

การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์โดยวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion

สุนทร ขวัญอ่อน อังคณา ยาบา และ ผุสดี มุทะมัด *

ศูนย์บริการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
จังหวัดสงขลา 90110

*อีเมลของผู้ประพันธ์บทความ: phutsadee.m@gmail.com

บทคัดย่อ

การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ 30 ตัวอย่าง ระหว่างวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ เท่ากับ $37.46 \pm 0.07\%$ และ $37.25 \pm 0.05\%$ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนกระจายตัวอยู่ในช่วง 35-40% โดยน้ำหนัก ค่าความแตกต่างจากค่าเฉลี่ย และค่าความคลาดเคลื่อนของวิธี Walkley & Black จะมีแนวโน้มไปในทางลบมากกว่าทางบวก ในขณะที่วิธี Combustion มีค่ากระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ เพราะวิธี Walkley & Black เป็นวิธีทางเคมี ใช้หลักการออกซิไดซ์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้โพตัสเซียมไดโครเมต และมีกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งให้ความร้อนทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์และไม่สม่ำเสมอมีแนวโน้มน้อยกว่าความเป็นจริงมากกว่าวิธี Combustion ซึ่งให้ความร้อนโดยตรงที่อุณหภูมิ 950°C สามารถเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์มากกว่า เห็นได้จากค่าความไม่แน่นอนจากการวัดจากการคำนวณที่น้อยกว่า (0.05% โดยน้ำหนัก) เมื่อนำผลการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้ง 2 วิธี ไปประเมินด้วยวิธีการทางสถิติแบบ t-Test : Pair Two Sample for Means พบว่าค่า t Stat น้อยกว่า ค่า t Critical สรุปได้ว่าวิธีการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion ในปุ๋ยอินทรีย์ให้ผลการทดสอบแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสามารถใช้วิธี Combustion โดยใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนและไนโตรเจนแบบอัตโนมัติ (CN Analyzer) ทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ได้ ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีความยุ่งยากในการทดสอบน้อยกว่า

คำสำคัญ: อินทรีย์คาร์บอน; ปุ๋ยอินทรีย์; Walkley & Black; Combustion Method

Comparison of Organic Carbon testing method in organic fertilizers using the Walkley & Black and Combustion Method

Soonthorn Khwan-On Aungkana Yaba and Phusadee Muhamud^{*}

Center of Measurement and Standard Accreditation, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hatyai Campus, Songkhla 90110, Thailand

^{*} Corresponding author's e-mail: phutsadee.m@gmail.com

Abstract

This study compares organic carbon content in 30 organic fertilizer samples analyzed by the Walkley & Black method and the Combustion method. The mean organic carbon contents obtained from two methods were $37.46 \pm 0.07\%$ and $37.25 \pm 0.05\%$ by weight, respectively. The organic carbon contents were distributed in the range of 35-45% by weight. Moreover, the deviation from the mean and the error values of the Walkley & Black method tended to be negative. In contrast, the Combustion method had a well-distributed error around zero. Walkley & Black method is a chemical method based on the oxidization of the carbon content in the organic fertilizers with potassium dichromate and sulfuric acid as the catalyst. The more significant discrepancy of the Walkley & Black method was the result of its incomplete chemical reaction, on which the method was based. In contrast, the Combustion method, which used direct heating at 950°C , achieved better complete conversion, as reflected in a lower measurement uncertainty (0.05% by weight). However, both analysis methods passed a statistical test: t-test for means of pair two samples, and the t-stat was less than the critical value. We can conclude that both approaches provide the same measured values for measuring organic carbon in organic fertilizers. Thus, the Combustion method with the automatic CN analyzer can achieve more precise values and lower measurement uncertainty. In addition, the procedure is more straightforward, more convenient, faster, more economical, and consume less resource.

