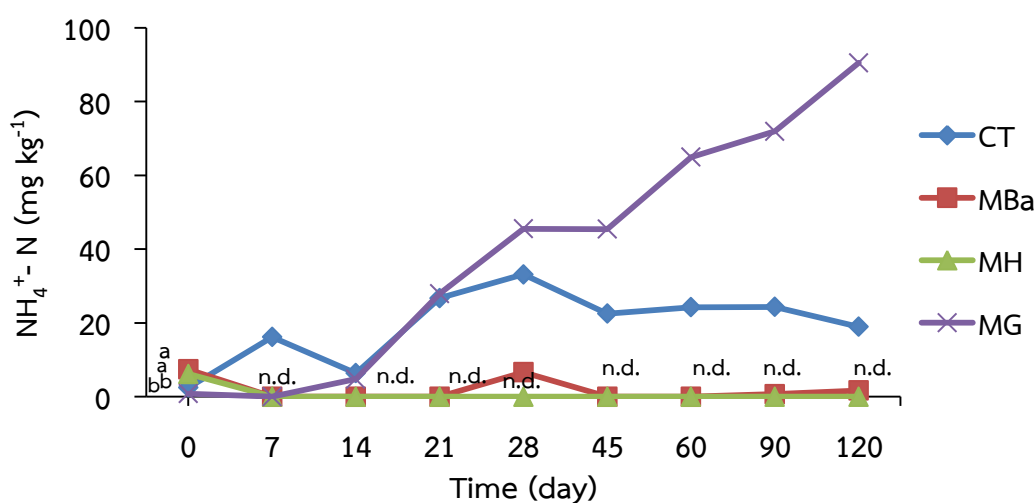


ภาพที่ 40 อัตราส่วน Relative absorbance ของหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิล (1630)/อะลิฟาติก (2920); บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ (MBa); บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน(MH); บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง (MG); ทรีทเมนต์ควบคุม (CT)  
 หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ; ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างในแนวคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### อิทธิพลของเศษซากใบพีชร่วมยางพาราต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน

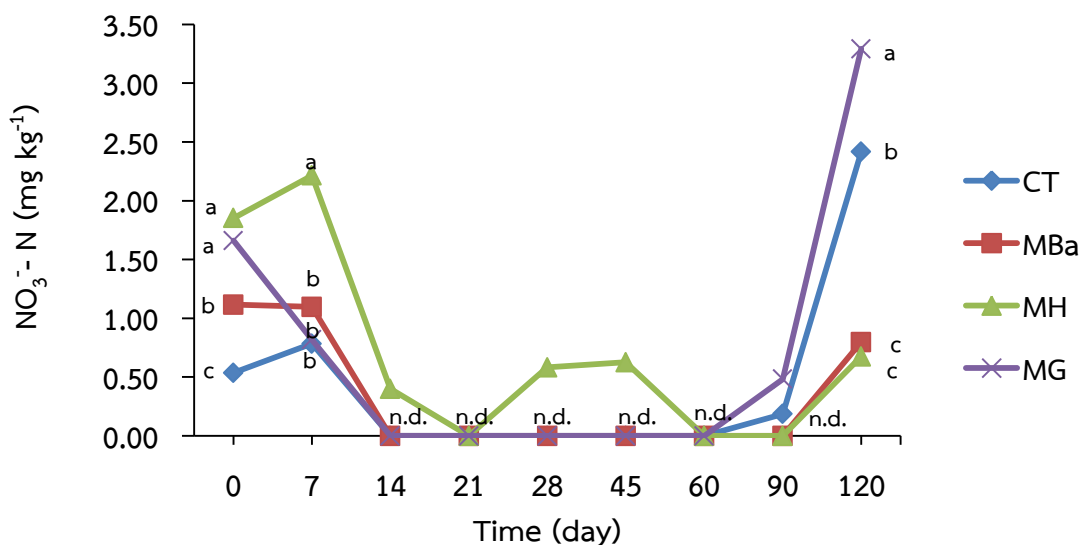
ความเข้มข้นของไนโตรเจนที่สกัดได้ในรูปแอมโมเนียมที่ 0 วัน พบว่า มีแอมโมเนียมสูงที่สุดในทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ ( $7.40 \text{ mg kg}^{-1}$ ) รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนและทรีทเมนต์ควบคุม ( $6.14$  และ  $2.49 \text{ mg kg}^{-1}$ ) และต่ำที่สุดในทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับใบผักเหลียง ( $0.82 \text{ mg kg}^{-1}$ ) และการบ่มดินร่วมกับเศษซากใบพีชร่วมยางพาราที่ 7 วัน พบว่า ดินที่บ่มร่วมกับเศษซากทั้ง 3 ชนิด มีแอมโมเนียมลดลงจนไม่สามารถวัดค่าได้ (n.d.) แต่ในทรีทเมนต์ควบคุมมีปริมาณแอมโมเนียมเพิ่มขึ้น ( $16.18 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ที่ 14 วัน ทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีแอมโมเนียมเพิ่มขึ้น ( $4.77 \text{ mg kg}^{-1}$ ) และในส่วนของทรีทเมนต์อื่น ๆ ยังคงหาค่าไม่ได้ (ยกเว้นทรีทเมนต์ควบคุม) หลังจากวันที่ 14 วัน ทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีแอมโมเนียมสูงขึ้นตามระยะเวลาวันบ่ม แต่ในทรีทเมนต์ควบคุมเริ่มมีการปลดปล่อยแอมโมเนียมลดลง และในทรีทเมนต์อื่น ๆ ยังคงหาค่าไม่ได้ และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ทรีทเมนต์ที่มีการปลดปล่อยแอมโมเนียมสูงที่สุด คือ ทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง ( $90.53 \text{ mg kg}^{-1}$ ) รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ควบคุมและทรีทเมนต์ที่บ่มร่วมกับเศษซากใบไม้ ( $18.94$  และ  $1.71 \text{ mg kg}^{-1}$ ) และในส่วนของทรีทเมนต์บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนยังคงหาค่าไม่ได้ (ภาพที่ 41)

ไนโตรเจนที่สกัดได้ในรูปไนเตรตที่ 0 วัน พบว่า ทริตเมนต์ที่มีการปลดปล่อยไนเตรตสูงที่สุดคือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน ( $1.85 \text{ mg kg}^{-1}$ ) รองลงมา คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่ และทริตเมนต์ควบคุม (1.66, 1.12 และ  $0.54 \text{ mg kg}^{-1}$  ตามลำดับ) ที่ 7 วัน มีการปลดปล่อยไนเตรตเพิ่มขึ้นในทุกทริตเมนต์เมื่อเทียบกับที่ 0 วัน ยกเว้นทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง ซึ่งลดลงอย่างเห็นได้ชัดและพบว่า ทุกทริตเมนต์ที่บ่มร่วมกับเศษซากใบพีชรวมยางพารา ในช่วง 14-60 วัน จะมีการปลดปล่อยลดลงจนหาค่าไม่ได้ ยกเว้นในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนที่เพิ่มขึ้นในช่วง 28-45 วัน ( $0.58$  และ  $0.63 \text{ mg kg}^{-1}$ ) และจะลดลงอีกครั้งจนหาค่าไม่ได้ แต่ที่วันบ่ม 90 และ 120 วัน ทุกทริตเมนต์มีการปลดปล่อยไนเตรตออกมา โดยสูงที่สุดที่ 120 วัน ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง ( $3.29 \text{ mg kg}^{-1}$ ) รองลงมา คือ ทริตเมนต์ควบคุมและทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่ ( $2.42$  และ  $0.80 \text{ mg kg}^{-1}$ ) และต่ำที่สุดในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับตะเคียน ( $0.67 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (ภาพที่ 42)



ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม หลังบ่มร่วมกับเศษซากใบไผ่ ใบตะเคียน และใบผักเหลียง ทริตเมนต์ควบคุม (CT); ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่ (MBa); ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน (MH); ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง (MG)

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างในแนวคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างระหว่างทริตเมนต์เมื่อทดสอบด้วยวิธีDMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99; n.d. = ไม่สามารถวัดค่าได้



ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในรูปไนเตรต หลังบ่มร่วมกับเศษซากใบไม้ ใบตะเคียน และ ใบผักเหลียง ทรีทเมนต์ควบคุม (CT); ทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ (MBa); ทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน(MH); ทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง (MG)

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างในแนวคอลัมน์แสดงถึงความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ เมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99; n.d. = ไม่สามารถวัดค่าได้

การปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) ในทรีทเมนต์ควบคุมและทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาบ่ม การบ่มดินที่ 0 วัน ทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้มีการปลดปล่อยไนโตรเจนสูงที่สุด ( $8.51 \text{ mg kg}^{-1}$ ) รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนและทรีทเมนต์ควบคุม ( $7.96$  และ  $3.03 \text{ mg kg}^{-1}$ ) และต่ำที่สุดในทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง ( $2.48 \text{ mg kg}^{-1}$ ) การบ่มดินที่ 120 วัน พบว่าทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด ( $93.82 \text{ mg kg}^{-1}$ ) รองลงมา คือ ทรีทเมนต์ควบคุม ทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ ( $21.85$  และ  $2.48 \text{ mg kg}^{-1}$ ) และต่ำที่สุดในทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน ( $0.67 \text{ mg kg}^{-1}$ ) และทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้และทรีทเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนที่ 120 วัน มีการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ลดลงเมื่อเทียบกับที่ 0 วัน (ตารางที่ 8)

**ตารางที่ 9** การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ที่ช่วงเวลาต่างกัน

Treatments	Days after plant-residue addition									
	0	7	14	21	28	45	60	90	120	
	(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (mg kg <sup>-1</sup> )									
CT	3.03b	16.97a	6.40±0.6	26.73±2.9	33.14b	22.53±1.7	22.99±3.8	24.85±1.0	21.36b	
MBa	8.51a	1.06bc	n.d.	n.d.	6.64c	n.d.	n.d.	0.70±0.2	2.48c	
MH	7.96a	2.16b	0.4±0.0	n.d.	0.58c	0.63±0.2	n.d.	n.d.	0.67c	
MG	2.48b	0.82c	4.77±0.8	27.92±2.5	45.51a	45.45±0.4	64.96±1.7	73.07±1.8	93.82a	
F-test	**	**			**				**	
C.V. (%)	14.88	4.68			9.03				10.95	

หมายเหตุ : CT = ทริตเมนต์ควบคุม; MBa = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้;

MH = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และ MG = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง

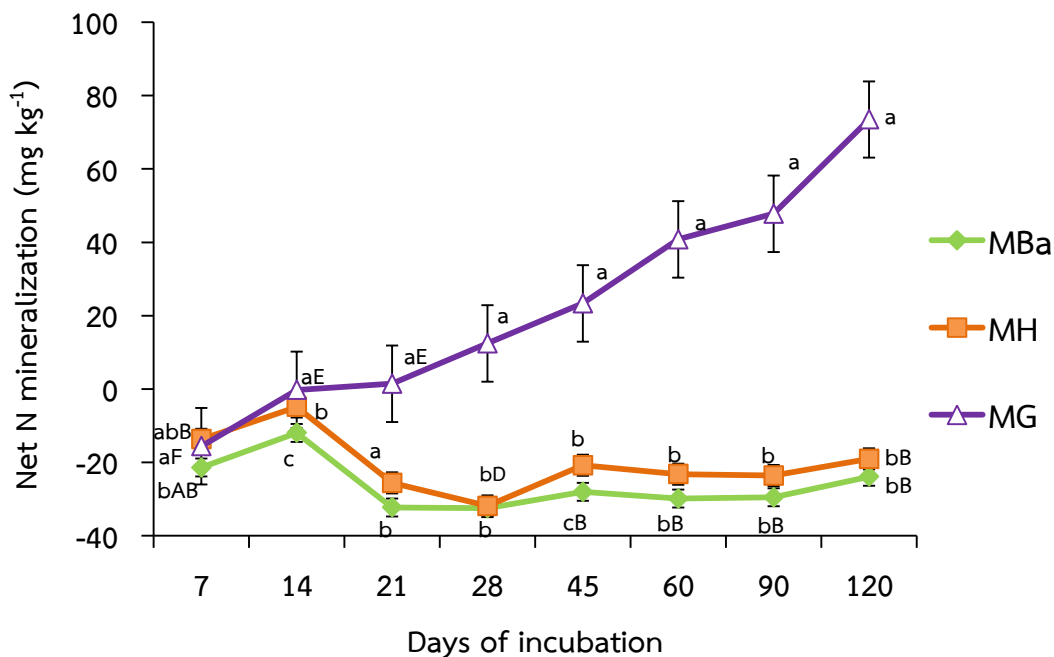
\*\* มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

n.d. ไม่สามารถหาค่าได้

± แสดงค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัด (SE.)

