



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ Permanganate Oxidizable Carbon เพื่อใช้ในการวัดปริมาณอินทรีย์วัตถุในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน
Development of Permanganate Oxidizable Carbon Analytical Method of Soil Organic Matter for Soil Fertility Evaluation

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2553

จำนวน 130,000 บาท

หัวหน้าโครงการ

นางสาวศุภธิดา อ้าทอง

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

9/ธันวาคม/2554

สารบัญเรื่อง

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
ABSTRACT	2
กิตติกรรมประกาศ	3
คำนำ	4
วัตถุประสงค์	5
การตรวจเอกสาร	7
วิธีการและอุปกรณ์	10
ผลการศึกษาและวิจารณ์	18
สรุปผลการวิจัย	62
เอกสารอ้างอิง	63

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	The methodology of POC.	8
ตารางที่ 2	Sites of soil samples for this study for experiment 2	12
ตารางที่ 3	รูปแบบการใช้ที่ดิน ลักษณะทั่วไป และการจัดการของพื้นที่ศึกษา (การทดลองที่ 3)	3
ตารางที่ 4	การประเมินสมบัติของดิน	17
ตารางที่ 5	ผลของการใช้ที่ดินต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ (SOC) และอินทรีย์คาร์บอนที่วิเคราะห์ด้วยวิธีเพอร์แมงกานेटออกซิไดซ์คาร์บอน (POC)	34
ตารางที่ 6	ผลของการใช้ที่ดินต่อค่าเฉลี่ย $\pm$ (Standard error) ของ pH ของดิน สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน อินทรีย์คาร์บอนต่างๆ และการหายใจของดิน (CO_2 effluxes) ในช่วง 5 ธันวาคม 53 – 27 มกราคม 2554	37
ตารางที่ 7	ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์คาร์บอนชนิดต่างๆและความชื้นของดินกับปริมาณ CO_2 ที่ปลดปล่อยจากดินที่มาจากการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ (n = 7)	38
ตารางที่ 8	การศึกษาการหายใจของดินที่มีการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ และวิธีการวัดการหายใจของดิน	39
ตารางที่ 9	ผลคะแนนของ POC ต่อการชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน	42
ตารางที่ 10	ผลการประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยวิธีการของเพอร์แมงกานेटออกซิไดซ์เซมิคาร์บอนแบบพกพา (Test kit) และวิธีแบบไดโครเมต wet digestion	45
ตารางที่ 11	การประเมินชุดทดสอบเพอร์แมงกานेटออกซิไดซ์เซมิคาร์บอน: แบบพกพาระดับภาคสนาม	49
ตารางที่ 12	ผลการประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินโดยวิธี Permanganate oxidizable carbon แบบชุดทดสอบแบบภาคสนาม (การทดสอบครั้งที่ 2)	51

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	ความยาวคลื่นที่อ่านค่าการดูดกลืนแสงของ KMnO_4 ต่อการวิเคราะห์ POC	18
ภาพที่ 2	น้ำหนักของตัวอย่างดินต่อการวิเคราะห์ POC	19
ภาพที่ 3	ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณ POC ในดินที่ทำการเกษตร	20
ภาพที่ 4	ความเข้มข้นของ KMnO_4 ต่อการวิเคราะห์ POC	21
ภาพที่ 5	เวลาเขย่าต่อการวิเคราะห์ POC	22
ภาพที่ 6	pH ของ KMnO_4 ต่อการวิเคราะห์ POC	23
ภาพที่ 7	อิทธิพลของ CaCl_2 ต่อการวิเคราะห์ POC	24
ภาพที่ 8	สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่าง POC และ C.E.C. ในดินที่ไม่ทำการเกษตร	26
ภาพที่ 9	สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่าง POC และ clay ในดินที่ทำการเกษตร	28
ภาพที่ 10	สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่าง POC และ clay ในดินที่ไม่ทำการเกษตร	28
ภาพที่ 11	สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่าง POC และ TOC ในดินที่ทำการเกษตร	29
ภาพที่ 12	สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่าง POC และ TOC ในดินที่ไม่ทำการเกษตร	30
ภาพที่ 13	Relationship between (A) SOC and (B) POC and stability of 1-2 mm-size aggregates in 0-15 cm soil samples of variety land uses in Chiang Mai province, Northern Thailand.	30
ภาพที่ 14	ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจากพื้นที่การใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ	32
ภาพที่ 15	ผลของการใช้ที่ดินต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่วิเคราะห์ด้วยวิธีเฟอร์แมงกานีสไดออกไซด์คาร์บอน (POC) (เส้นเหนือแท่งกราฟ=Standard Error)	33

การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ Permanganate Oxidizable Carbon เพื่อใช้ในการวัดปริมาณอินทรีย์วัตถุ
ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน

Development of Permanganate Oxidizable Carbon Analytical Method
of Soil Organic Matter for Soil Fertility Evaluation

ศุภธิดา อุ่มทอง¹

Suphathida Aumtong

¹สาขาปฐพีศาสตร์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

อินทรีย์คาร์บอนในดินเป็นองค์ประกอบสำคัญของดินที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติต่างๆ ของดินทั้งทางเคมี ฟิสิกส์ และชีวภาพ อันส่งผลกระทบต่อเนื่องไปถึงระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน permanganate oxidized carbon (POC) เป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอน อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ง่าย ประหยัด และปลอดภัยต่อผู้ทำการทดลอง ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการวิเคราะห์ POC และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง POC กับสมบัติต่างๆ ของดินเพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองได้แก่

การศึกษาศักยภาพของ POC ต่อการชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดินจากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง POC กับสมบัติต่างๆ ได้แก่ ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ดินเหนียว ค่าการนำไฟฟ้า และอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดิน โดยพบว่า POC มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวในดินที่ทำการเกษตรสูงกว่าดินที่ไม่ทำการเกษตรอินทรีย์วัตถุในส่วนที่เรียกว่าส่วนที่ง่ายต่อการย่อยสลาย (Labile carbon) ที่เรียกว่าเพอร์แมงกานเนตออกซิไดซ์เซเบิลคาร์บอน(Permanganate Oxidizable Carbon,POC) มีศักยภาพที่ใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของดินจากผลการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษาขอสรุปว่าการประเมินอินทรีย์คาร์บอนนี้โดยใช้วิธีเป็นวิธีปลอดภัย ง่าย และ

สะดวกในการที่ใช้ในระดับภาคสนาม ซึ่งจากผลการประเมินความสัมพันธ์ระหว่าง POC กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีความสัมพันธ์ที่ดี ดังนั้นวิธีการนี้สามารถใช้เป็นวิธีการประเมินอินทรีย์วัตถุในดินได้ โดยสามารถแบ่งเป็นปริมาณอินทรีย์วัตถุใน ดำนาก ต่ำ กลาง สูง และสูงมาก เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพดินร่วมกับการประเมินคุณภาพแบบอื่น ๆ ดิน

ABSTRACT

Labile carbon fraction of soil organic carbon (SOC) as Permanganate Oxidizable Carbon (POC) may provide an sensitive indication of soil quality in respond to management practices. The % SOC and POXC were positively correlated with most soil properties and soil quality indicators. Therefore, this labile organic fraction must be considered key indicators.

The study of POC potential as an indicator of soil fertility based on the relationship between POC and its various properties such as total nitrogen, available phosphorus, exchangeable potassium, exchangeable calcium, exchangeable magnesium, cation exchangeable capacity, clay content, electric conductivity and total soil organic carbon. It was found that POC had a significant relationship with various soil properties thus POC was higher in cultivated soil than in non-cultivated soil. From this study I would like to concur with the statements of this method is a safe (non-toxic) and comparatively rapid method that may be used even in the field given access to the results from soil analysis from standard method and test-kit a hand held. From a larger study of land-use and The results was shown significantly closed between POC and SOC , and believe that it may be used as a semi-quantitative method on a broad range of soils for indicating the soil organic matter content with a reasonable degree of accuracy (e.g. very low, low, medium, high, very high). For training, planning and management purposes such an integrated approach would be useful and in many cases provide sufficient information. Therefore, the POC could be an intensive indicator for soil quality changes and soil managements.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ Permanganate Oxidizable Carbon เพื่อใช้ในการวัดปริมาณอินทรีย์วัตถุในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Development of Permanganate Oxidizable Carbon Analytical Method of Soil Organic Matter for Soil Fertility Evaluation) ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนงบประมาณประจำปีงบประมาณ 2553 ผู้วิจัยขอขอบคุณคุณพิทวัส สุสิงสา ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและการทดลองต่าง ๆ ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้งานวิจัยดำเนินการไปได้ลุล่วงและสำเร็จด้วยดี ตลอดจนนักศึกษาทุกคนที่ทำงานภายใต้วิชาปัญหาพิเศษ และขอขอบคุณภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ และสถานที่ที่ใช้ดำเนินงานวิจัย จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัย

คำนำ

การใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ เพื่อกิจกรรมการเกษตรสำหรับประเทศไทยนั้น ควรได้รับการสนใจ และเฝ้าติดตามผลที่เกิดขึ้นตามมาเป็นอย่างยิ่ง เพราะนับวันการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรยิ่งจะมีการใช้กัน อย่างเข้มข้นขึ้นคือในรอบระยะเวลา 1 ปีของการเพาะปลูกพืช เกษตรกรจะใช้พื้นที่มีการปลูกพืชเพียงชนิด เดียว และใช้กันอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา และเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพเป็นที่ต้องการของ ผู้บริโภค จึงมีการใช้ปัจจัยการผลิตต่าง ๆ นอกจากนี้การจัดการดินนั้นอีกหลากหลายรูปแบบ เช่นการไถ สำหรับการเตรียมดิน การทำเทือกสำหรับการทำนาดำ การเผาเพื่อกำจัดวัชพืช สิ่งเหล่านี้เป็นการเร่ง ทำลายโครงสร้างของเม็ดดิน และจะเป็นการเร่งการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุให้เร็วขึ้น จะเห็นได้ว่าการ จัดการแบบต่าง ๆ ที่มีต่อดิน มีมากมายหลายวิธีการ และส่งผลการเสื่อมสภาพของดินในที่สุด

การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ใช้โดยทั่วไปนั้นคือปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil organic matter (SOC by wet acid dichromate oxidation) นั้นอาจไม่สามารถประเมินความอุดมสมบูรณ์ ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องมาจากการใช้ที่ดินได้ในระยะเวลาสั้นๆ การที่วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณ อินทรีย์วัตถุจะเห็นการเปลี่ยนแปลงยาก เพราะปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เป็นส่วนที่คงที่หรือยากต่อการ เปลี่ยนแปลงแล้ว (stable soil organic matter) ยังคงอยู่ในดินก่อนหน้านั้นและมีปริมาณที่มากด้วย (Gregorich et al., 1994) แต่เหมาะสำหรับอาจจะใช้ได้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นใน ระยะยาว (Chan et al., 2002) แต่ยังมีองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุอีกกลุ่มหนึ่งที่มีลักษณะตรงกันข้าม กับประเภทแรกเนื่องจากลักษณะของอินทรีย์วัตถุประเภทนี้มีง่ายต่อการเปลี่ยนแปลง (labile fraction of organic matter) เช่น จุลินทรีย์ (microbial biomass) ,ซากอินทรีย์ส่วนเบา (light fraction) หรือ สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (dissolved organic matter) (Ghani et al., 2003) ส่วนของอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ เหล่านี้มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว เมื่อจัดการหรือการใช้ที่ดินที่เปลี่ยนแปลง

Permanganate oxidizable carbon (POC) สามารถประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุ อันเนื่องมาจากการใช้ที่ดิน และเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้นคือประมาณ 1-5 ปีได้ เช่นเดียวกับ labile fraction of organic matter ชนิดอื่น ๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว (Blair et al., 1995) ดังนั้น อาจจะกล่าวได้ว่าอินทรีย์วัตถุส่วนนี้มีศักยภาพที่จะใช้เพื่อการประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มี เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการใช้ที่ดิน เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระยะเวลาสั้น POC เป็น อินทรีย์วัตถุในส่วนที่เรียกว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในรูปที่ย่อยสลายง่าย (labile fraction of organic matter) เช่น พวกลาร์โบไฮเครท กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ เป็นต้น การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของ ดิน POC จึงอาจจะใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงในขั้นเริ่มต้นของการเสื่อมโทรมของดิน (soil

degradation) หรือตัวชี้วัดในเรื่องการปรับปรุงบำรุงดิน (Soil improvement)) เพราะเป็นวิธีง่ายและสะดวกและมีศักยภาพที่ไว(sensitivity)ต่อการเปลี่ยนแปลงของใช้ที่ดิน (Weil et al., 2003) และมีการใช้ง่ายในการวิเคราะห์ที่ถูกต้องกว่าเพื่อเป็นดัชนีวัดผลกระทบที่มีต่อคุณภาพและตลอดจนปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินอันเนื่องมาจากการใช้ดินและที่ดินและรูปแบบการเกษตรแบบต่าง ๆ การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุของดินนั้นสามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือวิธี wet acid dichromate oxidation แต่พบว่าสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือกรดซัลฟิวริกและโพแทสเซียมไดโครเมต เป็นสารที่มีอันตรายต่อผู้ทำการทดลอง และมีราคาสูงเนื่องจากนำเข้าจากต่างประเทศ อีกทั้งเป็นสารที่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและยากต่อการกำจัด จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่หาแนวทางในการประเมินคุณภาพดินแบบประหยัด ปลอดภัย และถูกต้อง โดยพบว่าวิธี permanganate oxidized carbon (POC) ก็เป็นอีกตัวชี้วัดหนึ่งที่มีศักยภาพในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยที่สารเคมีที่ใช้คือโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) หรือที่เราเรียกว่าด่างทับทิม ซึ่งเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ทำงานและไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม(Lucas, 2004) อีกทั้งราคาไม่แพงเนื่องจากหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง การวิเคราะห์ POC จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งต่อการนำไปใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งต้องมีการศึกษาศักยภาพของวิธีการดังกล่าวเพิ่มเติม

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อพัฒนาเทคนิคและวิธีการของการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยวิธี MnO_4 oxidizable carbon ของประเภทต่างๆ ของประเทศไทย ซึ่งจะใช้เป็นตัวแทนของดินเขตร้อน
2. เพื่อพัฒนาศักยภาพของวิธีการตรวจสอบอย่างง่ายโดยยึดหลักการของวิธี MnO_4 oxidizable carbon ให้มีความง่ายรวดเร็วประหยัด
3. ทำการประเมินและพัฒนาความเหมาะสมของวิธีการ MnO_4 oxidizable carbon เพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบกับดินที่มีคุณสมบัติต่างๆ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อพัฒนาวิธีการเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินโดยระดับอินทรีย์วัตถุในดิน เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน
2. เพื่อเป็นการพัฒนาเทคโนโลยี โดยพัฒนาวิธีการประเมินปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่คาดว่าจะสามารถตอบสนองต่อการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินที่สามารถนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม(ชุดตรวจสอบชนิดพกพา, field kit) รวมทั้งเป็นวิธีการที่สะดวก ง่าย และรวดเร็ว และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

การตรวจเอกสาร

นิยามศัพท์

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดนิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยดังต่อไปนี้

อินทรีย์วัตถุ (organic matter) หมายถึง อินทรีย์สารทุกชนิดที่มีอยู่ในดิน ซึ่งได้จากซากพืช ซากสัตว์และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในดิน รวมถึงอินทรีย์สารที่รากพืชปลดปล่อยออกมา และที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

อินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอินทรีย์วัตถุถึง 58 เปอร์เซ็นต์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนตามการเปลี่ยนแปลงหรือการสลายตัวคือส่วนที่เปลี่ยนแปลงง่าย (labile carbon fractions) คือมีการสลายตัวและปลดปล่อยธาตุอาหารได้เร็ว ได้แก่ มวลชีวภาพจุลินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน และอินทรีย์วัตถุส่วนที่เสถียร (stable carbon fractions) คือส่วนที่ใช้เวลาในการย่อยสลายนาน ได้แก่ กรดฮิวมิก (Parton *et al.*, 1987)

Permanganate oxidized carbon (POC) เป็นอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ออกซิไดซ์ในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มีสถานะเป็นด่างไม่เฉพาะเจาะจงอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายหรือยากแต่เรียกอินทรีย์คาร์บอนส่วนนี้ว่า อินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ละลายได้ง่ายในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต หรือ POC (Tirol-Padre and Ladha., 2004)

Soil organic carbon (SOC) เป็นอินทรีย์คาร์บอนของดินทั้งส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายและส่วนที่ย่อยสลายได้ยาก

Total organic carbon (TOC) เป็นอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดของดินทั้งส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายและส่วนที่ย่อยสลายได้ยาก

ปัจจัยทางด้านเทคนิคที่มีผลต่อการวิเคราะห์ค่า POC

ในช่วงสิบกว่าปีมานี้ได้นักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ศึกษาการออกซิไดซ์คาร์บอนด้วยวิธี POC ซึ่งแต่ละท่านก็มีวิธีในการวิเคราะห์ POC ที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่า POC ที่วิเคราะห์ได้นั้นมีค่าแตกต่างกันไปด้วย (ดังตาราง 1) โดยมีประเด็นที่แตกต่างกันดังนี้

ตารางที่ 1 The methodology of POC.

