

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์จากการใช้วิธีวอล์คเลย์-แบลคหาอินทรีย์คาร์บอนในดินประเทศไทย

The determination of organic carbon contents oxidized by Walkley–Black for analysis organic carbon in soils of Thailand

สุทธิดา ขุนทอง^{1*}, จิราพร สวยสม¹, สุรเชษฐ์ นาราภัท¹,
กมรินทร์ นิมนวลรัตน์¹ และ ชัยสิทธิ์ วัฒนาวังจongsuk¹

Sutdacha Khunthong^{1*}, Chiraphon Suaysom¹, Surachet Narabhat¹,

Kamarin Nimnualrat¹ and Chaiyasit Wattanawangjongsuk¹

บทคัดย่อ: การตรวจสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์จากการใช้วิธีวอล์คเลย์-แบลค หาอินทรีย์คาร์บอนในดินประเทศไทย จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างการหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในแต่ละชนิดเนื้อดินโดยวิธีวอล์คเลย์-แบลค กับการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ จำนวน 1,787 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์จากการใช้วิธีวอล์คเลย์-แบลคในแต่ละชนิดเนื้อดินอยู่ในช่วง 69 – 78% ได้ค่า CF สำหรับใช้คูณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอล์คเลย์-แบลค เพื่อหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่แท้จริงอยู่ในช่วง 1.28 – 1.44 ซึ่งค่าที่ได้ในแต่ละกลุ่มเนื้อดินเมื่อพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ไม่มีความแตกต่างกัน ในเบื้องต้นจึงสามารถใช้ค่า CF จากตัวอย่างดินทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.31 สำหรับใช้คูณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอล์คเลย์-แบลค เพื่อหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่แท้จริงได้ทุกกลุ่มเนื้อดิน อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมให้ครอบคลุมตัวอย่างเนื้อดินแต่ละชนิดมากยิ่งขึ้น รวมทั้งควรศึกษาผลของปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ระดับความลึก การจัดการดิน รวมทั้งลักษณะพืชพรรณในพื้นที่ต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการแสดงความสัมพันธ์ หรือค่า CF ที่มีความถูกต้องสามารถนำไปใช้ได้จริงในทุกพื้นที่

คำสำคัญ: อินทรีย์คาร์บอน, วิธีวอล์คเลย์-แบลค, เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ, วิธีเผาแห้ง, เนื้อดิน

ABSTRACT: The determination of organic carbon contents was oxidized by Walkley–Black to detect the organic carbon in soils of Thailand. The relationship of organic carbon contents in soil textures from 1,787 samples was analyzed by the Walkley–Black and the dry combustion methods (NCS analyzer). The results from Walkley–Black method showed that the contents of oxidized organic carbon in each soil textures ranged from 69-78%. The correction factor for multiplying organic carbon contents by the Walkley–Black method was in the range of 1.28 - 1.44 and the correction factor average 1.31 that revealed no significant difference in all soil textures. Therefore, in order to predict the total organic

Received March 3, 2019

Accepted March 25, 2019

¹ สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ 10900

Office of Science for Land Development, Land Development Department, Bangkok 10900

* Corresponding author: Email: sutdacha@hotmail.com

carbon contents from Walkley-Black method in all soil textures, more studies should be carried out to cover the texture of each type of soil as well as the effects of other factors such as soil pH, soil depth, soil management, and vegetation in the area. It will be useful in getting right correlation or CF values in all areas.

Keywords: organic carbon, Walkley–Black method, NCS analyzer, dry combustion method, soil textures

บทนำ

การหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินด้วยวิธีวอล์คเลย์-แบลค (Walkley-Black) เป็นวิธีหลักที่ใช้ประเมินอินทรีย์วัตถุในดิน จากการอาศัยหลักการที่อินทรีย์วัตถุมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 58% จึงเป็นที่มาของการใช้ค่าคงที่ 1.724 (100/58) คูณกับปริมาณคาร์บอนที่หาได้เพื่อประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในตัวอย่าง (Bhattacharyya et al. 2015b) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอล์คเลย์-แบลค จะประเมินจากอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ด้วยโพแทสเซียมไดโครเมต โดยมีกรดซัลฟิวริกเข้มข้นช่วยเร่งปฏิกิริยา การใช้วิธีดังกล่าวปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่หาได้ มาจากการถูกออกซิไดซ์เพียง 77% เท่านั้น ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการใช้ค่าคงที่ 1.3 (100/77) คูณกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่หาได้ เพื่อให้ได้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่แท้จริงออกมา (Fernandes et al. 2015) อย่างไรก็ตามความสามารถในการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนจากดินแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และลักษณะสภาพแวดล้อมในพื้นที่นั้น (Avramidis et al. 2015; Chen et al. 2015; Fernandes et al. 2015; Wang et al. 2012; Krishan et al. 2009; Meersmans et al. 2009; Dieckow et al. 2007; Lettens et al. 2007)

สำหรับประเทศไทยสามารถแบ่งประเภทเนื้อดิน ออกเป็น 12 ประเภท แต่จัดรวมเป็น 3 กลุ่มหลัก คือ 1) กลุ่มดินเนื้อละเอียด มีเนื้อดิน 5 ประเภท คือ ดินเหนียว (clay) ดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay) ดินเหนียวปนทราย (sandy clay) ดินร่วนปนดินเหนียว หรือดินร่วนเหนียว (clay loam) และดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) 2) กลุ่มดินเนื้อปานกลาง มีเนื้อดิน 4 ประเภท คือ ดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ดินร่วน (loam) ดินร่วนปนทรายแป้ง (silt loam) และดิน

