

ผลของรูปแบบการปลูกยางพาราต่อตัวชี้บอคุณภาพดินด้านการเก็บกักน้ำของดินร่วนเนื้อหยาบ

Effect of Rubber Plantation Patterns on Soil Quality Indicator as Water Storage of Coarse-loamy Textured Soils

จุฑามาศ แก้วมโน

Chutharmard Kaewmano

สาขานวัตกรรมเกษตรและการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90110

Agricultural Innovation and Management Division, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University

Hat Yai Campus, Songkhla, Thailand 90110

Corresponding author: chutharmard.k@psu.ac.th

Received: July 02, 2020

Revised: January 21, 2021

Accepted: March 16, 2021

Abstract

Soil quality, particularly in the root zone strongly affected the crop production and ecosystem health and it is easy to change by land use and management. The purpose of the study was to investigate the effects of rubber plantation pattern on soil physical quality indicators in the aspect of water storage of coarse-loamy textured soils. Soils were selected from fields of polyculture, mixed culture and monoculture rubber plantations. Soil physical and chemical properties were analyzed. Results of the study revealed that monoculture rubber plantation significantly increased bulk density in the subsoils (25-50 cm) to a high level (1.64 g cm^{-3}). Whereas, polyculture and mixed-culture rubber plantations enhanced soil porosity of both topsoils (0-25 cm) and subsoils which maintained their bulk densities ($1.35\text{-}1.60 \text{ g cm}^{-3}$) at the optimum range for plant growth and promoting water storage of soils. Organic matter content ($6.79\text{-}15.79 \text{ g kg}^{-1}$), total porosity (37-48%), available water capacity ($80\text{-}90 \text{ mm m}^{-1}$) and water holding capacity at depth of 0-50 cm (184-206 mm) did not significantly differ for different patterns of rubber plantation. Therefore, polyculture and mixed-culture rubber plantations which are conservation soil management, best promoted soil water storage quality. Bulk density and organic matter are important factors controlling water storage quality of coarse-loamy textured soils.

Keywords: soil quality indicator, soil water, plantation pattern, rubber tree

บทคัดย่อ

คุณภาพดินในเขตรากพืชมีอิทธิพลมากต่อการให้ผลผลิตของพืชและสุขภาพระบบนิเวศ และมีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามรูปแบบการใช้และจัดการดิน จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของรูปแบบการปลูกยางพาราต่อสมบัติดินทางกายภาพและเคมี ที่ใช้เป็นตัวชี้บอกคุณภาพดินด้านการกักเก็บน้ำในดินร่วนที่มีเนื้อหยาบ โดยเก็บดินที่ปลูกยางพาราต่างกัน 3 รูปแบบ ซึ่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันในพื้นที่เดียวกันประกอบด้วย การปลูกแบบผสมผสาน แบบมีพืชร่วม และแบบเชิงเดี่ยว และวิเคราะห์สมบัติดินทางกายภาพและเคมี ผลการศึกษาพบว่า การปลูกยางพาราแบบเชิงเดี่ยวทำให้ชั้นดินล่างมีความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับสูง (1.64 กรัม/ลบ.ซม.) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการปลูกยางพาราแบบผสมผสานและแบบมีพืชร่วม ช่วยส่งเสริมความพรุนรวมทั้งในชั้นดินบน (0-25 ซม.) และดินล่าง (25-50 ซม.) ซึ่งช่วยรักษาความหนาแน่นรวมของดิน (1.35-1.60 กรัม/ลบ.ซม.) ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ส่งเสริมความสามารถในการเก็บกักน้ำ ดินปลูกยางพาราทุกรูปแบบมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (6.79-15.79 กรัม/กก.) ความพรุนรวม (ร้อยละ 37-48) ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ (80-90 มม./เมตร) และความจุการอุ้มน้ำภายในความลึก 50 ซม. (184-206 มม.) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการจัดการดินปลูกยางพาราเชิงอนุรักษ์ในลักษณะแบบผสมผสานและแบบมีพืชร่วม ช่วยส่งเสริมคุณภาพดินด้านการเก็บกักน้ำโดยปริมาณอินทรีย์วัตถุและความหนาแน่นรวมดินเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมคุณภาพดินด้านการเก็บกักน้ำของดินร่วนเนื้อหยาบที่ใช้ปลูกยางพารา

คำสำคัญ: ตัวชี้บอกคุณภาพดิน น้ำในดิน รูปแบบการปลูกยางพารา

คำนำ

ดินปลูกยางพาราส่วนใหญ่ในประเทศไทยมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ และมีเนื้อดินตั้งแต่กลุ่มเนื้อหยาบถึงเนื้อละเอียด (Rubber Research Institute, 2010) ธรรมชาติของกลุ่มดินเนื้อหยาบมักมีความสามารถในการเก็บกักน้ำส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่ากลุ่มดินเนื้อละเอียด (Lal and Shukla, 2004) การปลูกยางพารามี 2 ลักษณะ คือ การปลูกยางพาราแบบเชิงเดี่ยวซึ่งมีการปลูกยางพาราเพียงอย่างเดียว และแบบอนุรักษ์โดยมีการปลูกพืชร่วมกับยางพาราในลักษณะของพืชคลุมดินพืชแซม และพืชร่วมที่เป็นไม้ผลและไม่ยืนต้น (วนเกษตร) แต่ส่วนใหญ่เป็นการปลูกแบบเชิงเดี่ยว (Kungpisdan, 2009) การปลูกยางพาราดิตต่อกันเป็นเวลานานในรูปแบบการปลูกที่แตกต่างกันมีผลต่อสมบัติของดินในด้านเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของน้ำและเก็บกักน้ำในดิน (Boonyawat and Kongsom, 1989) และการลดลง (Zhang *et al.*, 2007) และการเพิ่มขึ้น (Njar *et al.*, 2011) ของปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดิน โดยเฉพาะปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่ใช้เป็นตัวชี้บอกคุณภาพดินทางฟิสิกส์