#### อิทธิพลของเศษซากใบพืชร่วมยางพาราต่อมิเนอรัลไลเซชัน-อิมโมบิไลเซชันของไนโตรเจนในดิน

การปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิที่ 7 วัน พบว่า ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากทั้ง 3 ชนิด คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง เกิดเป็นอิมโมบิไลเซชันสุทธิทั้งหมด (-21.42 -13.67 และ -15.63 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) และที่ 14 วัน ทุกทริตเมนต์มีแนวโน้มเกิดอิมโมบิไลเซชันสุทธิลดลง และเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนที่ 21 วัน โดยพบว่า ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนเป็นมิเนอรัลไลเซชันสุทธิ (1.46 mg kg<sup>-1</sup>) ในขณะที่ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนและทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้มีแนวโน้มลดลง และยังคงเกิดอิมโมบิไลเซชันสุทธิเพิ่มขึ้น (-25.62 และ -32.27 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงเกิดอิมโมบิไลเซชันสุทธิสูงสุด (73.47 mg kg<sup>-1</sup>) และทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้เกิดอิมโมบิไลเซชันสุทธิสูงสุดและรองลงมา คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน (-23.88 และ -19.07 mg kg<sup>-1</sup>) (ภาพที่ 43)



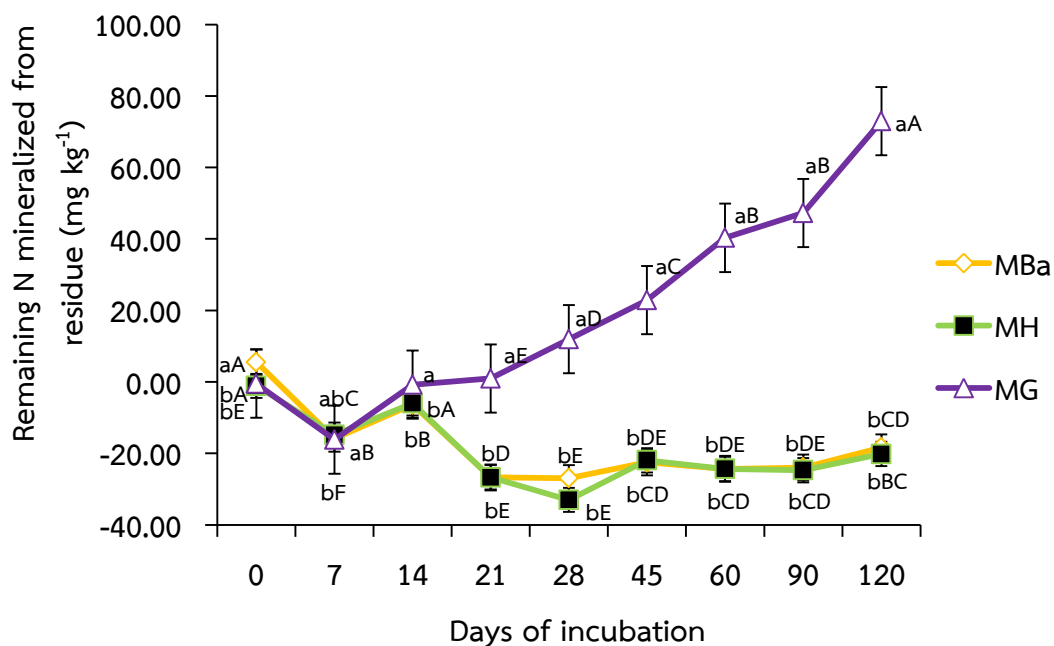
ภาพที่ 43 การปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิจากการบ่มดิน ในช่วงเวลา 0-120 วัน; MBa = การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้; MH = การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และ MG = การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่แสดงถึงความแตกต่างระหว่างวันบ่มด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99

การปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากใบพีชรวมยางพารา ที่ 0 วัน พบว่า ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้มีการปลดปล่อยไนโตรเจนออกจากเศษซากสูงที่สุด ( $5.53 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (ภาพที่ 44) คิดเป็นร้อยละ 2.77 ของไนโตรเจนทั้งหมดจากเศษซาก (ภาพที่ 45) แต่ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนและทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง พบว่า มีการใช้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากในดิน ( $-1.12$  และ  $-0.51 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (ภาพที่ 44) คิดเป็นร้อยละ 0.56 และ 0.25 ของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน (ภาพที่ 45) หรือเกิดอิมโมบิไลเซชันเมื่อเทียบกับทรีตเมนต์ควบคุมและวันบ่มที่ 7 วัน พบว่า ทุกทรีตเมนต์ คือ ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง มีการใช้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากในดิน ( $-15.89$ ,  $-14.79$  และ  $-16.14 \text{ mg kg}^{-1}$  ตามลำดับ) (ภาพที่ 44) คิดเป็นร้อยละ 7.94, 7.40 และ 8.07 ของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน (ภาพที่ 45) วันบ่มที่ 21 วัน จะเริ่มเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง โดยมีเพียงทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงเท่านั้นที่มีการปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซาก ( $0.95 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (ภาพที่ 44) คิดเป็นร้อยละ 0.48 ของไนโตรเจนทั้งหมดจากเศษซาก (ภาพที่ 45) และที่ 120 วัน พบว่า ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีการปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากสูงที่สุด ( $72.97 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (ภาพที่ 44) คิดเป็น

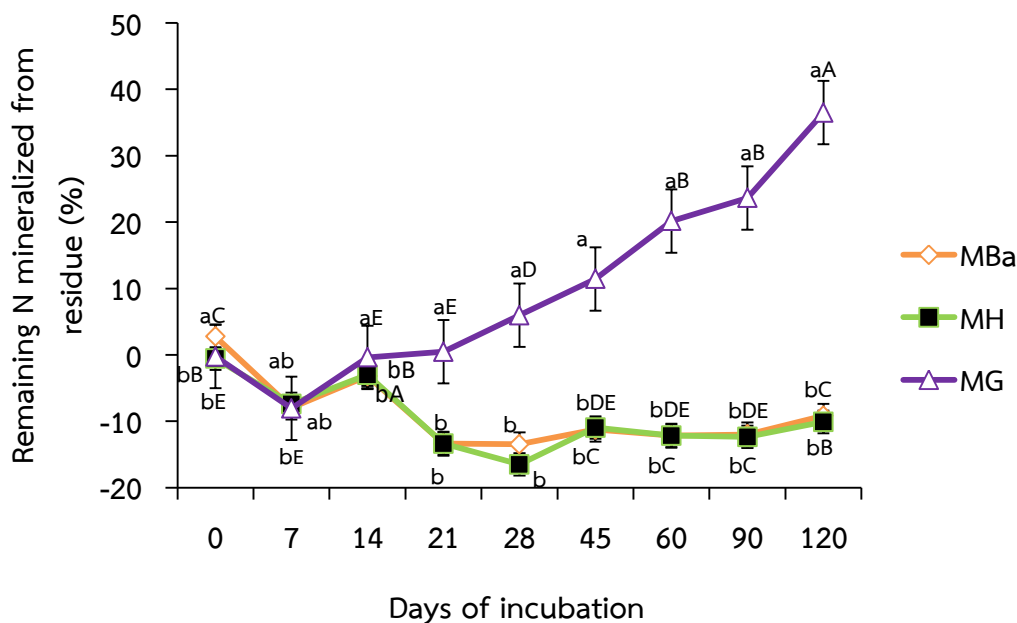


ร้อยละ 36.48 ของไนโตรเจนทั้งหมดจากเศษซาก (ภาพที่ 45) และทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้และทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน พบว่า มีการใช้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากในดิน (-18.35 และ -20.19 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (ภาพที่ 44) คิดเป็นร้อยละ 9.17 และ 10.10 ของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน (ภาพที่ 45)



ภาพที่ 44 การปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากในช่วงเวลา 0-120 วัน; MBa = การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้; MH = การบ่มดินร่วมกับกับเศษซากใบตะเคียน และ MG = การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่แสดงถึงความแตกต่างระหว่างวันบ่มด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99

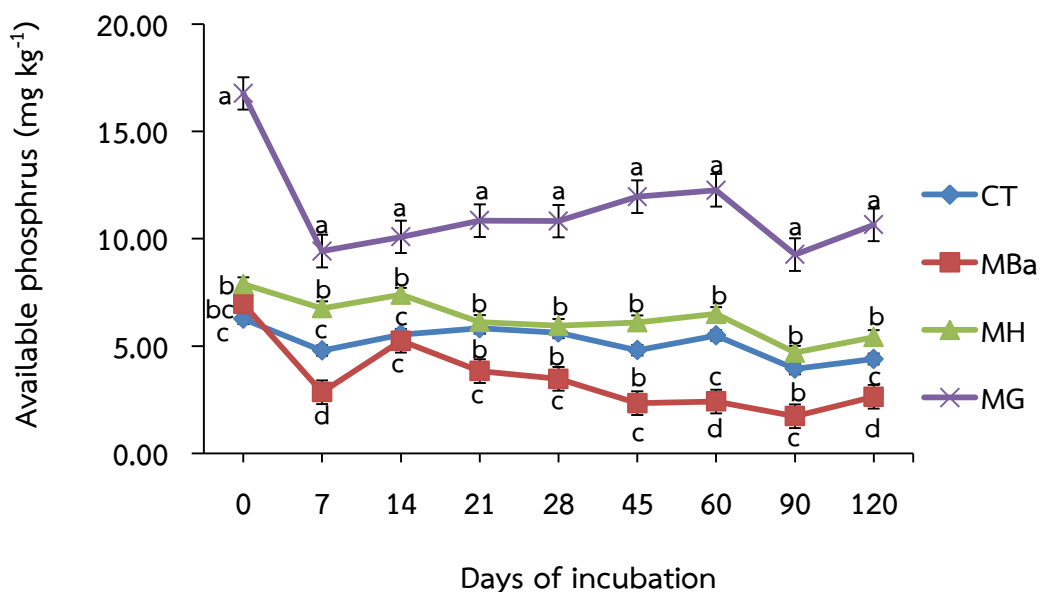


ภาพที่ 45 ร้อยละการปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากในช่วงเวลา 0-120 วัน; MBa = การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้; MH = การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และ MG = การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่แสดงถึงความแตกต่างระหว่างวันบ่มด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99

#### อิทธิพลของเศษซากใบพีชร่วมยางพาราต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน

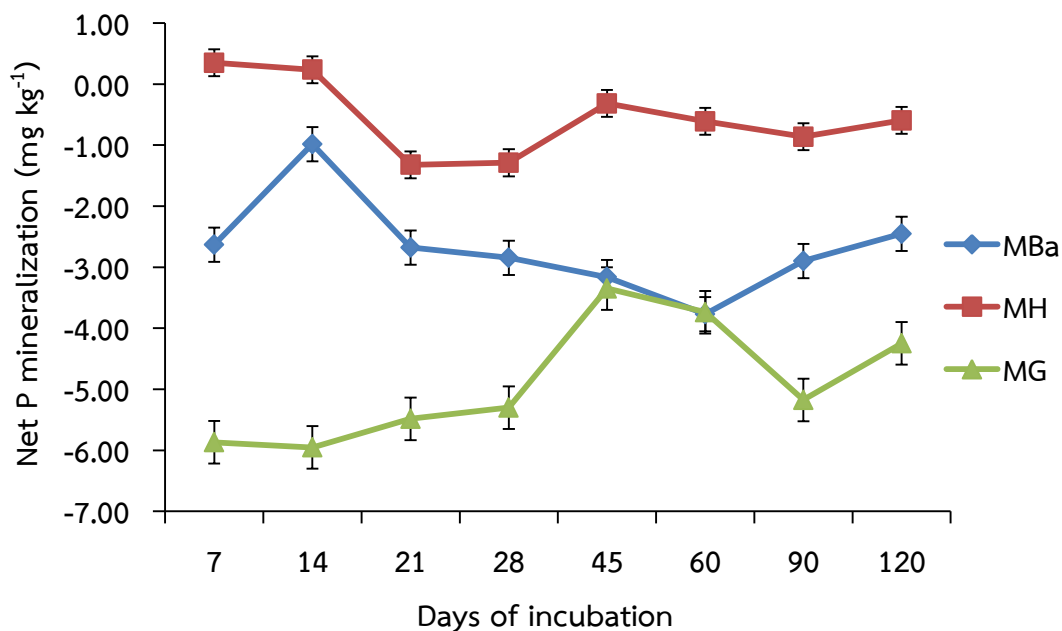
การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบพีชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิดที่ 0 วัน พบว่า ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ และต่ำที่สุดในทรีตเมนต์ควบคุม (16.77, 7.88, 6.96 และ 6.27 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) การบ่มดินที่ 7 และ 90 วัน พบว่า ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีแนวโน้มลดลงทุกทรีตเมนต์ และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ทรีตเมนต์ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงสุด คือ ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง รองลงมา คือ ทรีตเมนต์บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนและทรีตเมนต์ควบคุม และต่ำที่สุดในทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ (10.65, 5.41, 4.40 และ 2.63 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (ภาพที่ 46)



ภาพที่ 46 ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่บ่มด้วยเศษซากพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน ที่วันบ่ม 0-120 วัน; CT = ทริตเมนต์ควบคุม (ไม่ใส่เศษซากใบพืชร่วมยางพารา); MBa = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้; MH = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และ MG = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง  
หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่าง แสดงถึงความแตกต่างด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

