

สมบัติของดินและองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์โดยใช้เทคนิค  
อินฟราเรดในดินปลูกยางพาราภายใต้พืชร่วมยางพาราที่ต่างกัน  
Soil Properties and Organic Carbon Composition  
Using Infrared Techniques in Rubber Growing Soil  
under Different Rubber-based Intercrops

วสิทธิ แซ่เตียว, จำเป็น อ่อนทอง และขวัญตา ขาวมี\*

สาขาวิชานวัตกรรมเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Wasit Saeteaw, Jumpen Onthong and Khwunta Khawmee\*

Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources,

Prince of Songkla University, Hatyai Campus, Hatyai, Songkhla 90110

## บทคัดย่อ

การปลูกพืชร่วมยางพารานอกจากจะเป็นการเพิ่มรายได้ เศษซากใบที่ร่วงสู่ดินอาจส่งผลให้ดินมีคาร์บอนอินทรีย์เพิ่มขึ้น คาร์บอนอินทรีย์จากเศษซากพืชต่างชนิดจะมีองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ต่างกัน ดังนั้นจึงศึกษาสมบัติของดินและองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราที่ต่างกัน โดยเก็บตัวอย่างดินในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (M) ไม้ร่วมยางพารา (MBa) ตะเคียนร่วมยางพารา (MH) และผักเหลียงร่วมยางพารา (MG) รวมจำนวน 12 แปลง เพื่อศึกษาสมบัติของดินและองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินโดยใช้เทคนิคอินฟราเรด พบว่าสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวในแปลงพืชร่วมยางพาราทุกแปลงมีแนวโน้มสูงกว่าแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว แคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้สูงที่สุดในดินแปลง MG และ MBa แต่คาร์บอนอินทรีย์และองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินไม่ต่างกัน ในดินแปลง MG มีร้อยละการดูดกลืนแสง (%rA) ของหมู่อะลิฟาติก (2,920) สูงใกล้เคียงกับในดินแปลง M แต่หมู่คาร์บอกซิล (1,630) มีแนวโน้มค่อนข้างต่ำใกล้เคียงกับในดินแปลง MH และพบว่าในดินแปลง MG มีแนวโน้มอัตราส่วนคาร์บอกซิลต่ออะลิฟาติกแคบที่สุด ขณะที่ในดินแปลง MBa มีแนวโน้มกว้างที่สุด ซึ่งบ่งบอกได้ว่าแปลง MG มีอัตราการย่อยสลายต่ำที่สุด ดังนั้นการเลือกผักเหลียงเป็นพืชร่วมยางพาราจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพื่อปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน

คำสำคัญ : พืชร่วมยางพารา; องค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์; สมบัติของดิน

\*ผู้รับผิดชอบบทความ : khwunta.k@psu.ac.th

## Abstract

Rubber-based intercropping is a way to raise farmer incomes and increase plant residues, resulting in soil organic carbon accumulation. Organic carbon from different plant residues has different organic carbon compositions. Therefore, properties and organic carbon composition using infrared techniques of soil under rubber monoculture and rubber-based intercropping were studied. Rubber-growing soils were sampled from rubber monoculture (M), rubber-bamboo (MBa), rubber-*Hopea odorata* (MH), and rubber-*Gnetum gnemon* (MG) (12 location). The result showed that soil saturated hydraulic conductivity in the rubber-based intercrop growing soils tended to be higher than that in the rubber monoculture growing soil. The highest values of extractable calcium and magnesium were found in MG and MBa, but the organic carbon and the organic carbon composition were not different. Percent relative absorbance (%rA) of aliphatic (2,920) in MG was similar to M, and %rA of carboxyl (1,630) in MG tended to be relatively low and comparable to MH. However, carboxyl/aliphatic ratio in the MG tended to be the narrowest value, while the MBa tended to be the most comprehensive value. This result indicated that the MG had the lowest degradation rate. Therefore, choosing *Gnetum gnemon* is an interesting plant used as an intercrop with rubber for improving soil fertility.

**Keywords:** rubber-based intercrop; organic carbon composition; soil property

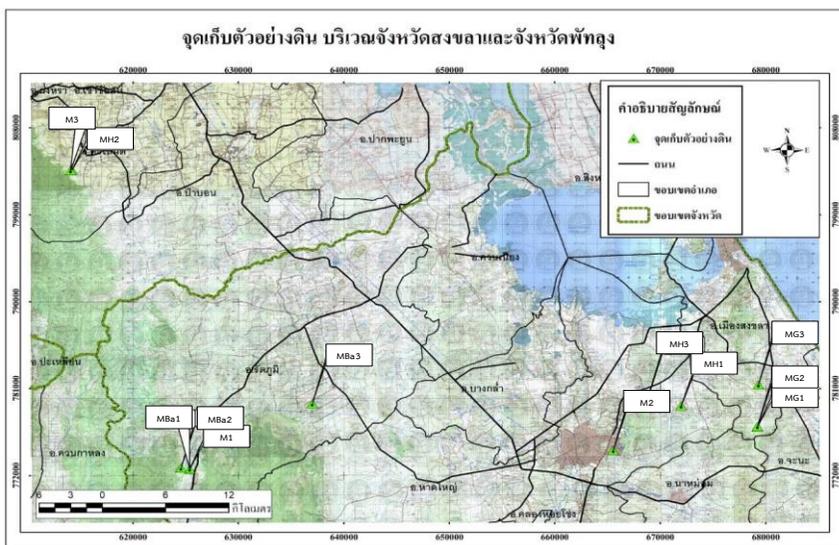
## 1. บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลกมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 และเนื่องด้วยสถานการณ์ราคายางพารามีแนวโน้มลดลงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555-2558 [1] รัฐบาลรวมทั้งหน่วยงานต่าง ๆ เช่น การยางแห่งประเทศไทย กรมวิชาการเกษตร ทั้งในส่วนกลางและศูนย์วิจัยในภูมิภาคให้การสนับสนุนให้มีการปลูกพืชแซมยางพาราและพืชร่วมยางพารา เพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่ชาวสวนยางพารา โดยพืชร่วมยางพาราเป็นพืชที่ปลูกเพื่อให้ได้ผลผลิตพร้อม ๆ กับยางพารา ซึ่งเป็นพืชที่สามารถขึ้นได้ดีในสภาพร่มเงา [1] นอกจากนี้จะช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรแล้ว พืชร่วมยางพาราแต่ละชนิดยังมีประโยชน์ในด้านระบบนิเวศและทางการเกษตร เช่น