คุณภาพดินในแง่ของการผลิตพืชทางการเกษตรคือ ความสามารถของดินในการทำหน้าที่เพื่อให้พืชเจริญเติบโตโดยไม่ทำให้เกิดการเสื่อมโทรมของดิน หรือเกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม (Gregorich and Carter, 1997) โดยประเมินได้จากตัวชี้วัดซึ่งเป็นสมบัติของดินที่ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากการใช้และการจัดการดินในแต่ละช่วงเวลาและพื้นที่ (Blanco and Lal, 2008) ด้วยเหตุดังกล่าว คุณภาพดินในเขตรากพืชจึงมีผลกระทบอย่างมากต่อการผลิตพืชและคุณภาพของระบบนิเวศ โดยคุณภาพดินทางฟิสิกส์มีอิทธิพลต่อการเก็บกักและส่งผ่านน้ำ การถ่ายเทอากาศ และความแข็งแรง

ของดิน น้ำในดินและการเคลื่อนที่ของน้ำในเขตรากช่วยให้พืชได้รับทั้งน้ำและธาตุอาหาร มีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนการดูดซับและระบายน้ำลงสู่ชั้นดินล่างและเป็นน้ำใต้ดินซึ่งมีส่วนช่วยลดการกร่อนของดิน (Gregorich and Carter, 1997) การกร่อนดินในพื้นที่ปลูกยางพาราทำให้สูญเสียดินและธาตุอาหาร (Kiriratnikom and Photisuntorn, 2011) และยังเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ผลผลิตภาพของดินลดลง โดยส่วนหนึ่งเนื่องจากดิน (ชั้นบน) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงทำให้ลดคุณภาพของดินในด้านการเก็บกักน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Alliaume *et al.*, 2013) สมบัติที่สำคัญของดินที่มีศักยภาพในการใช้เป็นตัวชี้บอกคุณภาพดินทางฟิสิกส์ในด้านการเก็บกักน้ำของดิน ได้แก่ เนื้อดิน ความหนาแน่นรวม ความพรุนรวม โครงสร้างดิน ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Topp *et al.*, 1997) ซึ่งสมบัติส่วนใหญ่เหล่านี้เปลี่ยนแปลงได้ง่ายตามการใช้และจัดการดิน

ปัจจุบันได้มีการคำนึงถึงความมั่นคงด้านอาหารเนื่องจากสถานการณ์ความเสื่อมโทรมของดินและต้นทุนปัจจัยการผลิตทางการเกษตรที่สูงขึ้น ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ในเขตร้อนมีฤดูร้อน (แห้งแล้ง) ยาวนาน การระเหยของน้ำเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำที่กักเก็บในดินลดลง ปัญหาเหล่านี้มีผลกระทบต่อคุณภาพของดินที่ใช้ปลูกยางพารา ประกอบกับดินในพื้นที่ภาคใต้ที่มีความเหมาะสมสำหรับปลูกยางพารามีอยู่อย่างจำกัด และทั้งหมดอยู่ในพื้นที่ตอนที่มีความลาดตั้งแต่ต่ำถึงสูง จึงส่งเสริมให้ผิวหน้าดินถูกกร่อนได้มาก ปัจจุบันข้อมูลในด้านรูปแบบการปลูกยางพาราที่มีผลต่อคุณภาพดินทางฟิสิกส์ ในแง่ของการเก็บรักษาหรือส่งเสริมความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน ภายใต้สภาพแวดล้อมแบบมรสุมเขตร้อนของภาคใต้ยังไม่มีการศึกษา ดังนั้นจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของรูปแบบการปลูกยางพาราต่อสมบัติดินที่ใช้เป็นตัวชี้บอกคุณภาพดินทางฟิสิกส์ในด้านการเก็บกักน้ำของดินร่วม

เนื้อหยาบ สำหรับใช้เป็นแนวทางในการจัดการดินปลูกยางพาราให้มีความชื้นในดินเพียงพอในพื้นที่ภาคใต้ โดยเฉพาะในเขตพื้นที่เหมาะสมสำหรับปลูกยางพาราให้มีความยั่งยืนมากขึ้น และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปกำหนดเป็นมาตรการในการใช้และจัดการดินสำหรับยางพาราที่ถูกต้องตามหลักการอนุรักษ์ดินและน้ำสำหรับภาคใต้ ซึ่งช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินช่วงฤดูร้อนหรือฝนทิ้งช่วง อีกทั้งเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้เกษตรกรชาวสวนยางมีความมั่นคงในอาชีพการทำสวนยางมากขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษาปลูกยางพาราพันธุ์ RRIM 600 ในสภาพที่ตอนซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดและมีความลาดชันร้อยละ 3-4 อำเภอหาดใหญ่ (Site 3) นาหม่อม (Site 2) และจะนะ (Site 1 และ 4) จังหวัดสงขลา โดยแต่ละพื้นที่ที่มีการปลูกยางพาราที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ แบบผสมผสานในลักษณะวนเกษตร แบบมีพืชร่วมและแบบเชิงเดี่ยว รวมแปลงที่ศึกษาทั้งหมด 12 แปลง (Table 1) แปลงปลูกยางพาราแบบผสมผสานในลักษณะวนเกษตรมีความหลากหลายของพันธุ์ไม้มากกว่า 10 ชนิด โดยไม้ยืนต้นส่วนใหญ่ที่ปลูกร่วมกับยางพารา ได้แก่ กฤษณา (*Aquilaria crassna* Pierre ex Lec.) ตะเคียน (*Hopea odorata* Roxb.) สลละ (*Salacca zalacca* (Gaertn.) Voss ex Vilm.) เหลียง (*Gnetum gnemon* Linn.) กระพ้อ (*Licuala spinosa* Thunb.) มังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.) สะตอ (*Parkia speciosa* Hassk.) และลองกอง (*Aglaia dookoo* Giff.) ส่วนแปลงปลูกยางพาราแบบมีพืชร่วมมีการปลูกพืชร่วม 1 ชนิด ระหว่างแถวยางพารา พืชร่วม ได้แก่ เหลียง (พื้นที่ 1 และ 2) สะเดาเทียม (*Azadirachta excelsa* (Jack) Jacobs.) (พื้นที่ 3) และสลละ 1 แถวสลับกับเหลียง 1 แถว (พื้นที่ 4) โดยทุกแปลงมีการปล่อยเศษชิ้นส่วนพืชร่วมหลังการเก็บเกี่ยวให้ปกคลุมผิวดิน

เก็บตัวอย่างดินในแปลงโดยแบ่งเก็บเป็น 3 ช่วง ระดับความลึก คือ ชั้นดินบน (Ap) ที่ความลึก 0-10 (ชั้นผิวดิน) และ 10-25 (ชั้นดินบนตอนล่าง) และชั้นดินล่าง (Bt) 25-50 ซม. และเก็บดิน 2 แบบ คือ แบบตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน โดยเก็บสุ่มแบบ X-shape แปลงละ 9 จุด สำหรับนำไปศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์และเคมี และแบบตัวอย่างดินสภาพธรรมชาติ เก็บแปลงละ 2 จุด โดยใช้กระบอกลูกเต๋า (Core) เพื่อนำมาศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์บางประการ

เตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์สมบัติดินทางเคมี (Onthong and Poonpakdee, 2004) และทางฟิสิกส์ (Klute, 1986) โดยนำตัวอย่างดินที่ถูกรบกวนมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ร่อนดินผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 0.5 มม. เพื่อนำไปหาอินทรีย์วัตถุโดยวิธี Walkley and Black และโดยการร่อนดินผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 2 มม.