ทรายแป้ง (silt) 3) กลุ่มดินเนื้อหยาบ มีเนื้อดิน 3 ประเภท คือ ดินทราย (sand) ดินทรายปนดินร่วน หรือดินทรายร่วน (loamy sand) และดินร่วนปนดินทราย หรือดินร่วนทราย (sandy loam) เนื้อดินมีความสัมพันธ์กับสมบัติอื่นๆ ของดิน เช่น ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange capacity: CEC) ดินเนื้อละเอียด หรือดินที่มีสัดส่วนของดินเหนียวมากจะมีค่าความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนสูง เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากทำให้สามารถดูดซับไอออนประจุบวกได้มาก เนื้อดินยังมีผลต่อการระบายน้ำระบายอากาศในดิน เนื่องจากการกระจายของอนุภาคดินจะกำหนดขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาค และระหว่างเม็ดดิน ดินเนื้อหยาบมีช่องว่างมากกว่าดินเนื้อละเอียด จึงสามารถระบายน้ำระบายอากาศได้ดีกว่าดินเนื้อละเอียด นอกจากนี้ เนื้อดินยังส่งผลต่อการชะละลายธาตุอาหาร กระบวนการเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนในดิน การร่อนดิน รวมถึงปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ดิน (ยงยุทธ, 2557) ลักษณะของเนื้อดินจึงน่าจะส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ ซึ่งยังไม่พบการศึกษาในกรณีดังกล่าว การใช้ค่าคงที่ 1.3 คูณกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่หาได้เพื่อหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่แท้จริงในทุกกลุ่มเนื้อดินของประเทศไทยจึงอาจไม่เหมาะสม ขณะเดียวกันในปัจจุบันมีวิธีหาปริมาณคาร์บอนด้วยเครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ จากการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบหลัก โดยการเผาแห้ง (dry combustion method) วิธีดังกล่าวสามารถหาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่าง ประกอบกับในดินทั่วไปมีปริมาณอนินทรีย์คาร์บอนอยู่น้อย ค่าวิเคราะห์คาร์บอนทั้งหมดในดินจากการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติจึงแสดงถึงค่าอินทรีย์คาร์บอน (ISO 10694, 1995) แต่ที่ผ่านมาห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่ยังไม่มีเครื่องมือดังกล่าวไว้ใช้งาน จึงยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ทำให้โดยทั่วไปยังคง

ใช้วิธี วอล์คเคย์-แบลค อย่างไรก็ตามหากต้องการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์จากการใช้วิธีดังกล่าว สามารถทำได้โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างการหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอล์คเคย์-แบลค ซึ่งสามารถออกซิไดซ์คาร์บอนได้บางส่วน กับการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติที่สามารถหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่าง และหากนำค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้จะส่งผลให้การประเมินปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ในแต่ละเนื้อดินมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์จากการใช้วิธีวอล์คเคย์-แบลคหาอินทรีย์คาร์บอนในดินประเทศไทยจากการอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างการหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยวิธีวอล์คเคย์-แบลค กับการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ

วิธีการศึกษา

คัดเลือกตัวอย่างดินจากภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทยจากตัวอย่างดินที่ส่งมาวิเคราะห์ที่สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ผ่านการฝังให้แห้งในที่ร่ม และร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 2 มิลลิเมตร ได้ตัวอย่างดิน

$$RC = \frac{\text{ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอล์คเคย์-แบลค}}{\text{ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากเครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ}} \dots\dots\dots 1$$

รวมทั้งหาค่าคงที่สำหรับใช้คูณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอล์คเคย์-แบลค เพื่อหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่แท้จริง (correction factor: CF) (สมการที่ 2) (Meersmans et al. 2009)

$$CF = \frac{1}{RC} \dots\dots\dots 2$$

ผลการศึกษา และวิจารณ์

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจำแนกตามเนื้อดิน และวิธีการวิเคราะห์

ผลการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในแต่ละเนื้อดินจากการใช้วิธีวอล์คเคย์-แบลค และ การใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ (Table 1)

ทั้งหมด จำนวน 1,787 ตัวอย่าง จากการจำแนกเนื้อดินด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer method) (Bouyoucos, 1927) ได้กลุ่มดินเนื้อหยาบ จำนวน 926 ตัวอย่าง ได้แก่ ดินทราย ดินทรายปนดินร่วน และดินร่วนปนดินทราย จำนวน 34, 64 และ 828 ตัวอย่าง ตามลำดับ กลุ่มดินเนื้อปานกลาง จำนวน 370 ตัวอย่าง ได้แก่ ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วน และดินร่วนปนทรายแป้ง จำนวน 48, 63 และ 259 ตัวอย่างตามลำดับ และกลุ่มดินเนื้อละเอียด จำนวน 491 ตัวอย่าง แบ่งเป็นดินเหนียว ดินเหนียวปนทรายแป้ง และดินร่วนปนเหนียว จำนวน 347, 55, และ 89 ตัวอย่าง ตามลำดับ นำตัวอย่างดินทั้งหมดมาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดโดยใช้วิธีวอล์คเคย์-แบลค (Walkley and Black, 1934) เปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์จากเครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ (NCS analyzer: flash 2000) (ISO 10694, 1995) หาสมการความสัมพันธ์ของผลวิเคราะห์จากสองวิธีการ โดยใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงเชิงเดียวของข้อมูลตัวอย่าง (sample simple linear regression analysis) และคำนวณหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์จากวิธี วอล์คเคย์-แบลค (recovery carbon: RC) (สมการที่ 1) (Meersmans et al. 2009)