Keywords: organic carbon, organic fertilizer, Walkley & Black, Combustion Method

บทนำ

ปุ๋ยอินทรีย์ (Organic fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากสารอินทรีย์ หรือวัสดุอินทรีย์ที่ผลิตขึ้นโดยกรรมวิธีต่างๆ อาทิ การสับ การบด การหมัก การร่อน การสกัด หรือด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยพืชสด ซึ่งต้องผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพด้วยย่อยสลายของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อพืช ปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่มีความสำคัญต่อการปรับปรุงดิน และให้แร่ธาตุอาหารแก่พืช เพราะประกอบด้วยอินทรีย์วัตถุ และแร่ธาตุต่างๆ ที่จะทำให้ดินมีสภาพดีขึ้น พร้อมช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างเหมาะสม (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ปุ๋ยอินทรีย์มีปริมาณธาตุอาหารอยู่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี และธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น ไนโตรเจนอยู่ในสารประกอบจำพวกโปรตีน เมื่อใส่ลงไปในดินพืชจะไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันที แต่ต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน แล้วปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นออกมาในรูปสารประกอบอินทรีย์ เช่นเดียวกันกับปุ๋ยเคมี จากนั้นพืชจึงดูดไปใช้ประโยชน์ได้ ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุ ดังนั้น ปุ๋ยอินทรีย์จึงมีความสำคัญต่อการปรับปรุงบำรุงดิน ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งธาตุอาหาร ได้แก่ ธาตุหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุค่อนข้างครบถ้วนที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต แม้แต่ละธาตุจะมีปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยเคมี แต่ธาตุอาหาร ส่วนมากปล่อยออกมาอย่างช้าๆ เพราะธาตุอาหารบางส่วนเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ (บัญชา รัตน์ทุ, 2555) อินทรีย์วัตถุ (Organic Matter : OM) คือสิ่งที่ได้จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ซากพืช ซากสัตว์ รวมถึงสิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์ มีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างดิน จุลินทรีย์ขนาดเล็กและมีส่วนเสริมสารอาหารในดินแก่พืชพันธุ์ทุกชนิด อินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในดินหรือปุ๋ยหมัก เป็นสิ่งจำเป็นต่อการเติบโตของพืช ต้นไม้ ผัก พืชเศรษฐกิจ (ชนิดา ศรีสาคร, 2563)

อินทรีย์วัตถุประกอบด้วยธาตุหลายชนิด แต่ที่สำคัญที่สุดคือธาตุคาร์บอน นอกจากนี้มีธาตุ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ กำมะถัน ถึงแม้ว่าอินทรีย์วัตถุอาจได้มาจากสิ่งที่มีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ และพบว่าส่วนใหญ่จะมาจากซากพืช และเศษซากพืช โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Microorganism) ซึ่งรากและเศษซากพืชมีส่วนประกอบสำคัญแบ่งได้ 3 กลุ่มคือ โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) โปรตีน (Protein) และลิกนิน (Lignin) โพลีแซคคาไรด์เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ซับซ้อน แปรสภาพและสลายตัวได้ง่าย เช่น กลูโคส (Glucose) เซลลูโลส (Cellulose) และ เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) จากนั้นพืชที่สำคัญหลายชนิด เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน นอกจากนี้ฮิวมัสยังช่วยให้ดินมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี สามารถอุ้มน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี คาร์บอนในธรรมชาติจะมีอยู่ด้วยกัน 2 สถานะ คือ อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ (Total Organic Carbon, TOC) และ สารอนินทรีย์ (Total Inorganic Carbon, TIC) โดยทั่วไปคาร์บอนรูปสารประกอบอินทรีย์ จะเป็นคาร์บอนที่พบในผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ หรือได้จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ หรือได้จากการสังเคราะห์ของมนุษย์ ส่วนคาร์บอนในรูปของ สารอนินทรีย์ ที่พบอยู่ในน้ำจะอยู่ในรูปของ $\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ และเมื่อ CO_2 อยู่ในสภาวะกรด CO_2 จะสามารถละลายได้ (ศุภิตา อ้าทอง และคณะ, 2561)

การทดสอบหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสามารถทำได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยวิธีทางตรงเรียกว่าวิธี Combustion ใช้วิธีการเผาไหม้ และสามารถหาปริมาณคาร์บอนโดยตรงในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งต้องใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ทันสมัยมีราคาแพง และวิธีทางอ้อมที่เรียกว่าวิธี Wet oxidation หรือวิธี Walkley & Black ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการใช้ทดสอบทั่วไปแต่ต้องใช้เวลาในการทดสอบ และ Walkley & Black ได้ทดลองหาความสัมพันธ์ของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์วัตถุ จนได้ค่าความสัมพันธ์มาใช้ในการประเมินปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 58% โดยน้ำหนัก จึงเป็นที่มาของการหาปริมาณคาร์บอนที่ทดสอบได้คูณด้วยค่า 1.724 (100/58) ก็จะได้ค่าอินทรีย์วัตถุที่ต้องการ (ณัฐกร อินทวิชะ และคณะ, 2562) ศูนย์บริการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ให้บริการตรวจวิเคราะห์/ทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และปริมาณอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้วิธี Walkley & Black ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