POC Method	Soil mass (g)	KMnO ₄ (M)	Wavelength (nm)	Shaking (min)	POC (g/kg)
Blair et al., 1995	15 mg C	0.333	565	60	1.02-3.99
Murage et al., 2000	15 mg C	0.333	565	1440	14.84-19.59
Weil et al., 2003(lab)	5	0.02	550	2	0.43-0.49
(field-kit)	5	0.02	550	2	0.38-0.45
Whitbread et al., 2003	15 mg C	0.333	565	60	0.44-5.3
Lucas, 2004	2.5	0.02	550	2	0.37-0.57
Tirol-padre and Ladha, 2004	0.025	0.033	565	360	3.90-5.10
Gruver, 2004	0.25-5	0.02	550	2-18	0.06-1.24

Note: The weight of soil X g express 15 mg C

ความสัมพันธ์ระหว่างวิธี POC กับสมบัติต่างๆ ของดิน

Blair et al. (1995) ศึกษาอินทรีย์คาร์บอนในแบบต่างๆ ในพื้นที่ที่มีการทำการเกษตร พบว่า POC, non-active C และ TOC ลดลงหลังจากพื้นที่นั้นได้ถูกเปลี่ยนสภาพให้เป็นพื้นที่เกษตรคือ -63.3% -39.3% และ -44.9% ตามลำดับ แต่หลังจากที่นำพืชตระกูลถั่วเข้าไปปลูกหมุนเวียนกับพืชหลักเป็นระยะเวลา 2 ปีพบว่าอินทรีย์คาร์บอนต่างๆดังกล่าวข้างต้น กลับมีค่าเพิ่มขึ้นคือ +58.8% +15.7% และ 21.6 % ตามลำดับ พวกเขาจึงกล่าวอีกว่า POC เป็นตัวชี้วัดที่ไวต่อ labile C สูงกว่า non-active C และ TOC

Tirol-Padre and Ladha (2004) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง POC กับ TOC ใน 10 ตัวอย่างดินจากประเทศฟิลิปปินส์ที่มีการใส่อินทรีย์วัตถุในอัตราที่แตกต่างกันเป็นเวลานานและ

ติดต่อกันพบว่า ทั้งสองตัวชี้วัด (POC และ TOC) มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า r^2 (coefficient of determination) เท่ากับ 0.96 ($p < 0.01$) ดังภาพ 3 และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง POC กับ TOC ในดิน 8 ตัวอย่างจากประเทศอินเดียพบว่า POC มีความสัมพันธ์กับ TOC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

Islam and Weil (2000) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าธรรมชาติมาทำการเกษตรในประเทศบังกลาเทศพบว่า การทำการเกษตรจะทำให้ผิวน้ำดินมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณ silt clay ความพรุนของดิน โครงสร้างของดิน ไนโตรเจน ฟลูวิค labile C และ มวลคาร์บอนของจุลินทรีย์ดินอันเป็นผลมาจากการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตร

Roelof et al. (no date) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์คาร์บอนในแบบต่างๆ กับ N availability ในดินที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบต่างๆ โดยบ่มไว้ 53 วัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง POC กับ N availability มีค่าเท่ากับ 0.72 ($p < 0.001$) ในขณะที่ TOC มี r^2 เท่ากับ 0.70 ($p < 0.01$) จะเห็นได้ว่า POC จะมีศักยภาพในการประเมิน N availability ได้สูงกว่า TOC

Mendham et al. (2003) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง POC กับ TOC ในดินป่า ดินทุ่งหญ้า และดินเกษตรที่มีการบ่ม 96 วัน พบว่าทั้งสองวิธีนี้มี r^2 เท่ากับ 0.94 และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของทั้งสองที่เท่ากัน (10%) จากผลการศึกษาพวกเขา รายงานว่า POC มีศักยภาพในการชี้วัดปริมาณ TOC เหมือนกับวิธี wet acid dichromate oxidation มากกว่าชี้วัดปริมาณ labile C

Whitbread et al. (2003) ศึกษาปริมาณ POC และ TOC ในพื้นที่เกษตรหลังจากถางป่ามาทำการเกษตรนาน 18 ปี POC และ TOC ลดลง 79 และ 73 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Weil et al. (2003) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง POC และตัวชี้วัดคุณภาพของดินอื่นๆ ใน 18 ฟาร์มในแอตแลนติกตอนกลางพบว่า POC มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับกิจกรรมทางชีววิทยาทั้ง 4 ของดิน (substrate-induced respiration, basal respiration, มวลจุลินทรีย์ดิน และ คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้) สูงกว่า TOC

วิธีการและอุปกรณ์

การศึกษาที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนโดยหลักการ Permanganate Oxidized Carbon

1.วิธีการการเก็บตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลองแบ่งเป็นชุดดินสนทราย น้ำพองและชุดดินตาลีที่ผ่านการทำการเกษตร โดยทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับ 0- 15 ซม. จำนวน 4 จุด แล้วนำมารวมเป็น 1 ตัวอย่างนำไปตากแบบ Air-dried แล้วนำมาบดให้ละเอียด ทำการร่อนดินด้วยตะแกรงขนาด 0.5 1.0 และ 2.0 มม. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณ POC จากคุณสมบัติต่างๆ โดยวิธีวิเคราะห์ POC ดังนี้

2.วิธีการวิเคราะห์ POC

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1 กรัม ใส่ลงในหลอดเช้นดิฟิวส์ ขนาด 5 ml
2. เติมสารละลาย KMnO_4 ความเข้มข้น 0.033 โมลาร์ ลงในหลอดเช้นดิฟิวส์ 20 ml แล้วปิดฝา
3. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที 12 ชั่วโมง
4. นำไปปั่นเหวี่ยงตะกอนความเร็ว 5000 รอบต่อนาที 10 นาที
5. นำมาเจือจางด้วยน้ำ ID 9.8 ml และดูดสารที่ปั่นเหวี่ยงมาด้วยปิเปตมา 0.2 ml
6. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงแสง 565 นาโนเมตร
7. นำค่าที่ดูดกลืนแสงมาวิเคราะห์ปริมาณ POC ดังสมการ

$$\text{POC (g/kg)} = M - (a + b \times \text{abs}) \times 9000 \times 0.02 / \text{น้ำหนักดิน (กรัม)}$$

หมายเหตุ : ค่า a และ b ได้จากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 0.01 0.02 0.033 และ 0.05 โมลาร์

จากวิธีมาตรฐานนี้ได้นำมาใช้ในการศึกษาสมบัติต่างๆ ของวิธี POC

1. การศึกษาช่วงแสงที่เหมาะสมต่อการวัดค่าการดูดกลืนแสงของ KMnO_4 โดยการนำสารละลาย KMnO_4 ไปสแกนหาช่วงแสงที่เหมาะสมด้วยเครื่อง Spectrophotometer
2. การศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย KMnO_4 ต่อการออกซิไดซ์คาร์บอน โดยเตรียมสารละลาย KMnO_4 ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.01 ,0.02, 0.033 และ 0.05 โมลลาร์
3. การศึกษาความเป็นกรด่าง (pH) ของสารละลาย KMnO_4 ต่อการออกซิไดซ์คาร์บอน โดยเตรียมสารละลาย KMnO_4 ที่มี pH เท่ากับ Blank 5 ,6 ,7.2 และ 8
4. ศึกษาระยะเวลาในการออกซิไดซ์คาร์บอน โดยการใช้ระยะเวลาในการออกซิไดซ์คาร์บอนเท่ากับ 1 2 5 10 30 60 180 360 และ 720 นาที
5. การศึกษาปริมาณตัวอย่างดินต่อปริมาณ POC โดยชั่งตัวอย่างดินเท่ากับ 0.5 ,1 ,1.5 และ 2 กรัม
6. ขนาดของตัวอย่างดินต่อปริมาณ POC โดยใช้ตัวอย่างดินที่ผ่านการร่อนดินขนาด 0.5 ,1 และ 2 มม.
7. การศึกษาการเติมแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) 0.1 โมลลาร์ในสารละลาย KMnO_4 เพื่อทดแทนการปั่นเหวี่ยงตะกอนและทำการเปรียบเทียบปริมาณ POC ต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวนซ้ำไม่เท่ากันการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาที่ 2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง POC และสมบัติของดิน

ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของ KMnO_4 ต่อการออกซิไดซ์คาร์บอน ได้แก่ ความยาวคลื่นที่ใช้วัดค่าการดูดกลืนแสง ความเข้มข้น และความเป็นกรด่างของสารละลาย KMnO_4 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ระยะเวลาที่ใช้ในทดลอง ปริมาณและขนาดของตัวอย่างดิน ในดินที่ไม่ผ่านการทำการเกษตร และดินที่ทำการเกษตรอย่างเข้มข้น ตัวอย่างดินที่เก็บดังตาราง 2

ตารางที่ 2 Sites of soil samples for this study for experiment 2

Soil sample	Location
Agricultural soil	Research station of Agronomy Department , Maejo University Chiangmai, Thailand.
Non-agricultural soil	Conservation forest at Aumphur Sansai ,Chiangmai, Thailand.

การเก็บตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลองแบ่งเป็นชุดดินสันทราชที่ผ่านการทำการเกษตรเข้มข้นและดินที่ไม่ทำการเกษตร โดยทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-15 ซม. จำนวน 4 จุด นำมารวมเป็น 1 ตัวอย่าง นำไปตากแบบ air – dried แล้วบดให้ละเอียด ทำการร่อนดินด้วยตะแกรงขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มม. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณ POC จากคุณสมบัติต่าง ๆ โดยมีวิธีวิเคราะห์ POC (วิธีมาตรฐาน)

การศึกษาที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนที่ถูกออกซิไดส์ด้วยเปอร์แมงกาเนตและอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินชนิดต่าง ๆ

การเก็บตัวอย่างดินและการวิเคราะห์ข้อมูล จากการใช้ที่ดินในรูปแบบต่าง ๆ ของพื้นที่ศึกษา มีความไม่สม่ำเสมอ จึงได้เก็บตัวอย่างดินที่เป็นตัวแทนของรูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ ที่สามารถแบ่งแยกได้อย่างชัดเจน โดยทำเก็บตัวอย่างในพื้นที่ที่มีการใช้ที่ดินดังกล่าวข้างต้นที่ระดับความลึก 0 – 15 cm เก็บตัวอย่างดินแบบรวม (composite sample) โดยแต่ละตัวอย่างมาจากจำนวน 8 - 10 จุดของแต่ละตำแหน่งที่เก็บ แล้วไปตากแบบตากในที่ร่ม (air-dry) นำดินมาวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนส่วนต่าง ๆ โดยทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคาร์บอนส่วนต่าง ๆ แต่ละรูปแบบของการใช้ที่ดินโดยพิจารณาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย และเสนอส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

วิธีการวิเคราะห์ POC (ดัดแปลงจาก Tirol-Padre and Ladha, 2004 และ Weil et al, 2003)

1. ชั่งตัวอย่างดิน 1-3 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในหลอดเซนต์ปีฟัสขนาด 50 มล.
2. เติมน้ำละลาย KMnO_4 0.033 โมลาร์ 20 มล. และปิดฝา
3. นำไปเขย่าความเร็ว 200 รอบต่อนาที 1 ชั่วโมง (เขย่าซ้ายไปขวา)

4. นำไปปั่นเหวี่ยงตะกอนความเร็ว 5000 รอบต่อนาที 10 นาที
5. ดูดสารละลายสี 1 ซม. จากผิวสารละลาย 0.2 มล. ปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน 10 มล. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 565 นาโนเมตร
6. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณ POC ดังสมการ

$$\text{POC (g/kg)} = M - (a + b \times \text{abs}) \times 9000 \times 0.02 / \text{น้ำหนักดิน (กรัม)} \quad (\text{Weil et al., 2003})$$

เมื่อ	M	= (Morality) ความเข้มข้นของ KMnO_4
	a	= intercept กราฟสารละลายมาตรฐาน
	b	= slope กราฟสารละลายมาตรฐาน
	abs	= atomic absorption
	9000	= น้ำหนัก C (กรัม) ที่ถูกสกัดด้วย 1 โมลลาร์ KMnO_4
	0.02	= ปริมาณ ตัวอย่าง KMnO_4 (ลิตร)

หมายเหตุ: ค่า a และ b ได้จากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 0.000, 0.01, 0.02, 0.03, 0.033 และ 0.04 โมลลาร์

การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอน (Soil organic carbon, SOC)

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดวิเคราะห์ โดยการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนด้วยโพแทสเซียมไดโครเมต แล้วหาปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือโดยโครเมตย้อนกลับด้วยเฟอร์รัสซัลเฟต หลังจากนั้นก็คำนวณหาอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดิน โดยถือว่าวิธีนี้ออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนได้ 77% (Walkley and Black, 1934)

จากวิธีมาตรฐานดังกล่าวนำมาศึกษาถึงสมบัติต่างๆ ของวิธี POC ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาความยาวคลื่นที่เหมาะสมต่อการวัดค่าการดูดกลืนแสงของ KMnO_4 วิเคราะห์โดยการนำสารละลาย KMnO_4 ไปสแกนหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมด้วยเครื่อง scanning spectrophotometer เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมแล้วให้ทำการทดลองกับตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ โดยใช้ความ

ยวคลิ่นที่สแกนได้เป็นทริทเมนต์ที่ 1 และเพิ่มทริทเมนต์ใกล้เคียงอีก 2 ทริทเมนต์ และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ POC ต่อไป

2. การศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย KMnO_4 ต่อการออกซิไดซ์คาร์บอน วิเคราะห์โดยการเตรียมสารละลาย KMnO_4 ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.01, 0.02, 0.033, 0.05, 0.07, 0.1, 0.2 และ 0.333 โมลาร์ และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ POC ต่อไป

3. การศึกษาความเป็นกรดค่า (pH) ของสารละลาย KMnO_4 ต่อการออกซิไดซ์คาร์บอน วิเคราะห์โดยการเตรียมสารละลาย KMnO_4 ที่มี pH เท่ากับ Blank, 5, 6, 7.2 และ 8 และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ POC ต่อไป

4. การศึกษาระยะเวลาเข้าในการออกซิไดซ์คาร์บอน วิเคราะห์โดยใช้ระยะเวลาในการออกซิไดซ์คาร์บอนเท่ากับ 1, 2, 5, 10, 30, 60, 180, 360 และ 720 นาที และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ POC ต่อไป

5. การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการอ่านค่าการดูดกลืนแสงโดยศึกษาที่ระยะเวลาเท่ากับ 0, 10, 30, 60 และ 120 นาที และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ POC ต่อไป

6. การศึกษาการเติมแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) 0.1 โมลาร์ในสารละลาย KMnO_4 เพื่อทดแทนการปั่นเหวี่ยงตะกอน และทำการเปรียบเทียบปริมาณ POC ที่วิเคราะห์ได้

7. การศึกษาปริมาณตัวอย่างดินต่อปริมาณ POC วิเคราะห์โดยชั่งตัวอย่างดินเท่ากับ 0.5, 1, 1.5 และ 2 กรัม และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ POC ต่อไป

8. การศึกษาขนาดของตัวอย่างดินต่อปริมาณ POC วิเคราะห์โดยใช้ตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มม. และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ POC ต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

หาความสัมพันธ์ระหว่าง POC และอินทรีย์คาร์บอนในดินโดยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r^2) ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) และสมการทดลอง และวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA โดยการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำการทดลอง ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดย Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

สถานที่ศึกษา

1. ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

การศึกษาที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินกับอินทรีย์คาร์บอนต่าง ๆ ต่อการหายใจของดิน การเก็บตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินจากลักษณะการใช้พื้นที่แบบต่าง ๆ โดยเป็นพื้นที่ฟาร์มของมหาวิทยาลัยและแปลงทดลองงานวิจัยต่าง ๆ ในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ (ตารางที่ 1) โดยการเก็บตัวอย่างดิน จำนวน 3 ซ้ำ ต่อหนึ่งพื้นที่ตัวอย่าง แด่ซ้ำเก็บแบบตัวอย่างรวม (Composite sample) ที่ระดับความลึก 0-10 cm นำดินที่เก็บได้ไปผึ่งในที่ร่มจนแห้ง แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนดินขนาด 0.5 และ 2 mm เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติของดินด้วยวิธีการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2

การวัดการหายใจของดิน

การวัดปริมาณ CO_2 ในช่วงเวลา 10.00-12.00 น. (5 ธันวาคม 2553 – 27 มกราคม 2554) โดยเครื่องวัด CO_2 (ACE รุ่น Automated CO_2 Exchange Station, ADC Bio Scientific Limited, UK) เป็นระบบ infrared gas analyzer (IRGA) ปริมาตรของหัวครอบ 2.6 ลิตร เส้นผ่าศูนย์กลางยาว 23 cm ก่อนทำการวัดจะตอกท่อสแตนเลสสูง 8 cm และเส้นผ่าศูนย์กลางยาว 23 cm โดยฝังลงไปดินให้ลึก 5 cm การวัดแต่ละครั้งหัวครอบจะครอบปิดท่อสแตนเลสให้สนิทโดยอัตโนมัติ เนื่องจากมีวงยางที่ติดกับหัวครอบป้องกันการรั่วของอากาศเข้าและออก ก่อนทำการวัดได้นำเศษซากพืชออกจากพื้นที่ก่อนโดยไม่รบกวนดิน แล้วนำเครื่อง ACE นี้ไปวางบนผิวน้ำดิน ทำการตั้งเครื่อง ACE โดยใช้คำสั่งแบบวิธีปิดและยอมให้ CO_2 ผ่านเข้าไปในหัวครอบเท่านั้น (Closed mode with zero option) (Pumpacn *et al.*, 2004) การวัดแต่ละครั้งใช้เวลา 1 นาที ซึ่งแต่ละพื้นที่การศึกษาทำการวัด 10 จุด และจุดๆ ละ 2 ครั้ง ขณะเดียวกันเครื่อง ACE นี้ทำการวัดและบันทึกอุณหภูมิดินด้วย (ADC BioScientific Ltd, 2009); (Noe *et al.*, 2010))

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ Analysis of Variances (ANOVA) โดยใช้แผนการทดลองแบบ One – Way ANOVA เพื่อวิเคราะห์ผลของการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ ต่อสมบัติของดินโดยมีจำนวนซ้ำเท่ากัน ยกเว้นการหายใจของดินที่มีจำนวนซ้ำเท่ากับ 20 (ตารางที่ 1) เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least Significant Difference (LSD) ที่

ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการหายใจของดินกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่าง ๆ และความชื้นของดิน โดยสมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)

ตารางที่ 3 รูปแบบการใช้ที่ดิน ลักษณะทั่วไป และการจัดการของพื้นที่ศึกษา (การทดลองที่ 3)

รูปแบบการใช้ที่ดิน (สัญลักษณ์)	ลักษณะทั่วไปและการจัดการ
ป่าใช้สอยบ้านโป่ง (FU)	ป่าเบญจพรรณมีการใช้ประโยชน์ด้วยการเก็บผลผลิตจากป่า พื้นป่ามีการปกคลุมด้วยซากอินทรีย์ ปกคลุมด้วยเรือนยอดต้นไม้ 70-90 % ของพื้นที่ สูงจากระดับปานกลางน้ำทะเล 380 เมตร
แปลงผักฟาร์มมหาวิทยาลัย (VeU)	แปลงผักอินทรีย์+เคมี ใช้ปุ๋ยเคมีค่อนข้างน้อย ให้น้ำสปริงเกอร์อัตโนมัติทุกเช้าเย็น ทำแปลงมีการจัดการเรื่องปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ และสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตามคำแนะนำ มีการใช้พื้นที่ประมาณ 3 ปี สูงจากระดับปานกลางน้ำทะเล 380 เมตร
แปลงไม้ดอกฟาร์มมหาวิทยาลัย (FoU)	ปลูกดอกเบญจมาศ ให้น้ำสปริงเกอร์อัตโนมัติทุกเช้าเย็น ทำแปลงมีการจัดการเรื่องปุ๋ยเคมี และสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตามคำแนะนำ มีการใช้พื้นที่ประมาณ 3 ปี สูงจากระดับปานกลางน้ำทะเล 380 เมตร
แปลงไม้ผลฟาร์มมหาวิทยาลัย(OrU)	ปลูกมะม่วง ให้น้ำโดยวิธีการหยดที่โคนต้น มีการจัดการเรื่องปุ๋ยเคมีและสารเคมีกำจัดศัตรูพืชตามคำแนะนำ มีอายุการใช้ที่ดินประมาณ 14 ปี สูงจากระดับปานกลางน้ำทะเล 380 เมตร
แปลงพืชไร่มหาวิทยาลัย (FoL)	ปลูกข้าวโพด ใช้น้ำเคมี บริเวณโคนต้น มีการให้น้ำแบบดักรด ทุกเช้าเย็น มีอายุการใช้ที่ดินมากกว่า 50 ปี สูงจากระดับปานกลางน้ำทะเล 320 เมตร
แปลงผักมหาวิทยาลัย (VeL)	ปลูกผักเคมี+อินทรีย์ ผักพื้นสวนเคมี ให้น้ำโดยวิธีการดักรดหรือปล่อยน้ำเข้าร่องแปลง อายุการใช้ที่ดินประมาณ 40-50 ปี สูงจากระดับปานกลางน้ำทะเล 320 เมตร
แปลงไม้ผลทดลองมหาวิทยาลัย (OrL)	ปลูกมะม่วง แปลงทดลองปลูกพืช ให้น้ำโดยน้ำหยด เลี้ยงวัวไว้กินแปลง มีหญ้าปกคลุมแปลง มีอายุการใช้พื้นที่ประมาณ 20- 30 ปี สูงจากระดับปานกลางน้ำทะเล 320 เมตร
แปลงไม้ดอกมหาวิทยาลัย (FoL)	ปลูกไม้ดอกจำพวก หงอนไก่ คลาเวรียง ให้น้ำโดยวิธีการรดในหัวแปลง ใช้ปุ๋ยเคมี ดอนต้นพืชยังเล็ก อายุการใช้ที่ดินมากกว่า 30 ปี สูงจากระดับปานกลางน้ำทะเล 320 เมตร