เพื่อนำไปวิเคราะห์ฟิสิกส์ของดิน โดยใช้ไนโตรเจนในอัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 การกระจายขนาดอนุภาคดินโดยวิธี Pipette method ผลที่ได้จากการวิเคราะห์นำมาแจกแจงประเภทของดินโดยการเปรียบเทียบกับชนิดดินตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA Textural Class) สำหรับตัวอย่างดินสภาพธรรมชาติ นำมาวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมโดยวิธี Core Method และความชื้นในดินโดยวิเคราะห์ความจุการเก็บน้ำทั้งหมดของดิน โดยวัดค่าแรงดึงน้ำในดินภายใต้แรงดันที่ 0 บรรยากาศ และความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้โดยวัดค่าแรงดึงน้ำในดินภายใต้แรงดันที่ 1/3 บรรยากาศ (ความจุความชื้นสนาม) และที่ 15 บรรยากาศ (จุดเหี่ยวถาวร) โดยใช้ Pressure plate apparatus และความพรุนรวมของดินซึ่งคำนวณจากความสัมพันธ์ของความหนาแน่นดิน

Table 1 Environmental setting of studied soils

Site	Soil	Plantation pattern	Group of soil series ^{1/}	Age (years)	
				Rubber trees	Polyculture/ Mixed culture
1	S1	Polyculture	39	25	12
	S2	Mixed culture	39	25	6
	S3	Monoculture	39	25	
2	S4	Polyculture	39	30	25
	S5	Mixed culture	39	15	5
	S6	Monoculture	39	15	
3	S7	Polyculture	34	20	14
	S8	Mixed culture	34	18	10
	S9	Monoculture	34	18	
4	S10	Polyculture	34	20	15
	S11	Mixed culture	34	10	6
	S12	Monoculture	34	15	

^{1/} Data based on the soil map of soil survey report

ศึกษาผลของรูปแบบการปลูกยางพาราต่อสมบัติดินที่ใช้เป็นตัวชี้บอกคุณภาพดินด้านการเก็บกักน้ำ โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลวิเคราะห์หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติและความแปรปรวนเท่ากัน (Homogeneity of variance) โดยการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test และกรณีข้อมูล (ค่าความพรุนรวม) ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ทำการเปรียบเทียบค่ากลางของข้อมูลโดยวิธี Median Test และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation) ของสมบัติดินที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 และ 99%

ผลการวิจัย

เนื้อดินและขนาดอนุภาคดิน

ดินปลูกยางพาราทุกรูปแบบการปลูก ส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มดินร่วนที่มีเนื้อหยาบและมีเนื้อดินเป็นดิน

ร่วนปนทรายทั้งชั้นดินบนและดินล่าง (Figure 1) ยกเว้นชั้นดินบนของพื้นที่ 2 ในแปลงปลูกส่วนใหญ่ และพื้นที่ 3 ในแปลงปลูกแบบผสมผสานที่มีเนื้อหยาบกว่า ซึ่งจัดอยู่ในประเภทดินทรายปนร่วนและดินทราย และชั้นดินล่างของพื้นที่ 1 ในแปลงปลูกแบบมีพืชร่วม และพื้นที่ 4 ในแปลงปลูกแบบเชิงเดี่ยว ที่มีเนื้อละเอียดกว่าซึ่งจัดอยู่ในประเภทดินร่วนเหนียวปนทราย ดินทุกบริเวณมีอนุภาคขนาดทรายเป็นลักษณะเด่น มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 68-78 (Table 2) ปริมาณอนุภาคขนาดทรายเฉลี่ยมีค่าลดลงตามความลึกอนุภาคขนาดทรายแบ่งมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างสม่ำเสมอในหน้าตัดดิน และแปลงปลูกแบบมีพืชร่วมมีค่าสูงกว่าแบบผสมผสานและแบบเชิงเดี่ยว ส่วนกลุ่มอนุภาคขนาดดินเหนียวมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามความลึก

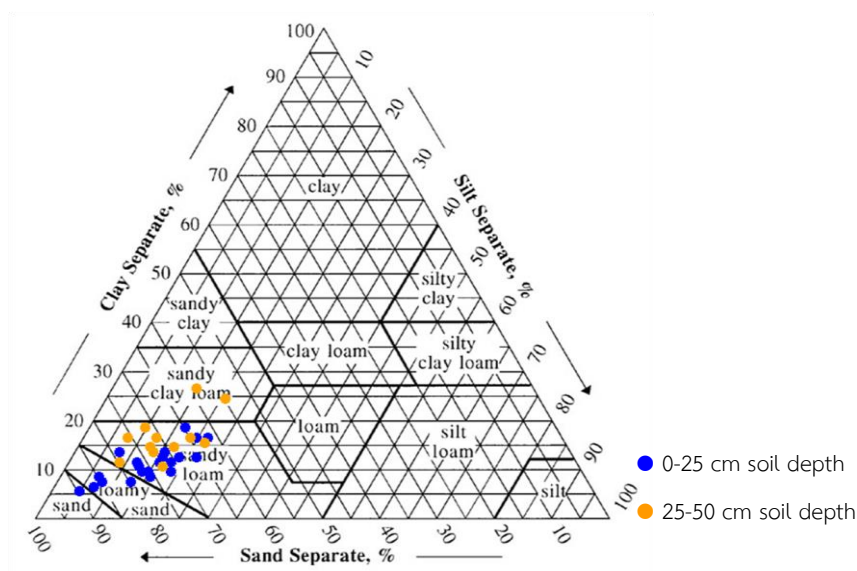


Figure 1 Textural classes of the 2 mm fraction of soils

Table 2 Particle size content of soils under different patterns of rubber plantation (mean $\pm$ SD, n=4)