การเพิ่มกิจกรรมทางชีวภาพของจุลินทรีย์ และปรับปรุงสมบัติด้านต่าง ๆ ของดิน [2] อีกทั้งยังมีเศษซากใบพืชร่วมยางพาราร่วงหล่นลงสู่ดิน ซึ่งถือเป็นการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุ โดยมีรายงานว่า การปลูกขาร่วมกับยางพารา [3] และการปลูกยางพาราร่วมกับกาแฟ โกโก้ มะเดื่อ และพะยูน [4] ทำให้มีเศษซากกรวดหล่นปกคลุมผิวดินอย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินมีแนวโน้มสูงกว่าการปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว โดยอินทรีย์วัตถุในดินมีบทบาทในการปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ เช่น ทำให้ดินมีโครงสร้างที่ดีขึ้น มีเม็ดดินมากขึ้น ลดความหนาแน่นรวม และช่วยให้ดินอุ้มน้ำได้มากขึ้น ในด้านเคมีของดิน อินทรีย์วัตถุช่วยเพิ่มความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน ด้านทานการเปลี่ยนแปลงพีเอชของดิน และช่วยลดความเป็นพิษของอะลูมิเนียมในดินกรดได้ นอกจากนี้ในอินทรีย์วัตถุ

ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์ในดินได้เป็นอย่างดี [2,5] อีกทั้งคาร์บอนอินทรีย์มีองค์ประกอบหรือหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญที่มีบทบาทในการปรับปรุงสมบัติดังกล่าวข้างต้น ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl) หมู่ฟีนอลิก (phenolic OH) แอลกอฮอล์ิก (alcoholic OH) เอมีน (amine) และเอไมด์ (amide) เป็นต้น โดยหมู่ฟังก์ชันที่กล่าวมาเหล่านี้ประกอบด้วยโครงสร้างที่ซับซ้อน และปัจจุบันการศึกษาเชิงลึกยังเป็นเรื่องที่ซับซ้อนด้วยข้อจำกัดหลายอย่าง แต่ได้รับความนิยมนมากขึ้น โดยสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบแบบโครงสร้างของคาร์บอนอินทรีย์หลายวิธี โดยวิธีการสกัดทางเคมีและวิธีเปคโตรสโคปีที่ค่อนข้างหลากหลาย [6] แต่การใช้เทคนิคทางแสงหรือการใช้อินฟราเรดช่วงกลาง (FTIR spectroscopy) ที่  $400-4,000\text{ cm}^{-1}$  เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่

หลายในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ในดิน [7-12] โดยหลักการทำงาน คือ การทำให้สารอินทรีย์เกิดการดูดกลืนแสงและพันธะภายในโมเลกุลของสารอินทรีย์เกิดแทรกซ้นการสั่น และแสดงออกมาเป็นพื้นที่ (peak area) โดยการสั่นในแต่ละช่วงคลื่นจะจำเพาะเฉพาะหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะนั้น ๆ [7] หรือคิดเป็นร้อยละการดูดกลืนแสงสัมพัทธ์ (% relative absorbance, %rA) [8] ซึ่งคาดว่าจะเห็นถึงความแตกต่างของหมู่ฟังก์ชันที่เกิดจากคาร์บอนอินทรีย์ที่ได้จากเศษซากพืชร่วมยางพาราที่ต่างกัน ดังนั้นจึงสนใจศึกษาสมบัติของดินและองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่มีการปลูกพืชร่วมยางพาราต่างกัน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกพืชร่วมยางพาราที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน



**Figure 1** Study area and sampling locations (M1-3 = rubber monoculture (<sup>1</sup> 27, 15, 30 years respectively), MBa1-3 = rubber-bamboo (<sup>1</sup> 20, 10, 11 years respectively and <sup>2</sup> 13, 10, 4 years respectively), MH1-3 = rubber-*Hopea odorata* (<sup>1</sup> 20, 10, 9 years respectively and <sup>2</sup> 13, 8, 6 years respectively), MG1-3 = rubber-*Gnetum gnemon* (<sup>1</sup> 20, 30, 25 years respectively and <sup>2</sup> 10, 10, 13 years respectively) (<sup>1</sup> = rubber age, <sup>2</sup> = rubber-based intercrop age)

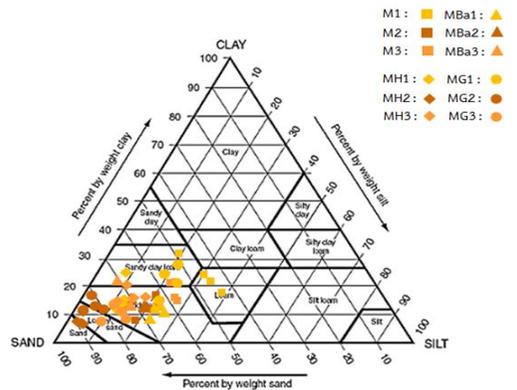
## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