#### อิทธิพลของเศษซากใบพืชร่วมยางพาราต่อมิเนอรัลไลเซชัน-อิมโมบิไลเซชันของฟอสฟอรัส

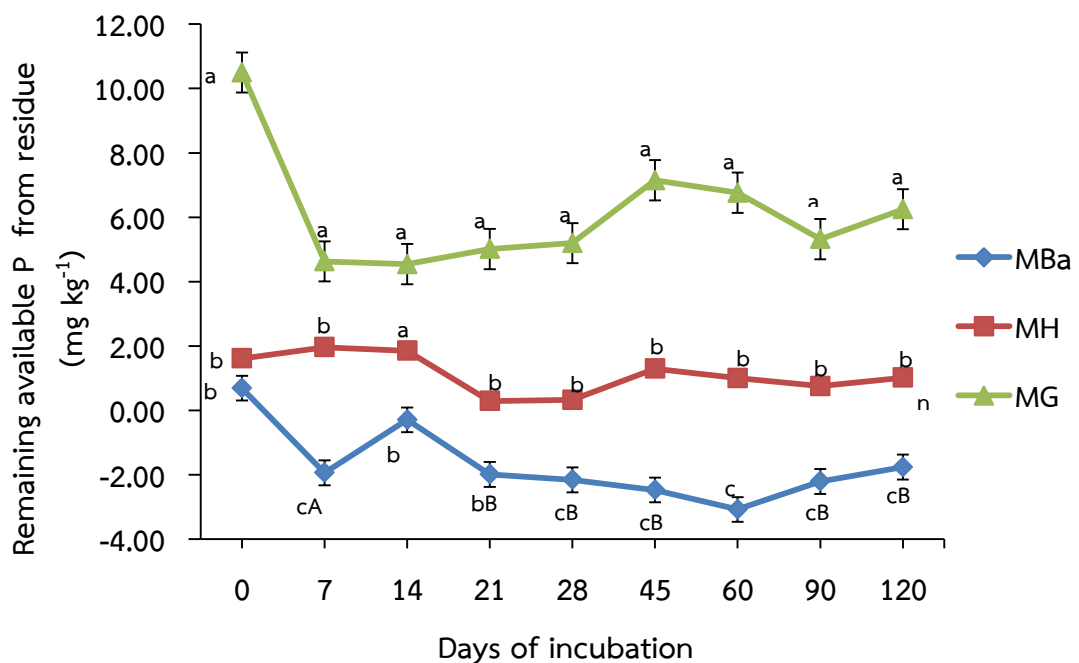
การบ่มดินร่วมกับเศษซากพืชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด ที่ 7 วัน พบว่า เกิดกระบวนการอิมโมบิไลเซชันของฟอสฟอรัส และทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงเกิดอิมโมบิไลเซชัน-สุทธิของฟอสฟอรัสสูงสุด รองลงมา คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ และทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนเกิดมิเนอรัลไลเซชันสุทธิ (-5.87, -2.63 และ 0.35 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) แต่ที่ 21-120 วัน กลับพบว่า ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นอิมโมบิไลเซชัน (-1.32 ถึง -0.60 mg kg<sup>-1</sup>) และที่ 120 วัน พบว่า ทุกทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบพืชร่วมยางพาราเกิดอิมโมบิไลเซชันสุทธิ โดยสูงที่สุดในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง รองลงมา คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ และต่ำที่สุดในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน (-4.25, -2.45 และ -0.60 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (ภาพที่ 47)



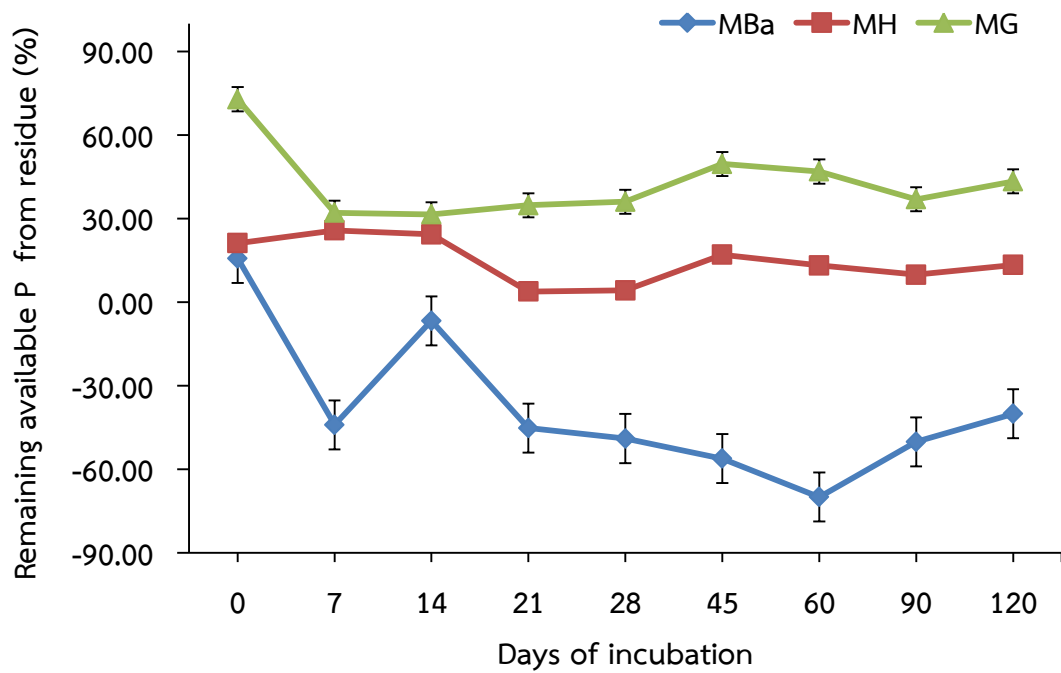
ภาพที่ 47 อิมโมบิไลเซชัน-มิเนอรัลไลเซชันสุทธิในดินที่บ่มด้วยเศษซากใบพืชร่วมยางพารา แตกต่างกันที่วันบ่ม 0-120 วัน; CT = ทริตเมนต์ควบคุม (ไม่ใส่เศษซากใบพืชร่วมยางพารา); MBa = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้; MH = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และ MG = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง

เมื่อนำฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มาคิดเป็นการปลดปล่อยฟอสฟอรัสโดยเทียบกับการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากทริตเมนต์ควบคุม พบว่า ที่ 0 วัน ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากสูงที่สุด รองลงมา คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และต่ำที่สุดในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ (10.50, 1.61 และ 0.69 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (ภาพที่ 48) คิดเป็นร้อยละ 70.90, 21.23 และ 17.30 ของการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซาก ตามลำดับ (ภาพที่ 49) ที่ 7 วัน พบว่า ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่คงเหลือจากการปลดปล่อยจากเศษซากลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับทริตเมนต์ควบคุม (4.63 mg kg<sup>-1</sup>) (ภาพที่ 48) คิดเป็นร้อยละ 32.14 ของฟอสฟอรัสที่คงเหลือจากการปลดปล่อยจากเศษซาก (ภาพที่ 49) ในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่คงเหลือจากการปลดปล่อยจากเศษซากค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง (1.96-1.02 mg kg<sup>-1</sup>) (ภาพที่ 48) และในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ มีการใช้ฟอสฟอรัสจากในดินสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (-1.94 mg kg<sup>-1</sup>) คิดเป็นร้อยละ 44.05 ของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน (ภาพที่ 48 และ 49) เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่คงเหลือจากการปลดปล่อยจากเศษซากสูงที่สุด รองลงมา คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน (6.25 และ 1.02 mg kg<sup>-1</sup> หรือคิดเป็นร้อยละ 43.40 และ 13.39 ของฟอสฟอรัสที่คงเหลือจากการปลดปล่อยจากเศษซาก) (ภาพที่ 48

และ 49) และทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ มีการใช้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงขึ้น เมื่อเทียบกับทรีตเมนต์ควบคุม ( $-1.76 \text{ mg kg}^{-1}$  หรือคิดเป็นร้อยละ 40.03 ของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน) (ภาพที่ 48 และ 49) ในที่นี้จะใช้คำว่า การปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่คงเหลือจากการปลดปล่อยจากเศษซาก เนื่องจาก วันบ่มที่ 0 วัน มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากสูงกว่าที่วันบ่มอื่น ๆ



**ภาพที่ 48** ปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากใบพีชร่วมยางพารา และฟอสฟอรัสที่คงเหลือจากการปลดปล่อยจากเศษซาก และการใช้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ 0-120 วัน; MBa = ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้; MH = ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และ MG = ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง  
 หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กแสดงถึงความแตกต่างระหว่างทรีตเมนต์ด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่แสดงถึงความแตกต่างระหว่างวันบ่มด้วยวิธี DMRT ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99



ภาพที่ 49 ร้อยละการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากใบพืชร่วมยางพารา และร้อยละการใช้ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากในดิน ที่ 0-120 วัน; MBa = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้; MH = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และ MG = ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง

## บทที่ 4

### วิจารณ์ผลการศึกษา

การวิจารณ์ผลการทดลอง แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ 1) สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของดินและองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ภายใต้ดินที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน 2) ปริมาณเศษซากใบ องค์ประกอบทางชีวเคมี ความเข้มข้นของธาตุอาหารในเศษซากใบ และปริมาณธาตุอาหารที่คืนกลับสู่ดินจากเศษซากใบพืชร่วมยางพารา และ 3) ผลของการบ่มดินร่วมกับเศษซากพืชร่วมยางพาราต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินปลูกยางพารา

#### 1. สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของดินและองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ภายใต้ดินที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน

**1.1 สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของดิน** ที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร การปลูกพืชร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยว ไม่ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินแตกต่างกันทางสถิติ โดยแปลงตะเคียนร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุด แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา (1.55, 1.52, 1.50 และ 1.44  $\text{g cm}^{-3}$  ตามลำดับ) (ภาพที่ 11) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ยทั่วไปของกลุ่มดินเนื้อหยาบ คือ 1.2-1.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) เนื่องจากเนื้อดินส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มดินเนื้อหยาบ (ภาพที่ 13) สอดคล้องกับการศึกษาเนื้อดินที่ปลูกยางพาราในประเทศไทย พบว่า ส่วนใหญ่เป็นดินเนื้อหยาบ (นุชนารถ, 2552) และสูงกว่าในกลุ่มดินเนื้อปานกลาง คือ 1.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Brady and Weil, 2010) และที่ความลึก 10-20, 20-30 และ 30-60 เซนติเมตร อยู่ในระดับและแนวโน้มเช่นเดียวกับที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร และพบว่า การปลูกพืชร่วมยางพาราทำให้สภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว ที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร แปลงยางพาราเชิงเดี่ยวมีสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว ( $0.82 \text{ cm h}^{-1}$ ) อยู่ในช่วงขำปานกลาง คือ 0.5-2 เซนติเมตรต่อชั่วโมง และแปลงพืชร่วมยางพาราทุกแปลง ( $2.98-20.02 \text{ cm h}^{-1}$ ) อยู่ในช่วงปานกลาง (ไผ่ร่วมยางพารา) คือ 2.0-6.2 เซนติเมตรต่อชั่วโมง และอยู่ในช่วงเร็วถึงเร็วมาก (ตะเคียนร่วมยางพาราและผักเหลียงร่วมยางพารา) คือ 12.50-25.0 เซนติเมตรต่อชั่วโมง และที่ความลึก 10-20, 20-30 และ 30-60 เซนติเมตร พบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร โดยแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวอยู่ในระดับขำ แปลงไผ่ร่วมยางพาราอยู่ในระดับปานกลาง

และแปลงตะเคียนร่วมยางพาราและผักเหลียงร่วมยางพาราอยู่ในระดับเร็วปานกลางและระดับเร็วถึงเร็วมาก แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ (ภาพที่ 12) (Hazelton and Murphy, 2007) อาจเนื่องมาจากการปลูกพืชร่วมยางพาราทำให้มีปริมาณของราก หรือเศษซากรากเป็นอินทรีย์วัตถุที่ช่วยทำให้ดินมีโครงสร้างมากขึ้น ประกอบกับสารคัดหลั่งต่าง ๆ ที่พืชหลั่งออกมา เกิดเป็นช่องว่างที่ต่อเนื่องของเม็ดดิน ทำให้การแทรกซึมของน้ำง่ายกว่าแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว และสำหรับแปลงตะเคียนร่วมยางพาราและผักเหลียงร่วมยางพาราที่มีสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวสูงที่สุดเมื่อเทียบกับทุกแปลงและทุกระดับความลึก เนื่องจากเนื้อดินเป็นดินเนื้อหยาบทำให้มีช่องว่างที่ต่อเนื่องมากกว่ากลุ่มดินเนื้อปานกลาง (ค่าเฉลี่ยแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว) (ภาพที่ 13) แต่สำหรับแปลงไผ่ร่วมยางพารา กลับพบว่า มีสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวต่ำใกล้เคียงกับแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว เนื่องจากไผ่มีเหง้า (rhizome) อยู่ใต้ดิน ประกอบไปด้วยส่วนของข้อ (node) อัดแน่น และมีรากฝอยกระจายอยู่เป็นจำนวนมากในหน้าตัดดิน อาจทำให้ขีดขวางช่องว่างที่ต่อเนื่องภายในหน้าตัดดินได้ (อนันต์, 2534) และพบว่า การปลูกพืชร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยว ไม่ทำให้พีเอชของดินแตกต่างกันทางสถิติในทุกความลึก (ภาพที่ 14) และอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับดินปลูกยางพารา (นุชนารถ, 2554) สภาพการนำไฟฟ้าในแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพารา ทุกแปลงมีแนวโน้มต่ำกว่าในแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในทุกระดับความลึก (ภาพที่ 15) และเป็นดินที่ไม่มีผลจากเกลือ (ศรีสม, 2544) ไนโตรเจนทั้งหมดในแปลงปลูกพืชร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทุกระดับความลึก (ภาพที่ 16) และอยู่ในระดับต่ำ (นุชนารถ, 2554) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร พบว่า การปลูกพืชร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่การปลูกผักเหลียงร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุด (ภาพที่ 17) และอยู่ในระดับเหมาะสม และที่ความลึก 10-20, 20-30 และ 30-60 เซนติเมตร มีแนวโน้มเช่นเดียวกับความที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร แต่อยู่ในระดับต่ำทั้งหมด (นุชนารถ, 2554)

สำหรับโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน พบว่า มีเพียงแปลงผักเหลียงร่วมยางพาราที่มีแนวโน้มสูงที่สุด (ภาพที่ 18) ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง และแปลงอื่น ๆ อยู่ในระดับต่ำ (นุชนารถ, 2554) แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่า ที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร แปลงผักเหลียงร่วมยางพาราและไผ่ร่วมยางพารามีค่าสูงที่สุด (ภาพที่ 19) และอยู่ในระดับปานกลาง (นุชนารถ, 2554) และยางพาราเชิงเดี่ยวและตะเคียนร่วมยางพาราอยู่ในระดับต่ำ และที่ความลึกอื่น ๆ อยู่ในระดับต่ำทั้งหมด (นุชนารถ, 2554) และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบว่า ทุกระดับความลึกมีแนวโน้มเช่นเดียวกับแคลเซียม (ภาพที่ 20) ถึงแม้จะอยู่ในระดับต่ำทั้งหมด (นุชนารถ, 2554) แต่ในแปลงผักเหลียงร่วมยางพาราและไผ่ร่วมยางพาราก็ยังคงมีแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงที่สุดเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่คืนกลับสู่ดิน พบว่า ในแปลงไผ่ร่วมยางพาราและผักเหลียงร่วมยางพารา มีปริมาณทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียมที่คืนกลับสู่ดินค่อนข้างสูง (ตารางที่ 4) และอีกหนึ่งข้อสังเกต คือ ทุกแปลงที่ปลูกตะเคียนร่วมยางพารา พบว่า ทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ (ภาพที่ 19 และ 20) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของธาตุอาหารในใบ โดยใบตะเคียนจะมีการสะสมทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียมไว้สูงที่สุด (ตารางที่ 3) ซึ่งอาจมีการดูดใช้สะสมในส่วนอื่น ๆ มากเช่นกัน เพราะโดยส่วนใหญ่ธาตุแคลเซียมและแมกนีเซียมจะมีบทบาทเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสงและความคงทนของใบ (ยงยุทธ, 2552) ซึ่งไม่กลุ่มไม่ผลัดใบ



อาจจะมีการสะสมทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียม เนื่องจากอายุใบที่ยาวนานกว่าพืชที่ผลัดใบและลักษณะใบที่แข็งและเหนียวของตะเคียนอาจเกิดจากอิทธิพลของสารกลุ่มแคลเซียมออกซาเลต ซึ่งพบว่าในพืชที่อายุมากและมีอายุใบยาวนาน เพราะโดยส่วนใหญ่พืชจะมีการสะสมแคลเซียมและแมกนีเซียมในรูปของผลึกเกลือ ตั้งแต่ผนังเซลล์จนสะสมมากในแวคิวโอล และสะสมอยู่ทั่วทั้งแผ่นใบ เนื่องจากในใบแก่จะมีแวคิวโอลขนาดใหญ่ (ยงยุทธ, 2552) จึงทำให้ทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินต่ำที่สุด

คาร์บอนอินทรีย์ในดิน ที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร คาดว่าจะได้รับอิทธิพลจากเศษซากพืชร่วมยางพารา (ภาพที่ 21) แต่ผลที่ได้กลับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 21) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (M1) มีเนื้อดินที่ค่อนข้างอยู่ในกลุ่มดินเนื้อปานกลาง (ภาพที่ 13) สอดคล้องกับความเข้มข้นของอินทรีย์วัตถุในดินเนื้อปานกลาง พบว่า อินทรีย์วัตถุจะมีปริมาณสูงกว่าในดินเนื้อหยาบ (Brady and Weil, 2010) และอยู่ในระดับต่ำ (นุชนารถ, 2554) และอาจเนื่องมาจากองค์ประกอบทางชีวเคมี และสัดส่วนของธาตุอาหารที่แตกต่างกันของเศษซากใบพืชร่วมยางพาราแต่ละชนิด (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ลิกันิน และเซลลูโลส) ซึ่งมีผลต่อการย่อยสลายทางเคมี และชีวภาพ (ตารางที่ 3) ประกอบกับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิที่เป็นตัวเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (ภาพที่ 31 และ 32) ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดินมีแนวโน้มเช่นเดียวกันทุกระดับความลึก โดยพบว่า แปลงปลูกพืชร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยว ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงผักเหลียงร่วมยางพารามีแนวโน้มค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงที่สุด (ภาพที่ 22) แต่อยู่ในระดับต่ำมาก (Hazelton and Murphy, 2007) เนื่องมาจากแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวบางแปลง (M1) มีเนื้อดินเป็นกลุ่มดินเนื้อปานกลาง (ภาพที่ 13) จึงทำให้มีความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูงกว่าในดินเนื้อหยาบ (Brady and Weil, 2010) แต่สำหรับแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราที่มีเนื้อดินใกล้เคียงกัน พบว่า แปลงผักเหลียงร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมาคือ ไร่ร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา สอดคล้องกับองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน พบว่า แปลงผักเหลียงร่วมยางพารามีแนวโน้มหมู่ฟังก์ชันของอะลิฟาติกสูงที่สุด รองลงมา คือ ไร่ร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในตะเคียนร่วมยางพารา และจะเห็นแนวโน้มได้ชัดมากขึ้นเมื่อระดับความลึกดินเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 27) เนื่องจากอะลิฟาติกหรือหมู่อัลคิล มีกลุ่มแอลเคน แอลคีน แอลคีน และหมู่อื่น ๆ ที่ไม่เป็นวงแหวนอะโรมาติก แต่มีอิทธิพลต่อความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนในดินเช่นกัน (Stevenson, 1994) อีกทั้งในแปลงไร่ร่วมยางพารายังพบหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลค่อนข้างสูง (ภาพที่ 28) ซึ่งกลุ่มคาร์บอกซิลิก หรือกรดคาร์บอกซิลิกเมื่อเกิดการสูญเสียโปรตอนก็สามารถทำให้ดินมีประจุลบเกิดขึ้นได้ (Stevenson, 1994) และแปลงตะเคียนร่วมยางพารา พบว่า มีแนวโน้มความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนต่ำที่สุด สอดคล้องกับปริมาณอะลิฟาติกและคาร์บอกซิลิกที่ต่ำที่สุดเช่นกัน (ภาพที่ 27 และ 28)

**1.2 องค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน** การศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี พบว่า ในทุกแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยว พบหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของคาร์บอนอินทรีย์ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มลดลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 23, 24, 25 และ 26) เนื่องจากในชั้นดินล่างลงไปจะมี

ความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ลดลง สอดคล้องกับความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ตามระดับความลึก (ภาพที่ 21) และเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงในช่วง  $1080\text{ cm}^{-1}$  จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีอิทธิพลของแร่ควอตซ์และออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมที่สูงขึ้น (ภาพที่ 23, 24, 25 และ 26) แต่เมื่อนำมาเทียบเป็นร้อยละการดูดกลืนแสงช่วง  $2920\text{ cm}^{-1}$  ที่ความลึก 0-10 เซนติเมตรพบว่า แปลงผักเหียงร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุดใกล้เคียงกับแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (ภาพที่ 27) เนื่องจากแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวมีเนื้อดินค่อนข้างเป็นกลุ่มเนื้อดินปานกลางที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์สูง จึงทำให้มีกลุ่มอะลิฟาติกสูงไปด้วยดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น แต่แปลงผักเหียงร่วมยางพารามีอะลิฟาติกที่ใกล้เคียงกับแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว และสูงที่สุดหากเทียบกับแปลงไผ่ร่วมยางพาราและตะเคียนร่วมยางพารา (ภาพที่ 27) แสดงให้เห็นว่า แปลงผักเหียงร่วมยางพารา ค่อนข้างจะมีองค์ประกอบโมเลกุลและพันธะทางเคมีของคาร์บอนอินทรีย์ (aliphatic linkages) จำนวนมากกว่าคาร์บอนอินทรีย์จากพืชร่วมยางพาราอื่น ๆ และจะเด่นชัดมากเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น และที่ความลึกเพิ่มขึ้นหมู่อะลิฟาติกในแปลงไผ่ร่วมยางพารามีแนวโน้มลดลงจนต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับพืชร่วมยางพาราชนิดอื่น (ภาพที่ 27) สอดคล้องกับความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ที่ลดลงเมื่อเทียบกับพืชอื่น ๆ (ภาพที่ 21) และเมื่อพิจารณาร้อยละการดูดกลืนแสงช่วง  $1630\text{ cm}^{-1}$  ร่วมด้วย พบว่า ที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร แปลงไผ่ร่วมยางพารามีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ ผักเหียงร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (ภาพที่ 28) จากข้อมูลดังกล่าว อาจทำนายได้ว่าการปลูกพืชร่วมยางพาราแต่ละชนิดจะมีการย่อยสลายของเศษซากที่แตกต่างกัน โดยที่แปลงไผ่ร่วมยางพารามีแนวโน้มเกิดกิจกรรมการย่อยสลายได้สูงที่สุด รองลงมา คือ แปลงผักเหียงร่วมยางพาราและต่ำที่สุด คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพารา เนื่องจากคาร์บอกซิลิกและอะโรมาติกที่เพิ่มขึ้นจะเป็นตัวสะท้อนถึงกระบวนการเกิดฮิวมัส (Haberhauer *et al.*, 1998) สอดคล้องกับการศึกษาการใช้ที่ดินที่แตกต่างกัน (ทุ่งหญ้า ป่าไม้สมบูรณ์ และป่าสมบูรณ์) พบว่า ในทริตเมนต์ที่เป็นป่าสมบูรณ์จะมีหมู่คาร์บอกซิลิกและอะโรมาติกสูงกว่าในทริตเมนต์อื่น ๆ (Pizzeghello *et al.*, 2017) และสอดคล้องกับปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ ( $1160\text{ cm}^{-1}$ ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ย่อยสลายได้ง่าย โดยพบว่า แปลงไผ่ร่วมยางพารามีแนวโน้มค่อนข้างสูงที่สุด (ภาพที่ 29) และยังคงสอดคล้องกับปริมาณเซลลูโลสในใบพืชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด ที่พบว่า ใบไผ่มีแนวโน้มปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุด และมีลิกนินต่ำที่สุด (ตารางที่ 3) เหมาะแก่การย่อยสลายของจุลินทรีย์ ซึ่งโดยทั่วไปจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายองค์ประกอบทางชีวเคมีที่ย่อยสลายได้ง่ายก่อน และยังสามารถทำนายได้ว่า แปลงผักเหียงร่วมยางพารามีการย่อยสลายต่ำที่สุด หากเทียบจากหมู่คาร์บอกซิลิก อะลิฟาติก โพลีแซ็กคาไรด์ และเซลลูโลสในเศษซาก (ภาพที่ 27, 28, 29 และ ตารางที่ 3) และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนของคาร์บอกซิลต่ออะลิฟาติก ( $1630/2920\text{ cm}^{-1}$ ) ที่ทุกระดับความลึก พบว่า มีความสอดคล้องกันอย่างเห็นได้ชัด โดยแปลงไผ่ร่วมยางพาราจะมีช่วงที่กว้างที่สุด และจะมีช่วงแคบที่สุดในแปลงผักเหียงร่วมยางพารา (ภาพที่ 30) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของหมู่คาร์บอกซิล ( $1630\text{ cm}^{-1}$ ) ต่อการเปลี่ยนแปลงของหมู่อะลิฟาติก ( $2920\text{ cm}^{-1}$ ) ที่ลดลงเนื่องจากกระบวนการเกิดฮิวมัสและกระบวนการย่อยสลาย (Haberhauer *et al.*, 1998; Pizzeghello *et al.*, 2017)

## 2. ปริมาณเศษซากใบ องค์ประกอบทางชีวเคมี ความเข้มข้นของธาตุอาหารพืช และ ปริมาณของธาตุอาหารที่คืนกลับสู่ดินจากเศษซากใบพีชร่วมยางพารา

จากข้อมูลปริมาณเศษซากใบพีชร่วมยางพาราแบบเฉลี่ยรวมทั้งปี พบว่า เศษซากใบไผ่ มีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมา คือ เศษซากใบผักเหลียง และต่ำที่สุด คือ เศษซากใบตะเคียน ( $483.26, 379.29$  และ  $105.92 \text{ kg rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$  ตามลำดับ) (ตารางที่ 4) และจากข้อมูลการเก็บแบบรายเดือน แสดงให้เห็นถึงปริมาณของเศษซากใบที่พีชแต่ละชนิดร่วงหล่น พบว่า ทั้งเศษซากใบไผ่และตะเคียน มีแนวโน้มการทิ้งใบตามฤดูกาลเหมือนกัน แต่ปริมาณจะต่างกัน (ภาพที่ 31) สอดคล้องกับกลุ่มพีช นั้น ๆ โดยไผ่เป็นพีชตระกูลหญ้า ซึ่งบางสายพันธุ์มักจะมีการทิ้งใบตามฤดูกาลและมีช่วงอายุของใบสั้น (รัชชัย, 2555) ตะเคียนเป็นไม้ยืนต้นทิ้งใบน้อยมาก หรืออยู่ในกลุ่มไม้ผลัดใบ (อุทิศ, 2542) แต่การทิ้งใบของตะเคียนข้างต้น มีลักษณะการทิ้งใบแบบตามฤดูกาลแทนสังเกตได้จากข้อมูลการเก็บ ตัวอย่างใบรายเดือน (ภาพที่ 16) อาจเนื่องจากดินในสวนยางพารามีความชื้นต่ำกว่าดินในป่าตามธรรมชาติเป็นอิทธิพลอย่างหนึ่งของไม้ที่ไม่ผลัดใบ (รัชชัย, 2555; อุทิศ, 2542) ซึ่งสอดคล้องกับ อุณหภูมิเฉลี่ยและปริมาณน้ำฝน โดยพบว่า พีชร่วมยางพาราทั้ง 2 ชนิด จะทิ้งใบสูงที่สุดในช่วงต้น เดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงที่ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิลดลงต่ำที่สุด (ภาพที่ 32 และ 33) แต่หาก พิจารณาความเข้มข้นของธาตุอาหารและองค์ประกอบทางชีวเคมีร่วมด้วย พบว่า เศษซากใบพีชร่วม ยางพาราที่มีปริมาณธาตุอาหารหลักและปริมาณองค์ประกอบทางชีวเคมีในกลุ่มที่ย่อยสลายได้ยาก เหมาะแก่การคงเหลือเป็นสารฮิวมิกในดินสูงที่สุด คือ เศษซากใบผักเหลียง รองลงมา คือ เศษซากใบ ตะเคียน และต่ำที่สุดในเศษซากใบไผ่ (ตารางที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับการจำแนกชั้นคุณภาพของ สารอินทรีย์ (Palm *et al.*, 2001) พบว่า เศษซากใบผักเหลียงอยู่ในชั้นคุณภาพที่ใกล้เคียงกับ 1 และ 2 (ไนโตรเจน  $> 2.5\%$ , ลิกนินมากกว่า  $15\%$  และโพลีฟีนอล  $> 4\%$  ของน้ำหนักแห้ง) เนื่องจากมี ปริมาณลิกนินเพียงแค้อยู่ที่  $15.03$  แต่มีโพลีฟีนอลลดน้อยกว่าร้อยละ 4 ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 3) ซึ่งชั้นคุณภาพที่ 1 คือ เป็นแหล่งไนโตรเจนให้กับดินโดยตรง และชั้นคุณภาพที่ 2 คือ ส่วนที่ ปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ เศษซากใบตะเคียนอยู่ในชั้นคุณภาพที่ 4 (สารอินทรีย์ที่มี ไนโตรเจน  $<$  ร้อยละ  $2.5$  และลิกนิน  $>$  ร้อยละ  $15$  ของน้ำหนักแห้ง) ซึ่งจำแนกว่าเป็นส่วนที่คลุม ผิวหน้าดินทำหน้าที่ลดการกร่อนของดิน และเศษซากใบไผ่อยู่ในชั้นคุณภาพที่ 3 (สารอินทรีย์มี ปริมาณไนโตรเจน  $<$  ร้อยละ  $2.5$  ลิกนิน  $<$  ร้อยละ  $15$  ของน้ำหนักแห้ง) คือ ส่วนที่ค่อย ๆ ปลดปล่อย ธาตุอาหารอย่างช้า ๆ นอกจากนี้ หากพิจารณาถึงปริมาณธาตุอาหารพืชที่คืนกลับสู่ดิน จะพบว่า เศษซากใบผักเหลียงมีปริมาณไนโตรเจนที่คืนกลับสูงที่สุด รองลงมา คือ เศษซากใบไผ่ และต่ำที่สุดใน เศษซากใบตะเคียน ( $10.56, 5.31$  และ  $1.74 \text{ kg rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$  ตามลำดับ) และปริมาณฟอสฟอรัสและ โพแทสเซียมที่คืนกลับสู่ดินมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน (ฟอสฟอรัส =  $0.60, 0.14$  และ  $0.07 \text{ kg rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) (โพแทสเซียม =  $6.68, 0.61$  และ  $0.37 \text{ kg rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) และในส่วนของธาตุอาหารรอง พบว่า ปริมาณของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่คืนกลับสู่ดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในเศษซากใบไผ่ ( $4.12$  และ  $0.82 \text{ kg rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) รองลงมา คือ เศษซากใบผักเหลียง ( $2.42$  และ  $0.58 \text{ kg rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) และมี