Particle Size Content (%)	Patterns of rubber plantation / Depth (cm)								
	Polyculture			Mixed culture			Monoculture		
	0-10	10-25	25-50	0-10	10-25	25-50	0-10	10-25	25-50
Sand	78 $\pm$ 9	74 $\pm$ 6	72 $\pm$ 4	76 $\pm$ 7	70 $\pm$ 8	68 $\pm$ 10	78 $\pm$ 9	74 $\pm$ 8	71 $\pm$ 9
Silt	13 $\pm$ 6	14 $\pm$ 4	14 $\pm$ 4	15 $\pm$ 5	16 $\pm$ 7	15 $\pm$ 7	13 $\pm$ 5	13 $\pm$ 5	13 $\pm$ 4
Clay	8 $\pm$ 3	12 $\pm$ 3	14 $\pm$ 3	9 $\pm$ 2	14 $\pm$ 2	17 $\pm$ 5	9 $\pm$ 3	13 $\pm$ 4	14 $\pm$ 2

สมบัติบางประการของดิน

ปริมาณอินทรีย์วัตถุและความพรุนรวมทุกช่วงความลึกของดินในแปลงปลูกยางพาราไม่แตกต่างกัน แต่ความหนาแน่นรวมของชั้นดินล่างในแปลงปลูกยางพารามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามรูปแบบการปลูก ทั้งนี้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ความหนาแน่นรวมและความพรุนรวมดินแตกต่างกันตามช่วงความลึกดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) โดยดินในแปลงปลูกยางพาราทุกรูปแบบมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในชั้นผิวดินสูงกว่าชั้นดินล่าง ชั้นผิวดินของแปลงปลูกแบบผสมผสานและแบบเชิงเดี่ยวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับปานกลาง แต่หากพิจารณาทั้งชั้นดินบน (0-25 ซม.) พบว่าทุกรูปแบบมีอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ (ค่าเฉลี่ย 11.77-12.17 กรัม/กก.) ส่วนชั้นดินล่างมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ โดยมีแนวโน้มต่ำสุดในแปลงปลูกแบบเชิงเดี่ยว โดยมีรายงานว่า การปลูกยางพาราเชิงเดี่ยวติดต่อกันหลายปี ทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลง (Zhang *et al.*, 2007) แต่หากมีการจัดการพืชคลุมในสวนยางพาราที่ปลูกต่อเนื่อง สามารถทำให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเพิ่มขึ้น (Njar *et al.*, 2011)

ความหนาแน่นรวมในชั้นดินบนของแปลงปลูกยางพาราแบบผสมผสานและแบบมีพืชร่วมมีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มต่ำกว่าในแปลงปลูกแบบเชิงเดี่ยว โดยแปลงปลูกทุกรูปแบบมีความหนาแน่นรวมบริเวณชั้นผิวดินอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ ส่วนในชั้นดินบนตอนล่างอยู่ในระดับปานกลาง แต่ชั้นดินล่างของดินในแปลงปลูกแบบเชิงเดี่ยวมีความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับสูง และสูงกว่าแบบมีพืชร่วมและแบบผสมผสานซึ่งมีค่าจัดอยู่ในระดับปานกลาง นอกจากนี้แปลงปลูกแบบมีพืชร่วมมีความหนาแน่นรวมในชั้นดินบนต่ำกว่าชั้นดินล่าง ส่วนแปลงปลูกแบบผสมผสานและแบบเชิงเดี่ยว มีแนวโน้มของความหนาแน่นรวมสูงขึ้นในชั้นดินล่าง ความพรุนรวมของชั้นดินบนในแปลงปลูกแบบเชิงเดี่ยวมีแนวโน้มต่ำกว่าแบบผสมผสานและแบบมีพืชร่วม ส่วนความพรุนรวมของชั้นดินล่างในแปลงปลูกแบบมีพืชร่วมมีแนวโน้มสูงกว่าแบบผสมผสานและแบบเชิงเดี่ยว ทั้งนี้แปลงปลูกแบบผสมผสานมีความพรุนรวมในชั้นดินบนสูงกว่าดินชั้นล่าง ส่วนแปลงปลูกแบบมีพืชร่วมและแบบเชิงเดี่ยวมีแนวโน้มของความพรุนรวมลดลงในชั้นดินล่าง

Table 3 Chemical and physical properties of soils under different patterns of plantation (mean±SD, n = 4)

Soil Properties	Patterns of rubber plantation			<i>P</i> <0.05
	Polyculture	Mixed culture	Monoculture	
Organic matter (g kg⁻¹)				
0-10 cm	15.79±4.02A	14.24±2.13A	15.23±3.31A	ns
10-25 cm	10.76±2.31AB	10.13±2.19AB	9.98±1.22AB	ns
25-50 cm	7.14±2.45B	7.74±3.39B	6.79±1.07B	ns
<i>P</i> <0.05	*	*	*	
Bulk Density (g cm⁻³)				
0-10 cm	1.35±0.12	1.35±0.20B	1.40±0.21	ns
10-25 cm	1.41±0.10	1.46±0.12AB	1.51±0.12	ns
25-50 cm	1.50±0.07b	1.60±0.05abA	1.64±0.13a	*
<i>P</i> <0.05	ns	*	ns	
Total Porosity (%)				
0-10 cm	48.16±7.75A	48.00±4.21	46.33±8.01	ns
10-25 cm	44.15±4.14AB	46.03±4.30	42.94±4.14	ns
25-50 cm	38.16±1.46B	42.91±3.33	37.42±4.67	ns
<i>P</i> <0.05	*	ns	ns	

The different uppercase letters in the column and the different lowercase letters in the row indicate significant difference at 0.05 probability level according to DMRT; ns = not significant

การปลูกยางพาราในรูปแบบแบบเชิงเดี่ยวทำให้ชั้นดินล่างมีความหนาแน่นรวมอยู่ในระดับสูงชัดเจน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นรวมในดินล่างเนื่องจากการลดลงของปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Figure 2A) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมอนุภาคดิน (Lal and Shukla, 2004) และเนื่องจากการสะสมของอนุภาคขนาดดินเหนียวในชั้นดินล่างเพิ่มขึ้น (Table 2) นอกจากนี้ความหนาแน่นรวมของดินอาจได้รับอิทธิพลจากการชอนไชของรากพืชที่ทำให้ดินมีปริมาณช่องเพิ่มขึ้น ระบบรากขนาดใหญ่ของพืชสามารถเพิ่มความพรุนของช่องขนาดใหญ่ (Macroporosity) ของดินได้ร้อยละ 30 ส่วนพืชที่มีระบบรากขนาดเล็กหนาแน่นจะช่วยส่งเสริมการเกิดช่องในดินและทำให้มีช่องขนาดเล็กปริมาณมากขึ้น (Bodner *et al.*, 2014) อย่างไรก็ตาม