ตารางที่ 4 การประเมินสมบัติของดิน

สมบัติของดิน/อินทรีย์คาร์บอน	วิธีการ	เอกสารอ้างอิง
Soil water content	เก็บตัวอย่างดินโดยใช้ Soil core หุ่นด้วยฟลอยด์ ชั่งน้ำหนักทันที แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C จนแห้งสนิทชั่งน้ำหนักและคำนวณหาความชื้น	Soil core method
Clay	ชั่งตัวอย่างดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 mm เติม Calgon solution 5 % วัดความหนาแน่นของสารละลายด้วยไฮโดรมิเตอร์	Bouyoucos Hydrometer method
SOC (Soil organic carbon)	ชั่งดิน 1,000 g ลงในขวดปฏิกิริยาเคมี $K_2Cr_2O_7$ 10 ml แกว่งให้ผสมกับดิน นำมาเติมด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 ml ภายใต้สุญญากาศทิ้งไว้ 1 คืน เติมน้ำกับ $(NH_4)_2SO_4$	(Walkley and Black, 1934)
WSC (Water soluble carbon)	ชั่งดิน 1-5 g (<2mm) เติมน้ำปราศจากไอออน (DI) 30 ml ปิดฝาแล้วนำไปเขย่า 30 นาที นำไปปั่นที่ 10 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเมมเบรน (< 0.45 μm membrane filter) โทเทรคกับ $FeSO_4$ บันทึกค่าที่ไว้	(Ghani <i>et al.</i> , 2003)
HWSC (Hot water soluble carbon)	นำดินที่ผ่านการวิเคราะห์ WSC มาเติมน้ำ DI 30 ml เขย่าด้วยมือให้เข้ากัน เอาไปตั้งในอ่างน้ำร้อน (Water bath) ที่มีอุณหภูมิ 80°C นาน 16 ชั่วโมง นำไปปั่นที่ 5 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเมมเบรน (0.45 μm) นำสารละลายไปหาอินทรีย์คาร์บอนเหมือนกับวิธี WSC	(Ghani <i>et al.</i> , 2003)
POC (Permanganate oxidizable carbon)	ชั่งดิน 2 g ลงในหลอดเซนต์ปีเตอส์ขนาด 50 ml เติมน้ำ $KMnO_4$ หรือค่าที่พิมพ์ที่ความเข้มข้น 0.033 M ปริมาตร 20 ml จากนั้นนำไปเขย่า 1 ชม. แล้วนำไปปั่นที่ 10 นาที ทำการดูดสารละลายส่วนที่ใสมา 0.2 ml เขย่าจนด้วยน้ำกลั่น 9.8 ml แล้วนำไปอ่านค่า การดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 525 nm โดยใช้เครื่อง spectrophotometer	(Weil <i>et al.</i> , 2003)

การศึกษาที่ 5 การพัฒนาชุดทดสอบวิธีการวิเคราะห์ Permanganate oxidizable carbon เพื่อใช้ในการวัดปริมาณอินทรีย์วัตถุเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ในดิน

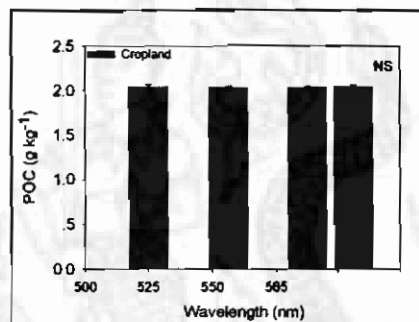
ประกอบชุดต้นแบบในการประเมินอินทรีย์วัตถุในภาคสนาม และมีการทดสอบในการใช้จริง ร่วมกับการวิเคราะห์สมบัติของดินที่สำคัญ

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. การศึกษาที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนโดยหลักการ Permanganate Oxidized Carbon

1. ความยาวคลื่นแสงที่ใช้วัดค่าการดูดกลืนแสงของ KMnO_4

จากการศึกษาความยาวคลื่นที่ใช้วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย KMnO_4 ได้ KMnO_4 แก่ความยาวคลื่น 500, 525, 550 และ 565 นาโนเมตร ดินที่ทำการเกษตรพบว่าปริมาณ POC ที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 2.05, 2.04, 2.04, และ 2.05 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ เมื่อเรานำมาเปรียบเทียบกับทางสถิติพบว่าดินที่ทำการเกษตรนั้นความยาวคลื่น 525 นาโนเมตรจะวิเคราะห์ POC ได้สูงที่สุด โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ดังภาพที่ 1)

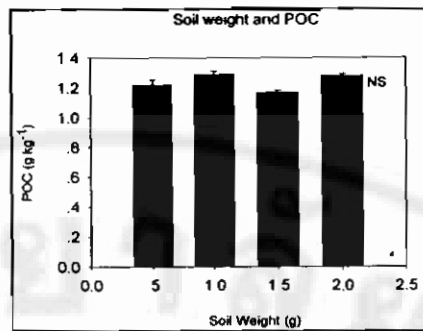


ภาพที่ 1 ความยาวคลื่นที่อ่านค่าการดูดกลืนแสงของ KMnO_4 ต่อการวิเคราะห์ POC

หมายเหตุ: แท่งบาร์ที่อยู่บนกราฟแท่งแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งบาร์ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. น้ำหนักตัวอย่างดิน

จากการศึกษาน้ำหนักของตัวอย่างดินที่ชั่งได้จากน้ำหนักต่างๆ ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 กรัมพบว่าดินที่ทำการเกษตรวิเคราะห์ปริมาณ POC ได้เท่ากับ 1.21, 1.23, 1.08, และ 1.13 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับทางสถิติพบว่าดินที่มีปริมาณตัวอย่างดินน้อยกว่าจะออกซิไดซ์คาร์บอนได้สูงกว่าดินที่ปริมาณคาร์บอนมากกว่า โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ในดินที่ทำการเกษตร (ดังภาพที่ 2)

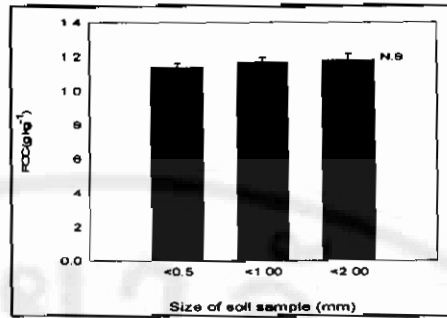


ภาพที่ 2 น้ำหนักของตัวอย่างดินต่อการวิเคราะห์ POC

หมายเหตุ: แท่งบาร์ที่อยู่บนกราฟแท่งแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษ เหนือแท่งบาร์ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.ขนาดของอนุภาคตัวอย่างดิน

ขนาดอนุภาคดิน < 0.5 มม. จะถูกนำไปใช้วิเคราะห์ตัวอย่างดินบางคุณสมบัติที่จำเป็นต้องใช้ตัวอย่างน้อยกว่า 1 กรัม ถ้าปริมาณตัวอย่างดินมากกว่า 1 กรัมจะใช้ตัวอย่างดินที่ขนาด < 2 มม. จากการศึกษาขนาดของอนุภาคตัวอย่างดินได้แก่ < 0.5, < 1.0 และ < 2.0 มม. ในดินที่ทำการเกษตรพบว่า มีปริมาณ POC เท่ากับ 1.14, 1.17 และ 1.18 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากการเปรียบเทียบทางสถิติของดินที่ทำการเกษตร พบว่าขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินต่างกันไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณ POC โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ดังภาพที่ 3)

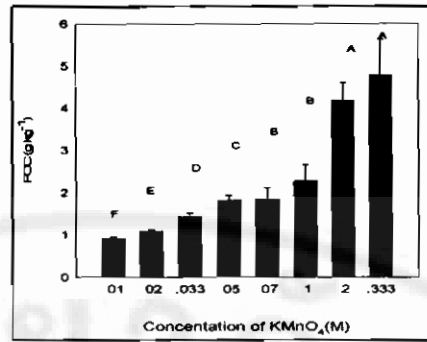


ภาพที่ 3 ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อปริมาณ POC ในดินที่ทำการเกษตร

หมายเหตุ: แท่งบาร์ที่อยู่บนกราฟแท่งแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งบาร์ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.ความเข้มข้นของสารละลาย KMnO_4 ต่อปริมาณ POC

ความเข้มข้นของสารละลาย KMnO_4 ที่ศึกษาได้แก่ความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.033, 0.05, 0.07, 0.1, 0.2 และ 0.333 โมลาร์ โดยดินที่ทำการเกษตรวิเคราะห์ปริมาณ POC ได้เท่ากับ 0.93, 1.10, 1.44, 1.83, 1.84, 2.28, 4.19, และ 4.80 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากการเปรียบเทียบทางสถิติของดินที่ทำการเกษตรพบว่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ POC ได้สูงที่สุด โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ได้แก่ความเข้มข้น 0.333 โมลาร์ (ดังภาพที่ 4)

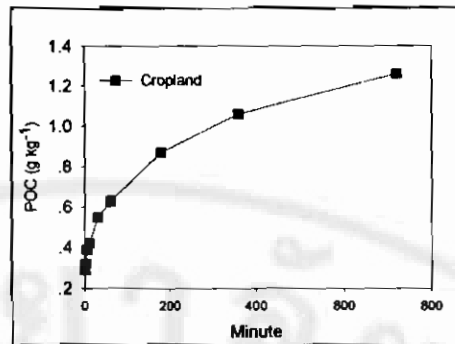


ภาพที่ 4 ความเข้มข้นของ KMnO_4 ต่อการวิเคราะห์ POC

หมายเหตุ: แท่งบาร์ที่อยู่บนกราฟแท่งแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งบาร์ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5.ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา(เวลาในการเขย่า)ที่ศึกษาได้แก่ระยะเวลา 1, 2, 5, 10, 30, 60, 180, 360 และ 720 นาที พบว่าดินที่ทำการเกษตรวิเคราะห์ปริมาณ POC ได้เท่ากับ 0.29, 0.32, 0.39, 0.42, 0.55, 0.63, 0.87, 1.06 และ 1.26 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ เมื่อนำค่า POC ที่ได้มาเฉลี่ยค่อนนาที่พบว่าดินที่ทำการเกษตรวิเคราะห์ปริมาณ POC เฉลี่ยค่อนนาที่ได้เท่ากับ 0.29, 0.16, 0.078, 0.042, 0.018, 0.011, 0.005, 0.003 และ 0.002 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ จากการเปรียบเทียบทางสถิติของดินที่ทำการเกษตร พบว่าระยะเวลา 1 นาทีจะวิเคราะห์ปริมาณ POC เฉลี่ยค่อนนาที่ได้สูงที่สุด โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และจะลดลงตามลำดับเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลา 180 นาทีค่า POC จะเริ่มนิ่ง (ดังภาพที่ 5)

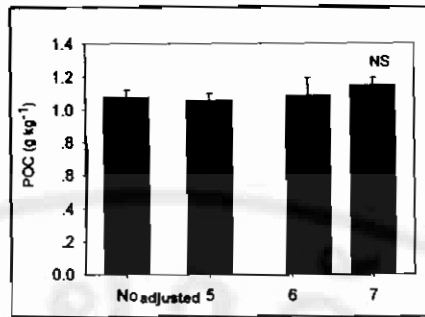


ภาพที่ 5 เวลาเข้าต่อการวิเคราะห์ POC

หมายเหตุ: แท่งบาร์ที่อยู่บนกราฟแท่งแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษ เหนือแท่งบาร์ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

6.pH ของสารละลาย KMnO_4 ต่อปริมาณ POC

การศึกษาสารละลาย KMnO_4 ที่ไม่ปรับ pH และปรับ pH เท่ากับ 5, 6, 7.2 และ 8 ต่อปริมาณ POC พบว่าดินที่ทำการเกษตรวิเคราะห์ปริมาณ POC เท่ากับ 1.16, 1.08, 1.06, 1.09 และ 1.15 กรัมต่อ กิโลกรัมตามลำดับ จากการเปรียบเทียบทางสถิติของดินที่ทำการเกษตรพบว่า pH ต่าง ๆ ของสารละลาย KMnO_4 ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ POC โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ดังภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 pH ของ KMnO_4 ต่อการวิเคราะห์ POC

หมายเหตุ: แท่งบาร์ที่อยู่บนกราฟแท่งแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษ เหนือแท่งบาร์ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

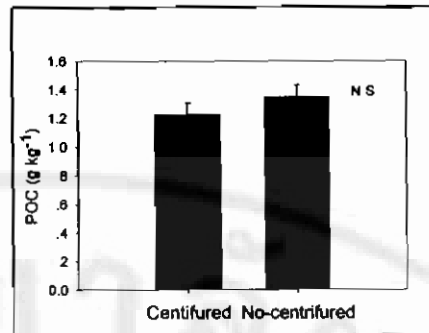
7.การเติม CaCl_2 ลงในสารละลาย KMnO_4 เพื่อทดแทนการปั่นเหวี่ยงตะกอน

จากการศึกษาการเติม CaCl_2 0.1 โมลลาร์ในสารละลาย KMnO_4 (ไม่ปั่นเหวี่ยงตะกอน) และการไม่เติม CaCl_2 ในสารละลาย

KMnO_4 (ปั่นเหวี่ยงตะกอน) พบว่าที่ดินที่ทำการเกษตรวิเคราะห์ POC ได้เท่ากับ 1.23 และ 1.35 กรัมต่อกิโลกรัมดินลำดับ จากการ

เปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าการเติม CaCl_2 0.1 โมลลาร์ในสารละลาย KMnO_4 0.033 โมลลาร์นั้นไม่มีผลกระทบทางสถิติต่อการวิเคราะห์

POC ในดินที่ทำการเกษตร โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ดังภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 อิทธิพลของ CaCl_2 ต่อการวิเคราะห์ POC

หมายเหตุ: แท่งบาร์ที่อยู่บนกราฟแท่งแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรภาษาอังกฤษเหนือแท่งบาร์ที่ไม่เหมือนกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากการศึกษาผลของการใช้ที่ดินที่มีปัจจัยต่างๆต่อการวิเคราะห์ POC ได้แก่พื้นที่ ที่ทำการเกษตร พบว่า

1) ยาวคลื่นแสงที่ใช้วัดค่าการดูดกลืนแสงของ KMnO_4 ได้แก่ความยาวคลื่น 500, 525, 550 และ 565 นาโนเมตร ปริมาณ POC ของดินที่ทำการเกษตรที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสมคือ 525 นาโนเมตรมีการวิเคราะห์ POC ได้สูงที่สุด

2) น้ำหนักของตัวอย่างดินที่ชั่งได้จากน้ำหนักต่าง ๆ ได้แก่ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 กรัม ค่าที่เหมาะสมของดินทำที่ทำการเกษตรคือ 0.5-1

3) ขนาดของอนุภาคตัวอย่างดินได้แก่ <0.5, <1.0 และ <2.0 มม. ดินที่ทำการเกษตรพบว่าขนาดอนุภาคของตัวอย่างดินต่างกันไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณ POC

4) ความเข้มข้นของสารละลาย KMnO_4 ที่ศึกษาได้แก่ความเข้มข้น 0.01, 0.02, 0.033, 0.05, 0.07, 0.1, 0.2 และ 0.333 โมลาร์ ดินที่ทำการเกษตรพบว่าความเข้มข้นที่วิเคราะห์ POC ค่าที่เหมาะสม 0.033 โมลาร์

5) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา(เวลาในการเขย่า)ที่ศึกษาได้แก่ระยะเวลา 1, 2, 5, 10, 30, 60, 180, 360 และ 720 นาที ดินที่ทำการเกษตร พบว่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม 180 นาที

6) pH ของสารละลาย KMnO_4 ต่อปริมาณ POC pH เท่ากับ 5, 6, 7.2 และ 8 ดินที่ทำการเกษตรพบว่า pH ต่าง ๆ ของสารละลาย KMnO_4 ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ POC

- 7) การเติม CaCl_2 0.1 โมลลาร์ในสารละลาย KMnO_4 (ไม่ป็นเหวี่ยงตะกอน) และการไม่เติม CaCl_2 ในสารละลาย KMnO_4 (ป็นเหวี่ยงตะกอน) พบว่าที่ดินที่ทำการเกษตรวิเคราะห์ POC ได้เท่ากับ 1.23 และ 1.35 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่าไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ POC