แนวโน้มต่ำที่สุดในเศษซากใบตะเคียน ( $1.49$  และ  $0.28 \text{ kg rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) (ตารางที่ 4) อย่างไรก็ตาม ปริมาณธาตุอาหารพืชที่คืนกลับสู่ดินนั้น จะเป็นประโยชน์หรือไม่ ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น องค์ประกอบทางชีวเคมี กระบวนการมิเนอรัลไลเซชัน และสภาพแวดล้อมภายในดิน เป็นต้น ซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดความเป็นประโยชน์และการสูญเสียออกไปจากดิน แต่หากพิจารณาจากอัตราส่วนต่าง ๆ จะพบว่า เศษซากใบผักเหลียงจะมีช่วงแคบที่สุด ซึ่งเหมาะแก่การเกิดมิเนอรัลไลเซชัน ทำให้ธาตุอาหารที่อยู่ในรูปของอินทรีย์สารถูกปลดปล่อยออกมาเป็นประโยชน์แก่ดินและพืชได้ง่ายกว่าเศษซากใบไม้และเศษซากใบตะเคียน (ตารางที่ 3) อีกทั้งยังมีปริมาณเศษซากใบทิ้งลงมาเป็นอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูงหากเทียบกับพืชร่วมยางพาราอื่น ๆ (ตารางที่ 4) แต่ยังคงต่ำมากหากเทียบกับปริมาณเศษซากที่ร่วงหล่นในป่าฝนตามธรรมชาติ ( $1408-1920 \text{ kg rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) (Paoli and Curran, 2007)

### 3. การบ่มดินร่วมกับเศษซากพืชร่วมยางพาราต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดินในโตรเจน ฟอสฟอรัส และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

**3.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน** ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากพืชทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้พีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงเริ่มต้นประมาณ 7-21 และ 28 วัน เมื่อเทียบกับที่ 0 วัน (ตารางที่ 6) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอินทรีย์ในโตรเจนเป็นแอมโมเนียมจะมีการปลดปล่อยไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) (ยงยุทธ, 2551) สอดคล้องกับการปลดปล่อยแอมโมเนียมในช่วงเริ่มต้นทำให้พีเอชของดินเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 40) และค่าพีเอชจะเริ่มลดลงหลัง 60 วัน (ตารางที่ 6) เนื่องจากในกระบวนการไนตริฟิเคชันจะปลดปล่อยไฮโตรเจนไอออน (Cayuela *et al.*, 2009) สังเกตได้จากความเข้มข้นของไนเตรดที่เพิ่มขึ้นในช่วง 90-120 วัน (ภาพที่ 41) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์คงเหลือในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากตะเคียนสูงที่สุด รองลงมา คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง และทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ (ภาพที่ 34) เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของลิกนินในเศษซากพืช พบว่า เศษซากใบตะเคียนมีความเข้มข้นของลิกนินสูงที่สุด รองลงมา คือ เศษซากใบผักเหลียง และเศษซากใบไม้ ( $21.28$ ,  $14.44$  และ  $8.71\%$  ของน้ำหนักแห้งพืช ตามลำดับ) (ตารางที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการย่อยสลายเศษซากพืชต่างชนิดในดินบ่ม พบว่า พืชที่มีปริมาณลิกนินสูงจะมีคาร์บอนอินทรีย์คงเหลือในดินสูงกว่าพืชที่มีลิกนินต่ำ (Walela *et al.*, 2014) และสอดคล้องกับการย่อยสลายเศษซากวัสดุอินทรีย์ โดยพบว่า วัสดุที่มีสัดส่วนลิกนินสูงจะมีการย่อยสลายและปลดปล่อยคาร์บอนต่ำกว่าวัสดุที่มีสัดส่วนลิกนินต่ำ (Yue *et al.*, 2016)

**3.2 องค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน** แสดงให้เห็นว่า การบ่มดินระยะสั้นไม่สามารถทำให้หมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ในดินเปลี่ยนแปลงไป โดยทั้งดินก่อนบ่มและหลังบ่มพบหมู่ฟังก์ชันที่เหมือนกัน (ภาพที่ 35 และ 36) แต่มีความแตกต่างในเชิงปริมาณ โดยพบว่า การที่หมู่อะลิฟาติก ( $2920 \text{ cm}^{-1}$ ) ลดลงในทุกทริตเมนต์ แสดงให้เห็นถึงปริมาณสารอินทรีย์ในส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายลดลง เนื่องจากสารกลุ่มนี้เป็นสารที่ไม่มีสมบัติความเป็นอะโรมาติก เช่น แอลเคน แอลคีน และ

แอลคิล หรือเรียกทั่วไปว่า หมู่อัลคิล (alkyl group; R) ซึ่งพบว่า เมื่อบ่มดินถึง 120 วัน ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่นั้น ทำให้ปริมาณอะลิฟาติกมีแนวโน้มลดลงมากที่สุดถึงร้อยละ 52.10 ของร้อยละการดูดกลืนแสงของอะลิฟาติก โดยเทียบกับที่ 0 วัน รองลงมาคือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนมีแนวโน้มลดลงร้อยละ 23.56 และต่ำที่สุดในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีแนวโน้มลดลงเพียงร้อยละ 12.89 (ภาพที่ 37) สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ 120 วัน เมื่อเทียบกับที่ 0 วัน พบว่า ทริตเมนต์ที่มีการบ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่เกิดการสูญเสียปริมาณคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาคือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงและเศษซากใบตะเคียน (46.23, 26.54 และ 15.91 % ของคาร์บอนทั้งหมดในแต่ละทริตเมนต์ตามลำดับ) (ภาพที่ 34) และหมู่คาร์บอกซิล ( $1630\text{ cm}^{-1}$ ) ที่ 0 วัน พบว่า ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่มีแนวโน้มสูงที่สุด เนื่องจากปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่ไผ่สลายไปและมีสัดส่วนองค์ประกอบทางชีวเคมีกลุ่มย่อยสลายยากต่ำกว่าทริตเมนต์อื่น ๆ (ลิกนิน โพลีฟีนอล) (ตารางที่ 5) จึงเป็นตัวกระตุ้นในการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์ได้สูง และในส่วนของอะโรมาติกและเอไมด์ ( $1510\text{ cm}^{-1}$ ) พบว่า ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่มีแนวโน้มต่ำที่สุดทั้ง 0 และ 120 วัน แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 39) เนื่องจากปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในรูปที่สลายตัวยากมีน้อยที่สุด แต่ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับผักเหลียง และทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมตะเคียนมีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 5) เนื่องจากองค์ประกอบทางชีวเคมีในส่วนของลิกนินและโพลีฟีนอลค่อนข้างสูงใกล้เคียงกัน ซึ่งพืชของอะโรมาติกจะเพิ่มสูงขึ้นหากมีปริมาณลิกนินและมีการย่อยสลายกลุ่มฟีนิลโพเพน เนื่องจากองค์ประกอบภายในของลิกนินและโพลีฟีนอลเป็นแบบวงแหวนอะโรมาติก (Watson *et al.*, 2010; Kögel-Knabner, 2002) และเมื่อนำมาหาอัตราส่วนของคาร์บอกซิลต่ออะลิฟาติก (1630/2920 ratio) พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไปจนถึง 120 วัน ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่มีอัตราส่วนของคาร์บอกซิลต่ออะลิฟาติกเพิ่มขึ้นสูงที่สุดคิดเป็นประมาณร้อยละ 58.60 ของอัตราส่วนคาร์บอกซิลต่ออะลิฟาติกเมื่อเทียบกับที่ 0 วัน ในขณะที่ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับใบผักเหลียงมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.74 ของอัตราส่วนคาร์บอกซิลต่ออะลิฟาติกเมื่อเทียบกับที่ 0 วัน (ภาพที่ 40) ถึงแม้ว่าปริมาณคาร์บอกซิลจะมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อนำมาหาอัตราส่วนต่ออะลิฟาติกจะสามารถบ่งบอกได้ว่า การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่มีอัตราการย่อยสลายสูงที่สุด เนื่องจากอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของคาร์บอกซิลต่ออะลิฟาติก แสดงให้เห็นถึง ปริมาณคาร์บอกซิลที่เกิดขึ้นต่อปริมาณอะลิฟาติกที่ลดลงจากการย่อยสลาย สอดคล้องกับผลการศึกษาหมู่อัลคิลในดินอินทรีย์ พบว่า อัตราส่วน  $1630/2920\text{ cm}^{-1}$  ที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงการย่อยสลายในอัตราที่สูงขึ้น (Haberhauer *et al.*, 1998)

### 3.3 การปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากใบพีชร่วมยางพารา การปลดปล่อย

แอมโมเนียมและไนเตรตในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงแสดงให้เห็นถึงการปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียมมากกว่าไนเตรตในทุก ๆ ช่วงของวันบ่ม (ภาพที่ 41 และ 42) ไนเตรตจะเริ่มลดลงหลังวันบ่มที่ 7 วัน (ภาพที่ 42) เนื่องจากในกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์จำพวกแอมโมนิเฟอร์ (ammonifiers) จำเป็นต้องอาศัยแอมโมเนียมในการทำกิจกรรมมากกว่าไนเตรต (Shi and Norton, 2000) และในสภาวะที่มีแอมโมเนียมสูงมากจะยับยั้งไนตริไฟอิง

แบบที่เรียซึ่งทำหน้าที่แปรสภาพแอมโมเนียมให้เป็นไนโตรและไนเตรต (Cayuela *et al.*, 2009) อีก ทั้งค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อกระบวนการของไนตริไฟอิงแบคเตอร์จะต้องอยู่ในช่วงที่เป็นต่าง คือ 6.5-7.8 (อัจฉรา, 2549; Bready and Weil, 2010) และไนตริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ และทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน มีความเข้มข้นของไนเตรตลดลง (ภาพที่ 42) อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์นำเอาทั้งแอมโมเนียมและไนเตรตจากในดินไปใช้ เพราะอัตราส่วนของ คาร์บอนต่อไนโตรเจนในเศษซากใบไม้ ค่อนข้างสูงกว่าระดับที่เหมาะสมต่อการทำกิจกรรม (25:1) (Mikkelsen and Hartz, 2008) (ตารางที่ 5)