อิทธิพลของรากพืชยังขึ้นอยู่กับอายุของพืชในแปลง เมื่อพืชมีอายุมากขึ้นทำให้การแผ่กระจายและความหนาแน่นของรากมากขึ้น รวมถึงทำให้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากขึ้นเนื่องจากลำต้นมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งอาจส่งผลให้มีการหมุนเวียนธาตุอาหารเพิ่มขึ้นจากการร่วงหล่นของชิ้นส่วนพืชที่มีมากขึ้น (Njar *et al.*, 2011) ทั้งนี้ปริมาณช่องในดินแตกต่างกันตามรูปแบบการปลูกซึ่งมีความหลากหลายของพรรณพืชต่างกัน (Table 1) แปลงปลูกยางพาราแบบผสมผสานมีความหลากหลายของชนิดและโครงสร้างพรรณพืชมากกว่า จึงมีพืชทั้งระบบรากลึกและรากตื้น และมีการแผ่กระจายและความหนาแน่นของรากในหน้าตัดดินได้มากกว่า รวมทั้งมีโอกาสเพิ่มปริมาณเศษพืชร่วงหล่นลงสู่ดินได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแปลง

ปลูกแบบมีพืชร่วมและแบบเชิงเดี่ยว ตามลำดับ โดยเห็นได้จากการปลูกยางพาราแบบผสมผสานช่วยเพิ่มความพรุนในชั้นดินบน และส่งเสริมความพรุนของชั้นดินล่าง เช่นเดียวกับการปลูกยางพาราแบบมีพืชร่วมที่ช่วยส่งเสริม

ความพรุนของดินมากกว่าการปลูกแบบเชิงเดี่ยว (Table 3) ซึ่งสอดคล้องกับที่พบว่าดินมีความพรุนรวมเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นรวมของดินลดลง (Figure 2B)

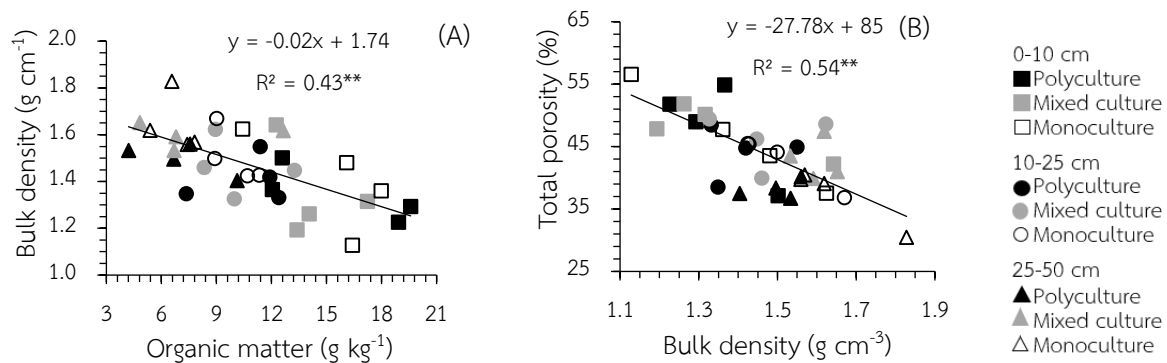


Figure 2 The relationship between soil properties (n=36)

** Significant at 0.01 probability level

ปริมาณน้ำในดิน

แปลงปลูกยางพาราทุกรูปแบบมีปริมาณน้ำในดินที่ความจุความชื้นสนาม จุดเหี่ยวถาวร ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ (Table 4) ความจุในการเก็บกักน้ำส่วนที่ใช้ประโยชน์ในหน้าตัดดิน และความจุการเก็บกักน้ำทั้งหมด (Figure 3) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยหากพิจารณาเฉพาะปริมาณน้ำในส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช พบว่าความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ในชั้นดินบนของทุกแปลงปลูกมีแนวโน้มสูงกว่าชั้นดินล่าง และชั้นดินล่างของแปลงปลูกแบบเชิงเดี่ยวมีแนวโน้มต่ำกว่าแบบมีพืชร่วมและแบบผสมผสานทุกช่วงความลึก สำหรับความจุในการเก็บกักน้ำส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้ภายในหน้าตัดดินที่ระดับความลึก 1 เมตร พบว่าแปลงแบบผสมผสาน (90.32 มม.) มีแนวโน้มสูงกว่าแบบมีพืชร่วม (87.37 มม.) และแบบเชิงเดี่ยว (80.43 มม.) (Figure 3A) เช่นเดียวกับความจุการเก็บกักน้ำทั้งหมดของดินซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่ดินสามารถเก็บไว้ในช่องว่างทั้งหมด พบว่าแปลงปลูกแบบผสมผสานมีแนวโน้มของความจุการเก็บกักน้ำทั้งหมดมากกว่า

แปลงปลูกแบบมีพืชร่วมและแบบเชิงเดี่ยว คิดเป็นร้อยละ 6 และ 11 ตามลำดับ (Figure 3B)

รูปแบบของการปลูกยางพารามีแนวโน้มทำให้ความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ในหน้าตัดดินต่างกัน โดยดินปลูกยางพาราแบบเชิงเดี่ยวมีแนวโน้มต่ำกว่าดินปลูกยางพาราเชิงอนุรักษ์ทั้งในลักษณะแบบมีพืชร่วมและแบบผสมผสาน (Figure 3A) เป็นผลจากดินส่วนใหญ่ของแปลงปลูกยางพาราแบบเชิงเดี่ยวมีความจุความชื้นสนามทั้งในชั้นดินบนและดินล่างต่ำกว่าแปลงปลูกแบบมีพืชร่วมและแบบผสมผสาน (Table 4) ซึ่งสอดคล้องกับที่พบว่าความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้นเมื่อความจุความชื้นสนามของดินเพิ่มขึ้น (Figure 4A) โดยปริมาณความชื้นที่ระดับความจุสนามของดินที่ลดลงเป็นผลจากการลดลงของปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งในดิน (Figure 4B) และจากการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นรวมของดินโดยเฉพาะในชั้นดินล่าง (Figure 4C) สอดคล้องกับที่พบว่าดินส่วนใหญ่ในแปลงปลูกยางพาราแบบเชิงเดี่ยวมีอนุภาคขนาดทรายแป้งต่ำกว่าแบบมีพืชร่วมและแบบผสมผสาน