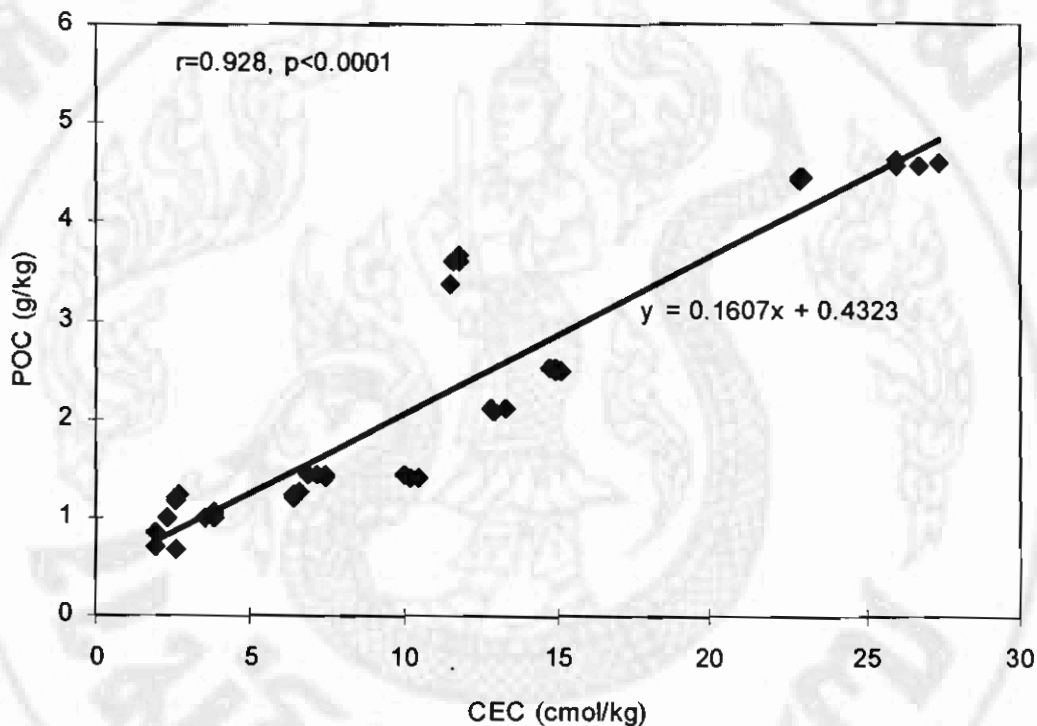
จากผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยต่างๆที่นำมาศึกษาวิเคราะห์หาอินทรีย์คาร์บอนโดยใช้หลักการ Permanganate Oxidized Carbon 1) ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตรสามารถวิเคราะห์ปริมาณ POC ได้สูงที่สุดในดินที่ทำการเกษตร 2) ความเข้มข้นของ KMnO_4 เพิ่มขึ้นปริมาณ POC ที่วิเคราะห์ได้จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดย KMnO_4 ที่มีความเข้มข้นสูงๆ สามารถวิเคราะห์ค่า POC ได้มากกว่า KMnO_4 ที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า KMnO_4 ที่มีความเข้มข้นสูงๆ จะมีแรงออกซิไดซ์คาร์บอนได้สูง Tirol-Padre and Ladha. (2004) รายงานว่า KMnO_4 0.033 โมลลาร์จะออกซิไดซ์คาร์บอนในสารอินทรีย์ที่บริสุทธิ์ (carbon in pure organic compounds) ได้ 2-45 เปอร์เซ็นต์ใน 1 ชั่วโมงเท่านั้น ดังนั้นการวิเคราะห์ POC ที่ระดับความเข้มข้น 0.01-0.333 โมลลาร์ในระยะเวลา 1 ชั่วโมงจึงยังไม่สรุปได้ว่าค่าความเข้มข้นใดเหมาะสมที่สุดเนื่องจากปัจจัยทางด้านระยะเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยามีจำกัด 3) ระยะเวลาเขย่าในช่วงแรกๆ (0-180 นาที) ค่า POC จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของ POC ก็จะคงที่ จากรายงาน Loginow et al. (1987) กล่าวว่าช่วง แรกๆ KMnO_4 จะไปออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ดังนั้นการวิเคราะห์ labile C ควรวิเคราะห์ที่ระยะเวลา 60 นาทีของการออกซิไดซ์คาร์บอน 4) เมื่อเราเพิ่มน้ำหนักรีดดินเพิ่มขึ้นไปก็จะเห็นว่า ปริมาณของ KMnO_4 ที่มี POC ก็จะเพิ่มตาม แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักรีดดินเป็น 1.5 กรัม ปริมาณของ POC กลับลดลงไปเนื่องจากอาจใช้ระยะเวลาในการการทำปฏิกิริยา แต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักรีดดินอีก 2 กรัม ปริมาณของ POC กลับเพิ่มขึ้น Gruver, (2004) รายงานว่าน้ำหนักรีดดินที่น้อยกว่าจะออกซิไดซ์คาร์บอนได้สูงกว่าน้ำหนักรีดดินที่มากกว่า เนื่องจากปริมาณ POC ที่ต่างกันนี้อาจจะใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็นปัจจัยในการพิจารณา ดังนั้นการวิเคราะห์ POC ควรที่จะใช้น้ำหนักรีดดินที่คงที่ และไม่ควรที่จะเปลี่ยนปริมาณน้ำหนักรีดดินบ่อยๆ 5) แต่เมื่อปริมาณของขนาดอนุภาคตัวอย่างดิน มากขึ้นเท่าไรปริมาณของ POC ก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ 6) การเติม CaCl_2 0.1 โมลลาร์ในสารละลาย KMnO_4 0.033 โมลลาร์นั้นไม่มีผลกระทบทางสถิติต่อการวิเคราะห์ POC ในดินที่ทำการเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Weil et al. (2003) ในประเด็นการเติม CaCl_2 0.1 โมลลาร์ในสารละลาย KMnO_4 0.02 โมลลาร์ 7) pH ต่างๆของสารละลาย KMnO_4 ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ POC ในดินที่ทำการเกษตร

การศึกษาที่ 2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง POC และสมบัติของดิน

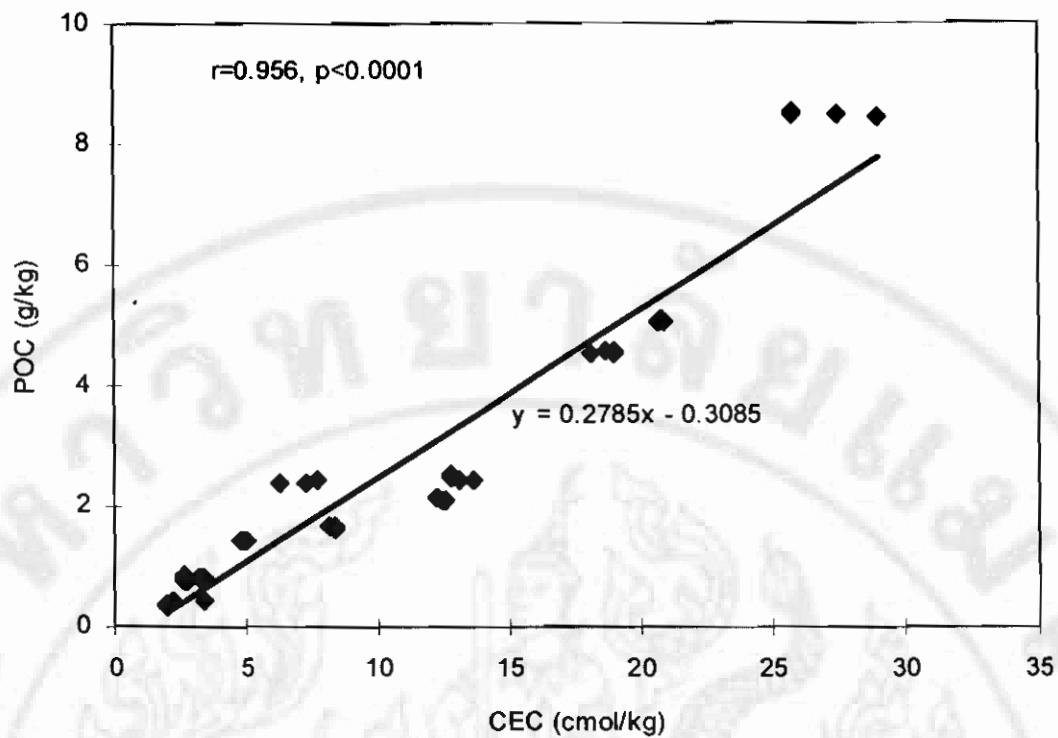
เมื่อค่า POC มาความสัมพันธ์กับสมบัติต่าง ๆ ของดินได้แก่ ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ดินเหนียว และอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินพบว่า POC มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับสมบัติต่างๆ ของดินที่ทำการเกษตรสูงกว่าดินที่ไม่ทำการเกษตร ดังรายละเอียดต่อไป

ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchangeable capacity; C.E.C.)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า C.E.C. และ POC มีสหสัมพันธ์เชิงบวกสูงมาก ($p < 0.0001$) ทั้งในดินที่ทำการเกษตรและไม่ทำการเกษตร เนื่องจากฮิวมัสในดินมีค่า C.E.C. สูงมาก (คณาจารย์ ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ดังนั้นดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงก็พลอยมี C.E.C. สูงตามไปด้วย



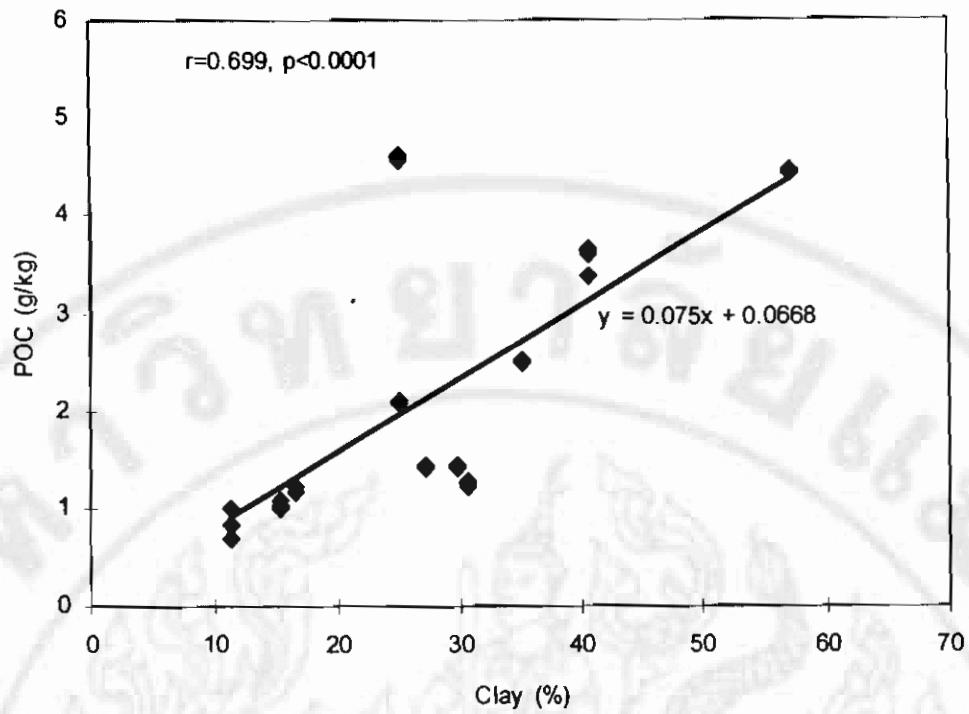
ภาพที่ 2 สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่าง POC และ C.E.C. ในดินที่ทำการเกษตร



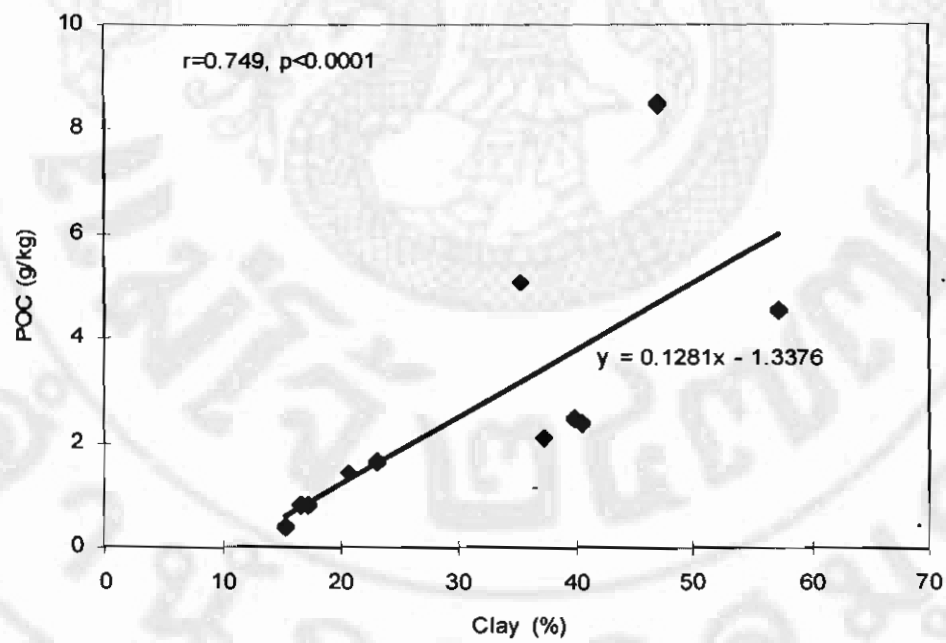
ภาพที่ 8 สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่าง POC และ C.E.C. ในดินที่ไม่ทำการเกษตร

ดินเหนียว (clay)

อนุภาคดินเหนียวเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่สุดของดินมองไม่เห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา อนุภาคดินเหนียวมีเนื้อที่ผิวมาก อุ้มน้ำได้มาก ดูดซับสารต่าง ๆ และธาตุอาหารพืชได้ดี ดินเหนียวส่วนมากจึงเป็นดินอุดมสมบูรณ์ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าดินเหนียวมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับ POC ทั้งในดินที่ทำการเกษตรและไม่ทำการเกษตร เนื่องจากดินที่มีเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวสูงย่อมมี C.E.C. สูงกว่าดินที่เปอร์เซ็นต์น้อยกว่า ดังนั้นดินเหนียวจึงมีความสัมพันธ์ทางอ้อมกับฮิวมัสในดิน และ POC ตามไปด้วย อีกทั้งดินเหนียวบางชนิดยังสามารถดูดซับสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนไว้ที่ผิวดินได้อีกด้วย



ภาพที่ 9 สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่าง POC และ clay ในดินที่ทำการเกษตร



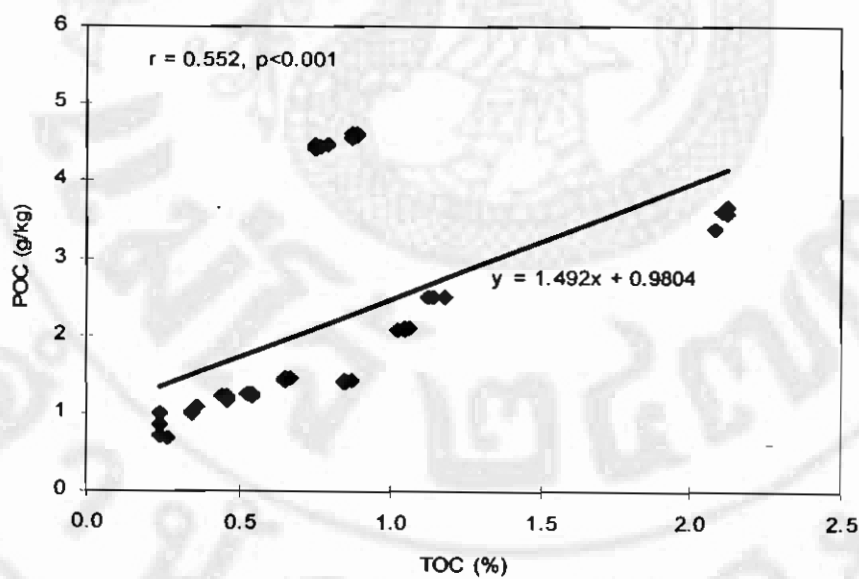
ภาพที่ 10 สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่าง POC และ clay ในดินที่ไม่ทำการเกษตร

อินทรีย์คาร์บอนในดิน (Soil organic carbon; SOC)

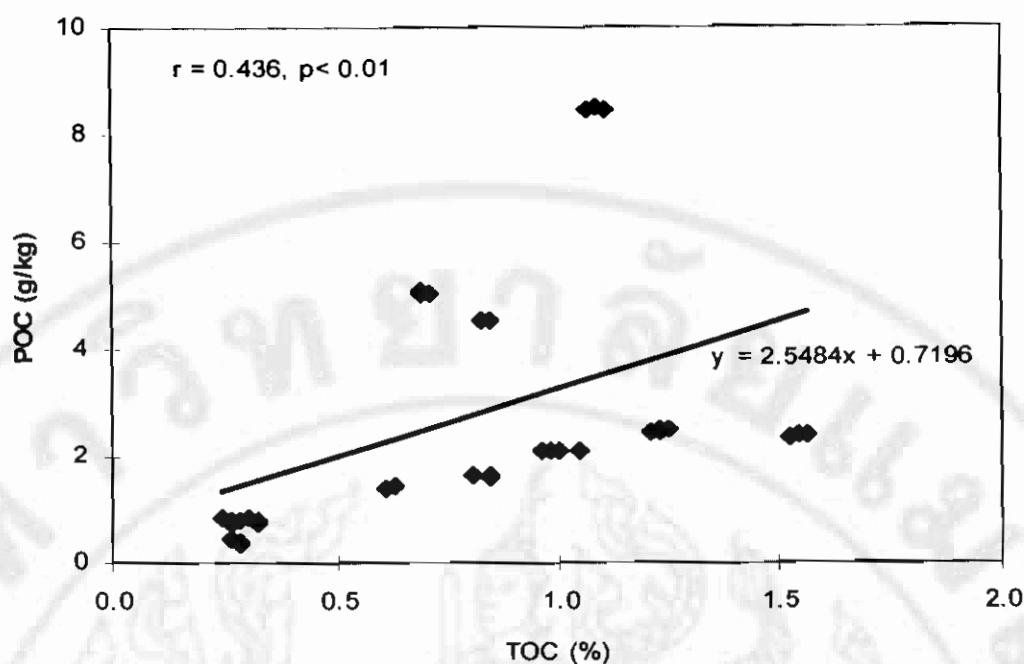
อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินเป็นส่วนประกอบหลักของอินทรีย์วัตถุ ถึง 58 เปอร์เซ็นต์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) จากการวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดของดินเมื่อนำตัวคูณ (Factor) 1.724 ไปคูณค่าอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดจะได้ค่าอินทรีย์วัตถุ โดยทั่วไปแล้วดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ถือว่าเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช สารประกอบอินทรีย์ KMnO_4 เป็นเกลือที่ละลายในน้ำโดยมีโพแทสเซียม (K^+) และ เปอร์แมงกาเนต (MnO_4^-) เป็นสารประกอบ เมื่อสารละลายดังกล่าวทำปฏิกิริยากับอินทรีย์คาร์บอนจะทำให้ประจุของแมงกานีส +7 เปลี่ยนเป็น +2 ทำให้สีม่วงเข้มของ KMnO_4 เปลี่ยนไปเป็นสารละลายใสไม่มีสี ซึ่ง KMnO_4 1 โมลลาร์จะออกซิไดซ์คาร์บอนได้ 9,000 มิลลิกรัม

เมื่อนำค่า TOC ไปหาความสัมพันธ์กับค่า POC พบว่าดินที่ทำการเกษตรนั้น TOC มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับ POC ($p < 0.001$) โดยมีค่า r เท่ากับ 0.552 ดังภาพ 30 ส่วนดินที่ไม่ทำการเกษตรพบว่า TOC มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับ POC ($p < 0.01$) โดยมีค่า r เท่ากับ 0.436 ดังภาพ 25

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า TOC มีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับ POC ทั้งในดินที่ทำการเกษตรและไม่ทำการเกษตรเนื่องจากทั้งสองค่านี้เป็นส่วนประกอบของอินทรีย์วัตถุในดินเมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงจึงทำให้ทั้งสองลดลงตามไปด้วย



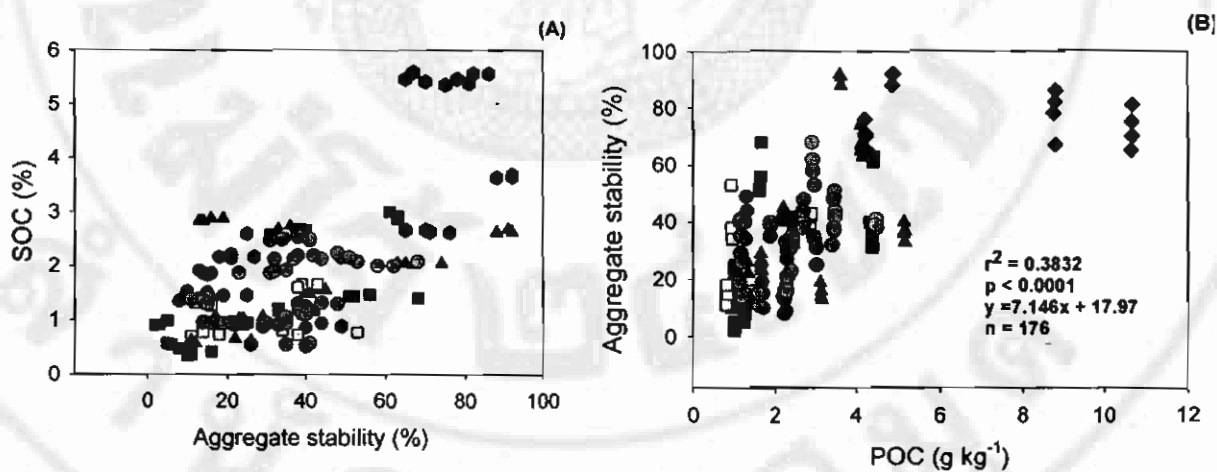
ภาพที่ 11 สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่าง POC และ TOC ในดินที่ทำการเกษตร



ภาพที่ 12 สหสัมพันธ์และสมการถดถอยระหว่าง POC และ TOC ในดินที่ไม่ทำการเกษตร

ความสัมพันธ์ระหว่าง POC และความคงทนของเม็ดดิน (Aggregate stability)

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ POC และความคงทนของเม็ดดิน พบว่าเมื่อดินมีปริมาณ POC เพิ่มขึ้น ความคงทนของเม็ดดินเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 Relationship between (A) SOC and (B) POC and stability of 1-2 mm-size aggregates in 0-15 cm soil samples of variety land uses in Chiang Mai province, Northern Thailand.