พบว่าการใช้วิธีวอล์คเคย์-แบลค ดินทรายปนดินร่วนมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่ำสุด มีค่าเฉลี่ย 0.85% ดินร่วนปนทรายแป้งมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสูงสุด มีค่าเฉลี่ย 1.38% ส่วนผลวิเคราะห์ในแต่ละเนื้อดินจากเครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ พบว่าดินทรายปนดินร่วนมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่ำสุด มีค่าเฉลี่ย 1.19% ดินเหนียวปนทรายแป้งมีปริมาณ

อินทรีย์คาร์บอนสูงสุด มีค่าเฉลี่ย 1.88% และเมื่อพิจารณาตามกลุ่มเนื้อดิน พบว่าจากการใช้วิธีวอลล์-เบลค ดินเนื้อหยาบมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในช่วง 0.04 – 4.87% มีค่าเฉลี่ย 1.06% ดินเนื้อปานกลางมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในช่วง 0.04 – 5.58% มีค่าเฉลี่ย 1.29% ดินเนื้อละเอียดมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในช่วง 0.04 – 10.32% มีค่าเฉลี่ย 1.33% ส่วนผลวิเคราะห์ในแต่ละกลุ่มเนื้อดินจากเครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ พบว่าดินเนื้อหยาบมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในช่วง 0.04 – 7.97% มีค่าเฉลี่ย 1.41% ดินเนื้อปานกลางมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในช่วง 0.03 – 7.59% มีค่าเฉลี่ย 1.69% ส่วนดินเนื้อละเอียดมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในช่วง 0.03 – 12.08% มีค่าเฉลี่ย 1.76% จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอลล์-เบลคในแต่ละเนื้อดินมีค่าน้อยกว่า ผลวิเคราะห์จากเครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ เนื่องจากการหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธีวอลล์-เบลค ประเมินจากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์โดยโพแทสเซียมไดโครเมต ที่มีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ความร้อน การใช้วิธีดังกล่าวสามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนได้เพียงบางส่วนเนื่องจากคาร์บอนในดินเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุ มีโครงสร้างซับซ้อนทนทานต่อการสลายตัว โดยเฉพาะพันธะของลิกนิน และหมู่ฟีนอลิกเป็นปัจจัยด้านทานการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอน (Lettens et al. 2007) การสลายพันธะดังกล่าวต้องใช้อุณหภูมิสูง เช่น การหาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินโดยใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติต้องใช้อุณหภูมิในการเผาตัวอย่าง ที่ระดับ 900 องศาเซลเซียส จึงสามารถหาปริมาณคาร์บอนได้ทั้งหมด ปัจจุบันมีรายงานค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์จากวิธีวอลล์-เบลค ค่าที่ใช้กันทั่วไปในห้องปฏิบัติการคือ 77% ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการใช้ค่าคงที่ 1.3 (100/77) คูณกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่หาได้เพื่อให้ได้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่แท้จริงออกมา (Fernandes et al. 2015) อย่างไรก็ตามความสามารถในการออกซิไดซ์อินทรีย์

คาร์บอนจากดินแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และลักษณะสภาพแวดล้อมในพื้นที่นั้น (Avramidis et al. 2015; Chen et al. 2015; Fernandes et al. 2015; Wang et al. 2012; Krishan et al. 2009; Meersmans et al. 2009; Dieckow et al. 2007; Lettens et al. 2007) จึงจำเป็นต้องหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ในแต่ละพื้นที่แบบเฉพาะเจาะจง นอกจากนี้ จากการพิจารณาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในแต่ละเนื้อดินที่ได้จากทั้งสองวิธีการ พบว่า ดินเนื้อหยาบมีแนวโน้มของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่ำกว่าดินเนื้อละเอียด ทั้งนี้เนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุ หากดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงแสดงว่าดินชนิดนั้นมีอินทรีย์คาร์บอนสูง ซึ่งในดินเนื้อละเอียดโดยทั่วไปมีอินทรีย์วัตถุสูงกว่าดินเนื้อหยาบ เนื่องจากดินเนื้อละเอียดมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากสามารถยึดเกาะกับอินทรีย์วัตถุได้มาก สำหรับดินเนื้อหยาบ จำพวกดินทราย และดินทรายปนดินร่วนมักมีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่าดินเนื้อละเอียด ทั้งนี้เพราะดินเนื้อหยาบขาดพันธะที่เชื่อมยึดระหว่างสารอินทรีย์และแร่ อันเป็นกลไกที่ทำให้อินทรีย์วัตถุในดินมีเสถียรภาพหรือสลายตัวช้าลง และในดินเนื้อหยาบออกซิเจนสามารถแพร่กระจายได้ดี จึงส่งเสริมการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในดิน ส่งผลให้ในดินเนื้อหยาบมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ และอินทรีย์คาร์บอนต่ำกว่าดินเนื้อละเอียด (ยงยุทธ, 2557)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอลล์-เบลค กับวิธีใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอลล์-เบลค กับวิธีใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ ในแต่ละชนิดเนื้อดิน (Table 2) พบว่า ผลการวิเคราะห์ของทั้งสองวิธีมีระดับความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงในทุกเนื้อดินที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ได้ค่าสหสัมพันธ์ (R^2) อยู่ในช่วง 0.72 – 0.96 พบความสัมพันธ์ต่ำสุด และสูงสุด ในดินทราย และดินร่วนเหนียวปนทราย ตาม

ลำดับ ส่วนสมการแสดงความสัมพันธ์ในแต่ละเนื้อดิน ได้ค่าจุดตัดแกนตั้ง (intercept: a) อยู่ในช่วง $(-0.37) - 0.12$ พบค่าต่ำสุด สูงสุดในดินร่วน และดินเหนียวตามลำดับ ส่วนค่าความชัน (slope: b) ของแต่ละเนื้อดินอยู่ในช่วง $1.23 - 1.77$ พบค่าต่ำสุด สูงสุด ในดินเหนียว และดินร่วนตามลำดับ และเมื่อพิจารณาในแต่ละกลุ่มเนื้อดิน (Figure 1) พบว่าผลการวิเคราะห์ของทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กันที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ในดินเหนียวพบค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.80 และได้สมการแสดงความ