และมีความหนาแน่นรวมในชั้นดินล่างอยู่ในระดับสูง (>1.60 กรัม/ลบ.ซม.) ในขณะที่ดินในแปลงปลูกแบบผสมผสานและแบบมีพืชร่วม มีความหนาแน่นรวมอยู่จัดอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (1.3-1.6 กรัม/ลบ.ซม.) ต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งในชั้นดินบนและล่าง ทั้งนี้การจัดเรียงตัวกันของอนุภาคขนาดทรายแป้งและดินเหนียวในดิน ส่วนใหญ่จะเกิดเป็นช่องขนาดเล็ก โดยเฉพาะการ

เกาะกันของอนุภาคขนาดทรายแป้งเป็นเม็ดดินมักทำให้เกิดเป็นช่องเล็กที่มีขนาดพอเหมาะในการดูดยืมน้ำส่วนที่เป็นประโยชน์กับพืช (Hazelton and Murphy, 2007) ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นรวมทำให้ปริมาณช่องทั้งหมดในดินลดลง (Figure 2B) ซึ่งมีผลต่อปริมาณของช่องขนาดเล็กโดยเฉพาะส่วนที่ใช้เก็บน้ำที่เป็นประโยชน์กับพืช

Table 4 Soil water characteristic under different patterns of rubber plantation (mean±SD, n=4)

Water content (% weight)	Rubber tree plantation pattern		
	Polyculture	Mixed culture	Monoculture
Field capacity			
0-10 cm	19.08±7.56	17.47±5.34	15.59±4.52
10-25 cm	18.07±4.29	15.22±4.24	15.43±4.68
25-50 cm	14.49±4.17	14.47±3.80	13.54±4.57
Permanent wilting point			
0-10 cm	11.54±6.91	9.93±3.32	8.22±1.79
10-25 cm	10.16±4.09	9.05±2.60	7.71±1.35
25-50 cm	8.82±3.43	9.13±2.33	9.13±3.12
Available water capacity			
0-10 cm	7.54±1.92	7.53±3.13	7.37±2.81
10-25 cm	7.91±2.89	6.17±1.74	7.72±3.74
25-50 cm	5.68±0.82	5.34±1.80	4.42±1.66

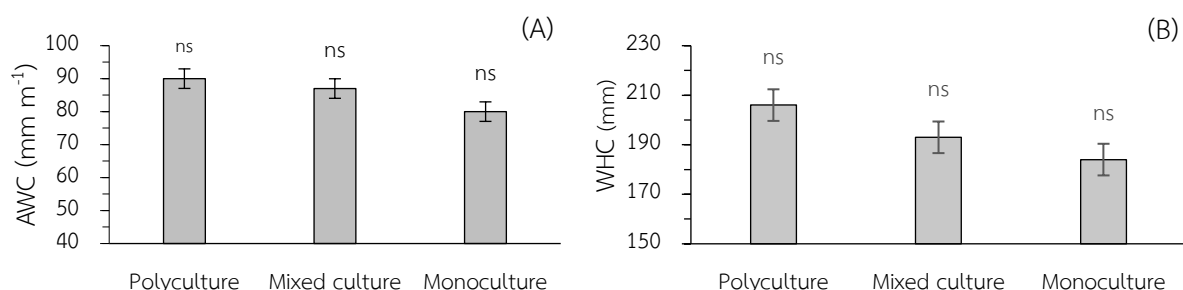


Figure 3 Available water capacity (AWC) and water holding capacity (WHC) soils under different patterns of plantation (n=4)

ns = not significant at 0.01 probability level

หากพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและสมบัติของดินใน Figure 4 พบว่ากลุ่มดินที่มีความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ต่ำกว่าร้อยละ 5 (มีค่าระหว่างร้อยละ 2.0-3.6) เป็นดินที่ปลูกยางพาราแบบมีพืชร่วมและแบบเชิงเดี่ยวในพื้นที่ 2 (อำเภอนาหม่อม) ซึ่งกลุ่มดินเหล่านี้เป็นดินเนื้อหยาบที่มีปริมาณอนุภาคขนาดทรายแป้งต่ำ (ร้อยละ 6-7) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ (9.01-12.26 กรัม/กก.) และมีความหนาแน่นรวมสูง (1.59-1.83 กรัม/ลบ.ซม.) เมื่อเปรียบเทียบกับดินปลูกยางพาราแบบผสมผสานของพื้นที่ 2 ที่มีอนุภาคขนาดทรายแป้งต่ำ (ร้อยละ 6-9) และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำ (7.56-12.59 กรัม/กก.) เช่นเดียวกัน จะพบว่าดินมีความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้มากกว่าร้อยละ 5 และมีความหนาแน่นรวมอยู่ระหว่าง 1.46-1.56 กรัม/ลบ.ซม. แสดงให้เห็นว่า

ความหนาแน่นรวมของดินตั้งแต่ 1.60 กรัม/ลบ.ซม. มีผลต่อความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ของดินปลูกยางพาราที่ทำการศึกษา นอกจากนี้ ความหนาแน่นรวมที่เพิ่มขึ้นจนทำให้ดินเกิดการอัดแน่นขึ้นแล้ว ยังทำให้ดินมีความสามารถในการเก็บกักน้ำไว้ในช่องทั้งหมดลดลงด้วย (Figure 4D) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณและขนาดของช่องในดินซึ่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน (Boonyawat and Kongsom, 1989) มีผลต่อปริมาณการดูดซับน้ำลงสู่ชั้นดินล่างและเป็นน้ำใต้ดิน ปริมาณการเกิดน้ำไหลบ่า และการกร่อนดิน อีกทั้งยังทำให้ต้นยางพารามีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการเปลือกแห้ง เนื่องจากการเจริญเติบโตของระบบรากถูกจำกัดซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดน้ำและธาตุอาหารของต้นยางพาราลดลง (Nandris *et al.*, 2004)