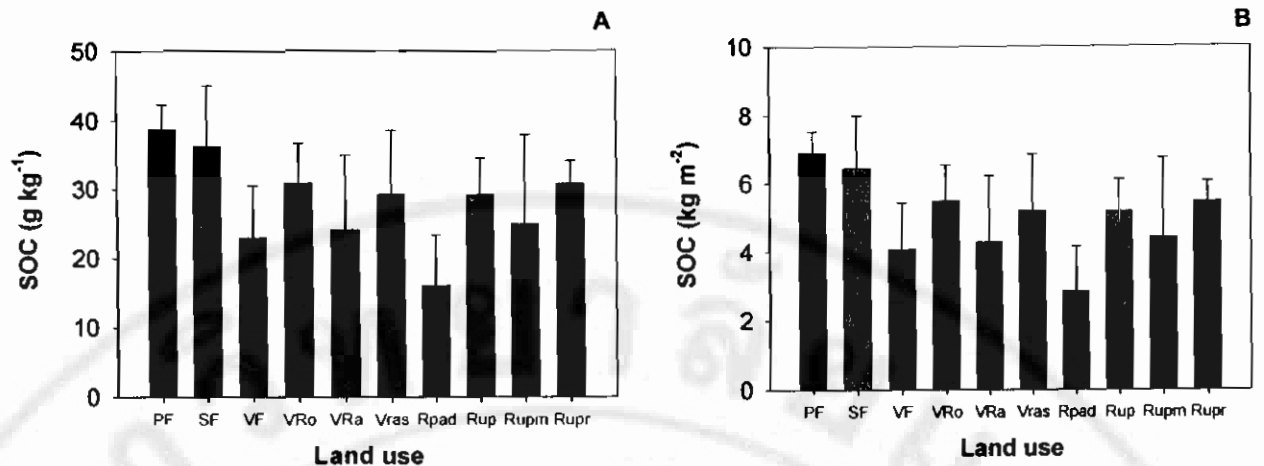
การศึกษาที่ 3 ผลของการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ ต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุและPOC

อินทรีย์คาร์บอน (soil organic carbon , SOC)

ความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอน (SOC) มีค่าตั้งแต่ 1.66 – 38.73 g kg⁻¹ พบว่าความเข้มข้นของ SOC มีค่าสูงสุดในพื้นที่ป่าทั้งสองชนิด ซึ่งสูงกว่าดินที่ใช้ในการเกษตรอย่างต่อเนื่อง โดยพื้นที่ป่ามีความเข้มข้นของ SOC จะมีค่าสูงในพื้นที่ปลูกผักและข้าวไร่มีค่า SOC สูงกว่าพื้นที่ปลูกข้าวนาดำ (ภาพที่ 14A)

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนแตกต่างกันไปตามลักษณะของสารอินทรีย์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีการและตัวอย่างดินที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ง่ายต่อการย่อยสลาย (labile carbon fraction) โดยใช้หลักการหาคาร์บอนจาก Walkley and Black (1934) และมีเพิ่มความร้อนของสารละลาย 130 °C ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดจากส่วนต่างๆตามวิธีการที่ใช้คาร์บอนส่วนต่างๆนั้น จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (SOC) ที่ใช้เมล็ดดินของตัวอย่างที่ร้อนผ่านตะแกรง 0.5 mm นั้น จะเห็นได้ว่าวิธีการนี้อาจวิเคราะห์คาร์บอนทั้งส่วนที่ง่าย และยากต่อการสลายตัว (labile และ recalcitrant carbon fraction) เพราะจะมีการรวมเอาอินทรีย์คาร์บอนที่ติดอยู่กับอนุภาคดินเหนียวมาด้วย

การเก็บรักษาคาร์บอนในพื้นที่ต่าง ๆ มีปริมาณระหว่าง 2.84 – 6.89 kg/m² โดยการปลูกข้าวนาดำมีการเก็บรักษาคาร์บอนต่ำสุด (ภาพที่ 14B) จากรายงานของ Lal (2002) รายงานว่าผลของการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ ต่อการเก็บรักษาคาร์บอนในระดับดินชั้น A horizon ของดินป่า ดินพื้นที่ดอน และดินนา (paddy fields) มีปริมาณเท่ากับ 5.40 , 1.31 และ 2.40 kg/m² ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ทำการเกษตร โดยเฉพาะการปลูกข้าวนาดำมีปริมาณและการเก็บรักษาคาร์บอนในรูปนี้ได้น้อยกว่าการใช้ที่ดินแบบอื่น ๆ



ภาพที่ 14 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินจากพื้นที่การใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ

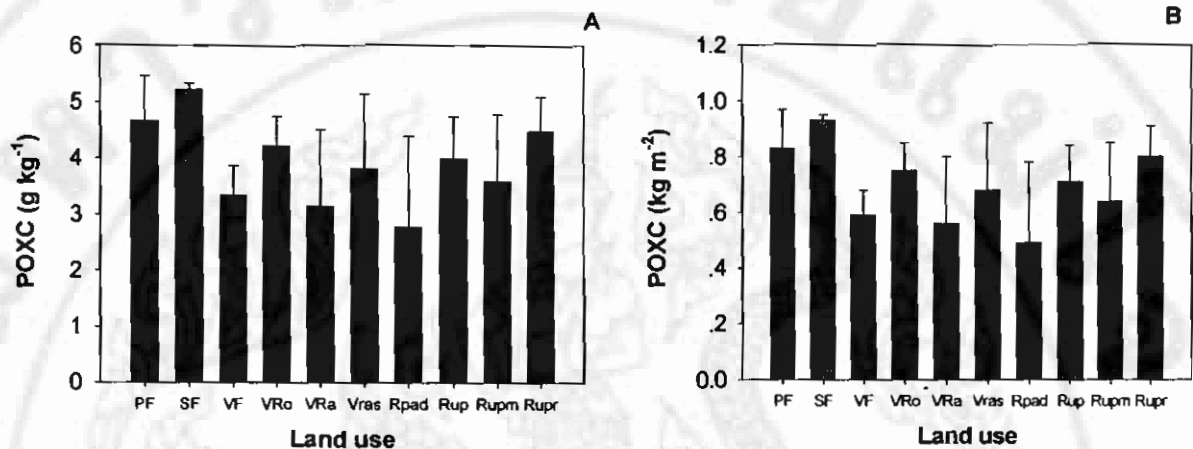
อินทรีย์คาร์บอนที่ออกซิไดส์ด้วย MnO_4^- (permanganate-oxidizable carbon, POC)

ความเข้มข้นของ POC มีค่าตั้งแต่ 2.77 – 5.22 g kg⁻¹ (ภาพที่ 15A) พบว่า POC มีค่าสูงสุดในดินป่าใช้สอย และมีค่าต่ำสุดในดินที่ปลูกข้าวนาฉ่ำ โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่ง Tirol – Padre and Ladha (2004) ได้เสนอแนะว่า จากวิธีการนี้จะสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งส่วน labile carbon และส่วนของ stable carbon fraction ของอินทรีย์วัตถุ ดังนั้น POC อาจจะใช้อธิบาย oxidizable carbon ที่เป็นองค์ประกอบของ lignin ที่ถูกป้องกันไว้โดยแร่ดินเหนียวได้

สำหรับ POC เป็นคาร์บอนที่ใช้สารละลาย MnO_4^- ที่มีอำนาจการออกซิไดซ์สูงเพื่อหาคาร์บอนหรือที่เรียกว่า permanganate oxidized carbon อย่างไรก็ตาม ปริมาณคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารออกซิไดซ์ดังกล่าวด้วยซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้สารละลาย KMnO_4 0.05 M โดยเป็นความเข้มข้นที่ต่ำที่สามารถออกซิไดซ์ labile carbon ได้ จะเห็นได้ว่าการศึกษานี้พบว่าความเข้มข้นของ POC มีความแตกต่างกันระหว่างการใช้ที่ดินทั้ง 10 รูปแบบ

การที่ POC มีศักยภาพใช้เป็นดัชนีวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินเนื่องมาจากการใช้ที่ดินได้ พบว่าปริมาณการเก็บรักษาคาร์บอนไว้ในดินในรูปของ POC มีค่าตั้งแต่ 0.49–0.93 kg/m² (ภาพที่ 15B) โดยพบว่าดินที่ปลูกข้าวนาฉ่ำมีค่าต่ำสุด โดย Weil et al. (2003) ได้ศึกษาจากดินที่ได้รับไถน้อยครั้งมีปริมาณ POC ประมาณ 1.500 g / kg ในขณะที่ Whitbread et al. (2003) ศึกษาในดิน Paleaquilt โดยปริมาณ POC ที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วงประมาณ 0.400 - 4.000 g / kg การศึกษานี้พบว่าดินที่ใช้ปลูกข้าวนาฉ่ำมีการเก็บรักษาคาร์บอนในรูปของ POC ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการเก็บในรูปของ SOC แต่อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาปริมาณของ POC แล้วนั้นไม่

ตอบสนองชัดเจนต่อการใช้ที่ดิน ซึ่ง Tirol-Padre and Ladha (2004) ได้เสนอแนะว่าวิธีการนี้สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งส่วน labile carbon และส่วนของ stable carbon fraction ของอินทรีย์วัตถุ ดังนั้น POC อาจจะใช้อธิบาย oxidizable carbon ที่เป็นองค์ประกอบของ lignin ที่ถูกป้องกันไว้โดยอนุภาคดินได้ ซึ่งส่วนนี้อาจถือว่าเป็น stable carbon fraction ก็ได้ แต่ Weil et al. (2003) ได้เสนอว่า POC เป็นการหาปริมาณ labile carbon ที่สามารถตอบสนองต่อการใช้ที่ดินได้ดี อย่างไรก็ตามปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณ POC นั้นคือความเข้มข้นของสารละลาย KMnO_4 ที่ใช้วิเคราะห์ เป็นต้น และการศึกษาส่วนมากยังไม่ได้รายงานผลการเก็บรักษาคาร์บอนในส่วนของ POC ไว้



ภาพที่ 15 ผลของการใช้ที่ดินต่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่วิเคราะห์ด้วยวิธีเพอร์แมงกานेटออกซิไดซ์คาร์บอน (POC) (เส้นเหนือแท่งกราฟ=Standard Error)

ตารางที่ 5 ผลของการใช้ที่ดินต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุ (SOC) และอินทรีย์คาร์บอนที่วิเคราะห์ด้วยวิธีเพอร์แมงกานेटออกไซด์คาร์บอน (POC)

Land use	สัญลักษณ์	POC g/kg	STDEV	SOC g/kg	STDEV
ป่าต้นน้ำ	PF	4.66	0.81	38.72	3.59
ป่าใช้สอย	SF	5.22	0.11	36.18	8.80
ผัก-เต็มพื้นที่	VF	2.85	1.35	19.66	11.10
ผัก-หมุนพื้นที่	VRo	4.21	0.53	30.83	5.89
ผัก-น้ำฝน	VRa	2.69	1.37	20.66	10.80
ผัก-น้ำฝน slope>35 %	Vras	3.27	1.89	25.01	13.95
นาข้าว	Rpad	2.77	1.62	15.98	7.38
ข้าวไร่	Rup	3.33	1.76	24.25	12.78
ข้าวไร่สลับพืชพาณิชย์	Rupm	2.99	1.81	20.72	15.44
ข้าวไร่+หมุนเวียน	Rupr	3.36	2.29	22.98	15.56

จากการศึกษาของ Tirol – Padre and Ladha (2004) ได้แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์คาร์บอนด้วยวิธีการ POC กับปริมาณ labile carbon ในรูปของ WSC (water soluble carbon) มีค่าสหสัมพันธ์กันต่ำ แต่ปริมาณคาร์บอนที่วิเคราะห์โดยวิธี POC กับอินทรีย์วัตถุทั้งหมดในดิน (SOC) มีค่าสหสัมพันธ์กันสูง สำหรับ Weil et al. (2003) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง POC และตัวชี้วัดคุณภาพของดินอื่นๆ ใน 18 ฟาร์มในแอตแลนติกตอนกลางพบว่า POC มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับกิจกรรมทางชีววิทยาทั้ง 4 ของดิน (substrate-induced respiration, basal respiration, มวลจุลินทรีย์ดิน และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้) สูงกว่า SOC และ Tirol-Padre and Ladha (2004) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง POC กับ SOC ใน 10 ตัวอย่างดินจากประเทศฟิลิปปินส์ที่มีการใส่อินทรีย์วัตถุในอัตราที่แตกต่างกันเป็นเวลานานและติดต่อกันพบว่าทั้งสองตัวชี้วัด (POC และ SOC) มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยมีค่า r^2 (coefficient of determination) เท่ากับ 0.96 ($p < 0.01$) และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง POC กับ SOC ในดิน 8 ตัวอย่างจากประเทศอินเดียพบว่า POC มีความสัมพันธ์กับ SOC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) และการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง POC กับ SOC ในดินป่า ดินทุ่งหญ้า และดินเกษตรที่มีการบ่ม 96 วัน พบว่าทั้งสองวิธีนั้นมี r^2 เท่ากับ 0.94 และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของทั้งสองที่เท่ากัน (10%) (Mendham et al., 2003)

สำหรับการศึกษานี้พบแนวโน้มว่าการจัดดินต่าง ๆ (ดินทำเกษตร) มีผลทำให้ปริมาณ POC และ SOC ลดลง(เปรียบเทียบดินที่ไม่ได้ทำการเกษตรและดินที่ทำเกษตร) เช่น การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าธรรมชาติมาทำการเกษตรในประเทศบังกลาเทศ เนื่องจากการทำการเกษตรจะทำให้ผิวน้ำดินมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของปริมาณ silt clay ความพรุนของดิน โครงสร้างของดิน ปริมาณไนโตรเจน ฟลูวิค ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่สลายตัวง่าย(labile C) และมวลคาร์บอนของจุลินทรีย์ดิน อันเป็นผลมาจากการใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตร (Islam and Weil, 2000) นอกจากนี้ การจัดการดินมีผลต่อปริมาณ POC และ SOC ในพื้นที่เกษตรหลังจากถางป่ามาทำเกษตรนาน 18 ปี POC และ SOC ลดลง 79 และ 73 % ตามลำดับ(Whitbread et al., 2003) หรือการศึกษานินทรีย์คาร์บอนในแบบต่างๆ ในพื้นที่ที่มีการทำการเกษตรพบว่า POC, non-active C และ SOC ลดลงหลังจากพื้นที่นั้นได้ถูกเปลี่ยนสภาพให้เป็นพื้นที่เกษตรคือ -63.3%, -39.3% และ -44.9% ตามลำดับ แต่หลังจากที่นำพืชตระกูลถั่วเข้าไปปลูกหมุนเวียนกับพืชหลักเป็นระยะเวลา 2 ปีพบว่าอินทรีย์คาร์บอนต่างๆดังกล่าวข้างต้น กลับมีค่าเพิ่มขึ้นคือ +58.8% +15.7% และ +21.6 % ตามลำดับ พวกเขาจึงกล่าวอีกว่า POC เป็นตัวชี้วัดที่ไวต่อ labile C สูงกว่า non-active C และ SOC (Blair et al., 1995)

จากผลการศึกษารายงานว่า POC มีศักยภาพในการชี้วัดคุณภาพดินเท่ากับปริมาณ SOC ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่า POC สามารถที่จะใช้เป็นดัชนีชี้วัดถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพดินเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของ SOC และจากวิธีการและสารเคมีที่ใช้ถือว่าเป็นวิธีง่ายและไม่เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและตกค้างในสิ่งแวดล้อม จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเช่นเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการวิเคราะห์และความสัมพันธ์กับสมบัติของดินอื่น ๆ และการเจริญเติบโตของพืช และอาจจะพัฒนาต่อไปให้มีวิธีการที่ง่ายและสะดวกต่อการใช้ในภาคสนามสำหรับเกษตรกรและเจ้าหน้าที่ในการนำไปใช้ในการบำรุงรักษาที่ดินและดิน

การศึกษาที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินกับอินทรีย์คาร์บอนต่าง ๆ ต่อการหายใจของดิน

1.รูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆ ต่อสมบัติของดินต่างๆ

จากการศึกษารูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆ จากพื้นที่ FU, VetU, FoU, OrU, VetL, OrL และ FoL พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.93, 17.69, 16.50, 17.83, 16.63, 17.06, 17.16 และ 17.46 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ตามลำดับ ส่วนปริมาณของ SOC มีค่าเท่ากับ 0.85, 0.61, 1.19, 0.61, 0.17, 0.33, 0.54 และ 0.33 ตามลำดับ สำหรับปริมาณ WSC เท่ากับ 19.31, 21.31, 13.98, 14.65, 12.66, 25.32 และ 15.32 mg kg^{-1} ตามลำดับ มีปริมาณ HWSC มีค่าเท่ากับ 40.62, 42.63, 41.27, 18.65, 25.32, 32.65

และ 32.65 mg kg^{-1} และปริมาณ POC มีค่าเท่ากับ 1.19, 1.70, 4.22, 1.69, 0.88, 0.78, 1.72 และ 1.14 g kg^{-1} ตามลำดับ ในขณะที่ความชื้นเท่ากับ 5.03, 11.04, 11.50, 6.73, 6.80, 6.94 และ 6.99 % ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ตารางที่ 3)

2. ความสัมพันธ์ระหว่างการหายใจของดินกับอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆ

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่าง ๆ กับ อัตรา CO_2 ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน พบว่าการปลดปล่อย CO_2 ของดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณ HWSC, SOC และ POC โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.956, 0.866 และ 0.777 ตามลำดับ (ตารางที่ 4) อาจจะทำนายได้ว่าเมื่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเหล่านี้เพิ่มขึ้นในดิน มีผลทำให้การปลดปล่อยก๊าซ CO_2 จากดินจะเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่พบแนวโน้มความเป็นกรด-ด่างของดินมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 เช่นกัน ($r = 0.662$, $p = 0.104$) แต่ไม่พบความสัมพันธ์ชัดเจนระหว่างความชื้นของดิน ปริมาณ WSC และอุณหภูมิดินกับการปลดปล่อย CO_2 แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษาครั้งนี้เป็นการรายงานความสัมพันธ์เพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น ซึ่งยังมีปัจจัยที่มาเกี่ยวข้องหลายประการ เช่น การปลดปล่อย CO_2 (ผลของช่วงเวลา ตำแหน่ง และวิธีการวัดการปลดปล่อย CO_2 เป็นต้น) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของดิน (เช่น เนื้อดิน) (Aumtong, 2011) และจุลินทรีย์ดิน (เช่น ชนิดจุลินทรีย์ดิน และระยะการเจริญเติบโต) เป็นต้น (De Nobili *et al.*, 2001)

ตารางที่ 6 ผลของการใช้ที่ดินต่อค่าเฉลี่ย $\pm$ (Standard error) ของ pH ของดิน สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน อินทรีย์คาร์บอนต่างๆ และการหายใจของดิน (CO_2 effluxes) ในช่วง 5 ธันวาคม 53 – 27 มกราคม 2554