สัมพันธ์ระหว่างสองวิธีการคือ $y = -0.00(\pm 0.03) + 1.33(\pm 0.02)x$ ในดินเนื้อปานกลางมีค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.84 ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ $y = -0.04(\pm 0.05) + 1.34(\pm 0.03)x$ ส่วนดินเนื้อละเอียดมีค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.85 ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสองวิธีการคือ $y = 0.08(\pm 0.04) + 1.26(\pm 0.02)x$ และเมื่อรวมทุกชนิดเนื้อดินมีค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.83 ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ $y = 0.02(\pm 0.02) + 1.30(\pm 0.01)x$

Table 1 Soil organic carbon by Walkley-Black method and NCS analyzer in different of soil textures

soil textures	number of samples	Walkley-Black (%)		NCS analyzer (%)	
		minimum - maximum	average	minimum - maximum	average
sand	34	0.13 – 3.22	0.94	0.32 – 4.64	1.36
loamy sand	64	0.13 – 2.21	0.85	0.05 – 2.90	1.19
sandy loam	828	0.04 – 4.87	1.08	0.04 – 7.97	1.43
coarse-textured soils	926	0.04 – 4.87	1.06	0.04 – 7.97	1.41
sandy clay loam	48	0.04 – 5.54	1.18	0.06 – 7.22	1.51
loam	63	0.27 – 3.48	0.98	0.07 – 6.58	1.37
silt loam	259	0.04 – 5.58	1.38	0.03 – 7.59	1.80
silt	-	-	-	-	-
medium-textured soils	370	0.04 – 5.58	1.29	0.03 – 7.59	1.69
clay	347	0.04 – 10.32	1.33	0.03 – 12.08	1.75
silt clay	55	0.04 – 2.99	1.37	0.10 – 4.89	1.88
sandy clay	-	-	-	-	-
clay loam	89	0.18 – 2.68	1.32	0.20 – 5.24	1.69
silt clay loam	-	-	-	-	-
fine-textured soils	491	0.04 – 10.32	1.33	0.03 – 12.08	1.76
total soil textures	1,787	0.04 – 10.32	1.18	0.03 – 12.08	1.56

จากสมการแสดงความสัมพันธ์ $y = a + bx$ สมการจะสมบูรณ์ต้องนำค่าความชันคูณกับค่าอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอล์คเลย์-แบลค (x) จากนั้นนำค่าที่ได้บวกกับค่าจุดตัดแกนตั้งจึงได้ค่าคาร์บอนทั้งหมดจากเครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ (y) ซึ่งแสดงถึงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดออกมา และเมื่อนำค่าเฉลี่ยของค่าอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอล์คเลย์-แบลค ในแต่ละชนิดเนื้อดินไปแทนค่าในสมการแสดงความสัมพันธ์ พบว่าหากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 1 การใช้วิธีวอล์คเลย์-แบลค ในแต่ละชนิดเนื้อดินมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ (RC) อยู่ในช่วง 0.69 - 0.78 ส่วน (Table 3) แสดงให้เห็นว่าการใช้วิธีวอล์คเลย์-

แบลคในดินโดยทั่วไปของประเทศไทยสามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนได้ประมาณ 69 – 78% โดยในดินทรายมีความสามารถในการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนต่ำสุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Meersmans et al. (2009) พบว่าในดินทรายวิธีวอล์คเลย์-แบลค สามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนได้ 67% ขณะที่ดินร่วนปนทรายแบ่งสามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนได้ 73% ในทางกลับกัน Lettens et al. (2007) พบว่า ในดินทรายสามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนได้ 66% สูงกว่าในดินร่วนปนทรายแบ่งที่สามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนได้ 63%

Table 2 The relationship between organic carbon contents by Walkley–Black method and NCS analyzer in different of soil textures

soil textures	number of samples	relationship equations		R ²
		y = a + bx		
		a	b	
sand	34	0.04 (±0.18)	1.40 (±0.15)	0.72**
loamy sand	64	-0.03 (±0.07)	1.43 (±0.08)	0.85**
sandy loam	828	-0.01 (±0.03)	1.33(±0.02)	0.80**
coarse-textured soils	926	-0.00 (±0.03)	1.33(±0.02)	0.80**
sandy clay loam	48	0.02 (±0.06)	1.26 (±0.04)	0.96**
loam	63	-0.37 (±0.09)	1.77 (±0.08)	0.90**
silt loam	259	-0.02 (±0.07)	1.32 (±0.04)	0.81**
medium-textured soils	370	-0.04 (±0.05)	1.34 (±0.03)	0.84**
clay	347	0.12 (±0.04)	1.23 (±0.03)	0.87**
silt clay	55	-0.00 (±0.16)	1.37 (±0.10)	0.78**
clay loam	89	-0.29 (±0.12)	1.50 (±0.08)	0.80**
fine-textured soils	491	0.08 (±0.04)	1.26 (±0.02)	0.85**
total soil textures	1,787	0.02 (±0.02)	1.30 (±0.01)	0.83**

** represent significant correlation at P<0.01, x = organic carbon by Walkley–Black, y = total organic carbon by NCS analyzer