เก็บตัวอย่างดินแบบกระทบโครงสร้างและไม่กระทบโครงสร้าง (soil core) ที่ความลึก 0-10 เซนติเมตร ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561 จากแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (M) แปลงไผ่ร่วมยางพารา (MBa) แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา (MG) และแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (MH) อย่างละ 3 แปลง รวมทั้งสิ้น 12 แปลง ในจังหวัดสงขลาและบางส่วนของจังหวัดพัทลุง ใช้สวนยางพาราหลังเปิดกรีดพันธุ์ RRIM 600 (รูปที่ 1) โดยเลือกพื้นที่ที่มีลักษณะเนื้อดินที่ใกล้เคียงกัน (รูปที่ 2) เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ ความหนาแน่นรวมของดินโดยวิธี core method [13] สภาพน้ำของดินขณะอิ่มตัวโดยวิธี falling head method [14] และเนื้อดิน โดยวิธีปิเปต [15] สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ พีเอช (ดินต่อน้ำ 1:5) สภาพการนำไฟฟ้า (ดินต่อน้ำ 1:5) ไนโตรเจนทั้งหมด (Kjeldahl) คาร์บอนอินทรีย์ (Walkley and Black) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Bray II) แล้ววัดด้วยเครื่อง visible spectrophotometer [16] โปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่สกัดได้ (1 M NH<sub>4</sub>OAc pH 7.0) แล้วนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของโปแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมด้วยวิธี atomic absorption spectrophotometry [16] และศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (FTIR spectroscopy) [9] นำค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนอินทรีย์มาคำนวณร้อยละการดูดกลืนแสงสัมพันธ์ (%rA) [8] และนำข้อมูลสมบัติของดินและองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินของแต่ละพื้นที่ชั่งน้ำหนักเฉลี่ยและวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนทางเดียวด้วยวิธี ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี DMRT

## 3. ผลการทดลอง

### 3.1 สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินบางประการ

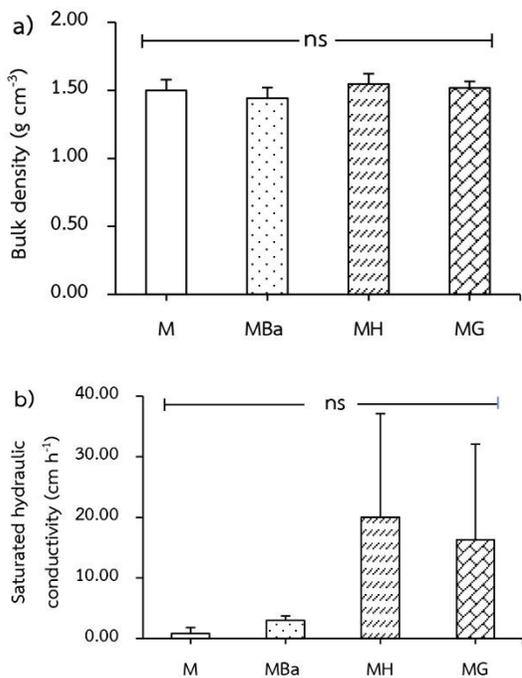
ดินปลูกยางพาราส่วนใหญ่มีเนื้อดินจัดอยู่ในกลุ่มดินเนื้อหยาบ (coarse-textured soil) และบางส่วนเป็นกลุ่มดินเนื้อปานกลาง (medium-textured soil) (รูปที่ 2)



**Figure 2** Particle size distribution (sand, silt and clay) of rubber growing soil under different rubber-based intercrops (M1-3 = rubber monoculture, MBa1-3 = rubber-bamboo, MH1-3 = rubber-*Hopea odorata*, MG1-3 = rubber-*Gnetum gnemon*)

ความหนาแน่นรวมของดินที่ปลูกพืชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด และยางพาราเชิงเดี่ยว พบว่าไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติ แต่แปลงตะเคียนร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพารา (1.55, 1.52, 1.50 และ 1.44 g cm<sup>-3</sup> ตามลำดับ) แต่ทุกแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงกว่ายางพาราเชิงเดี่ยว ยกเว้นแปลงไผ่ร่วมยางพารา (รูปที่ 3a) สภาพการนำ

น้ำของดินขณะอิ่มตัวในแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพารา ทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มสูงกว่าในแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว โดยมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงไผ่ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (20.02, 16.31, 2.98 และ 0.82 cm h<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (รูปที่ 3b)



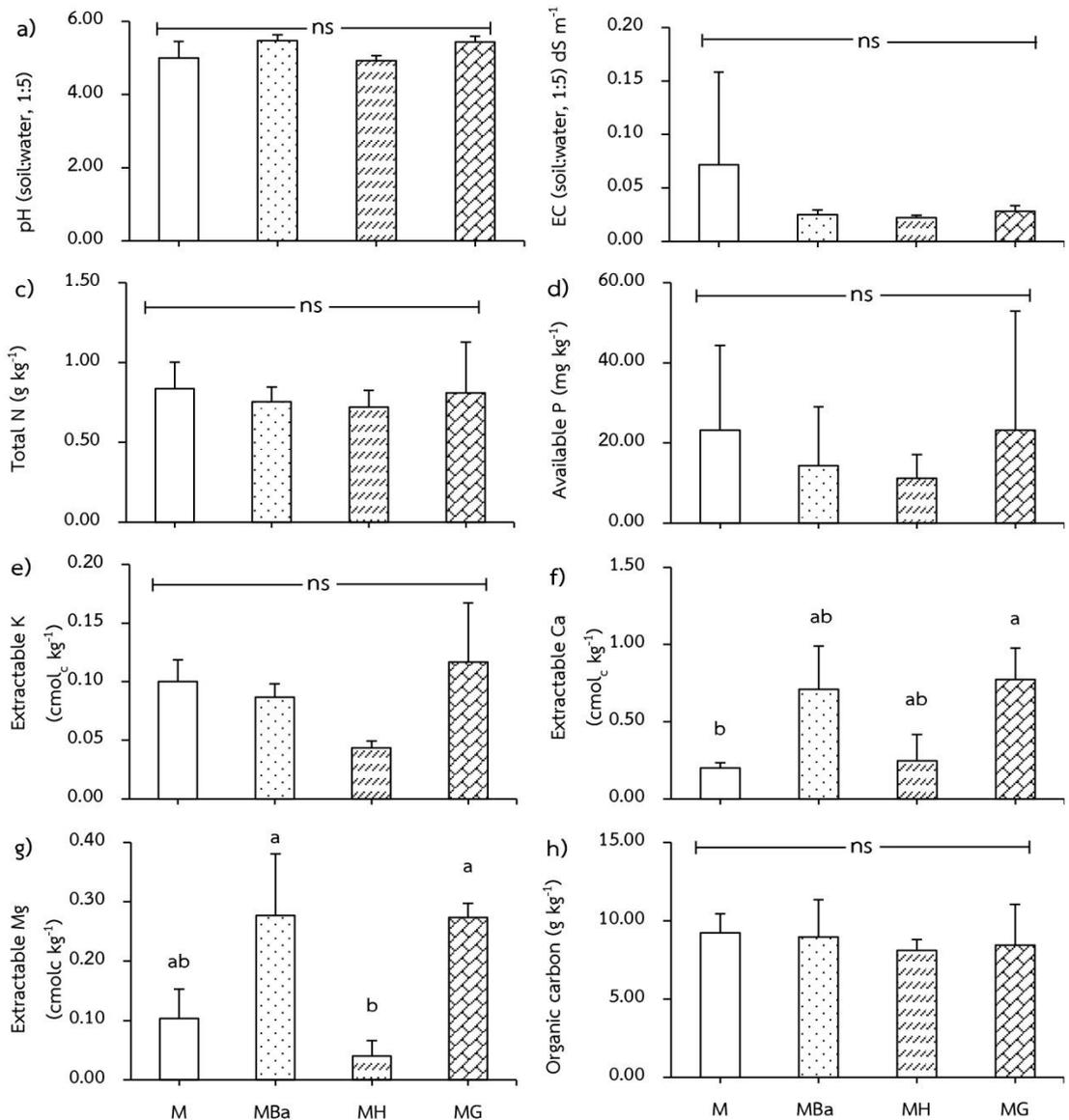
**Figure 3** Bulk density (a) and saturated hydraulic conductivity (b) of rubber growing soil under different rubber-based intercrops [M = rubber monoculture, MBa = rubber-bamboo, MH = rubber-*Hopea odorata*, MG = rubber-*Gnetum gnemon*; bar = S.D.; ns = not significant difference ( $p > 0.05$ ) by DMRT]

พีเอชของดินในทุกแปลงไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยในแปลงไผ่ร่วมยางพาราและผักเหลียง

ร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมา คือ แปลงยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (5.48, 5.44, 5.00 และ 4.93 ตามลำดับ) (รูปที่ 4a) สภาพการนำไฟฟ้าของดินทุกแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพารามีแนวโน้มต่ำกว่ายางพาราเชิงเดี่ยว แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ โดยมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงไผ่ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.072, 0.028, 0.025 และ 0.022 dS m<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (รูปที่ 4b) ไนโตรเจนทั้งหมดในดินในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวมีแนวโน้มสูงกว่าในแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราอื่น ๆ รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงไผ่ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.84, 0.81, 0.75 และ 0.72 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (รูปที่ 4c) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (23.19, 23.16, 14.35 และ 11.18 mg kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (รูปที่ 4d) โพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพาราและแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพารา และแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.12, 0.10, 0.09 และ 0.04 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (รูปที่ 4e) ขณะที่แคลเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพารา แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (0.77, 0.71, 0.25 และ 0.20 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) (รูปที่ 4f) แมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุดในแปลงไผ่ร่วมยางพาราและแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา รองลงมา คือ แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว และต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (0.28, 0.27, 0.10 และ

0.04 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (รูปที่ 4g) และคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินมีแนวโน้มสูงที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพารา

แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (9.23, 8.97, 8.45 และ 8.11 g kg<sup>-1</sup> ตามลำดับ) (รูปที่ 4h)

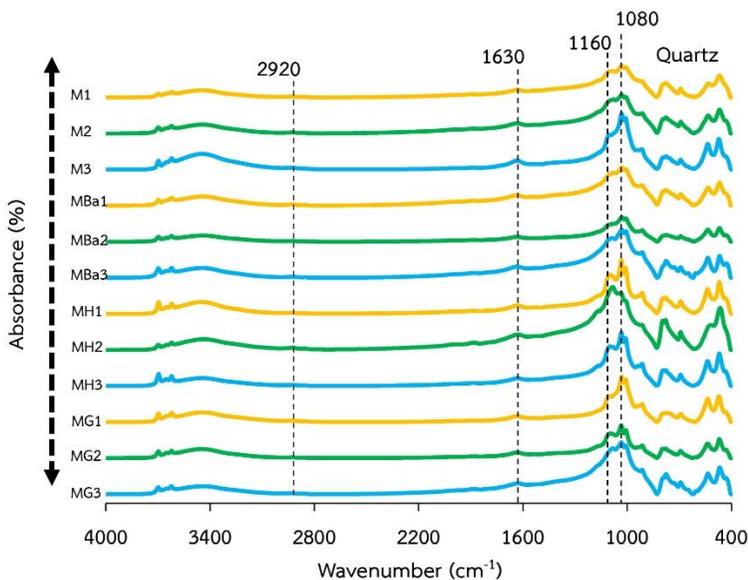


**Figure 4** Soil pH (a), EC (b), total N (c), available P (d), extractable K, Ca and Mg (e, f, g respectively) and total organic carbon (h) of rubber growing soil under different rubber-based intercrops [M = rubber monoculture, MBa = rubber-bamboo, MH = rubber-*Hopea odorata*, MG = rubber-*Gnetum gnemon*; bar = S.D.; ns = not significant difference (p > 0.05) by DMRT; different letters mean significant differences (p ≤ 0.05) by DMRT]

### 3.2 องค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

ทุกแปลงพบหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอนอินทรีย์ที่ค่อนข้างเหมือนกันทั้งหมด สรุปรวมหมู่ฟังก์ชันที่พบในดินปลูกยางพารา ได้แก่ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ หรือหมู่ไฮดรอกซิลของแร่ดินเหนียว ( $3,800-3,200\text{ cm}^{-1}$ ) [14] อะลิฟาติก ( $3,050-2,800\text{ cm}^{-1}$ ) [6,8,10-12] คาร์บอกซิล ( $1,630\text{ cm}^{-1}$ ) [6,8,11,12] พันธะ

C-O ของพอลิแซ็กคาไรด์ ( $1,182-1,142\text{ cm}^{-1}$ ) [6,17] และอิทธิพลของควอตซ์ หรือพันธะ C-O ของเซลลูโลส ( $1,080-1,000\text{ cm}^{-1}$ ) [8,12] แต่ควอตซ์จะเด่นชัดมากกว่า  $1,030-1,020\text{ cm}^{-1}$  [10] และช่วงคลื่นที่ต่ำกว่า  $1,000\text{ cm}^{-1}$  จะเป็นอิทธิพลของแร่ดินเหนียวและควอตซ์ [8] (รูปที่ 5)