การปลดปล่อยไนโตรเจน (แอมโมเนียม+ไนเตรต) ในช่วง 7 วัน ทรีตเมนต์ที่บ่มร่วมกับ เศษซากใบพืชทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณของไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ลดลง แต่ในส่วนของเศษซากใบ ผักเหียง หลังวันบ่มที่ 7 วันไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาวันบ่มจนสิ้นสุด 120 วัน แต่ใน ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนและบ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ ไนโตรเจนจะลดลงตาม ระยะเวลาวันบ่มที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 8) เนื่องจากในเศษซากใบผักเหียงมีสัดส่วน C:N ratio ค่อนข้าง ต่ำกว่าเศษซากใบไม้และเศษซากใบตะเคียน (ตารางที่ 5) ทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายคาร์บอน และได้รับไนโตรเจนจากเศษซากสำหรับทำกิจกรรมเพื่อเปลี่ยนเป็นส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ สอดคล้อง กับการปลดปล่อยไนโตรเจนเมื่อบ่มดินร่วมกับส่วนเหนือดินของพืชตระกูลถั่ว (Glycine max) ที่มี อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (12.7) ทำให้การปลดปล่อยไนโตรเจนสูงขึ้นตามวันบ่ม แต่การบ่ม ดินร่วมกับส่วนรากของพืชตระกูลถั่ว (Glycine max) ที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง (36.4) ทำให้การปลดปล่อยไนโตรเจนลดลงตามวันบ่ม (Abbasi *et al.*, 2015) และเมื่อนำมาคำนวณการ ปลดปล่อยไนโตรเจนสุทธิ หรือ อิมโมบิไลเซชัน-มิเนอรัลไลเซชันสุทธิของไนโตรเจน พบว่า การบ่มดิน ที่ 7 วัน ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับพืชทั้ง 3 ชนิด ทำให้เกิดอิมโมบิไลเซชันของไนโตรเจนเมื่อเทียบ กับทรีตเมนต์ควบคุม (ภาพที่ 43) สอดคล้องกับการใช้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากในดิน พบว่า การบ่มดินที่ 7 วัน การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบพืชรวมยางพาราทั้ง 3 ชนิดมีการใช้ไนโตรเจนที่เป็น ประโยชน์ในดิน (ภาพที่ 44 และ 45) เนื่องจากในช่วงแรกอัตราการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์จะ สูงมาก ทั้งอัตราการหายใจ และมวลของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการใช้นิโตรเจนในการสร้างสารประกอบ ต่าง ๆ ภายในเซลล์ สอดคล้องกับการศึกษาการใส่วัสดุอินทรีย์ลงในดิน พบว่า ปริมาณมวลคาร์บอน ของจุลินทรีย์ อัตราการหายใจ และเอนไซม์เบตาไกลูโคซิเดส เพิ่มขึ้นในช่วง 0-9 วัน (Cayuela, 2009) หลังการบ่มดินที่ 21 วัน ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหียงเกิดจะเป็น มิเนอรัลไลเซชันสุทธิ (ภาพที่ 21) สอดคล้องกับการปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากใบพืช พบว่า การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหียงมีการปลดปล่อยไนโตรเจนออกมาสูงที่สุด ( $0.95 \text{ mg kg}^{-1}$ ) หรือ คิดเป็นร้อยละ 0.48 ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเศษซากใบพืช (ภาพที่ 44 และ 45) และเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาวันบ่มจนสิ้นสุดการทดลอง และสูงที่สุดเมื่อเทียบกับทุกทรีตเมนต์ (ที่ 120 วัน มิเนอรัลไลเซชันสุทธิ เท่ากับ  $73.47 \text{ mg kg}^{-1}$  คิดเป็น  $72.97 \text{ mg kg}^{-1}$  หรือ ร้อยละ 36.48 ของ ไนโตรเจนทั้งหมดในเศษซาก) (ภาพที่ 43, 44 และ 45 ตามลำดับ) แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนและทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ และ ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน เกิดเป็นอิมโมบิไลเซชันสุทธิ ( $-23.88$  และ  $-19.07 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (ภาพที่ 43) สอดคล้องกับการใช้ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์จากในดิน พบว่า ทรีตเมนต์ที่บ่ม

ดินร่วมกับเศษซากใบไม้และทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียนมีการใช้ในโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินไปถึง 18.35 และ 20.19 mg kg<sup>-1</sup> หรือคิดเป็นร้อยละ 9.17 และ 10.10 ของปริมาณไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน (ภาพที่ 44 และ 45) ซึ่งผลที่กล่าวมาข้างสอดคล้องกับอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลิกนินต่อไนโตรเจน และโพลีฟีนอลต่อไนโตรเจน พบว่า เศษซากใบผักเหลียงอยู่ในช่วงที่แคบที่สุด แต่เศษซากใบตะเคียนและเศษซากใบไม้อยู่ในช่วงที่สูงกว่า (ตารางที่ 6) โดยจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายองค์ประกอบส่วนที่ย่อยสลายง่ายก่อนในขั้นต้นและการย่อยสลายองค์ประกอบที่ยากจำเป็นต้องอาศัยพลังงานและเอนไซม์เฉพาะในกระบวนการย่อยสลาย หากในเศษซากพืชเหล่านั้นมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่เพียงพอสำหรับการสร้างโปรตีนและเอนไซม์ก็สามารถทำให้เกิดการปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซากออกมาได้ (Berg and Mcclaugherty, 1988) สอดคล้องกับการศึกษาการบ่มดินร่วมกับเศษซากวัสดุอินทรีย์ต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ พบว่า หากปริมาณลิกนินและอัตราส่วนลิกนินต่อไนโตรเจนในวัสดุอินทรีย์สูง ทำให้การปลดปล่อยไนโตรเจนลดลง และเกิดเป็นอิมโมบิไลเซชันมากขึ้น (Calderón *et al.*, 2005; Walela *et al.*, 2014; Yue *et al.*, 2016; Mohanty *et al.*, 2011 และ Abbasi *et al.*, 2015) และยิ่งสอดคล้องกับการศึกษาการบ่มดินร่วมกับเศษซากพืชที่แตกต่างกัน พบว่า ไนโตรเจนในเศษซากพืชมีความสัมพันธ์เชิงลบกับลิกนิน อัตราส่วนลิกนินต่อไนโตรเจน และคาร์บอนต่อไนโตรเจน (Vahdat *et al.*, 2011) โพลีฟีนอล และอัตราส่วนโพลีฟีนอลต่อไนโตรเจนในเศษซากที่สูงกว่า จะทำให้การย่อยสลายเศษซากพืชและกระบวนการมิเนอรัลไลเซชันลดลง เนื่องจากโพลีฟีนอลมีโครงสร้างที่ค่อนข้างยากต่อการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ (Swift *et al.*, 1979) และองค์ประกอบทางชีวเคมีอีกหนึ่งตัวคือโพลีฟีนอล แต่ในการทดลองจะเห็นว่า พืชทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณโพลีฟีนอลในสัดส่วนที่ค่อนข้างต่ำจึงไม่เป็นข้อจำกัดหรือปัจจัยหลักในการปลดปล่อยธาตุอาหาร ซึ่งหากมีสูงจะทำปฏิกิริยาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีนทำให้เป็นสารประกอบที่ยากต่อการย่อยสลายมากขึ้น (Handayanto *et al.*, 1997)

**3.4 การปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากใบพืชร่วมยางพารา** ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินที่ 0 และ 120 วัน พบว่า ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงที่สุด รองลงมา คือ ทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และต่ำที่สุดในทรีตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้ (ภาพที่ 46) สอดคล้องกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดในเศษซากใบพืชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด คือ เศษซากใบผักเหลียงสูงที่สุด รองลงมา คือ เศษซากใบตะเคียน และต่ำที่สุดในเศษซากใบไม้ (ตารางที่ 5) และความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่เติมลงไปโดยคิดเป็นปริมาณฟอสฟอรัสจากเศษซากพืช โดยในใบผักเหลียงสูงที่สุด รองลงมาคือ ใบตะเคียน และต่ำที่สุดในใบไม้ (14.40, 7.60 และ 4.40 mg kg<sup>-1</sup>) แต่ที่ 7 และ 90 วัน มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ลดลงในทุกทรีตเมนต์สอดคล้องกับกับไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดิน (ตารางที่ 9) เนื่องจากจุลินทรีย์นำฟอสฟอรัสไปใช้ในการสร้างเซลล์เช่นเดียวกับไนโตรเจน จากการศึกษาการใส่วัสดุอินทรีย์ลงในดิน พบว่า ฟอสฟอรัสในรูปออร์โธฟอสเฟตมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนในมวลจุลินทรีย์ (Arancon *et al.*, 2006) และอาจเกิดจากการรวมตัวกันของฟอสเฟตกับออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียมซึ่งมีมากในดินเขตร้อนร่วมด้วย

(Bridgham *et al.*, 1998) นอกจากนี้ อาจเกิดจากสารประกอบพวกอินโนซิทอลฟอสเฟต ที่มีสูตรทางเคมีคล้ายกับสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสารเหล่านี้จะจับกับฟอสเฟตเป็นสารประกอบพวกเอสเทอร์ (ส่วนใหญ่พบในผนังเซลล์ของจุลินทรีย์) ที่ค่อนข้างทนต่อการสลายตัว (อัจฉรา, 2549) และเมื่อพิจารณาร่วมกับการเกิดมิเนอร์ลไล-อิมโมบิไลเซชันสุทธิของฟอสฟอรัส พบว่า ในช่วง 0 วัน ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหียงเกิดมิเนอร์ลไลเซชันสุทธิสูงสุดรองลงมา คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน และต่ำที่สุดในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่ (ภาพที่ 47) เนื่องจากอัตราส่วนคาร์บอนต่อฟอสฟอรัสในเศษซากใบผักเหียงต่ำที่สุด (183.32) รองลงมา คือ เศษซากใบตะเคียน (677.27) และสูงที่สุดในเศษซากใบไผ่ (2,464.35) (ตารางที่ 6) สอดคล้องกับการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากใบพีชร่วมยางพารา พบว่า ที่ 0 วัน การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหียงมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากสูงถึง 10.50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ภาพที่ 48) หรือคิดเป็นร้อยละ 70.90 ของการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซาก (ภาพที่ 49) แสดงให้เห็นว่า ฟอสฟอรัสในเศษซากใบผักเหียงอยู่ในรูปที่ค่อนข้างเป็นประโยชน์สูงสุด แต่ที่วันบ่ม 7-120 วัน พบว่า ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหียงเกิดอิมโมบิไลเซชันสุทธิสูงสุดรองลงมา คือ ทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่ และต่ำที่สุดในทริตเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบตะเคียน (ภาพที่ 47) ทั้งนี้ที่ค่าออกมาเป็นอิมโมบิไลเซชันสุทธิเพราะที่ 0 วัน มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากสูงที่สุด เมื่อนำมาเข้าสมการข้างต้นจึงเกิดเป็นอิมโมบิไลเซชันสุทธิ แต่หากเทียบจากปริมาณการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์จากเศษซากใบพีชร่วมยางพาราและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดิน กลับพบว่า การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหียงและเศษซากใบตะเคียนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงกว่าทริตเมนต์ควบคุม (หรือเกิดกระบวนการมิเนอร์ลไลเซชันเมื่อเทียบกับทริตเมนต์ควบคุม) (ภาพที่ 46, 48 และ 49) เนื่องจากในเศษซากใบผักเหียงมีฟอสฟอรัสทั้งหมดสูงที่สุด รองลงมา คือ เศษซากใบตะเคียน และต่ำที่สุดในเศษซากใบไผ่ (0.22, 0.05 และ 0.01% ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับการบ่มดินร่วมกับวัสดุอินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดยพบว่า เศษซากพีชที่มีฟอสฟอรัสมากกว่าร้อยละ 0.2 ของฟอสฟอรัสทั้งหมดในเศษซาก จะทำให้มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ออกมาได้สูง โดยในใบยาสูบมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสสูงถึง 13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ฟอสฟอรัสในเศษซาก 0.22% ของน้ำหนักแห้ง) ในขณะที่ใบสับปะรดมีการปลดปล่อยเพียง 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ฟอสฟอรัสในเศษซาก 0.12% ของน้ำหนักแห้ง) (Adediran *et al.*, 2003) และสอดคล้องกับการบ่มดินร่วมกับเศษซากพีช (*Gliricidia sepium*, *Accacia hilotica*) พบว่า หากฟอสฟอรัสในเศษซากน้อยกว่าร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักแห้ง จะเกิดอิมโมบิไลเซชัน (Mafongoya, 2000) ทุกการทดลองที่กล่าวมา หากใช้เกณฑ์การเกิดมิเนอร์ลไลเซชัน-อิมโมบิไลเซชันของฟอสฟอรัสตามเกณฑ์ของ Floate (1970) จะพบว่า ฟอสฟอรัสที่มากกว่าหรือน้อยกว่าร้อยละ 0.2 ของปริมาณฟอสฟอรัสในเศษซากพีชจะเกิดมิเนอร์ลไลและอิมโมบิไลเซชัน อีกทั้งหากพิจารณาจากอัตราส่วนคาร์บอนต่อฟอสฟอรัส คาร์บอนต่อไนโตรเจน และไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในเศษซากใบพีชร่วมยางพารา พบว่า ในเศษซากใบผักเหียงมีอัตราส่วนต่ำที่สุด รองลงมา คือ ใบตะเคียน และสูงที่สุดในใบไผ่ (C:P = 183.32, 677.27 และ 2,464.35; C:N = 12.29, 24.63 และ 53.47; N:P = 13.92, 26.44 และ 46.83 ตามลำดับ) สอดคล้องกับการศึกษาการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากมูลสัตว์ปีก มูลวัว และมูลแพะ โดยในมูลสัตว์ปีกมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อ



ฟอสฟอรัส ต่ำที่สุด รองลงมา คือ มูลวัว และมูลแพะ พบว่า มูลสัตว์ปีกมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัส และร้อยละการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากมูลสัตว์สูงที่สุด เนื่องจากมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และคาร์บอนต่อฟอสฟอรัสในช่วงแคบกว่า (Azeez and Averbeke, 2010) และยังคงคล้องกับการศึกษาการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากวัสดุอินทรีย์ (Bridgham *et al.*, 1998; Adediran *et al.*, 2003) โดยอัตราส่วนคาร์บอนต่อฟอสฟอรัสที่มากกว่า 300 ขึ้นไป จุลินทรีย์จะดึงเอาฟอสฟอรัสจากสารละลายดินไปใช้ (อัจฉรา, 2549) และเมื่อนำมาจัดชั้นคุณภาพของวัสดุอินทรีย์ (Palm *et al.*, 2001) พบว่า เศษซากใบผักเหียงอยู่ในชั้นคุณภาพที่ 1 (ไนโตรเจน = 3.00; ลิกนิน = 14.44 และ โพลีฟีนอล = 0.42% ของน้ำหนักแห้งพืช) ซึ่งสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์ เศษซากใบตะเคียนเป็นชั้นคุณภาพที่ 4 (ไนโตรเจน = 1.26; ลิกนิน = 21.28 และ โพลีฟีนอล = 1.03% ของน้ำหนักแห้งพืช) ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไวคลุมดินเพื่อลดการสูญเสียธาตุอาหารและการกร่อนดิน และเศษซากใบไผ่อยู่ในชั้นคุณภาพที่ 3 (ไนโตรเจน = 0.64; ลิกนิน = 8.71 และ โพลีฟีนอล = 0.13% ของน้ำหนักแห้งพืช) ซึ่งส่วนที่ค่อย ๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารอย่างช้า ๆ (ตารางที่ 5 และ 6) สอดคล้องกับการศึกษาการบ่มดินร่วมกับเศษซากพืชตระกูลหญ้า ถั่วลันเตา และข้าวโอ๊ต พบว่า เศษซากพืชตระกูลหญ้าและถั่วลันเตามีการปลดปล่อยไนโตรเจนสูงใกล้เคียงกัน และสูงกว่าข้าวโอ๊ต เมื่อนำมาจัดลำดับชั้นคุณภาพตาม Palm และคณะ (2001) พบว่า เศษซากพืชตระกูลหญ้าและถั่วลันเตาจัดอยู่ในชั้นคุณภาพที่ 1 และเศษซากข้าวโอ๊ตจัดอยู่ในชั้นคุณภาพที่ 4 (Murungu *et al.*, 2011)