นอกจากนี้ จากการหาค่าคงที่สำหรับใช้คูณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอล์คเคย์-แบลค เพื่อหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่แท้จริง (CF) พบว่าอยู่ในช่วง 1.28 – 1.44 (Table 3) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) พบว่าค่า CF ของทุกเนื้อดินไม่มีความแตกต่างกัน (Figure 1) แสดงให้เห็นว่าการณีความแตกต่างของเนื้อดินในประเทศไทย ไม่ส่งผลต่อความสามารถในการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนจากวิธี วอล์คเคย์-แบลค ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากปัจจัยอื่นๆ ทั้งปัจจัยภายใน เช่น ผู้ทำการวิเคราะห์ เสถียรภาพของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ และปัจจัยภายนอก เช่น ความแตกต่างของแหล่งที่มาของตัวอย่างดิน รวมทั้งการจัดการดินในพื้นที่นั้นๆ โดยเฉพาะในกรณีของดินทรายพบค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด ทั้งนี้ อาจเนื่องจากตัวอย่างดินทรายที่ใช้ทดสอบมีจำนวนตัวอย่างน้อยเมื่อเทียบกับเนื้อดินชนิดอื่น ประกอบกับตัวอย่างดินทรายเป็นดินที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวัสดุอินทรีย์ที่มีความหลากหลาย ตามชนิดของวัสดุที่หาได้ในพื้นที่นั้น ซึ่งอาจเป็นวัสดุ

อินทรีย์ที่มีเสถียรภาพแตกต่างกัน จึงอาจส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าว สอดคล้องกับการศึกษาของ Meersmans et al. (2009) จากการเปรียบเทียบวิธีหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอล์คเคย์-แบลค กับการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ (Carlo Erba NA 1500 Milan, Italy) ทำการทดสอบในตัวอย่างดินทราย จากทางตอนเหนือของประเทศเบลเยียมที่มีการจัดการต่างกัน แบ่งเป็นดินเขตทุ่งหญ้า และดินในพื้นที่เกษตรกรรม จากการนำตัวอย่างดินหาความสัมพันธ์ระหว่างการหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธีวอล์คเคย์-แบลค กับการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ พบว่าการทดสอบในดินทรายทั้งสองบริเวณ ได้ผลการแสดงความสัมพันธ์แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาตามกลุ่มเนื้อดินพบว่าหากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดเท่ากับ 1 การใช้วิธีวอล์คเคย์-แบลค ในแต่ละกลุ่มเนื้อดินมีค่า RC อยู่ในช่วง 0.75 - 0.76 ส่วน (Table 3) แสดงให้เห็นว่าการใช้วิธีวอล์คเคย์-แบลคในดินโดยทั่วไปของประเทศไทยสามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนได้ใกล้เคียงกันที่ 75 – 76% และใกล้เคียงกับค่า

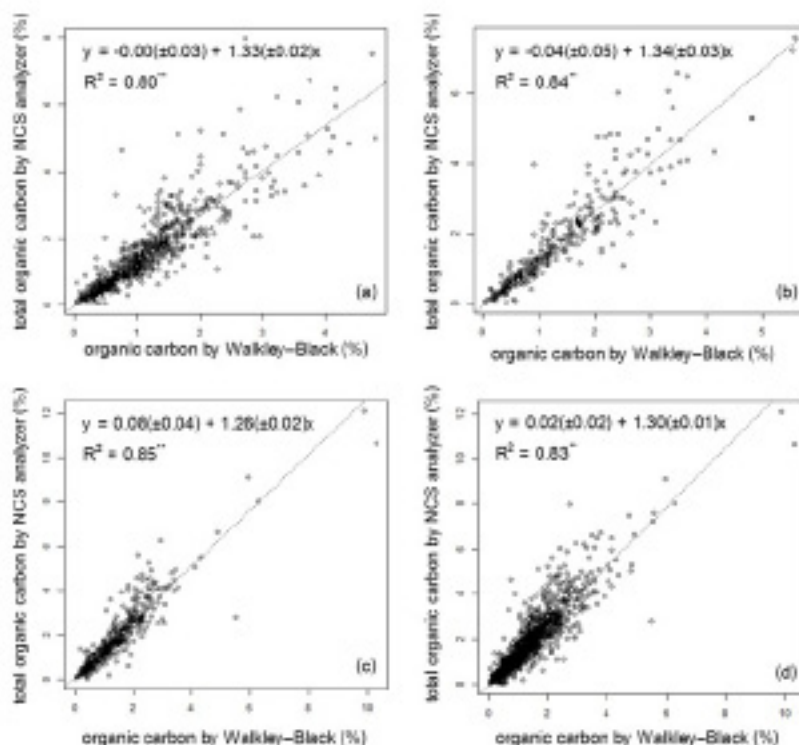


Figure 1 The relationship between organic carbon contents by Walkley-Black method and NCS analyzer in different of soil texture groups, (a) = coarse-textured soils, (b) = medium-textured soils, (c) = fine-textured soils, (d) = total soil textures, ** represent significant correlation at $P < 0.01$.

แนะนำที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ 77% อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในกรณีอื่นๆ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความแตกต่างของพื้นที่ศึกษา เช่น Chen et al. (2015) เปรียบเทียบวิธีหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธี วอล์คเลย์-แบลค กับการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ (NCS analyzer: PE 2400 II CHN elemental analyzer, Perkin-Elmer, Boston, Massachusetts, USA) ทำการทดสอบกับดินทางตอนเหนือของทิเบต 36 จุด จำนวน 712 ตัวอย่าง พบว่าการหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กันมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.97 และพบว่าวิธี วอล์คเลย์-แบลค สามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนในแต่ละพื้นที่อยู่ในช่วง 82 – 91% Fernandes et al. (2015) เปรียบเทียบวิธีหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธีวอล์คเลย์-แบลค

กับการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ (CHN-LECO 600) ทำการทดสอบกับดินในพื้นที่ประเทศบราซิล พบว่าการหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กันได้ค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.85 และเมื่อพิจารณาจากค่าความชันของสมการพบว่าวิธีวอล์คเลย์-แบลคสามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนได้ประมาณ 71% ส่วน Avramidis et al. (2015) เปรียบเทียบวิธีหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธีวอล์คเลย์-แบลค กับการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ (TOC analyzer: TOC-VCSH) ใช้ดินจากทางตะวันตกของประเทศกรีซ แบ่งเป็นดินที่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนน้อยกว่า 5% และดินที่มีอินทรีย์คาร์บอนมากกว่า 5% พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนไม่มีผลต่อระดับความสัมพันธ์ของทั้งสองวิธีการ ได้ค่าสหสัมพันธ์ เท่ากันคือ 0.97 และได้ปริมาณอินทรีย์

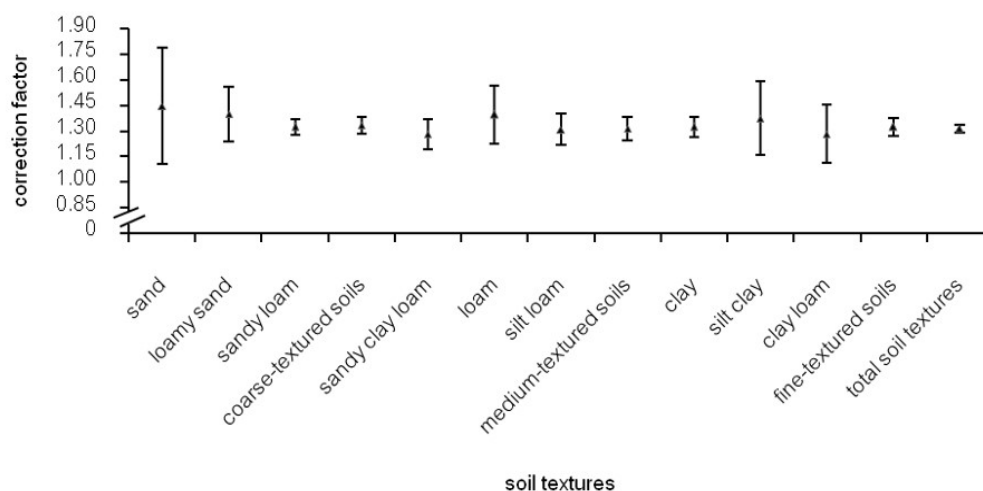
คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์อยู่ในช่วง 78 – 93% Meersmans et al. (2009) เปรียบเทียบวิธีหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธีวอลค์เลย์-แบลคกับการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ (Carlo Erba NA 1500 Milan, Italy) ทำการทดสอบในตัวอย่างดินทราย และดินร่วนปนทรายแบ่งจากทางตอนเหนือของประเทศเบลเยียม แบ่งเป็นดินเขตทุ่งหญ้าจำนวน 317 ตัวอย่าง และดินในพื้นที่เกษตรกรรมจำนวน 66 ตัวอย่าง จากการนำตัวอย่างดินหาความสัมพันธ์ระหว่างการหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากสองวิธีการ พบว่าในทุกชนิดดิน และทุกพื้นที่ ทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กันได้ค่าสหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.64 – 0.84 แต่ได้ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์จากวิธีวอลค์เลย์-แบลค แตกต่างกันในช่วง 64 – 74% นอกจากนี้ Krishan et al. (2009) เปรียบเทียบวิธีหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธีวอลค์เลย์-แบลคกับการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ (TOC analyzer: VCPH/CPN) ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบในดินร่วน จำนวน 50 ตัวอย่าง จากแถบเทือกเขาหิมาลัย และดินเหนียวจำนวน 44 ตัวอย่าง จากบริเวณภาคกลางของอินเดีย พบว่าการทดสอบในดินร่วนมีแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างวิธีวิเคราะห์ที่สูงกว่าในดินเหนียว มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.99 ในขณะที่ในดินเหนียวมีค่าเท่ากับ 0.78 และในดินร่วนการใช้วิธีวอลค์เลย์-แบลคสามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนได้ 42% ส่วนในดินเหนียวสามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนได้ 51% ส่วน De vos et al. (2007) ศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์จากการใช้วิธีวอลค์เลย์-แบลค ในดินเนื้อหยาบ ปานกลาง และละเอียด บริเวณพื้นที่ป่าของประเทศเบลเยียม พบว่าในแต่ละเนื้อดินวิธีวอลค์เลย์-แบลค สามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนได้ 70, 58 และ 64% ตามลำดับ จากกรณีการศึกษาทั้งหมดได้ผลแตกต่างกัน สอดคล้องกับการรายงานของ Chen et al. (2015) ซึ่งพบว่าความสามารถในการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนจากดินแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ชนิดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และสภาพภูมิประเทศในแต่ละพื้นที่ จึงควรหาค่า CF สำหรับใช้ประเมินปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่แท้จริงแบบเฉพาะเจาะจงในแต่ละชนิดดิน