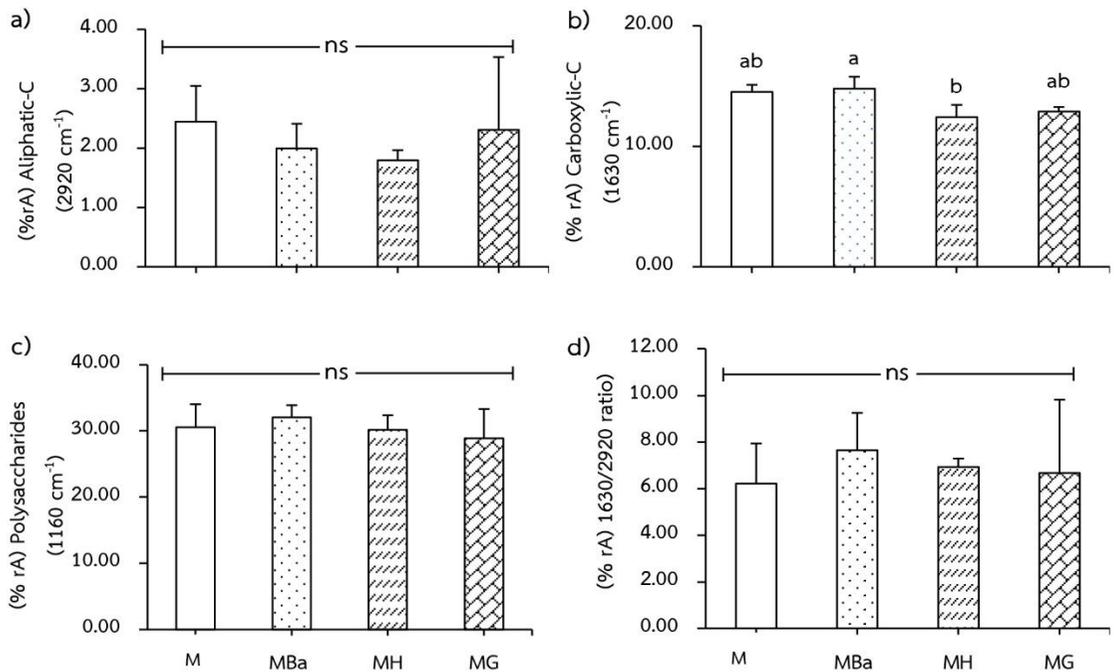
**Figure 5** FTIR spectra of rubber growing soil under different rubber-based intercrops. The band assignments are  $2,920\text{ cm}^{-1}$  for aliphatic-C,  $1,630\text{ cm}^{-1}$  for carboxylic-C,  $1,160\text{ cm}^{-1}$  for polysaccharides and  $1,080\text{ cm}^{-1}$  for quartz or cellulose C-O. (M1-3 = rubber monoculture, MBa1-3 = rubber-bamboo, MH1-3 = rubber-*Hopea odorata*, MG1-3 = rubber-*Gnetum gnemon*)

ถึงแม้ว่าจะพบหมู่ฟังก์ชันที่เหมือนกันทั้งในดินปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวและดินปลูกยางพาราที่ปลูกพืชร่วมยางพารา แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับร้อยละของการดูดกลืนแสง (%rA) [8] โดยใช้ช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ดังนี้ อะลิฟาติก ( $2,920\text{ cm}^{-1}$ ) คาร์บอกซิล ( $1,630\text{ cm}^{-1}$ ) พอลิแซ็กคาไรด์ ( $1,160\text{ cm}^{-1}$ ) และควอตซ์และเซลลูโลส ( $1,080\text{ cm}^{-1}$ ) พบว่าดินในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารามีแนวโน้มอะลิ

ฟาติก ( $2,920\text{ cm}^{-1}$ ) สูงใกล้เคียงกับแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงไผ่ร่วมยางพารา และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (2.44, 2.31, 1.99 และ 1.80 % ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (รูปที่ 6a) แปลงไผ่ร่วมยางพารามีหมู่คาร์บอกซิล ( $1,630\text{ cm}^{-1}$ ) สูงที่สุดใกล้เคียงกับแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา

(14.79, 14.53, 12.89, 12.42 % ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (รูปที่ 6b) และพบว่าแปลงไม้ร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุด รองลงมา คือ แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว แปลงตะเคียนร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา (32.04, 30.56, 30.18, 28.88 % ของผลรวมค่าการดูดกลืนแสง ตามลำดับ) (รูปที่ 6c) และสำหรับ %rA ที่  $1,080\text{ cm}^{-1}$  นั้น

จะเป็นช่วงคลื่นที่เกี่ยวกับควอตซ์มากกว่าเซลลูโลส ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติ และอัตราส่วน  $1630/2920\text{ cm}^{-1}$  มีแนวโน้มช่วงกว้างที่สุดในแปลงไม้ร่วมยางพารา (7.65) รองลงมา คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพาราและแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา (6.92 และ 6.68) และมีแนวโน้มแคบที่สุดในแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (6.22) (รูปที่ 6d)



**Figure 6** Mean values for relative proportions (%rA) of aliphatic-C ( $2,920\text{ cm}^{-1}$ ) (a), carboxylic-C ( $1,630\text{ cm}^{-1}$ ) (b), polysaccharides ( $1,160\text{ cm}^{-1}$ ) (c) and 1,630/2,920 ratio (d) [M = rubber monoculture, MBa = rubber-bamboo, MH = rubber-*Hopea odorata*, MG = rubber-*Gnetum Gnemon*; bar = S.D.; ns = not significant difference ( $p > 0.05$ ) by DMRT; different letters mean significant differences ( $p \leq 0.05$ ) by DMRT]

## 4. วิจารณ์

### 4.1 สมบัติทางฟิสิกส์และเคมีบางประการของดิน

การปลูกพืชร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยว ไม่ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินแตกต่าง