จากผลการทดลองข้างต้นมีข้อสังเกตเมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางชีวเคมี พบว่า ผักเหียงมีความเข้มข้นของลิกนินค่อนข้างอยู่ในระดับปานกลาง (14.44% ของน้ำหนักแห้งพืช) (ตารางที่ 5) หากเทียบกับพืชทั้ง 3 ชนิด สอดคล้องกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์คงเหลือในดินหลังบ่ม พบว่า ทรินเมนต์ที่บ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหียงมีการสูญเสียคาร์บอนอินทรีย์หลังสิ้นสุดการบ่มไปเพียงร้อยละ 26.54 ของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินก่อนบ่ม ในขณะที่ทรินเมนต์บ่มดินร่วมกับเศษซากใบไผ่มีการสูญเสียคาร์บอนอินทรีย์หลังบ่มไปถึง ร้อยละ 46.23 ของคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินก่อนบ่ม (ภาพที่ 34) แสดงให้เห็นว่า นอกจากเศษซากใบผักเหียงจะเป็นเศษซากชั้นคุณภาพที่ 1 ที่มีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารแล้ว ยังสามารถช่วยลดคาร์บอนอินทรีย์ที่จะสูญเสียไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นอีกสาเหตุในเรื่องสภาวะโลกร้อน และยังคงเหลือเป็นอินทรีย์วัตถุเพียงพอที่จะพัฒนาเป็นสารฮิวมิกที่มีเสถียรภาพเพื่อช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์แก่ดิน

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 1. สมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ของดินปลูกยางพาราที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน

แปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราแตกต่างกัน แสดงให้เห็นถึง แนวโน้มสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีที่แตกต่างกันจากอิทธิพลของพืชร่วมยางพารา โดยการปลูกพืชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวสูงกว่าแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว แต่แปลงไผ่มีแนวโน้มต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับพืชร่วมยางพาราอื่น ๆ เนื่องจากมีระบบรากแบบฝอยในหน้าดินบนมาก และปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพาราและแปลงไผ่ร่วมยางพารา และสำหรับองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์พบว่า แปลงผักเหลียงร่วมยางพารามีหมู่อะลิฟาติกสูงที่สุด คาร์บอกซิลและพอลิแซ็กคาไรด์ และอัตราส่วนคาร์บอกซิลต่ออะลิฟาติกต่ำที่สุด ซึ่งทำนายได้ว่าการย่อยสลายในอัตราที่ต่ำที่สุดเทียบกับทุกทรีตเมนต์ และมีคาร์บอนอินทรีย์หลงเหลือในระยะยาว ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ดี

#### 2. ปริมาณเศษซากใบ องค์ประกอบทางชีวเคมี ความเข้มข้นของธาตุอาหารและปริมาณธาตุอาหารที่คืนกลับสู่ดินของเศษซากใบพืชร่วมยางพารา

ปริมาณเศษซากพืชร่วมยางพาราที่กลับสู่ดินต่อปี พบว่า ผักเหลียงมีปริมาณเศษซากที่ร่วงหล่นสูงใกล้เคียงกับไผ่ ( $379.29$  และ  $483.26 \text{ kg rai}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) แต่ผักเหลียงมีอัตราส่วนขององค์ประกอบทางชีวเคมีและคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ค่อนข้างแคบกว่าพืชร่วมยางพาราอื่น ๆ ที่นำมาทดลอง และจากการเก็บข้อมูลแบบรายเดือน พบว่า ทั้งไผ่และตะเคียนจะมีช่วงของการทิ้งใบสูงที่สุด (ผลัดใบตามฤดูกาล) ในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีปัจจัยหลักจากปริมาณน้ำฝนที่ทิ้งช่วง และสำหรับความเข้มข้นของธาตุอาหารในเศษซากใบพืชร่วมยางพารา พบว่า เศษซากใบผักเหลียงมีความเข้มข้นของธาตุอาหารหลักสูงที่สุด (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด =  $28.11$ ,  $1.57$  และ  $18.44 \text{ g kg}^{-1}$  ตามลำดับ) สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ( $14.16$ ) คาร์บอนต่อฟอสฟอรัส ( $253.63$ ) ลิกนินต่อ

ไนโตรเจนอยู่ในช่วงที่แคบ (5.3) และเหมาะสมต่อการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์และเกิดกระบวนการมิเนอรัลไลเซชัน ประกอบกับเศษซากใบที่ร่วงหล่นมีปริมาณสูง ทำให้มีปริมาณธาตุอาหารหลักที่คืนกลับสู่ดินสูงที่สุดเช่นกัน (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมด = 10.56, 0.60 และ 6.68 kg rai<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) จึงเป็นอีกหนึ่งพีชร่วมยางพาราที่จะช่วยส่งเสริมสมบัติของดินทางเคมีได้ดีที่สุด และจัดอยู่ในชั้นคุณภาพที่ 1 ซึ่งสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาเป็นประโยชน์แก่ดินและพืชได้

### 3. ผลของพีชร่วมยางพาราต่อการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนและองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินปลูกยางพารา

จากการศึกษาการบ่มดินร่วมกับเศษซากพีชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด พบว่า การบ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียงมีการปลดปล่อยไนโตรเจนจากเศษซาก ไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ในดินและเกิดเป็นมิเนอรัลไลเซชันสุทธิสูงที่สุด สอดคล้องกับการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากเศษซากและฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงที่สุดในการบ่มดินร่วมกับเศษซากใบผักเหลียง แสดงให้เห็นว่าเศษซากใบผักเหลียงมีความสามารถในการปลดปล่อยธาตุอาหารทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสออกมาในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืชได้สูงที่สุด สอดคล้องกับการจัดชั้นคุณภาพที่ 1 อีกทั้งยังมีหมูฟงก์ชันอะลิฟาติกที่สูงซึ่งมีอิทธิพลต่อสมบัติต่าง ๆ ของดินแล้ว ยังมีหมูคาร์บอกซิลที่ไม่สูงมากนัก และมีหมูอะโรมาติกและเอไมด์ที่มีแนวโน้มสูงที่สุด อีกทั้งยังมีอัตราส่วนของคาร์บอกซิลต่ออะลิฟาติกที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่า มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในรูปที่ทนทานต่อการย่อยสลายทำให้มีการย่อยสลายอย่างช้า ๆ และมีหมูเอไมด์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสูง และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่คงเหลือจากการทำกิจกรรมของจุลินทรีย์สูงเป็นอินทรีย์วัตถุในดิน

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า สำหรับในแปลงทำการเกษตรนั้น การปลูกพีชร่วมยางพาราทำให้สมบัติทั้งทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของดินเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้สนับสนุนแล้วอธิบายได้ว่า การปลูกพีชร่วมยางพารามีแนวโน้มทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากกว่าการปลูกยางพาราแบบเชิงเดี่ยว ซึ่งมีตัวชี้วัดจากปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ สมบัติต่าง ๆ ของดิน และปริมาณธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ และความสามารถในการเก็บกักคาร์บอนให้คงอยู่ในดินได้เป็นระยะเวลาอันยาวนาน โดยการเลือกผักเหลียงเป็นพีชร่วมยางพารามีแนวโน้มทำให้สมบัติของดินดีที่สุด

## เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2560. ทางเลือกการปลูกพืชแซมยาง พืชร่วมยาง และกิจกรรมเสริมรายได้ของชาวสวนยาง. สืบค้นจาก : <http://www.doa.go.th/share/attachment.php?aid=1193> [14 เมษายน 2560]
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จำเป็น อ่อนทอง และจักรกฤษณ์ พูนภักดี. 2557. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จำเป็น อ่อนทอง และจักรกฤษณ์ พูนภักดี. 2560. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- จำเป็น อ่อนทอง, จุฑามาศ แก้วมโน และจักรกฤษณ์ พูนภักดี. 2556. สถานะโพแทสเซียมและสมบัติของดินนาร้างและดินดอนที่ใช้ปลูกยางพารา. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ธวัชชัย สันติสุข. 2555. ป่าของประเทศไทย. สำนักงานหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. กรุงเทพฯ. บริษัท ประชาชน จำกัด
- นวลศรี กาญจนกุล, สุวรรณีย์ ภูธรราช และชนิษฐศรี ชุ่มตระกูล. 2543. ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : กองวิเคราะห์ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- นุชนารถ กังพิศดาร, โสภา โพธิ์วัชรธรรม, เวท ไทยนุกูล และสมยศ สิ้นธุรหัส. 2522. การศึกษาชนิดของแร่ดินเหนียวและคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินปลูกยางพารา. รายงานผลการค้นคว้าวิจัยปี 2522 หน้า 161-162. กรุงเทพฯ : กองการยาง กรมวิชาการเกษตร.
- นุชนารถ กังพิศดาร. 2554. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยยางพาราปี 2554. กรุงเทพฯ. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- พนัส แพชนะ. 2546a. การปลูกพืชสกุลระกำเป็นพืชร่วมยางเพื่อเสริมรายได้. สถาบันวิจัยยางพารา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พนัส แพชนะ. 2546b. การปลูกมังคุดเป็นพีชร่วมยาก่อนการโค่นยาง. สถาบันวิจัยยางพารา  
กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. กรุงเทพฯ : โอเดียนวสโตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2552 ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ : สำนักงานมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไววิทย์ บุรณธรรม, อารักษ์ จันทูมา, พิศมัย จันทูมา, พนัส แพชนะ, ผลึก บำรุงวงศ์, พิบูลย์เพ็ชรยิ่ง,  
สว่างรัตน์ สมนาค และประสาน บุญมรดก. 2546. การปลูกไม้เศรษฐกิจร่วมกับยางพารา.  
สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2544. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ. ภาควิชาพฤกษศาสตร์. สำนักพิมพ์

สถาบันวิจัยยาง. 2551. การใช้ปุ๋ยยางพาราตามค่าวิเคราะห์ดิน. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร  
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สัญญา เล่ห์สิงห์ และ อรประภา อนุกุลประเสริฐ. 2559. ประสิทธิภาพของปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูงต่อ  
การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของคางคก. กรุงเทพฯ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559. กรุงเทพฯ : กระทรวง  
เกษตรและสหกรณ์.

อารักษ์ จันทูมา, พิศมัย จันทูมา, พิบูลย์เพ็ชรยิ่ง และสว่างรัตน์ สมนาค. 2546. การปลูกพืชเศรษฐกิจ  
ในสวนยางเขตแห้งแล้ง. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

อนันต์ อนันตโชติ, 2534, ไม้ไผ่ประเทศไทยที่น่ารู้จัก, กรุงเทพฯ ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะ  
วนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อรรวรรณ ฉัตรสิริรุ่ง. 2551. ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. เชียงใหม่. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษ์ศาสตร์  
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อัจฉรา เพ็งหนู. 2549. เอกสารคำสอนวิชาจุลชีววิทยาของดิน. สงขลา : ภาควิชาธรณีศาสตร์  
คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- อุทิศ ภูฏอินทร์. 2542. นิเวศวิทยาพื้นฐานเพื่อการป่าไม้. กรุงเทพฯ. ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- Abbasi, M.K., Tahir, M.M., Sabir, N. and Khurshid, M. 2015. Impact of the addition of different plant residues on nitrogen mineralization-immobilization turnover and carbon content of a soil incubated under laboratory conditions. *Solid Earth* 6 : 197-205.
- Abbasi, M.K., Hina, M., Khalique, A. and Khan, S.R. 2007. Mineralization of three organic manures used as nitrogen source in a soil incubated under laboratory conditions. *Soil science and plant analysis* 38 : 1691-1411
- Aerts, R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystem : a triangular relationship. *Oikos* 79 : 439-449.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., and Bierman, P. 2006. Influences of vermicomposts on fieldstrawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresource Technology* 97 : 831-840.
- Adediran, A.J., Baets. N.D., Mnkeni. P.N.S., Kiekens. L., Muyima, N.Y.O. and Thys, A. 2012. Organic Waste Materials for Soil Fertility Improvement in the Border Region of the Eastern Cape, South Africa. *Biological Agriculture & Horticulture*. 20 : 283-300.
- Azeez, J.O. and Averbek, W.V. 2010. Fate of manure phosphorus in a weathered sandy clay loam soil amended with three animal manures. *Bioresource Technology* 101 : 6584-6588.
- Bandyopadhyay, K.K., Misra, A.K., Ghosh, P.K. and Hati, K.M. 2010. Effect of integrated use of farmyard manure and chemical fertilizers on soil physical properties and productivity soybean. *Soil & Tillage Research* 110 : 115-125.
- Baes, A. U. and Bloom, P. R. 1989. Diffuse Reflectance and Transmission Fourier Transform Infrared (DRIFT) Spectroscopy of Humic and Fulvic Acids. *Soil Science Society of America Journal* 53 : 695-700

- Berg, B. and Mcclaugherty, C. 1988. Nitrogen and phosphorus release from decomposing litter in relation to the disappearance of lignin. *Canadian Journal of Botany* . 67 : 1148-1156.
- Berg, B., and Matzner, E. 1997. Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest systems. *Environmental Reviews* 5 : 1-25.
- Bridgham, S.D., Updegraff, K. And Pastor, J. 1998. CARBON, NITROGEN, AND PHOSPHORUS MINERALIZATION IN NORTHERN WETLANDS. *Ecological Society of America*. 79 (5) :1545-1561
- Blake, G.R. and Hartge, K.H. (1986) Bulk density. In Klute, A., Ed., *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, 363-382.
- Brady, N.C. and Weil, R.R. 2010. *Elements of the Nature and Properties of Soils*. New Jersey : Pearson.
- Canellas, L.P., Espindola, J.A.A., Rezende, C.E., Camargo, P.B.D., Zandonadi D.B., Rumjanek, V.M., Guerra, J.G.M., Teixeira, M.G and Braz-Filho, R. Organic Matter Quality in a Soil Cultivated with Perennial Herbaceous Legumes. *Scientia Agricola*. (Piracicaba, Braz.), 61 (1), 53-61.
- Calderón, F.J., McCarty, G.W., Reeves, J.B., 2005. Analysis of manure and soil nitrogen mineralization during incubation. *Biol. Fertil. Soils*. 41 : 328–336.
- Calderón, F.J., Reeves, J.B., Collins, H.P. and Paul, E.A. 2011. Chemical differences in soil organic matter fractions determined by diffuse-reflectance mid-infrared spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal* 75 (2) : 568-579
- Cayuela, M. L., Sinicco, T. and Mondini, V. 2009. Mineralization dynamics and biochemical properties during initial decomposition of plant and animal residues in soil. *Applied Soil Ecology* 48 : 118-127.