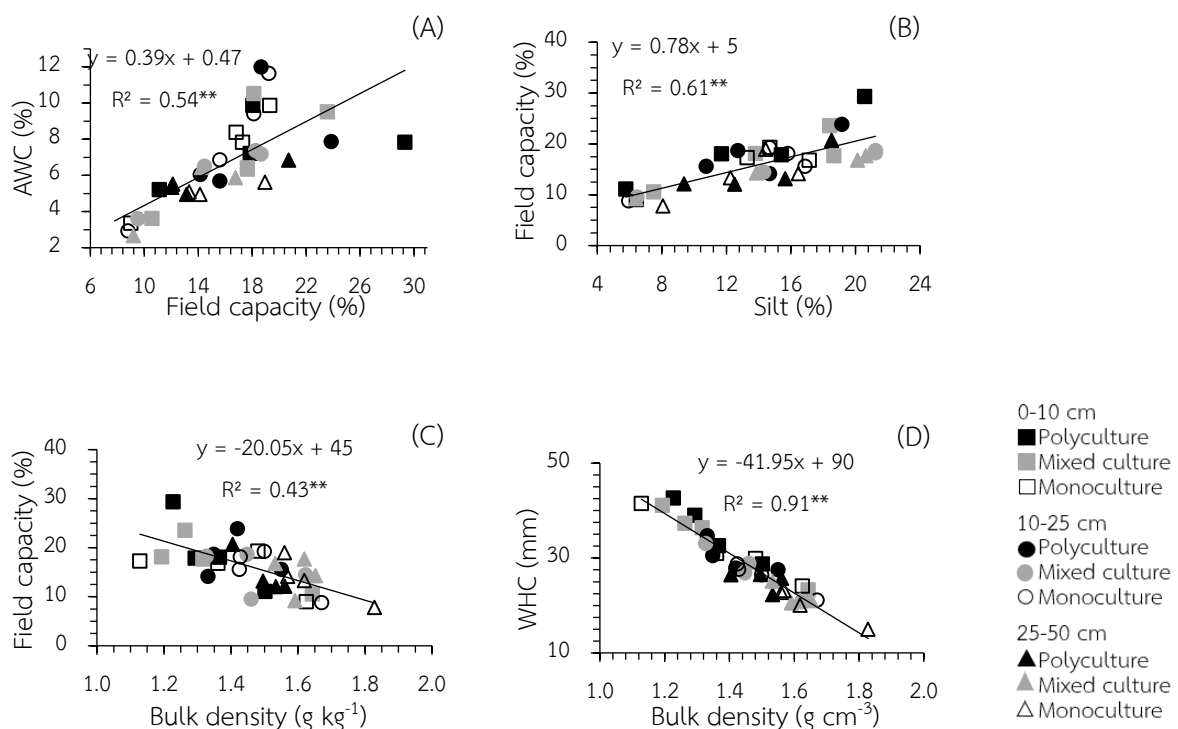


Figure 4 The relationship between soil water content (% by weight) and some soil properties (n=36)

** Significant at 0.01 probability level; AWC = available water capacity; WHC = water holding capacity

อย่างไรก็ตาม คุณภาพดินด้านการเก็บกักน้ำของดินที่ปลูกยางพาราทุกรูปแบบ โดยเฉพาะการเก็บน้ำส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ภายในความลึก 1 เมตร ซึ่งเป็นความลึกที่เหมาะสมสำหรับดินปลูกยางพารา (Yogaratanam, 2000) ยังจัดว่าอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม (100-200 มม./เมตร) สำหรับดินทางการเกษตร (Hazelton and Murphy, 2007) (Figure 3A) เนื่องจากเป็นดินร่วนที่มีเนื้อหยาบ (Figure 1) มีสัดส่วนของอนุภาคนาขนาดทรายเด่น (Table 2) ส่งผลให้มีปริมาณการกระจายของช่องขนาดใหญ่มากกว่าช่องขนาดเล็ก (Lal and Shukla, 2004) เป็นผลให้ดินมีความสามารถในการเก็บน้ำส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้เป็นไปตามธรรมชาติของดินร่วนที่มีเนื้อหยาบ (75-160 มม./เมตร) และเนื่องจากดินยังมีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ (<17.1 กรัม/กก.) ไม่เพียงพอต่อการส่งเสริมลักษณะทางกายภาพของดิน (Hazelton and Murphy, 2007) และการกักเก็บน้ำในดินที่มีเนื้อหยาบ (Hudson, 1994) โดยเฉพาะในบริเวณชั้นผิวดินซึ่งพบว่าดินปลูกยางพาราทุกรูปแบบมีปริมาณอินทรีย์วัตถุใกล้เคียงกัน (14.24-15.79 กรัม/กก.) แต่ทั้งนี้ระบบรากของพืชที่แตกต่างกันตามชนิดของพรรณพืช (Bodner *et al.*, 2014) และอายุของพืช (Njar *et al.*, 2011) มีอิทธิพลต่อทั้งปริมาณและขนาดของช่องในดิน จึงทำให้แปลงปลูกยางพาราแบบผสมผสานซึ่งมีความหลากหลายของพืชพรรณมากกว่า 10 ชนิด มีคุณภาพดินสำหรับการเก็บกักน้ำไว้ในหน้าตัดดินได้สูงที่สุด ส่วนแปลงปลูกยางพาราแบบเชิงเดี่ยวซึ่งมีพืชหลักเพียงชนิดเดียวจึงคุณภาพดินสำหรับการเก็บกักน้ำไว้ในหน้าตัดดินได้ต่ำที่สุด

สรุปผลการวิจัย

ดินปลูกยางพาราทุกบริเวณมีการกระจายของกลุ่มอนุภาคนาขนาดทรายเป็นลักษณะเด่น ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินปลูกยางพาราทั้งแบบเชิงอนุรักษ์ในลักษณะผสมผสานและมีพีชร่วม และแบบเชิงเดี่ยวมีค่า