กันทางสถิติ โดยแปลงตะเคียนร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงกว่าแปลงผักเหลียงร่วมยางพารา แปลงยางพาราเชิงเดี่ยว และมีแนวโน้มต่ำที่สุดในแปลงไม้ร่วมยางพารา (1.55, 1.52, 1.50 และ  $1.44\text{ g cm}^{-3}$  ตามลำดับ) (รูปที่ 3a) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ยทั่วไปของกลุ่ม

ดินเนื้อหยาบ คือ 1.2-1.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [18] เนื่องจากเนื้อดินส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มดินเนื้อหยาบ (รูปที่ 2) สอดคล้องกับการศึกษาเนื้อดินที่ปลูกยางพาราในประเทศไทย พบว่าส่วนใหญ่เป็นดินเนื้อหยาบ [19] และสูงกว่าในกลุ่มดินเนื้อปานกลาง คือ 1.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [5] ทั้งนี้อาจเพราะอิทธิพลของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่มีแนวโน้มความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ทำให้ความหนาแน่นรวมของดินไม่ต่างกันมาก แต่มีแนวโน้มสอดคล้องกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินแต่ละแปลง (รูปที่ 4h) การปลูกพืชร่วมยางพาราทำให้สภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว โดยแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวมีสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัว ( $0.82 \text{ cm h}^{-1}$ ) อยู่ในช่วงช่วงปานกลาง คือ 0.5-2.0 เซนติเมตรต่อชั่วโมง และแปลงพืชร่วมยางพาราทุกแปลง ( $2.98\text{-}20.02 \text{ cm h}^{-1}$ ) อยู่ในช่วงปานกลาง (ไม่รวมยางพารา) คือ 2.0-6.2 เซนติเมตรต่อชั่วโมง และอยู่ในช่วงเร็วถึงเร็วมาก (ตะเคียนร่วมยางพาราและผักเหลียงร่วมยางพารา) คือ 12.50-25.0 เซนติเมตรต่อชั่วโมง [20] (รูปที่ 3b) อาจเนื่องจากการปลูกพืชร่วมยางพาราทำให้มีปริมาณของรากหรือเศษซากรากเป็นอินทรีย์วัตถุที่ช่วยทำให้ดินมีโครงสร้างมากขึ้น ประกอบกับสารคัดหลั่งต่าง ๆ ที่พืชหลั่งออกมา เกิดเป็นช่องว่างที่ต่อเนื่องของเม็ดดิน ทำให้การแทรกซึมของน้ำง่ายกว่าแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว และสำหรับแปลงตะเคียนร่วมยางพาราและผักเหลียงร่วมยางพาราที่มีสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกแปลง และอาจเนื่องจากเนื้อดินเป็นดินเนื้อหยาบทำให้มีช่องว่างที่ต่อเนื่องมากกว่ากลุ่มดินเนื้อปานกลาง (ค่าเฉลี่ยแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว) (รูปที่ 2) แต่สำหรับแปลงไม่รวมยางพารากลับพบว่าสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวต่ำใกล้เคียงกับแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว เนื่องจาก

ไผ่มีเหง้า (rhizome) อยู่ใต้ดิน ประกอบด้วยส่วนของข้อ (node) อัดแน่น และมีรากฝอยกระจายอยู่เป็นจำนวนมากในหน้าตัดดิน [21] อาจทำให้ข้อขวางช่องว่างที่ต่อเนื่องภายในหน้าตัดดินได้

การปลูกพืชร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยวไม่ทำให้พีเอชของดินแตกต่างกันทางสถิติ (รูปที่ 4a) และอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับดินปลูกยางพารา [19] สภาพการนำไฟฟ้าในแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราทุกแปลงมีแนวโน้มต่ำกว่าในแปลงที่ปลูกยางพาราเชิงเดี่ยว และเป็นดินที่ไม่มีผลจากเกลือ [22] ไนโตรเจนทั้งหมดในแปลงปลูกพืชร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (รูปที่ 4c) และอยู่ในระดับต่ำ [19] ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยวไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่แปลงผักเหลียงร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุด (รูปที่ 4d) และอยู่ในระดับเหมาะสม [19] สำหรับโพแทสเซียมที่สกัดได้ในดินพบว่า มีเพียงแปลงผักเหลียงร่วมยางพาราที่มีแนวโน้มสูงที่สุด (รูปที่ 4e) ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง และแปลงอื่น ๆ อยู่ในระดับต่ำ [19] สอดคล้องกับปริมาณกับความเข้มข้นของฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมทั้งหมดในใบที่ร่วงหล่น (ไม่ได้แสดงข้อมูล) แคลเซียมที่สกัดได้ในแปลงผักเหลียงร่วมยางพาราและไม่รวมยางพารามีค่าสูงที่สุด (รูปที่ 4f) และอยู่ในระดับปานกลาง [19] และแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวและแปลงตะเคียนร่วมยางพาราอยู่ในระดับต่ำ [19] แมกนีเซียมที่สกัดได้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับแคลเซียม (รูปที่ 4g) ถึงแม้จะอยู่ในระดับต่ำทั้งหมด [19] แต่ในแปลงผักเหลียงร่วมยางพาราและไม่รวมยางพารายังคงมีแมกนีเซียมที่สกัดได้สูงที่สุด แต่แมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินแปลงตะเคียนต่ำที่สุด (รูปที่ 4h) อาจเนื่องจากตะเคียนเป็นไม้ที่ไม่ค่อยพลัดใบ โดยธรรมชาติแล้วจัดอยู่ในไม้กลุ่มที่ไม่พลัดใบ [23] ซึ่งไม้กลุ่มไม่พลัดใบอาจ

มีการสะสมทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียม เนื่องจากอายุใบที่ยาวนานกว่าพืชที่ผลัดใบและลักษณะใบที่แข็งและเหนียวของตะเคียนอาจเกิดจากอิทธิพลของสารกลุ่มแคลเซียมออกซาเลต ซึ่งพบว่าในพืชที่อายุมากและมีอายุใบยาวนาน เพราะโดยส่วนใหญ่พืชจะมีการสะสมแคลเซียมและแมกนีเซียมในรูปของผลึกเกลือ ตั้งแต่ผนังเซลล์จนสะสมมากในแนวคิวโอลและทั่วทั้งแผ่นใบ เนื่องจากในใบแก่จะมีคิวโอลขนาดใหญ่ [24] และแมกนีเซียมที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ที่ประมาณกันว่ามีมากถึงร้อยละ 2.7 ที่เป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ [18] และอาจมีการดูดใช้สะสมในส่วนอื่น ๆ มากเช่นกัน และการที่ตะเคียนมีการผลัดใบที่น้อยมากจึงทำให้ทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินต่ำที่สุด เนื่องจากการดูดใช้สะสมและการหมุนเวียนธาตุอาหารจากการทิ้งใบ และสำหรับคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่คาดว่าจะได้รับอิทธิพลจากเศษซากพืชร่วมยางพารา แต่ผลที่ได้กลับไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (รูปที่ 4h) ทั้งนี้อาจเนื่องจากแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (M1) มีเนื้อดินที่ค่อนข้างอยู่ในกลุ่มดินเนื้อปานกลาง (รูปที่ 2) สอดคล้องกับความเข้มข้นของอินทรีย์วัตถุในดินเนื้อปานกลาง พบว่าอินทรีย์วัตถุจะมีปริมาณสูงกว่าในดินเนื้อหยาบ [5] และอยู่ในระดับต่ำ [19] และอาจเนื่องมาจากองค์ประกอบทางชีวเคมีและสัดส่วนของธาตุอาหารที่ต่างกันของเศษซากใบพืชร่วมยางพาราแต่ละชนิด (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ลิกลิน และเซลลูโลส) ซึ่งมีผลต่อการย่อยสลายทางเคมีและชีวภาพ [25]

#### 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของคาร์บอนอินทรีย์ในดินปลูกยางพารา

ศึกษาองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในดินด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี พบว่าทุกแปลงที่ปลูกพืชร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยว พบหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของคาร์บอน

อินทรีย์ไม่มีความแตกต่างกัน (รูปที่ 5) แต่เมื่อเปรียบเทียบเป็นร้อยละการดูดกลืนแสงของหมู่เอลิฟาติก ( $2,920\text{ cm}^{-1}$ ) พบว่าแปลงผักเหลียงร่วมยางพารามีแนวโน้มสูงที่สุดใกล้เคียงกับแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว (รูปที่ 6a) เนื่องจากแปลงยางพาราเชิงเดี่ยวมีเนื้อดินค่อนข้างเป็นกลุ่มเนื้อดินปานกลางที่มีความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์สูง จึงทำให้มีกลุ่มเอลิฟาติกสูงด้วย ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าแปลงผักเหลียงร่วมยางพาราค่อนข้างจะมีองค์ประกอบโมเลกุลและพันธะทางเคมีของคาร์บอนอินทรีย์ (aliphatic linkage) จำนวนมากกว่าคาร์บอนอินทรีย์จากพืชร่วมยางพาราอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาร้อยละการดูดกลืนแสงหมู่คาร์บอกซิล ( $1,630\text{ cm}^{-1}$ ) ร่วมด้วย พบว่าแปลงไร่ร่วมยางพารามีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพารา และต่ำที่สุดในแปลงตะเคียนร่วมยางพารา (รูปที่ 6b) ข้อมูลดังกล่าวอาจทำนายได้ว่าการปลูกพืชร่วมยางพาราแต่ละชนิดจะมีการย่อยสลายของเศษซากที่ต่างกัน โดยที่แปลงไร่ร่วมยางพารามีแนวโน้มเกิดกิจกรรมการย่อยสลายได้สูงที่สุด รองลงมา คือ แปลงผักเหลียงร่วมยางพาราและต่ำที่สุด คือ แปลงตะเคียนร่วมยางพารา เนื่องจากคาร์บอกซิลิกและอะโรมาติกที่เพิ่มขึ้นจะเป็นตัวสะท้อนถึงกระบวนการเกิดฮิวมัส [8] สอดคล้องกับการศึกษาการใช้ที่ดินที่ต่างกัน (ทุ่งหญ้า ป่าไม่สมบูรณ์ และป่าสมบูรณ์) พบว่าในทรีตเมนต์ที่เป็นป่าสมบูรณ์จะมีหมู่คาร์บอกซิลิกและอะโรมาติกสูงกว่าในทรีตเมนต์อื่น ๆ [26] และสอดคล้องกับพอลิแซ็กคาไรด์ ( $1,160\text{ cm}^{-1}$ ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ย่อยสลายได้ง่าย โดยพบว่าแปลงไร่ร่วมยางพารามีแนวโน้มค่อนข้างสูงที่สุด (รูปที่ 6c) เหมาะแก่การย่อยสลายของจุลินทรีย์ ซึ่งโดยทั่วไปจุลินทรีย์จะย่อยสลายองค์ประกอบทางชีวเคมีที่ย่อยสลายได้ง่ายก่อน และยังสามารถทำนายได้ว่าแปลงผักเหลียงร่วมยางพารามีการย่อยสลายต่ำที่สุด ถึงแม้ว่าคาร์บอกซิล

จะมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย (รูปที่ 6b) แต่เมื่อนำมาหาอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกิลต่ออะลิฟาติก ( $1,630/2,920 \text{ cm}^{-1}$ ) จะสามารถบ่งบอกได้ว่าการบ่มดินร่วมกับเศษซากใบไม้มีอัตราการย่อยสลายสูงที่สุดเนื่องจากอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของคาร์บอนกิลต่ออะลิฟาติกแสดงให้เห็นถึงปริมาณคาร์บอนกิลที่เกิดขึ้นต่อปริมาณอะลิฟาติกที่ลดลงจากการย่อยสลาย ขณะที่แปลงผักเหลียงร่วมยางพารามีอัตราส่วนของคาร์บอนกิลต่ออะลิฟาติกมีแนวโน้มต่ำที่สุด (รูปที่ 6d) สอดคล้องกับผลการศึกษามูฟงักชันในดินอินทรีย์พบว่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกิลต่ออะลิฟาติกที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงการย่อยสลายในอัตราที่สูงขึ้น [8] แต่ยังไม่มียผลการศึกษาคัดเจนเกี่ยวกับบทบาทหน้าที่จำเพาะของมูฟงักชันชนิดต่าง ๆ ของสารอินทรีย์ในดินเหล่านี้ โดยทั่วไปจะห่มคาร์บอนกิลจะมีผลต่อความต้านทานการเปลี่ยนแปลงเพื่อของดิน ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของอินทรีย์วัตถุ และความต้องการปุ๋ย เป็นต้น [6]