- Chen, C., Lui, W., Jiang X. and Wu, J. 2017. Effects of rubber-based agroforestry systems on soil aggregation and associated soil organic carbon : Implications for land use. *Geoderma* 299 : 13-24.
- Chen, Z., Wang, H., Liu, X., Zhao, X., Lu, D., Zhou, J. and Li, C. 2017. Changes in soil microbial community and organic carbon fractions under short-term straw return in a rice-wheat cropping system. *Soil&Tillage Research* 165 : 121-127.
- Cheng, C.M., Wang, R.S. and Jiang, J.H. 2007. Variation of soil fertility and carbon sequestration by planting *Heveabrasiliensis* in Hainan Island, China. *Journal of Environmental Sciences* 19 : 348-352.
- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. In C.A. Black, ed. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Agronomy Monograph 9*, American Society of Agronomy. Soil Science Society of America , Madison, 545-567.
- Dieckow, J., Mielniczuk, J., Knicker, H., Bayer, C., Dick, D.P. and Kögel-Knabner, I. 2005. Composition of organic matter in a subtropical Acrisol as influenced by land-use, cropping and N fertilization, assessed by CPMAS <sup>13</sup>C NMR spectroscopy. *European Journal of Soil Science* 56 : 705-715.
- Duboc, O., Zehetner, F., Djukic, I., Tatzber, M., Berger, T.W. and Gerzabek, M.H. 2012. Decomposition of European beech and Black pine foliar litter along an Alpine elevation gradient: Mass loss and molecular characteristics. *Geoderma* 189–190 : 522–531
- Edmeades, D.C. 2003. The long-term effects of manures and fertilisers on soil productivity and quality: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66 : 165-1800.
- Floate, M.J.S. 1970. Decomposition of organic materials from hill soils and pastures. II Comparative studies on the mineralization of carbon, nitrogen, and phosphorous from soil. *Soil Biol Biochem* 2 : 173-494
- Feher, J. 2017. *Quantitative Human Physiology (Second Edition)*. Academic Press Series in Biomedical Engineering. 130-141.



- González-Pérez, J.A., González-Vilaa, F.J., Almendros, G. and Knicker, H. 2004. The effect of fire on soil organic matter a review. *Environment International* 30 : 855-870.
- Haberhauer, G., Rafferty, B., Strebl, F. and Gerzabek, M.H. 1998. Comparison of the composition of forest soil litter derived from three different sites at various decompositional stages using FTIR spectroscopy. *Geoderma* 83 : 331-342.
- Handayanto, E., Giller, K.E. and Cadisch, G. 1997. Regulating N release from legume tree prunings by mixing residues of different quality. *Soil Biology & Biochemistry* 29 : 1417-1426.
- Haslam, E., and Y. Cai. 1994. Plant polyphenols (vegetable tannins) : gallic acid metabolism. *Natural Product Reports* 11 : 41-66.
- Hazelton, P.A. and Murphy, B.W. 2007. Interpreting soil test results : what do all the numbers mean? [2<sup>nd</sup> ed.]. Australia. University of Technology SYDNEY. CSIRO PUBLISHING
- Jindaluang, W., Kheoruenromne, I., Suddhiprakarn, A., Singh, B.P. and Singh, B. 2013. Influence of soil texture and mineralogy on organic matter content and composition in physically separated fractions soils of Thailand. *Geoderma* 195-196 : 207-219.
- Juan, L., WeiFu, L. and LiJun, Z. 2017. Effects of long-term intercropping coffee on rubber soil nutrients and soil enzymes. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences* 29 (6) : 1371-1374.
- Kanket, W., Suddhiprakarn, A., Kheoruenromne, I. and Gilkes, R.J. 2005. Chemical and crystallographic properties of kaolin from Ultisols in Thailand. *Clay and Clay Minerals* 53 : 478-489.
- Khalil, M.I., Hossain, M.B, and Schmidhalte, U. 2005. Carbon and nitrogen mineralization in different upland soils of the subtropics treated with organic materials. *Biochem.* 37 : 1507-1518.

- Kirk, T.K., Higuchi, T. and Chang, H. 1981. Lignin biodegradation : Microbiology, Chemistry, and Potential Applications 1 : CRC Press.
- Klemm, D., Philipp, B., Heinze, T., Heinze, U. and Wagenknecht, W. 1998. Comprehensive cellulose chemistry. Fundamentals and analytical methods. 1.
- Kögel-Knabner, I. 2002. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biology & Biochemistry* 34 : 139-162.
- Kunlanit, B., Vityakon, P., Puttaso, A., Cadisch, G. and Rasche, F. 2014. Mechanisms controlling soil organic carbon composition pertaining to microbial decomposition of biochemically contrasting organic residues : Evidence from midDRIFTS peak area analysis. *Soil Biology and Biochemistry*. 76 : 100-108.
- Liu, X., Ardo, S., Bunning, M., Parry, J., Zhou, K., Stushnoff, C., Stoniker, F., Yu, L. and Kendall, P. 2007. Total phenolic content and DPPH radical scavenging activity of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in Colorado. *Food Science and Technology* 40 : 552-557
- Mafongoya, P.L., Barak, P. and Reed, J.D. 2000. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization of tree leaves and manure. *Biol Fertil Soils* 30 : 298-305.
- Mikkelsen, R. and Hartz, T.K. 2008. Nitrogen sources for organic crop production. *Better Crops*. 92
- Marschner, P. and Rengel, Z. 2006. Nutrient cycling in terrestrial ecosystems. Adelaide. Australia. *Soil Biology*. Springer.
- Melillo, J.M., Aber, J.D. and Muratore, J.F. 1982. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology* Ecological Society of America. 63 : 621-626.

- Mohanty, M., Sammi Reddy, K., Probert, M.E., Dalal, R.C., Subba Rao, A. and Menzies, N.W. 2011. Modelling N mineralization from green manure and farmyard manure from a laboratory incubation study. *Ecological Modelling*. 222 : 719-726.
- Molina, F.V. 2014. *Soil Colloids. Properties and Ion Binding*. Boca Raton : CRC Press.
- Murungu, F.S., Chiduzza, C., Muchaonyerwa, P. and Mkeni P.N.S. 2011. Decomposition, nitrogen and phosphorus mineralization from winter-grown cover crop residues and suitability for a smallholder farming system in South Africa. *Nutr Cycl Agroecosyst* 89 : 115-123.
- Navarrete, I., Asio, V.B., Jahn, R. and Tsutsuki, K. 2007. Characteristics and genesis of two strongly weathered soils in Samar, Philippines. *Australian Journal of Soil Research* 45 : 153-163.
- Nguyen, T.T., Janikan., L.J. and Raupach, M. 1991. Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform (DRIFT) Spectroscopy in Soil Studies. *Australian Journal of Soil Research* 29 : 49-67
- Novelli, L.E., Caviglia, O.P. and Piñeiro, G. 2017. Increased cropping intensity improves crop residue inputs to the soil and aggregate-associated soil organic carbon stocks. *Soil&Tillage Research* 165 : 128-136.
- Palm, C.A., Gachengo, C.N., Delve, R.J., Cadisch, G. and Giller, K.E. 2001. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems : application of an organic resource database. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83 : 27-42.
- Paoli GD, Curran LM 2007 Soil nutrients limit fine litter production and tree growth in mature lowland forest of Southwestern Borneo. *Ecosystems* 10:503–518
- Pizzeghello, D., Francioso, O., Concheri, G., Muscolo, A. and Nardi, S. 2017. Land use affects the soil C sequestration in alpine environment, NE Italy. *Forests* 8 (6) : 197

- Puttaso, A., Vityakon, P. and Saenjan, P. 2011. Relationship between residue quality, decomposition patterns, and soil organic matter accumulation in a tropical sandy soil after 13 years. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 89 : 159-174.
- Qing, J., Kong, X. and Lal, R. 2013. Managing soil organic carbon concentration by cropping systems and fertilizers in the North China plain. In *Advances in Soil Science : Principles of Sustainable Soil Management in Agroecosystems*. (eds. R. Lal and B.A. Stewart). 189-201. Boca Raton : CRC Press.
- Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C. and Pouysegu, L. 2011. Plant polyphenols: Chemical properties, biological activities, and synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*. 50 : 586-621.
- Reeves, D. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Tillage Res.* 43 : 131-167.
- Rowland, A. P. and Roberts, J. D. 1994. Lignin and cellulose fractionation in decomposition studies using acid-detergent fibre methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25:3-4, 269-277
- Shi, W., Norton, J.M., 2000. Microbial control of nitrate concentrations in an agricultural soil treated with dairy waste compost or ammonium fertilizer. *Soil Biol. Biochem.* 32 : 1453-1457.
- Singh, B. and Rengel, Z. 2007. The Role of Crop residues in improving soil fertility. In *Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems*. (eds. P. Marschner and Z. Rengel). pp 183-214. Heidelberg : Springer-Verlag Berlin.
- Skjernstad, J.O., Taylor, J.A., and Smernik, R.J. 1999. Estimation of charcoal (char) in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 30 : 2283-2298.
- Sparks, D.L. 2003. *Environmental Soil Chemistry*. Amsterdam : Academic Press.
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus chemistry (Second Edition) : genesis, composition, reactions*. New York : John Wiley & Sons, Inc.

- Swift, M.J., Heal, O.W. and Anderson, J.M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Black well Scientific Publications, Oxford. University of California Press.
- Tan, K.H. 2011. Principles of soil chemistry (Fourth Edition). CRC Press Taylor&Francis Group.
- Vahdat, E., Nourbakhsh, F. and Basiri, M. 2011. Lignin content of range plant residues controls N mineralization in soil. *European Journal of Soil Biology* 47: 243-246.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74 (10) : 3583-3597.
- Walela, C., Daniel, H., Wilson, B., Lockwood, P., Cowie, A. and Harden, S. 2014. The initial lignin:nitrogen ratio of litter from above and below ground sources strongly and negatively influenced decay rates of slowly decomposing litter carbon pools. *Soil Biology & Biochemistry* 77 : 268-275.
- Watson, R.R., Zibadi, S., Preedy, V.R. 2010. Dietary Components and Immune Function. Humana Press, New York.
- Wu, J., Liu, W. and Chen, C. 2016. Can intercropping with the world's three major beverage plants help improve the water use of rubber trees. *Journal of Applied Ecology*. 53 : 1787-1799.
- Youngs, E. 2000. Hydraulic Conductivity of Saturated. *Plants and the Environment*.
- Yue, K., Peng, C., Yang, W., Peng, Y., Zhang, C., Huang, C. and Wu, F. Degradation of lignin and cellulose during foliar litter decomposition in an alpine forest river. *Ecosphere* 7 (10) : e01523.
- Zhang, M., Fu, X.H., Feng, W.T. and Zou, X. 2007. Soil organic carbon in pure rubber and tea-rubber plantations in South-western China. *Tropical Ecology*. 48 (2) : 201-207.

Zhu, L., Hu, N., Zhang, Z., Xu, J., Tao, B. and Meng, Y. 2015. Short-term responses of soil organic carbon and carbon pool management index to different annual straw return rates in a rice-wheat cropping system. CATENA 135 : 283-289.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายวสิทธิ แซ่เตียว  
 รหัสประจำตัวนักศึกษา 6010620057  
 วุฒิการศึกษา  
 วุฒิ ชื่อสถาบัน ปีที่สำเร็จการศึกษา  
 วิทยาศาสตร์บัณฑิต เกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 2559  
 (ปฐพีศาสตร์)

## ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนานวัตกรรมยางพารา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
 สัญญาเลขที่ NAT610343S

## การตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงาน

วสิทธิ แซ่เตียว, ขวัญตา ขาวมี และ จำเป็น อ่อนทอง. ผลของเศษซากพืชร่วมยางพาราต่อการ  
 ปลดปล่อยฟอสฟอรัสในดิน. การประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติ ครั้งที่ 6  
 (E-proceeding). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 3-5 กรกฎาคม 2562.  
 ISBN (e-Book) 978-616-278-524-5.