ใกล้เคียงกันทั้งในชั้นดินบนและดินล่าง และส่วนใหญ่อยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงต่ำ ทำให้สมบัติดินส่วนใหญ่ที่เป็นตัวชี้บอกคุณภาพดินด้านการเก็บน้ำมีลักษณะไม่แตกต่างกันชัดเจนตามรูปแบบการปลูกยางพารา ยกเว้นความหนาแน่นรวมของดิน คุณภาพด้านการเก็บน้ำโดยเฉพาะความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้ยังอยู่ในระดับต่ำ โดยดินปลูกยางพาราแบบเชิงเดี่ยวมีแนวโน้มต่ำกว่าดินปลูกยางพาราเชิงอนุรักษ์ทั้งในลักษณะแบบมีพีชร่วมและแบบผสมผสาน รูปแบบการปลูกยางพาราแบบเชิงเดี่ยวมีผลกระทบชัดเจนต่อความหนาแน่นรวมของดิน โดยทำให้ชั้นดินล่างมีความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับสูงซึ่งมีผลทำให้ทั้งความจุน้ำใช้ประโยชน์ได้และความจุการเก็บน้ำทั้งหมดภายในหน้าตัดดินลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ การปลูกยางพาราแบบมีพีชร่วมและแบบผสมผสาน ระดับความหนาแน่นรวมดินตั้งแต่ 1.6 กรัม/ลบ.ซม. มีผลต่อความจุในการเก็บน้ำของดิน รูปแบบการปลูกยางพาราแบบผสมผสานช่วยเพิ่มความพรุนในชั้นดินบนและส่งเสริมความพรุนของชั้นดินล่าง ส่วนรูปแบบการปลูกยางพาราแบบมีพีชร่วมช่วยส่งเสริมความพรุนของดินมากกว่าการปลูกแบบเชิงเดี่ยว

ดังนั้นการปลูกยางพาราทั้งแบบเชิงอนุรักษ์และแบบเชิงเดี่ยวในกลุ่มดินเนื้อหยาบในเขตที่มีฝนตกชุก ควรมีการจัดการอินทรีย์วัตถุทั้งในแง่ของการเพิ่มและการรักษาไว้ในดิน สำหรับส่งเสริมความหนาแน่นรวมและช่องในดินให้เหมาะสม เพื่อทำให้ดินมีความชื้นที่ระดับความจุความชื้นสนามเพิ่มขึ้นซึ่งส่งเสริมให้ดินมีความจุในการอุ้มน้ำใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ร่วมกับการจัดการความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยการใส่ปุ๋ยซึ่งถือวิธีหนึ่งในการอนุรักษ์ดิน โดยส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากและส่วนเหนือดินให้ขึ้นปกคลุมดินได้ดีขึ้น ทั้งเป็นแนวทางหนึ่งในการป้องกันการเกิดการอัดแน่นของดินโดยเฉพาะในดินที่มีการปลูกยางพาราแบบเชิงเดี่ยว อย่างไรก็ตามในดินกลุ่มเนื้อหยาบ ควรปลูกยางพาราแบบเชิงอนุรักษ์มากกว่าแบบเชิงเดี่ยว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้
สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Alliaume, F., W.A.H. Rossing, M. García, K.E. Giller and S. Dogliotti. 2013. Changes in soil quality and plant available water capacity following systems re-design on commercial vegetable farms. **European Journal of Agronomy** 46: 10-19.
- Blanco, H. and R. Lal. 2008. **Principles of Soil Conservation and Management**. Kansas: Springer+Business Media. 617 p.
- Bodner, G., D. Leitner and H.P. Kaul. 2014. Coarse and fine root plants affect pore size distributions differently. **Plant Soil** 380: 133-151.
- Boonyawat, S. and C. Kongsom. 1989. Pore size distribution of soils in the tropical rain forest and the rubber plantation in Southern Thailand. **Thai Journal of Forestry** 8: 42-59. [in Thai]
- Gregorich, E.G. and M.R. Carter. 1997. **Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health**. Amsterdam: Elsevier Science B.V. 448 p.
- Hazelton, P.A. and B.W. Murphy. 2007. **Interpreting Soil Test Results: What do all the number mean?** Australia: CSIRO PUBLISHING. 152 p.
- Hudson, B.D. 1994. Soil organic matter and available water capacity. **Journal of Soil and Water Conservation** 49: 189-194.
- Kiriratnikom, A. and S. Photisuntorn. 2011. Soil and nutrient loss by soil erosion in para rubber planting area, Thamohd district, Phatthalung province. **Journal of Forest Management** 5: 33-42. [in Thai]
- Klute, A. (Editor). 1986. **Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods**. Wisconsin: American Society of Agronomy, Inc. 1188 p.
- Kungpisdan, N. 2009. **Sustainable Rubber Plantation Management: Soil, Water and Nutrient**. Bangkok: Rubber Research Institute, Department of Agriculture. 210 p. [in Thai]
- Lal, R. and M.K. Shukla. 2004. **Principles of Soil Physics**. New York: Marcel Dekker, Inc. 716 p.
- Nandris, D., R. Moreau, F. Pellegrin, H. Chrestin, J. Abina, and P. Angui. 2004. Rubber tree (*Hevea brasiliensis*) bark necrosis syndrome: II. First comprehensive report on causal stresses. **Plant Disease** 88(9): 1047. [Online]. Available <https://www.apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS.2004.88.9.1047A> (20 January 2021).

- Njar, G.N., A.I. Iwara, U.E. Ekukinam, T.N. Deekor and S.O. Amiolemen. 2011. Organic carbon and total nitrogen status of soils under rubber plantation of various ages, south-southern Nigeria. **Journal of Environmental Science and Resource Management** 3: 1-13.
- Onthong, J. and C. Poonpakdee. 2004. **Manual of Soil and Plant analysis**. Songkhla: Earth Science Department, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University. 175 p. [in Thai]
- Rubber Research Institute. 2010. **Kho Mun Wi Cha Kan Yang Pha Ra**. Bangkok: Department of Agriculture, Ministry of Agriculture and Cooperatives. 124 p. [in Thai]
- Topp, G.C., W.D. Reynolds, F.J. Cook, J.M. Kirby and M.R. Carter. 1997. Physical Attributes of Soil Quality. pp. 21-58. *In* Gregorich, E.G. and M.R. Carter (eds.). **Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health**. Netherlands: Elsevier Science B.V.
- Yogaratnam, N. 2000. Rubber land suitability evaluation. **Bulletin of the Rubber Research Institute of Sri Lanka** 41: 33-38.
- Zhang, H., G.L. Zhang, Y.G. Zhao, W.J. Zhao and Z.P. Oi. 2007. Chemical degradation of a Ferralsol (Oxisol) under intensive rubber (*Hevea brasiliensis*) farming in tropical China. **Soil and Tillage Research** 93: 109-116.