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์จะไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มูฟงักชันของสารอินทรีย์ในดินที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนอินทรีย์ในกลุ่มต่าง ๆ มีแนวโน้มต่างกัน ซึ่งอาจทำนายได้ว่าแปลงที่ปลูกไม้ร่วมยางพาราจะทำให้เกิดกิจกรรมการย่อยสลายที่สูงกว่าพืชร่วมอื่น ๆ และแปลงที่ปลูกผักเหลียงร่วมยางพาราจะมีอัตราการย่อยสลายที่ต่ำกว่าในทุกแปลง แต่กิจกรรมการย่อยสลายไม่ได้บ่งบอกถึงการปลดปล่อยธาตุอาหารในรูปที่เป็นประโยชน์ว่าจะมากตามไปด้วย

## 5. สรุป

การปลูกพืชร่วมยางพาราและยางพาราเชิงเดี่ยวไม่ได้มีผลทำให้สมบัติของดินต่างกันเด่นชัด แต่มีแนวโน้มที่ทำให้สมบัติบางประการของดินต่างกัน

โดยพบว่าการปลูกพืชร่วมยางพาราทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มสภาพการนำน้ำของดินขณะอิ่มตัวสูงกว่าแปลงยางพาราเชิงเดี่ยว การปลูกผักเหลียงและไม้ร่วมยางพารามีแนวโน้มทำให้ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่สกัดได้ในดินสูงที่สุด และพบว่าองค์ประกอบของคาร์บอนอินทรีย์ในแปลงผักเหลียงร่วมยางพารามีแนวโน้มห่มอะลิฟาติกสูงที่สุด คาร์บอนกิลพอลิแซ็กคาไรด์ และอัตราส่วนคาร์บอนกิลต่ออะลิฟาติกมีแนวโน้มต่ำที่สุด ซึ่งทำนายได้ว่ามีการย่อยสลายในอัตราที่ต่ำหรือมีการสูญเสียคาร์บอนออกไปจากดินน้อยที่สุด ข้อมูลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าการเลือกผักเหลียงเป็นพืชร่วมยางพาราเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจเพื่อรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจเลือกพืชเพื่อเป็นพืชร่วมยางพาราขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะผลตอบแทนที่สามารถให้กำไรคุ้มทุนต่อการลงทุนในระยะยาว ซึ่งเกษตรกรควรพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนานวัตกรรมยางพารา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สัญญาเลขที่ NAT6103435

## 7. References

- [1] Department of Agriculture, The Choice for Rubber Intercropping and Income Generating Activities, Available Source: <http://www.doa.go.th/share/attachment.php?aid=1193>, April 14, 2017. (in Thai)
- [2] Sparks, D., 2003, Environmental Soil Chemistry, 2nd Ed., Academic Press, Amsterdam, 352 p.
- [3] 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, *J. Trop. Ecol.* 48: 201-207.
- [4] 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.
- [5] Brady, N.C. and Weil, R.R., 2010, *Elements of the Nature and Properties of Soils*, 3rd Ed., Pearson, New Jersey, 614 p.
- [6] Stevenson, F.J., 1994, *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 496 p.
- [7] 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 Biol. Biochem.* 76: 100-108.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Nguyen, T.T., Janikan, L.J. and Raupach, M., 1991, Diffuse reflectance infrared Fourier transform (DRIFT) spectroscopy in soil studies, *Aust. J. Soil Res.* 29: 49-67.
- [11] Baes, A.U. and Bloom, P.R., 1989, Diffuse reflectance and transmission Fourier transform infrared (DRIFT) spectroscopy of humic and fulvic acids, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 695-700.
- [12] 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 Sci. Soc. Am. J.* 75: 568-579.
- [13] Blake, G.R. and Hartge, K.H., 1986, Bulk Density, pp. 363-382, In Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison.
- [14] Youngs, E.G., 2001, Hydraulic Conductivity of Saturated Soil, pp. 141- 181., In Smith, K.A. and Mullins, C.E. (Eds.), *Soil and Environmental Analysis: Physical Methods*, Marcel Dekker, Inc., New York.
- [15] Day, P.R., 1965, Particle fractionation and particle size analysis, pp. 545- 567., In Black, C.A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*.

- Part 1: Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison.
- [16] Ontong, J. and Poonpakdee, C., 2014, Soil and Plant Analysis Manual, Department of Earth Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla, 179 p. (in Thai)
- [17] 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.
- [18] Soil Science Department Teachers Staff, 2005, Principle of Soil Science, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 547 p. (in Thai)
- [19] Kungpisadan, N., 2011, The Recommendation for Using Rubber Fertilizer Year 2011, Rubber Research Institute of Thailand, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. (in Thai)
- [20] Hazelton, P.A. and Murphy, B.W., 2007, Interpreting Soil Test Results: What Do all the Numbers Mean?, 2nd Ed., Csiro Publishing, Australia, 151 p.
- [21] Anantachot, A., 1991, Bamboos in Thailand, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, 74 p. (in Thai)
- [22] Suwanwong, S., 2001, Plant Nutrient Analysis, Department of Botany, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok, 141 p. (in Thai)
- [23] Santisuk, T., 2006, Forest of Thailand, Meb's Pick, Bangkok, 124 p. (in Thai)
- [24] Osotsapar, Y., 2015, Plant Nutrient, Kasetsart University, Bangkok, 548 p. (in Thai)
- [25] 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 Discuss* 6: 197-205.
- [26] 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.