Land use	Clay %	pH (1:10)	(%)		(mg kg ⁻¹)		(g kg ⁻¹)	($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
			Soil moisture	SOC	WSC	HWSC	POC	CO_2 effluxes (n=20)
FU	12 $\pm$ 0.58	5.03 $\pm$ 0.04	5.03 $\pm$ 0.28 B	0.86 $\pm$ 0.036 B	19.31 $\pm$ 1.76 AB	40.62 $\pm$ 1.34 AB	1.91 $\pm$ 0.03 B	17.93 $\pm$ 0.18 A*
		F						
FoU	11 $\pm$ 0.58	6.67 $\pm$ 0.04	11.04 $\pm$ 2.00 A	0.62 $\pm$ 0.010 C	21.31 $\pm$ 1.76 AB	42.63 $\pm$ 1.34 B	1.71 $\pm$ 0.02 B	17.69 $\pm$ 0.19 AB
		C						
OrU	0.7 $\pm$ 0.33	5.98 $\pm$ 0.03	2.02 $\pm$ 0.23 B	1.20 $\pm$ 0.053 A	21.31 $\pm$ 0.66 AB	53.93 $\pm$ 3.07 A	4.22 $\pm$ 0.1 A	16.50 $\pm$ 0.18 D
		E						
VetU	7.3 $\pm$ 0.67	6.41 $\pm$ 0.04	11.50 $\pm$ 2.20 A	0.62 $\pm$ 0.009 D	13.98 $\pm$ 1.16 B	41.27 $\pm$ 0.68 BC	1.70 $\pm$ 0.05 B	17.83 $\pm$ 0.18 AB
		D						
FcL	10 $\pm$ 0.00	7.73 $\pm$ 0.05	6.99 $\pm$ 1.94	0.34 $\pm$ 0.030 C	15.32 $\pm$ 3.52 B	32.65 $\pm$ 2.42 E	1.14 $\pm$ 0.3 C	16.63 $\pm$ 0.10 D
		A	AB					
VetL	12.3 $\pm$ 0.33	6.59 $\pm$ 0.02	6.94 $\pm$ 2.39	0.55 $\pm$ 0.010 C	25.32 $\pm$ 2.40 B	32.65 $\pm$ 2.42 DE	1.73 $\pm$ 0.04 C	17.06 $\pm$ 0.11 C
		B	AB					
OrL	14.3 $\pm$ 0.33	7.79 $\pm$ 0.04	6.80 $\pm$ 0.11	0.34 $\pm$ 0.010 B	12.66 $\pm$ 6.76 A	25.32 $\pm$ 0.39 CD	0.78 $\pm$ 0.02 B	17.16 $\pm$ 0.09 C
		A	AB					
FoL	22 $\pm$ 1.15	7.31 $\pm$ 0.01	6.73 $\pm$ 2.35	0.18 $\pm$ 0.010 C	14.65 $\pm$ 0.66 B	18.65 $\pm$ 4.08 CD	0.88 $\pm$ 0.31 C	17.46 $\pm$ 0.10 BC
		B	AB					

หมายเหตุ * ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

1.การประเมินวิธีการวัดการหายใจของดิน

การศึกษาการหายใจของดินมีความสลับซับซ้อน การพัฒนาวิธีการและเครื่องมือยังมีข้อได้เสียและพัฒนาอยู่ (Kuzakov and Bol, 2006) เพื่อหาวิธีการที่ดีที่สุด ในการให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้อง และซึ่งมีความสำคัญมากในการที่จะนำข้อมูลไปใช้ (Heinemeyer *et al.*, 2011) จากการค้นคว้าเอกสารพบว่า Noe *et al.* (2010) ได้ศึกษาการปลดปล่อย CO_2 จากดิน (soil CO_2 efflux) โดยวิธีการ Automatic chamber system พบว่าการปลดปล่อย CO_2 เท่ากับ $5.45 \pm 0.11 - 8.40 \pm 0.82 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ โดยดินดังกล่าวมีความชื้นเฉลี่ยในช่วง 45.71- 56.97 % โดยปริมาตร อุณหภูมิดินเฉลี่ย $11.7 \pm 0.1 ^\circ\text{C}$ และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ย $10.02 \pm 0.2 ^\circ\text{C}$

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอินทรีย์คาร์บอนชนิดต่างๆและความชื้นของดินกับปริมาณ CO_2 ที่ปลดปล่อยจากดินที่มาจากการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ (n = 7)

Carbon fraction or Soil property (X)	Correlation coefficient (r)	Probability	$\text{CO}_2 \text{ efflux} = a + b(x)$	
			A	B
HWSC	0.956	0.0008	15.724	0.049
SOC	0.866	0.0116	16.503	1.774
POC	0.777	0.0397	16.281	0.789
Soil pH	0.662	0.104	19.605	- 0.325
Soil moisture	0.350	0.440	16.860	0.677
WSC	0.185	0.690	17.062	1.777
Soil temperature	0.137	0.769	15.417	0.084

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินจากการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ มีค่าระหว่าง 22.4-24.8 °C ที่ดินระดับความลึก 0-1 cm และค่า r นั้นไม่นำค่าวิเคราะห์ของพื้นที่ OrU มารวมด้วย

นอกจากนี้ ผลจากการวัดช่วงฤดูร้อนจากดินในพื้นที่ป่าเขตหนาวพบว่าการปล่อยปล่อยระหว่าง 2 - 6 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (ตารางที่ 5) และเมื่อเปรียบเทียบกับจากการศึกษาครั้งนี้เป็นดินเขตร้อนทางภาคเหนือของประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง $16.63 \pm 0.10 - 17.93 \pm 0.18 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าเนื่องจากอุณหภูมิดินและปริมาณอินทรีย์สารที่สูงกว่าซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดินเขตร้อนที่สูงกว่าในดินเขตอบอุ่นนั่นเอง ที่ควรตระหนักในเวลานี้คือข้อมูลการหายใจของดินนั้น เป็นข้อมูลที่มีความถูกต้องดีพอหรือไม่ ตลอดจนวิธีการประเมินการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 จากดินในระบบนิเวศต่าง ๆ นั้นมีลักษณะที่แตกต่างกัน ตลอดจนวิธีการวัด เช่น ความลึกในตอกท่อสเดนเลสให้ดินเท่าไรเพื่อให้เกิดความเหมาะสม ซึ่งการศึกษาของ Heinemeyer *et al.* (2011) พบว่าความลึกของท่อ สเดนเลสมีผลอย่างยิ่งต่อข้อมูล CO_2 ที่ได้ ตลอดจนระยะเวลาการวัดยาวนาน ช่วงเวลาในการวัด ตำแหน่งในการวัด เป็นต้น จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าวิธีการวัดเมื่อเปรียบเทียบกับความลึกของท่อและความยาวนานของการวัดอัตราวัดการหายใจของดินในการศึกษาครั้งนี้สูงกว่า Noe *et al.* (2011) ซึ่งมีวิธีการคล้ายกันอาจจะเนื่องจากผลของอุณหภูมิดินและปริมาณของ Labile organic Carbon ที่สูงกว่าดินที่เขตอบอุ่นจากผลการศึกษาของ Noe *et al.* (2011) แต่อย่างไรก็ตามความชื้นของดินจากการศึกษาครั้งนี้ถือว่ามีความต่ำ ซึ่งจะมีผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์และการหายใจของดินทำให้ค่าที่ได้มีค่าที่ต่ำเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 8 การศึกษาการหายใจของดินที่มีการใช้ที่ดินแบบต่าง ๆ และวิธีการวัดการหายใจของดิน

Land use or condition	Reference	Measurement of CO ₂	CO ₂ efflux (μmol m ⁻² s ⁻¹) (time at measured)
The mixing of homogeneous quartz sand with particle sizes of 0.05-0.2 and 0.6 mm and 25 % volumetric water content	(Punpanen <i>et al.</i> , 2004)	Non-steady-state-flow chambers and Steady-state through-flow chamber (in laboratory)	0.32-10.01
Undisturbed agricultural soil core sample, Closed chamber	(Nakada <i>et al.</i> , 2002)	Air sample was collected and analyzed by IRGA(In Lab.)	0.03-0.11 (February, air temperature 10-20 °C) 1.00-1.77 (August, air Temperature 20-40 °C)
Forest soil temperat zone	(Noe <i>et al.</i> , 2011)	ACE รุ่น Automated CO ₂ Exchange Station, ADC Bio Scientific Limited, UK เป็นระบบ infrared gas analyzer (IRGA) (In field plot)	8.40 ± 0.82 (September, soil temperature 12.6 °C) 9.60 ± 0.04 (October, soil temperature 8.4 °C) 5.45 ± 0.53 (November, 5.7 °C)

บทบาทของการจัดการดินต่อการหายใจของดิน

จากการศึกษารูปแบบการใช้ที่ดินแบบต่างๆ ต่อการหายใจของดินพบว่าพื้นที่ซึ่งมีอัตราการผลิตของดินสูงที่สุด คือพื้นที่ป่าใช้สอย(FU) แปลงไม้ดอก (FoU) และแปลงผักฟาร์(VetU) ซึ่งมีค่าสูงกว่ารูปแบบการใช้ที่ดินแบบอื่นๆ อาจจะเนื่องมาจากดินในพื้นที่นี้มีอินทรีย์วัตถุสูง สำหรับการใช้เป็นแหล่งคาร์บอน ไนโตรเจนและพลังงานของจุลินทรีย์ บริเวณรอบรากพืชมีปริมาณของจุลินทรีย์มากและหลากหลายชนิด จึงส่งผลให้กิจกรรมของจุลินทรีย์มากดินและทำให้การหายใจของดินเพิ่มขึ้น (Luo and Zhou, 2006) ซึ่งสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ส่งเสริมกิจกรรมดังกล่าวข้างต้น โดยรายงานของ Ghani *et al.* (2003) เสนอว่าส่วนที่ง่ายในการสลายหรือเป็นส่วนย่อยสลายง่ายต่อการย่อยสลาย เช่น อินทรีย์วัตถุที่ละลายน้ำได้เป็นส่วนที่สำคัญในการเป็นแหล่งพลังงานให้กับจุลินทรีย์ ซึ่งได้แก่ WSC และ HWSC อินทรีย์คาร์บอนเหล่านี้เป็นอินทรีย์คาร์บอนที่เป็นส่วนประกอบของอินทรีย์วัตถุในดิน และสามารถสลายที่สะท้อนถึงระบบการจัดการดิน-พืชในดินที่ใช้ทำการเกษตรและดินที่มีปริมาณวัสดุอินทรีย์ส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย (Labile organic material) สูงจะทำให้มีการปลดปล่อย CO₂ เพิ่มขึ้นด้วย ((Webster *et al.*, 2000);(Burford and Bremner, 1975))

จากผลการศึกษาครั้งนี้พบว่าแปลงไม้ผล (OrU) ซึ่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนที่ง่ายต่อการย่อยสลายสูงสุด แต่กลับมีการปลดปล่อย CO_2 ก่อนต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ใช้ทำการเกษตรด้วยกัน เมื่อพิจารณาข้อมูลความชื้นของดินพบว่ามีความชื้นในดินเพียง 2.2 % เท่านั้น ซึ่งความชื้นที่ต่ำนี้มีผลต่อการใช้สารอินทรีย์คาร์บอนต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ดิน จึงทำให้มีการปลดปล่อย CO_2 ต่ำ (Heinemeyer *et al.*, 2011) แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษา ^{13}C พบว่าในดินที่ปลูกข้าวโพดนั้นมีการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ได้ปลูกข้าวโพด ทำให้การหายใจของดินปลูกพืชลดลง (Negative priming effect) เพราะมีอิทธิพลของจุลินทรีย์บริเวณรากพืชดูดใช้คาร์บอน (Carbon assimilation) ทำให้มีการปลดปล่อย CO_2 ลดลง (Gottlicher *et al.*, 2006)

จากการศึกษาพบว่าในบริเวณพื้นที่แปลงในเขตฟาร์ม (VetU และ FoU) มีอัตราการปลดปล่อย CO_2 สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เกษตรอื่น (OrU, FeL, VetL, OrL และ FoL) อาจจะเนื่องจากเหตุผลต่อไปนี้

1) ผลของการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ สำหรับดินที่ใช้ทำการเกษตร เช่น พื้นที่ปลูกผักและไม้ดอก (FoU และ VetU) ที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ มีการให้น้ำทุกเช้าเย็นดินจึงมีความชื้นตลอดจนการใส่ปุ๋ยขาว นอกจากนี้ดินพื้นที่ดังกล่าวเป็นการซื้อหน้าดินมาใช้ โดยพบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่าง ๆ (HWSC, SOC และ POC) มีปริมาณสูงซึ่งสัมพันธ์กับการปลดปล่อย CO_2 สอดคล้องกับศึกษาของ (Marinari *et al.*, 2010) โดยอาจจะเนื่องจากธาตุอาหารจากการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ส่งเสริมให้ SOC เพิ่มขึ้น (Gong *et al.*, 2009) ตลอดจนส่วนของอินทรีย์คาร์บอนส่วนที่ย่อยสลายได้ง่าย (Labile organic carbon) เช่น HWSC และ POC (Aumtong *et al.*, 2009) โดยสารเหล่านี้จะพวกพอลิแซ็กคาไรด์ อะมิโน แอซิด และกรดฟูลวิก (Conteh *et al.*, 1998) และปริมาณจุลินทรีย์ดิน (Gong *et al.*, 2009) จึงเป็นการส่งเสริมการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 (White *et al.*, 2010) ซึ่งอาจจะรวมถึงก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่น ๆ ด้วย การศึกษาครั้งนี้พบว่าดินที่ใช้ทำการเกษตรบางพื้นที่มีการปลดปล่อย CO_2 ต่ำกว่าพื้นที่ป่าใช้สอยนั้นเพราะปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่าง ๆ (SOC, WSC และ HWSC) ปริมาณต่ำกว่าพื้นที่ป่าใช้สอยจึงทำให้การหายใจของดินต่ำด้วย หรืออาจเป็นเพราะบทบาทของดินในการดูดซับคาร์บอนไว้ (Soil carbon adsorption) (Riffaldi *et al.*, 1998) โดยเฉพาะส่วนของ WSC และ HWSC นั้นถูกดูดซับไว้บนพื้นผิวของแร่ดินเหนียวด้วยกลไกทางเคมีและกายภาพ หรือทำปฏิกิริยาร่วมกับสารอนินทรีย์หรืออินทรีย์ต่าง ๆ ที่อยู่ในดิน (Von Lutzow *et al.*, 2006) นอกจากนี้บทบาทของอนุภาคดินเหนียวอาจส่งผลต่อการหายใจของดินด้วย ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าดินที่ใช้ทำการเกษตร (FeL, VetL, OrL และ FoL) มีสัดส่วนของอนุภาค Clay สูงกว่าดินป่าใช้สอย (FU) จาก

การศึกษาของ Aumtong (2011) ที่ทำการศึกษามดินประดิษฐ์ (Artificial soil) ที่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวต่าง ๆ ในสภาพห้องปฏิบัติการ (25 °C) พบว่าดินที่มีปริมาณอนุภาคค้ำนั้นมีการหายใจของดินสูงกว่าดินที่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูง (Aumtong, 2011) นอกจากนี้ อนุภาคดินเหนียวรวมทั้งหรือเม็ดดินพอกหรือหุ้มสารอินทรีย์บางส่วนซึ่งสามารถป้องกันอินทรีย์คาร์บอนไว้ ไม่ให้จุลินทรีย์นำไปใช้เป็นแหล่งพลังงาน (Von Lutzow *et al.*, 2006)

2) การใส่ปูน (Liming) สำหรับในดินทำการเกษตรที่มีการใส่ปูนมาช้านานนั้น ถึงแม้ว่าอนุมูล HCO_3^- ทำปฏิกิริยากับกรดแก่แล้วเกิด CO_2 ออกมาและหลังจากนั้น ดินดังกล่าวจะมี Ca^{2+} จากปูนเข้าไปเกาะอยู่บนพื้นผิวของอนุภาคดิน โดยแทนที่และปลดปล่อย H^+ ออกมา (การแลกเปลี่ยน Cation) เพื่อให้ H^+ ทำปฏิกิริยากับ HCO_3^- ได้ H_2CO_3 ซึ่งกรดนี้ไม่เสถียรแต่แตกตัวเป็นน้ำกับ CO_2 จึงทำให้ดินเป็นกลาง (neutralization) (Oh and Raymond, 2006) มีการรายงานผลของการใส่ปูนต่อการหายใจของดิน เช่น ดินพรที่เป็นกรด (acidic peat) ก่อนใส่ปูนมีการปลดปล่อย CO_2 มีค่าเท่ากับ $0.4 \mu\text{g C g}^{-1} \text{ soil d}^{-1}$ และเพิ่มขึ้นเป็น $3171 \mu\text{g C g}^{-1} \text{ soil d}^{-1}$ หลังการใส่ปูน ดินที่ผ่านการใส่ปูนมาช้านานนั้นในสารละลายดินยังคงมีปริมาณของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} สูงและสัมพันธ์กับปริมาณ HCO_3^- ในสารละลายดิน แล้วอนุมูล HCO_3^- ไปทำปฏิกิริยากับ H^+ ในดิน และยังคงปลดปล่อย CO_2 ออกมา เพราะยังมีผลตกค้างของสารปูนอยู่ (Hamilton *et al.*, 2007) แต่ก็มีบางรายงานกล่าวว่า การปลดปล่อย CO_2 ลดลงภายหลังจากการใส่ปูน ทั้งนี้เพราะปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ย่อยสลายได้ง่ายมีความเข้มข้นลดลงภายหลังการใส่ปูน (Page *et al.*, 2009) แต่โดยทั่วไปแล้วสำหรับดินที่เป็นกรดนั้น การหายใจของดินมีค่าต่ำอยู่แล้ว เนื่องจากในสภาพดังกล่าวกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Haynes and Naidu, 1998) หรือการหายใจของรากพืชมีค่าน้อยเอง อาจจะกล่าวได้ว่าการหายใจของดินทางการเกษตรที่ค้ำนั้น อาจจะมีสาเหตุหลายประการ ได้แก่ ปริมาณ SOC และ Labile carbon ที่ต่ำกว่า แต่มีปริมาณอนุภาค Clay สูงกว่า จึงส่งผลให้ชนิดและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเกษตรมีต่ำด้วย รวมทั้งการจัดดินต่าง ๆ ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างอาณาบริเวณรากพืชกับจุลินทรีย์ นอกจากนี้ จากผลการศึกษาครั้งนี้ทำให้ตระหนักถึงผลกระทบจากการเกษตรต่อการหายใจของดิน ซึ่งควรมีการหารูปแบบการจัดการดินเพื่อให้ได้ผลผลิตที่เพียงพอต่อความต้องการอาหารของมนุษย์ แต่ในขณะเดียวกันจำเป็นต้องคำนึงถึงการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วย

ศักยภาพในการชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดินของ POC

ความอุดมสมบูรณ์ของดินประกอบด้วยสมบัติของดินหลายประการ ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินด้วย POC นั้นจึงจำเป็นต้องหาความสัมพันธ์กับสมบัติต่าง ๆ เหล่านั้น จากผลการทดลองพบว่า POC สามารถชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ทำการเกษตรในระดับสูงมาก (29 คะแนน) และระดับสูงในดินที่ไม่ทำการเกษตร (22 คะแนน) เนื่องจากดินที่ทำการเกษตรมีกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทำให้สมบัติต่าง ๆ ของดินเกิดการเปลี่ยนแปลง POC จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินในดินที่ทำการเกษตรมากกว่าดินที่ไม่ทำการเกษตร