สำหรับกรณีของกลุ่มเนื้อดินในประเทศไทยจากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าค่า CF ของกลุ่มดินเนื้อหยาบ ปานกลาง และละเอียด อยู่ในช่วง 1.31 – 1.33 (Table 3) มีค่าใกล้เคียงกับกรณีศึกษาของ Bhattacharyya et al. (2015b) จากการหาค่า CF บริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 1,000 มิลลิเมตรของประเทศอินเดีย ได้ค่า CF เท่ากับ 1.31 ส่วนการศึกษาในกรณีอื่น ได้ค่าแตกต่างกันไป เช่น Navarro et al. (1993) ทำการศึกษาในพื้นที่ดินเนื้อปูนได้ค่า CF เท่ากับ 1.26 ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Matus et al. (2009) ในดินบริเวณพื้นที่ภูเขาไฟของประเทศชิลี ได้ค่า CF ในช่วง 1.26 – 1.47 Rhodes et al. (1981) ทำการศึกษาในพื้นที่ดินเขตร้อนได้ค่า CF อยู่ในช่วง 1.00 – 1.07 ส่วน Olayinka et al. (1998) อ้างโดย Bhattacharyya et al. (2015b) รายงานค่า CF เท่ากับ 1.03 ในดินทรายที่เป็นกรดของไนจีเรีย และ Mikhailova et al. (2003) รายงานค่า CF เท่ากับ 1.63 ในดินเนื้อละเอียดของรัสเซีย อย่างไรก็ตามจากการทดลองครั้งนี้เมื่อพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน พบว่า ค่า CF ของทุกกลุ่มเนื้อดินไม่มีความแตกต่างกัน (Figure 1) สอดคล้องกับการศึกษาของ Bhattacharyya et al. (2015a) ซึ่งพบว่าปริมาณอนุภาคดินเหนียวมีความสัมพันธ์กับค่า CF ต่ำ แสดงให้เห็นว่าการมีความแตกต่างของกลุ่มเนื้อดินในประเทศไทย ไม่ส่งผลต่อความสามารถในการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอลค์เลย์-แบลค เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานในเบื้องต้นสามารถใช้ค่า CF จากตัวอย่างดินทั้งหมด คือ 1.31 (Table 3) คูณกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ได้จากวิธีวอลค์เลย์-แบลค เพื่อหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่แท้จริงได้ทุกกลุ่มเนื้อดิน ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ 1.30 อย่างไรก็ตามจำนวนตัวอย่างเนื้อดินบางชนิดที่ใช้ศึกษายังมีน้อย จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถครอบคลุมตัวอย่างเนื้อดินมากยิ่งขึ้น รวมทั้งควรศึกษาผลของปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ระดับความลึก การจัดการดิน รวมทั้งลักษณะพืชพรรณในพื้นที่ต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการแสดงความสัมพันธ์ หรือค่า CF ที่มีความถูกต้องสามารถนำไปใช้ได้จริงในทุกพื้นที่

Table 3 The recovery and correction factor from substituting the values in the relationship equations of average on organic carbon contents by Walkley–Black method

soil textures	relationship equations				RC (x/y)	CF (1/rc)
	y = a + bx					
	y (%)	a	b	x (%)		
sand	1.36 (±0.32)	0.04 (±0.18)	1.40 (±0.15)	0.94	0.69 (±0.17)	1.44 (±0.34)
loamy sand	1.19 (±0.14)	-0.03 (±0.07)	1.43 (±0.08)	0.85	0.72 (±0.08)	1.39 (±0.16)
sandy loam	1.43 (±0.05)	-0.01 (±0.03)	1.33 (±0.02)	1.08	0.76 (±0.03)	1.32 (±0.05)
coarse-textured soils	1.41 (±0.05)	-0.00 (±0.03)	1.33 (±0.02)	1.06	0.75 (±0.03)	1.33 (±0.05)
sandy clay loam	1.51 (±0.11)	0.02 (±0.06)	1.26 (±0.04)	1.18	0.78 (±0.06)	1.28 (±0.09)
loam	1.36 (±0.17)	-0.37 (±0.09)	1.77 (±0.08)	0.98	0.72 (±0.09)	1.39 (±0.17)
silt loam	1.80 (±0.13)	-0.02 (±0.07)	1.32 (±0.04)	1.38	0.77 (±0.05)	1.31 (±0.09)
medium-textured soils	1.69 (±0.09)	-0.04 (±0.05)	1.34 (±0.03)	1.29	0.76 (±0.04)	1.31 (±0.07)
clay	1.76 (±0.08)	0.12 (±0.04)	1.23 (±0.03)	1.33	0.76 (±0.03)	1.32 (±0.06)
silt clay	1.88 (±0.30)	-0.00 (±0.16)	1.37 (±0.10)	1.37	0.73 (±0.12)	1.37 (±0.22)
clay loam	1.69 (±0.23)	-0.29 (±0.12)	1.50 (±0.08)	1.32	0.78 (±0.11)	1.28 (±0.17)
fine-textured soils	1.76 (±0.07)	0.08 (±0.04)	1.26 (±0.02)	1.33	0.76 (±0.03)	1.32 (±0.05)
total soil textures	2.46 (±0.04)	0.02 (±0.02)	1.30 (±0.01)	1.88	0.76 (±0.01)	1.31 (±0.02)

x = organic carbon by Walkley–Black, y = total organic carbon by NCS analyzer, RC = recovery, CF = correction factor

**Figure 1** Regression based correction factors with standard error bars for Walkley–Black method presented in different of soil textures.