ตารางที่ 9 ผลคะแนนของ POC ต่อการชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน

สมบัติ ของดิน	ดินที่ทำการเกษตร		ดินไม่ทำการเกษตร	
	P	คะแนน	p	คะแนน
N	<0.0001	4	>0.05	0
P	>0.05	0	>0.05	0
K	<0.0001	4	<0.0001	4
Ca	<0.0001	4	<0.0001	4
Mg	<0.01	2	>0.05	0
CEC	<0.0001	4	<0.0001	4
Clay	<0.0001	4	<0.0001	4
EC	<0.0001	4	<0.0001	4
SOC	<0.001	3	<0.01	2
รวม		29		22

หมายเหตุ: p = Level significant

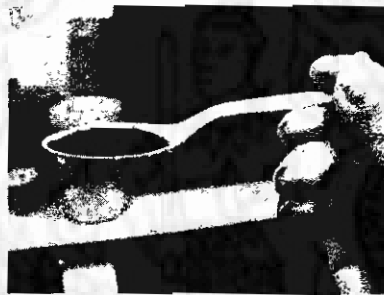
จากผลการศึกษารายงานว่า POC มีศักยภาพในการชี้วัดคุณภาพดินเท่ากับปริมาณ SOC ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่า POC สามารถที่จะใช้เป็นดัชนีชี้วัดถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพดินเช่นเดียวกับปริมาณของ SOC และจากวิธีการและสารเคมีที่ใช้ถือว่าเป็นวิธีง่ายและไม่เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและตกค้างในสิ่งแวดล้อม จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเช่นเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการวิเคราะห์และความสัมพันธ์กับสมบัติของดินอื่น ๆ และการเจริญเติบโตของพืช และอาจจะพัฒนาต่อไปให้มีวิธีการที่

ง่ายและสะดวกต่อการใช้ในภาคสนามสำหรับเกษตรกรและเจ้าหน้าที่ในการนำไปใช้ในการบำรุงรักษาที่ดินและดิน

การศึกษาที่ 5 การพัฒนาชุดทดสอบวิธีการวิเคราะห์ Permanganate oxidizable carbon เพื่อใช้ในการวัดปริมาณอินทรีย์วัตถุเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ในดิน

วิธีการวิเคราะห์

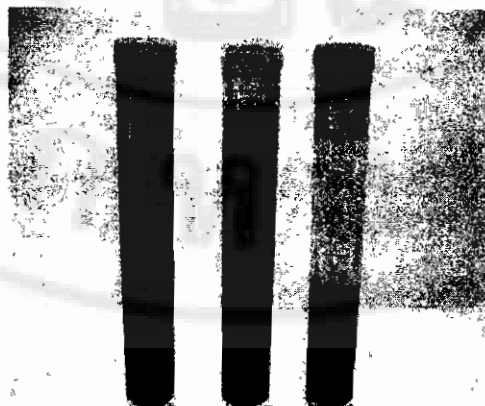
1. ชั่งดินแห้ง 3 กรัมหรือดิน 1 ช้อนไอศกรีม ใส่ลงในหลอดเซนต์ปีวีสขนาด 50 มิลลิลิตรหรือหลอดพลาสติกที่มีปริมาตรใกล้เคียงกัน



2. เติมน้ำละลาย KMnO_4 ลงไป 10 มิลลิลิตรหรือใส่ประมาณ $1\frac{1}{2}$ ฝาของฝาหลอดเซนต์ปีวีส



3. ปิดฝาแล้วเขย่าด้วยมือ 1 นาที จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอน 5 นาที



4. สังเกตสีของสารละลายที่อยู่เหนือดิน ทำการเปรียบเทียบกับสีมาตรฐานเพื่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอน เพื่อประมาณความอุดมสมบูรณ์ของดิน

สีของสารละลาย



ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

คำอธิบายสีของสารละลาย

- สีของสารละลายจะมีสีใสในเวลา เมื่อที่ทิ้งไว้ 5 นาที แสดงว่าดินที่มีค่า POC สูงหรือดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนในดินสูง
- สารละลายจะมีสีชมพูแสดงว่า ดินที่มีค่า POC อยู่ในระดับปานกลางหรือค่อนข้างต่ำหรือมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนปานกลางหรือค่อนข้างต่ำ
- สารละลายจะไม่ค่อยเปลี่ยนสีจะสีเดิมที่มีสีม่วงแสดงว่าดินที่มีค่า POC ต่ำสุดดินนั้นมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนต่ำ

หรือ

สีของสารละลาย	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ความอุดมสมบูรณ์ของดิน
สีม่วง	ต่ำ	ต่ำ
สีชมพู	กลาง	กลาง
สีใส	สูง	สูง

ตารางที่10 ผลการประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยวิธีการของเพอร์แมงกานेटออกซิไดส์เซเบิล คาร์บอนแบบพกพา (Test kit) และวิธีแบบไดโครเมต wet digestion

No.	กรด-ด่าง	อินทรีย์วัตถุ	SOC	SOC	ฟอสฟอรัส	โปแตสเซียม	ปริมาณ อินทรีย์วัตถุ	เนื้อดิน (แบบ แฉับ)	poc (g/kg)
Lab		%	%	(g kg ⁻¹)	Ppm	Ppm	(POC)	สัมผัส)	
1	6.13	1.54	0.893	8.93	28	265	ปานกลาง	เหนียว	1.29
2	6.94	1.26	0.731	7.30	14	157	ต่ำ	เหนียว	0.97
3	4.88	1.26	0.731	7.30	21	128	ต่ำ	ร่วน	0.59
4	5.25	1.82	1.056	10.55	19	196	ปานกลาง	เหนียว	1.26
5	6.32	2.1	1.218	12.18	175	114	สูง	ปนร่วน	1.84
6	5.84	1.32	0.766	7.65	7.9	97	ต่ำ	ร่วน	0.91
7	6.77	1.75	1.015	10.15	8.48	176	ปานกลาง	เหนียว	1.25
8	6.57	5.74	3.329	33.29	27	160	สูง	เหนียว	4.23
9	6.77	0.81	0.470	4.69	120	20	ปริมาณต่ำ	ร่วน	0.68
10	6.32	1.26	0.731	7.30	8	55	ปานกลาง	ทราย	0.90
11	6.93	1.35	0.783	7.83	30	206	ต่ำ	ปนร่วน	0.65
12	7.58	1.24	0.719	7.19	58	133	ต่ำ	ปนร่วน	0.87
13	6.54	3.2	1.856	18.56	17	116	ปานกลาง	ปนร่วน	2.10
14	5.68	1.36	0.789	7.88	3	83	ต่ำ	ปนร่วน	0.63
15	5.95	1.02	0.592	5.91	3	97	ต่ำ	ทราย	0.76
16	7.44	0.7	0.406	4.06	39	153	ต่ำ	ทราย	0.71
17	8.1	17.95	10.411	104.11	2107	3592	สูง		2.63
18	6.93	22.27	12.917	129.16	2883	5136	สูง		2.98
19	7.67	2.09	1.212	12.12	128	143	ต่ำ	เหนียว	1.62
20	6.09	2.33	1.351	13.51	471	323	ต่ำ	เหนียว	1.63
21	6.32	0.55	0.319	3.19	2.2	128	ต่ำ	เหนียว	0.09
22	6.17	0.58	0.336	3.36	2.8	488	ต่ำ	ทราย	0.11
23	6.16	0.88	0.510	5.10	3.6	96	ต่ำ	เหนียว	0.43

24	5.93	0.55	0.319	3.19	2.5	61	ต่ำ	เหนียว	0.32
25	5.89		0.000	0.00			ปานกลาง	เหนียว	1.31
26	6.04	1.03	0.597	5.97	2.4	87	ต่ำ	เหนียว	0.81
27	5.36		0.000	0.00			ค่อนข้างต่ำ	เหนียว	1.10
28	5.61	2.41	1.398	13.97	17	51	ต่ำ	เหนียว	2.94
								ทราย	
29	6.6	1.12	0.650	6.49	108	137	ค่อนข้างต่ำ	ร่วน	0.96
30	5.19	1.87	1.085	10.84	14	39	ต่ำ	ร่วน	1.58
31	5.54	1.4	0.812	8.12	36	34	ต่ำ	ร่วน	1.06
32	5.55	3.15	1.827	18.27	112	431	ปานกลาง		2.54
33	6.79	3.78	2.192	21.92	286	365	ปานกลาง	เหนียว	2.47
34	4.63	2.19	1.270	12.70	8.7	448	สูง	เหนียว	2.11
								ร่วนปน	
35	6.1	0.81	0.470	4.69	6.8	752	ต่ำ	ทราย	0.59
								ร่วนปน	
36	7.02	0.89	0.516	5.16	107	248	สูง	ทราย	0.84
								ทราย	
37	5.66	0.41	0.238	2.37	7	176	ต่ำ	ร่วน	0.79
38	7.16	0.97	0.563	5.62	27	160	ต่ำ	ดินร่วน	0.48
								ดิน	
								ทราย	
39	5.66	0.64	0.371	3.71	2	50	ต่ำ	ร่วน	0.67
								ดิน	
								ทราย	
40	6.18	0.74	0.429	4.29	24	102	ต่ำ	ร่วน	0.48
								ดิน	
								ทราย	
41	5.72	0.67	0.389	3.88	2	15	ต่ำ	ร่วน	0.54
								ดินร่วน	
								ปน	
42	6.04	1.33	0.771	7.71	4	83	ต่ำ	ทราย	0.54
								ดินร่วน	
								ปน	
43	6.07	1.24	0.719	7.19	9	63	ต่ำ	ทราย	1.07
44	7.63	1.56	0.905	9.04	12	258	สูง	เหนียว	3.46
								ร่วนปน	
45	6.04	2.09	1.212	12.12	2	73	สูง	เหนียว	1.69
46	6.24	2.24	1.299	12.99	7	128	ต่ำมาก	เหนียว	2.63

47	5.11	0.74	0.429	4.29	4	40	ปานกลาง	ร่วน	1.52
48	5.98	2.50	1.450	14.50	8	204	สูง	ร่วน	2.97
49	7.47	1.02	0.592	5.916	79	31	ปานกลาง	เหนียว	1.75
50	7.82	0.93	0.539	5.394	48	139	ต่ำ	เหนียว	0.76
								ร่วนปน	
51	6.71	0.58	0.336	3.364	31	79	ต่ำมาก	เหนียว	0.54
52	6.04	2.15	1.247	12.470	38	129	ค่อนข้างต่ำ	เหนียว	2.75
53	6.81	2.24	1.299	12.992	54	126	ปานกลาง	เหนียว	1.51
54	6.09	2.33	1.351	13.514	208	151	ปานกลาง	เหนียว	1.75
55	4.35	0.06	0.035	0.348	4	67	ต่ำมาก	เหนียว	1.50
								ร่วนปน	
56	4.37	3.79	2.198	21.982	80	389	ต่ำ	เหนียว	3.35
								ร่วนปน	
57	6.13	4.97	2.883	28.826	2295	437	ปานกลาง	ทราย	3.72
58	5.11	3.77	2.187	21.866	894	216	ต่ำ	เหนียว	3.13
59	5.14	3.32	1.926	19.256	1900	842	ค่อนข้างต่ำ	เหนียว	2.84
60	4.17	2.09	1.212	12.122	209	229	ค่อนข้างต่ำ	ร่วน	1.42
61	4.87	2.66	1.543	15.428	354	136	ค่อนข้างต่ำ	เหนียว	1.17
62	6.15	6.56	3.805	38.048	1365	681	สูง	เหนียว	1.22
63	3.99	5.35	3.103	31.030	583	365	ค่อนข้างต่ำ	ร่วน	3.39
64	5.07	1.14	0.661	6.612	315	114	ต่ำ	เหนียว	1.63
65	4.35	3.08	1.786	17.864	28	144	ต่ำ	เหนียว	2.65
66	4.43	2.76	1.601	16.008	618	250	ค่อนข้างต่ำ	เหนียว	2.26
67	5.76	3.14	1.821	18.212	161	279	สูง	เหนียว	3.43
68	4.89	2.8	1.624	16.240	224	188	ต่ำ	เหนียว	2.47
69	6.66	11.5	6.670	66.700		266	ค่อนข้างสูง	เหนียว	4.52
70	7.03	5.44	3.155	31.552		331	สูง	ร่วน	2.76
								ร่วนปน	
71	5.31	0.79	0.458	4.582	9	50	ต่ำ	ทราย	0.44
								ร่วนปน	
72	8.06	2.72	1.578	15.776	611	351	ต่ำ	เหนียว	2.46
73	5.39	1.63	0.945	9.454	16	201	ต่ำ	เหนียว	0.59
74	5.34	2.33	1.351	13.514	20	82	ต่ำ	เหนียว	1.01
								ร่วนปน	
75	4.98	2.12	1.230	12.296	52	69	ต่ำ	เหนียว	0.81
								ร่วนปน	
76	4.7	1.24	0.719	7.192	31	21	ต่ำ	เหนียว	0.60
77	6	2.72	1.578	15.776	28	168	ค่อนข้างต่ำ	เหนียว	2.63

78	7.09	1.35	0.783	7.830	86	161	ต่ำมาก	รวนปน เหนียว	0.75
79	8.27	1.53	0.887	8.874	297	211	ต่ำ	รวนปน เหนียว	0.88
80	8.12	0.52	0.302	3.016	277	62	ต่ำ	รวนปน เหนียว	0.73
81	5.85	3.27	1.897	18.966		303	ปานกลาง	เหนียว	3.09
82	6.06	2.33	1.351	13.514		175	ค่อนข้างต่ำ	เหนียว	1.86
83	6.61	3.2	1.856	18.560		250	ค่อนข้างต่ำ	เหนียว	3.46
84	6.07	1.96	1.137	11.368	6.46	169	ปานกลาง	เหนียว	1.04
85	4.98	3.03	1.757	17.574	5.37	125	ปานกลาง	เหนียว	3.12
86	5.63	2.46	1.427	14.268	19.26	182	ปานกลาง	เหนียว	1.37

ตารางที่ 11 การประเมินชุดทดสอบเทอร์เมกานค็อกซ์ไฮโดรคาร์บอน: แบบพกพาระดับภาคสนาม

No. Lab	กรดต่าง	อินทรีย์โทลู %	SOC %	ปริมาณ POC (g/g)	ปริมาณอินทรีย์โทลู ประเมินโดยแบบพกพา
1	6.13	1.54	0.893	1.29	ปานกลาง
2	6.94	1.26	0.731	0.97	ต่ำ
3	4.88	1.26	0.731	0.59	ต่ำ
4	5.25	1.82	1.056	1.26	ปานกลาง
5	6.32	2.1	1.218	1.84	สูง
6	5.84	1.32	0.766	0.91	ต่ำ
7	6.77	1.75	1.015	1.25	ปานกลาง
8	6.57	5.74	3.329	4.23	สูง
9	6.77	0.81	0.470	0.68	ปริมาณต่ำ
10	6.32	1.26	0.731	0.90	ปานกลาง
11	6.93	1.35	0.783	0.65	ต่ำ
12	7.58	1.24	0.719	0.87	ต่ำ
13	6.54	3.2	1.856	2.10	ปานกลาง
14	5.68	1.36	0.789	0.63	ต่ำ
15	5.95	1.02	0.592	0.76	ต่ำ
16	7.44	0.7	0.406	0.71	ต่ำ
17	8.1	17.95	10.411	2.63	สูง
18	6.93	22.27	12.917	2.98	สูง
19	7.67	2.09	1.212	1.62	ต่ำ
20	6.09	2.33	1.351	1.63	ต่ำ
21	6.32	0.55	0.319	0.09	ต่ำ
22	6.17	0.58	0.336	0.11	ต่ำ
23	6.16	0.88	0.510	0.43	ต่ำ
24	5.93	0.55	0.319	0.32	ต่ำ
25	5.89		0.000	1.31	ปานกลาง
26	6.04	1.03	0.597	0.81	ต่ำ
27	5.36		0.000	1.10	ค่อนข้างต่ำ
28	5.61	2.41	1.398	2.94	ต่ำ
29	6.6	1.12	0.650	0.96	ค่อนข้างต่ำ
30	5.19	1.87	1.085	1.58	ต่ำ
31	5.54	1.4	0.812	1.06	ต่ำ
32	5.55	3.15	1.827	2.54	ปานกลาง
33	6.79	3.78	2.192	2.47	ปานกลาง
34	4.63	2.19	1.270	2.11	สูง
35	6.1	0.81	0.470	0.59	ต่ำ
36	7.02	0.89	0.516	0.84	สูง
37	5.66	0.41	0.238	0.79	ต่ำ
38	7.16	0.97	0.563	0.48	ต่ำ
39	5.66	0.64	0.371	0.67	ต่ำ
40	6.18	0.74	0.429	0.48	ต่ำ
41	5.72	0.67	0.389	0.54	ต่ำ
42	6.04	1.33	0.771	0.54	ต่ำ

43	6.07	1.24	0.719	1.07	ต่ำ
44	7.63	1.56	0.905	3.46	สูง
45	6.04	2.09	1.212	1.69	สูง
46	6.24	2.24	1.299	2.63	ต่ำมาก
47	5.11	0.74	0.429	1.52	ปานกลาง
48	5.98	2.50	1.450	2.97	สูง
49	7.47	1.02	0.592	1.75	ปานกลาง
50	7.82	0.93	0.539	0.76	ต่ำ
51	6.71	0.58	0.336	0.54	ต่ำมาก
52	6.04	2.15	1.247	2.75	ค่อนข้างต่ำ
53	6.81	2.24	1.299	1.51	ปานกลาง
54	6.09	2.33	1.351	1.75	ปานกลาง
55	4.35	0.06	0.035	1.50	ต่ำมาก
56	4.37	3.79	2.198	3.35	ต่ำ
57	6.13	4.97	2.883	3.72	ปานกลาง
58	5.11	3.77	2.187	3.13	ต่ำ
59	5.14	3.32	1.926	2.84	ค่อนข้างต่ำ
60	4.17	2.09	1.212	1.42	ค่อนข้างต่ำ
61	4.87	2.66	1.543	1.17	ค่อนข้างต่ำ
62	6.15	6.56	3.805	1.22	สูง
63	3.99	5.35	3.103	3.39	ค่อนข้างต่ำ
64	5.07	1.14	0.661	1.63	ต่ำ
65	4.35	3.08	1.786	2.65	ต่ำ
66	4.43	2.76	1.601	2.26	ค่อนข้างต่ำ
67	5.76	3.14	1.821	3.43	สูง
68	4.89	2.8	1.624	2.47	ต่ำ
69	6.66	11.5	6.670	4.52	ค่อนข้างสูง
70	7.03	5.44	3.155	2.76	สูง
71	5.31	0.79	0.458	0.44	ต่ำ
72	8.06	2.72	1.578	2.46	ต่ำ
73	5.39	1.63	0.945	0.59	ต่ำ
74	5.34	2.33	1.351	1.01	ต่ำ
75	4.98	2.12	1.230	0.81	ต่ำ
76	4.7	1.24	0.719	0.60	ต่ำ
77	6	2.72	1.578	2.63	ค่อนข้างต่ำ
78	7.09	1.35	0.783	0.75	ต่ำมาก
79	8.27	1.53	0.887	0.88	ต่ำ
80	8.12	0.52	0.302	0.73	ต่ำ
81	5.85	3.27	1.897	3.09	ปานกลาง
82	6.06	2.33	1.351	1.86	ค่อนข้างต่ำ
83	6.61	3.2	1.856	3.46	ค่อนข้างต่ำ
84	6.07	1.96	1.137	1.04	ปานกลาง
85	4.98	3.03	1.757	3.12	ปานกลาง
86	5.63	2.46	1.427	1.37	ปานกลาง

ตารางที่ 12 ผลการประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินโดยวิธี Permaganate oxidizable carbon แบบชุดทดสอบแบบภาคสนาม (การทดสอบครั้งที่ 2)

แปลง	จุดที่	ระดับความลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
1	1	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		10-15	สูง	กลาง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
	2	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	กลาง	สูง	สูง
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	ต่ำ	กลาง
	3	0-5	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
แปลง	จุดที่	ระดับความลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
2	1	0-5	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
	2	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	ต่ำ	กลาง	ต่ำ	กลาง
		10-15	กลาง	ต่ำ	กลาง	ต่ำ	สูง
	3	0-5	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
แปลง	จุดที่	ระดับความลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
3	1	0-5	สูง	สูง	กลาง	สูง	กลาง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
		10-15	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	ต่ำ
	2	0-5	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	ต่ำ
		5-10	ต่ำ	กลาง	กลาง	ต่ำ	กลาง
		10-15	กลาง	ต่ำ	กลาง	ต่ำ	กลาง
		0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง

	3	5-10	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ

แปลง	จุดที่	ระดับความลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
4	1	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง'	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	ต่ำ	สูง
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	สูง	สูง
	2	0-5	กลาง	สูง	สูง	กลาง	ต่ำ
		5-10	กลาง	กลาง	สูง	สูง	สูง
		10-15	สูง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	สูง
	3	0-5	สูง	สูง	สูง	กลาง	สูง
		5-10	กลาง	ต่ำ	กลาง	สูง	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
แปลง	จุดที่	ระดับความลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
5	1	0-5	สูง	กลาง	สูง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง
		10-15	ต่ำ	กลาง	สูง	กลาง	สูง
	2	0-5	กลาง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
	3	0-5	สูง	กลาง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		10-15	ต่ำ	สูง	กลาง	กลาง	สูง
แปลง	จุดที่	ระดับความลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
6	1	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	สูง	สูง	ต่ำ	สูง
		10-15	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
	2	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	ต่ำ

	3	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง

แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
7	1	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		10-15	สูง	กลาง	สูง	สูง	สูง
	2	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	สูง	สูง	สูง	สูง
		10-15	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	ต่ำ
	3	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		10-15	กลาง	สูง	สูง	สูง	สูง
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
8	1	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	กลาง	กลาง	กลาง
		10-15	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
	2	0-5	สูง	กลาง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	กลาง	สูง	สูง	สูง
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	กลาง
	3	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	กลาง
		5-10	กลาง	สูง	กลาง	กลาง	กลาง
		10-15	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
	1	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		10-15	สูง	สูง	สูง	สูง	กลาง
		0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง

9	2	5-10	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		10-15	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
	3	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		10-15	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง



แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	55				
			ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
10	1	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	กลาง
		5-10	สูง	สูง	สูง	กลาง	สูง
		10-15	สูง	สูง	สูง	กลาง	สูง
	2	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		10-15	กลาง	สูง	สูง	สูง	สูง
	3	0-5	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	กลาง
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
11	1	0-5	ต่ำ	สูง	สูง	สูง	กลาง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
	2	0-5	ต่ำ	สูง	สูง	สูง	กลาง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
		10-15	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
	3	0-5	กลาง	ต่ำ	สูง	สูง	กลาง
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
12	1	0-5	สูง	กลาง	สูง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	สูง	สูง
		10-15	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
	2	0-5	สูง	กลาง	สูง	กลาง	สูง
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	กลาง
		10-15	ต่ำ	กลาง	กลาง	กลาง	ต่ำ
	3	0-5	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	กลาง
		5-10	ต่ำ	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง

		10-15	ต่ำ	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
--	--	-------	-----	------	-----	-----	-----

แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
13	1	0-5	กลาง	สูง	ต่ำ	กลาง	ต่ำ
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง
	2	0-5	สูง	กลาง	สูง	กลาง	กลาง
		5-10	สูง	กลาง	สูง	กลาง	กลาง
		10-15	กลาง	สูง	กลาง	ต่ำ	กลาง
	3	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	กลาง	สูง
		10-15	สูง	กลาง	กลาง	สูง	สูง
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
14	1	0-5	กลาง	สูง	สูง	สูง	กลาง
		5-10	กลาง	กลาง	สูง	สูง	กลาง
		10-15	กลาง	กลาง	สูง	กลาง	กลาง
	2	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	สูง	กลาง
		10-15	กลาง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	กลาง
	3	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	สูง	กลาง
		10-15	กลาง	กลาง	กลาง	สูง	กลาง
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
15	1	0-5	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
		5-10	ต่ำ	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
		10-15	กลาง	กลาง	ต่ำ	กลาง	ต่ำ
	2	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
		10-15	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง

	3	5-10	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	กลาง

แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
16	1	0-5	สูง	สูง	สูง	กลาง	กลาง
		5-10	สูง	สูง	สูง	กลาง	กลาง
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	กลาง
	2	0-5	สูง	กลาง	กลาง	สูง	กลาง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	กลาง	ต่ำ
	3	0-5	สูง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
17	1	0-5	สูง	ต่ำ	สูง	สูง	กลาง
		5-10	กลาง	ต่ำ	กลาง	กลาง	ต่ำ
		10-15	กลาง	กลาง	กลาง	สูง	กลาง
	2	0-5	กลาง	กลาง	สูง	สูง	กลาง
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	กลาง	กลาง
		10-15	ต่ำ	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
	3	0-5	สูง	กลาง	กลาง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	กลาง	สูง	กลาง	กลาง
		10-15	กลาง	กลาง	กลาง	สูง	ต่ำ
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
18	1	0-5	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	ต่ำ
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
	2	0-5	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	กลาง	ต่ำ

	3	0-5	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	สูง	กลาง
		5-10	สูง	สูง	กลาง	กลาง	กลาง
		10-15	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	ต่ำ

แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
19	1	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	กลาง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	สูง	กลาง
		10-15	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
	2	0-5	กลาง	สูง	กลาง	สูง	สูง
		5-10	สูง	กลาง	กลาง	กลาง	สูง
		10-15	กลาง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
	3	0-5	กลาง	สูง	สูง	กลาง	กลาง
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	สูง	กลาง
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
20	1	0-5	สูง	กลาง	สูง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	สูง	สูง	สูง	สูง
		10-15	กลาง	สูง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
	2	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
	3	0-5	กลาง	สูง	กลาง	กลาง	สูง
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	สูง	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
21	1	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
	2	0-5	กลาง	สูง	สูง	กลาง	สูง
		5-10	กลาง	กลาง	สูง	กลาง	สูง

		10-15	ต่ำ	ต่ำต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง
	3	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	กลาง	กลาง	สูง
		10-15	ต่ำ	กลาง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ

แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
22	1	0-5	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	สูง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
	2	0-5	สูง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
		5-10	กลาง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	กลาง
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
	3	0-5	สูง	กลาง	กลาง	ต่ำ	สูง
		5-10	ต่ำ	สูง	ต่ำ	กลาง	กลาง
		10-15	ต่ำ	กลาง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
23	1	0-5	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	ต่ำ
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กลาง
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
	2	0-5	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
		10-15	กลาง	กลาง	ต่ำ	กลาง	ต่ำ
	3	0-5	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
		5-10	กลาง	กลาง	ต่ำ	กลาง	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
	1	0-5	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		0-5	กลาง	กลาง	กลาง	สูง	กลาง

24	2	5-10	กลาง	ต่ำ	กลาง	กลาง	กลาง
		10-15	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
	3	0-5	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง
		5-10	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	ต่ำ	กลาง
		10-15	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ

แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
25	1	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	กลาง	สูง
		10-15	สูง	กลาง	ต่ำ	กลาง	สูง
	2	0-5	สูง	สูง	กลาง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	สูง	สูง	สูง	สูง
		10-15	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	กลาง
	3	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	สูง	ต่ำ	กลาง	กลาง
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
26	1	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	กลาง	สูง
		10-15	สูง	สูง	กลาง	สูง	สูง
	2	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	กลาง	สูง	สูง	สูง
		10-15	ต่ำ	สูง	กลาง	กลาง	ต่ำ
	3	0-5	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	สูง	สูง	สูง	กลาง	กลาง
		10-15	สูง	สูง	สูง	กลาง	กลาง
แปลง	จุดที่	ระดับความ ลึกของดิน (cm.)	ซ้ำ				
			1	2	3	4	5
	1	0-5	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		5-10	สูง	กลาง	ต่ำ	กลาง	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ

27	2	0-5	ต่ำ	สูง	สูง	สูง	สูง
		5-10	ต่ำ	สูง	ต่ำ	สูง	ต่ำ
		10-15	กลาง	ต่ำ	ต่ำ	กลาง	ต่ำ
	3	0-5	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
		5-10	กลาง	สูง	กลาง	กลาง	ต่ำ
		10-15	ต่ำ	กลาง	กลาง	ต่ำ	ต่ำ

ตารางที่ 11 การประเมินความแม่นยำและเที่ยงตรงของการปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยวิธีการเปอร์แมงกานेटพบพหุเปรียบเทียบกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยวิธี wet digestion

		SOM (%)				
		โดย wet digestion			การแปลผล	
		แบบประเมิน SOM โดยชุดทดสอบ		จุดคืนทางคง	ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	
ครั้งที่	จุดคืนสั้นทราย	จุดคืนทางคง	จุดคืนสั้นทราย		จากผลของ test kit	
1	ม่วง	ใส	0.52	4.65	ต่ำ	สูง
2	ม่วง	ชมพู	0.00	3.62	ต่ำ	ปานกลาง
3	ม่วง	ชมพู	1.03	4.83	ต่ำ	ปานกลาง
4	ม่วง	ใส	0.86	5.34	ต่ำ	สูง
5	ม่วง	ใส	1.03	5.34	ต่ำ	สูง
6	ม่วง	ชมพู	0.69	4.31	ต่ำ	ปานกลาง

สรุปผลการวิจัย

ปัจจัยต่างๆ ต่อการวิเคราะห์ POC ในดินที่ทำการเกษตรสรุปได้ว่า 1) ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร เหมาะสมในการนำไปวิเคราะห์ 2) ความเข้มข้นของสารละลาย KMnO_4 0.02 โมลลาร์ เหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์ค่า POC มากที่สุด เพราะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด 3) pH ของสารละลาย KMnO_4 ไม่ควรที่จะปรับค่าของ pH 4) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาทีขึ้นไปในการวิเคราะห์ 5) การเติม CaCl_2 0.1 โมลลาร์ ต่อปริมาณ POC ไม่มีผลกระทบทางสถิติต่อการวิเคราะห์ 6) น้ำหนักของตัวอย่างดิน 0.5-1 กรัม ที่มีค่าที่เหมาะสมต่อการนำไปวิเคราะห์ 7) ขนาดของอนุภาคตัวอย่างดิน ไม่มีผลกระทบทางสถิติต่อการวิเคราะห์ ปัจจัยต่างๆ นี้เราจะนำไปสู่การพัฒนาการทดลองชุดตรวจสอบภาพสนามต่อไป

ค่า POC ที่ได้จากวิธีที่พัฒนามาความสัมพันธ์กับสมบัติต่าง ๆ ของดินได้แก่ ในโครเจน ทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ดินเหนียว ค่าการนำไฟฟ้า และอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในดินพบว่า POC มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับสมบัติต่างๆ ของดินที่ทำการเกษตรสูงกว่าดินที่ไม่ทำการเกษตร

การเก็บรักษาอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่าง ๆ ต่อการย่อยสลายสามารถสะท้อนถึงคุณภาพ ของดินได้ และความสามารถของดินในการเก็บรักษาคาร์บอนพบว่าดินภายใต้การทำการเกษตรมีแนวโน้มการเก็บรักษาคาร์บอนทั้งหมดในรูป SOC และการเก็บรักษา labile carbon ในรูป C L PSF, WSC และ POC ต่ำกว่าพื้นที่ป่าแบบต่าง ๆ แต่การเก็บรักษาคาร์บอนส่วน F PSF และ HWSC นั้นไม่สามารถสะท้อนถึงระดับความรุนแรงของการใช้ที่ดินได้ชัดเจน

การใช้ที่ดินต่อการหายใจของดินและความสัมพันธ์กับอินทรีย์คาร์บอนในส่วนต่างๆ พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนส่วนต่างๆ และอัตราการหายใจของดินในพื้นที่ป่าใช้สอย (FU) มีค่าสูงที่สุด ส่วนพื้นที่เกษตร (OrU และ FcL) มีอัตราการหายใจต่ำที่สุด และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในส่วนของ HWSC, SOC และ POC มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการหายใจของดิน การจัดการดินในพื้นที่การเกษตรนั้นอาจจะผลต่อการหายใจของดินทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง

ผลการประเมินการใช้ชุดตรวจสอบภาคสนามกับปริมาณอินทรีย์วัตถุแบบ wet digestion มีความสัมพันธ์อย่างชัดเจน โดยมีความแม่นยำและเที่ยงตรงของชุดทดสอบแบบผกพามีความสามารถใน

การประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินได้ใกล้เคียงกับวิธีการแบบ wet digestion ดังนั้น จึงสามารถที่นำไปใช้ประเมินคุณภาพดินร่วมกับการประเมินโดยวิธีอื่นๆได้

เอกสารอ้างอิง

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 547 น.
- ADC BioScientific Ltd. 2009. ACE Automated CO₂ Exchange Station Instruction Manual. ADC BioScientific Limited 1 st floor, Charles House Furlong Way, Great Amwell, Hertfordshire. SG12 9TA. 59 p.
- Aumtong, S. 2011. Relationships between land use and carbon fractions in soils of Northern Thailand and stabilization of carbon in soil microbial biomass residues. PhD Thesis, Plant and Soil Science, Department of Agriculture and Ecology, Faculty of Life Sciences, University of Copenhagen, 116 p.
- Aumtong, S., J. Magid, S. Bruun, and A. de Neergaard. 2009. Relating soil carbon fractions to land use in sloping uplands in northern Thailand. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 131:229-239.
- Burford, J. R., and J. M. Bremner. 1975. Relationships between the denitrification capacities of soils and total, water-soluble and readily decomposable soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 7:389-394.
- Conteh, A., G. J. Blair, and I. J. Rochester. 1998. Soil organic carbon fractions in a Vertisol under irrigated cotton production as affected by burning and incorporating cotton stubble. *Australian Journal of Soil Research* 36:655-668.
- De Nobili, M., M. Contin, C. Mondini, and P. C. Brookes. 2001. Soil microbial biomass is triggered into activity by trace amounts of substrate. *Soil Biology and Biochemistry* 33:1163-1170.
- Ghani, A., M. Dexter, and K. W. Perrott. 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry* 35:1231-1243.
- Gong, W., X. y. Yan, J. y. Wang, T. x. Hu, and Y. b. Gong. 2009. Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools under a wheat and maize cropping system in North China Plain. *Plant and Soil* 314:67-76.
- Gottlicher, S., K. Steinmann, N. Betson, and P. Hogberg. 2006. The dependence of soil microbial activity on recent photosynthate from trees. *Plant and Soil* 287:85-94.
- Hamilton, S. K., A. L. Kurzman, C. Arango, L. Jin, and G. P. Robertson. 2007. Evidence for carbon sequestration by agricultural liming. *Global Biogeochem. Cycles* 21:GB2021.

- Haynes, R.J., and R.Naidu. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51:123-137.
- Heinemeyer, A., C. Di Bene, A.R. Lloyd, D. Tortorella, R. Baxter, B. Huntley, A. Gelsomino, and P. Ineson. 2011. Soil respiration: implications of the plant-soil continuum and respiration chamber collar-insertion depth on measurement and modelling of soil CO₂ efflux rates in three ecosystems. *European Journal Soil Science*. 62:82-94.
- Islam, K.R., and R.R. Weil. 2000. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 79:9-16.
- Kuzyakov, Y., and R. Bol. 2006. Sources and mechanisms of priming effect induced in two grassland soils amended with slurry and sugar. *Soil Biology and Biochemistry* 38:747-758.
- Lal, R. 2004. Agricultural activities and the global carbon cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70:103-116.
- Luo, Y., and X. Zhou. 2006. *Soil respiration and the environment*. (Elsevier: USA).
- Marinari, S., M.T. Dell'Abate, G. Brunetti, and C. Dazzi. 2010. Differences of stabilized organic carbon fractions and microbiological activity along Mediterranean Vertisols and Alfisols profiles. *Geoderma* 156:379-388.
- Nakadai, T., M. Yokozawa, H. Ikeda, and H. Koizumi. 2002. Diurnal changes of carbon dioxide flux from bare soil in agricultural field in Japan. *Applied Soil Ecology* 19:161-171.
- Noe, S.M., V. Kimmel, K. Hve, L. Copolovici, M. Portillo-Estrada, I. Püttsepp, K. Jogiste, I. Niinemets, L. Hirtinagl, and G. Wohlfahrt. 2010. Ecosystem-scale biosphere-atmosphere interactions of a hemiboreal mixed forest stand at JSrvselja, Estonia. *Forest Ecology and Management* In Press, Corrected Proof.
- Oh, N.H., and P.A. Raymond. 2006. Contribution of agricultural liming to riverine bicarbonate export and CO₂ sequestration in the Ohio River basin. *Global Biogeochemical Cycles* 20:GB3012.
- Oorts, K., R. Merckx, E. Grqhan, J. Labreuche, and B. Nicolardot. 2007. Determinants of annual fluxes of CO₂ and N₂O in long-term no-tillage and conventional tillage systems in northern France. *Soil and Tillage Research* 95:133-148.
- Page, K.L., D.E. Allen, R.C. Dalal, and W. Slattery. 2009. Processes and magnitude of CO₂, CH₄, and N₂O fluxes from liming of Australian acidic soils: a review. *Soil Research* 47:747-762.
- Pumpanen, J., P. Kolari, H. Ilvesniemi, K. Minkinen, T. Vesala, S. Niinistö, A. Lohila, T. Larmola, M. Morero, M. Pihlatie, I. Janssens, J.C. Yuste, J.M. Grünzweig, S. Reth, J.A. Subke, K. Savage, W. Kutsch, G. Streng, W. Ziegler, P. Anthoni, A. Lindroth, and P. Hari. 2004. Comparison of different chamber techniques for measuring soil CO₂ efflux. *Agricultural and Forest Meteorology* 123:159-176.

- Riffaldi, R., R. Levi-Minzi, A. Saviozzi, and A. Benetti. 1998. Adsorption on soil of dissolved organic carbon from farmyard manure. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 69:113-119.
- Von Lutzow, M. V., Kogel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Matzner, E., and Guggenberger, G. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanism and their relevance under different soil conditions - a review. *European Journal of Soil Science* 57, 426-445. 2006.
- Walkley, A., and I. A. Black. 1934. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and A Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science* 37:29-35.
- Webster, E. A., J. A. Chudek, and D. W. Hopkins. 2000. Carbon transformations during decomposition of different components of plant leaves in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 32:301-314.
- Weil, R. R., Islm K. R., Stine M. A., Gruver J. B., and Samson-Liebig S. E. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture* 18:3-17.
- West, T. O., and W. M. Post. 2002. Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analysis. *Soil Science Society of America Journal* 66:1930-1946.