จากการศึกษาในครั้งนี้ยังชี้ให้เห็นว่าค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมดจากเครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ ซึ่งในดินทั่วไปแสดงถึงปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ในเชิงวิชาการมีความเหมาะสมสำหรับใช้ประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน เช่นเดียวกับการใช้วิธีวอลส์เลย์-แบลค จากการอาศัยหลักการที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 58% ประกอบกับเครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ สามารถหาปริมาณไนโตรเจนได้พร้อมกับการหาปริมาณคาร์บอน จึงเป็นเครื่องมือที่น่าจะมีศักยภาพสำหรับทดแทนวิธีดั้งเดิมที่ใช้อยู่ซึ่งต้องใช้แรงงาน อุปกรณ์ และสารเคมีมากกว่าการใช้เครื่องดังกล่าว อย่างไรก็ตามควรศึกษาเรื่องต้นทุนของแต่ละวิธีการเพิ่มเติม

สรุป

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยวิธีวอลส์เลย์-แบลค กับการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์จากการใช้วิธีวอลส์เลย์-แบลคหาอินทรีย์คาร์บอนในแต่ละชนิดเนื้อดินของประเทศไทยอยู่ในช่วง 69 – 78% ได้ค่า CF สำหรับใช้คูณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอลส์เลย์-แบลค เพื่อหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่แท้จริงอยู่ในช่วง 1.28 – 1.44 ซึ่งค่าที่ได้ในแต่ละกลุ่มเนื้อดิน เมื่อพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ไม่มีความแตกต่างกัน ในเบื้องต้นจึงสามารถใช้ค่า CF จากตัวอย่างดินทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.31 สำหรับใช้คูณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจากวิธีวอลส์เลย์-แบลค เพื่อหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่แท้จริงได้ทุกกลุ่มเนื้อดิน อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมให้ครอบคลุมตัวอย่างเนื้อดินแต่ละชนิดมากยิ่งขึ้น รวมทั้งควรศึกษาผลของปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ระดับความลึก การจัดการดิน รวมทั้งลักษณะพืชพรรณในพื้นที่ต่างๆ เพื่อให้ได้ผลการแสดงความสัมพันธ์ หรือค่า

CF ที่มีความถูกต้องสามารถนำไปใช้ได้จริงในทุกพื้นที่

เอกสารอ้างอิง

- ยงยุทธ โอสดสภา. 2557. คุณภาพดินเพื่อการเกษตร. สมาคมดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- Avramidisa, P., K. Nikolaoua, and V. Bekiarib. 2015. Total organic carbon and total nitrogen in sediments and soils: a comparison of the wet oxidation–titration method with the combustion-infrared method. *Agric. Agric. Sci. Proc.* 4: 425–430.
- Bhattacharyya, t., D. K. Pal, and S. P. Wani. 2015a. Role of clay in recovery of organic matter in arable black soils of india: an inverse pyramid relation. *Clay Res.* 34: 46-57.
- Bhattacharyya, T., P. Chandran, S. K. Ray, C. Mandal, P. Tiwary, D. K. Pal, U. K. Maurya, A. M. Nimkar, H. Kuchankar, S. Sheikh, B. A. Telpande, and A. Kolhe. 2015b. Walkley-Black recovery factor to reassess soil organic matter: indo-gangetic plains and black soil region of India case studies. *Commun. Soil Sci. Plan.* 46: 2628–2648.
- Bouyoucos, G. J. 1927. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* 23: 343-353.
- Chen, L., D. F. B. Flynn, X. Jing, P. Kuhn, T. Scholten, and J. S. He. 2015. A comparison of two methods for quantifying soil organic carbon of alpine grasslands on the Tibetan plateau.

- PLOS ONE 10: e0126372. doi:10.1371/journal.pone.0126372.
- De Vos, B., S. Lettens, B. Muys, and J. A. Deckers. 2007. Walkley–Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. *Soil Use Manage.* 23: 221–229.
- Dieckow, J., J. Mielniczuk, H. Knicker, C. Bayer, D. P. Dick, and I. K. Knabner. 2007. Comparison of carbon and nitrogen determination methods for samples of a paleudult subjected to no-tillcropping systems. *Sci. Agric.* 64: 532–540.
- Fernandes, R. B. A., I. A. C. Junior, E. S. R. Junior, and E. S. Mendonca. 2015. Comparison of different methods for the determination of total organic carbon and humic substances in Brazilian soils. *Rev. Ceres.* 62: 496–501.
- ISO 10694. 1995. Soil quality-determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis). International standard.
- Krishan, G., S. K. Srivastav, S. Kumar, S. K. Saha, and V. K. Dadhwal. 2009. Quantifying the underestimation of soil organic carbon by the Walkley and Black technique – examples from Himalayan and Central Indian soils. *Curr. Sci. India.* 96: 1133–1136.
- Lettens, S., B. D. Vos, P. Quataert, B. V. Wesemael, B. Muys, and J. V. Orshoven. 2007. Variable carbon recovery of Walkley–Black analysis and implications for national soil organic carbon accounting. *Eur. J. Soil Sci.* 58: 1244–1253.
- Matus, F. J., M. Escudey, J. E. Forster, M. Gutierrez, and A. C. Chang. 2009. Is the Walkley–Black method suitable for organic carbon determination in Chilean volcanic soils. *Commun. Soil Sci. Plan.* 40: 1862–1872.
- Meersmans, J., B. V. Wesemael, and M. V. Molle. 2009. Determining soil organic carbon for agricultural soils: a comparison between the Walkley & Black and the dry combustion methods (north Belgium). *Soil Use Manage.* 25: 346–353.
- Mikhailova, E.A., R. R. P. Noble, and C. J. Post. 2003. Comparison of soil organic carbon recovery by Walkley–Black and dry combustion methods in the Russian Chernozem. *Commun. Soil Sci. Plan.* 34: 1853–1860.
- Navarro, A. F., A. Roig, J. Cegarra, and M. P. Bernal. 1993. Relationship between total organic carbon and oxidizable carbon in calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plan.* 24: 2203–12.
- Rhodes, E. R., P. Y. Kamara, and P. M. Sutton. 1981. Walkley–Black digestion efficiency and relationship to loss on ignition for selected Sierra Leone soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 1132–35.
- Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of degtareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the Chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29–35.

Wang, X., J. Wang, and J. Zhang. 2012.
Comparisons of three methods for
organic and inorganic carbon in
calcareous soils of northwestern China.
PLOS ONE 7: e44334. doi:10.1371/
journal.pone.0044334.