ขั้นตอนการเตรียมสารเคมี และขั้นตอนการทดสอบที่หลายขั้นตอนทำให้ต้องใช้เวลานานในการทดสอบตัวอย่าง ประกอบกับปริมาณตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ค่อนข้างมาก และการนับผลการทดสอบภายใน 7 วัน ทำให้ศูนย์บริการตรวจสอบได้มีการจัดหาเครื่องวิเคราะห์คาร์บอนและไนโตรเจนแบบอัตโนมัติ (CN Analyzer) เพื่อลดขั้นตอนในการทดสอบ และมีความรวดเร็ว สามารถทดสอบตัวอย่างได้มากขึ้น เพิ่มรายได้ ทำให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเพิ่มขึ้น

งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้วิธีเดิม คือ Walkley & Black เปรียบเทียบกับวิธี Combustion โดยใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนและไนโตรเจนแบบอัตโนมัติ (CN Analyzer) และใช้การเปรียบเทียบด้วยวิธีการทางสถิติ (t-Test Paired Two Sample for Means) เพื่อศึกษาการนำไปใช้ในเชิงทดแทนกัน ซึ่งจะเพิ่มความสะดวก รวดเร็ว ใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ลดต้นทุน และลดความผิดพลาดในการวิเคราะห์

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ของศูนย์บริการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน ด้วยวิธีใหม่คือวิธี Combustion โดยใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนและไนโตรเจนแบบอัตโนมัติ (CN Analyzer) ทดแทนวิธีเดิม คือ วิธี Walkley & Black
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธี Combustion สำหรับการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ของศูนย์บริการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ ชนิดที่ไม่เป็นของเหลว ระหว่างวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion โดยการเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากผู้ให้บริการที่ส่งมาทดสอบที่ศูนย์บริการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จำนวน 30 ตัวอย่าง และนำผลการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ได้จากวิธี Walkley & Black และ Combustion ไปเปรียบเทียบกับวิธี t-Test Paired Two Sample for Means

1. อุปกรณ์และสารเคมี

1. CN Analyzer, LECO, CN628, USA.
2. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง METTLER TOLEDO, Model ME204, SWITZERLAND
3. Ferrous sulfate heptahydrate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), AR grade
4. O-phenanthroline indicator ($\text{C}_{18}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), AR grade
5. Potassium dichromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), AR grade
6. Sulfuric acid 98% (H_2SO_4), AR grade
7. Silver sulfate (Ag_2SO_4), AR grade

2. วิธีดำเนินการ

วิธี Walkley & Black การทดสอบปริมาณอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยอินทรีย์ เป็นวิธีที่เรียกว่า Wet oxidation คือ ย่อยตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ 0.1 กรัม ด้วยกรดซัลฟิวริก 98% แล้วทำการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ด้วย

โปรตัสเซียมไดโครเมต ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะได้กรดโครมิกที่มากเกินไป จากนั้นไทเทรตกรดโครมิกที่เหลือจากการทำปฏิกริยา ด้วยสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ผลการทดสอบที่ได้จะมีค่าเป็น 77 เปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์คาร์บอนที่มีอยู่จริง โดยปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนจะคิดเป็น 58 เปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์วัตถุเมื่อเปรียบเทียบกับค่าหาปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Walkley and Black, 1934)

วิธี Combustion เป็นการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์โดยการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนและไนโตรเจนแบบอัตโนมัติ (CN Analyzer, LECO, CN628, USA.) โดยการชั่งปุ๋ยอินทรีย์ น้ำหนัก 0.2 กรัมใส่ในถ้วยดีบุก ทำการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 950°C ร่วมกับการใช้ตัวเร่งปฏิกริยา เพื่อให้เกิดปฏิกริยาออกซิเดชันที่สมบูรณ์เพื่อเปลี่ยนธาตุคาร์บอนที่มีอยู่ในตัวอย่างให้อยู่ในรูปของ CO₂ (g) แล้วจึงไล่ออกด้วย O₂ ซึ่งจะถูกตรวจวัดด้วย IR Detector คำนวณเป็นปริมาณคาร์บอน ตามวิธีมาตรฐาน In house method based on Official Methods of Analysis of AOAC. (George and Latimer, 2019)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

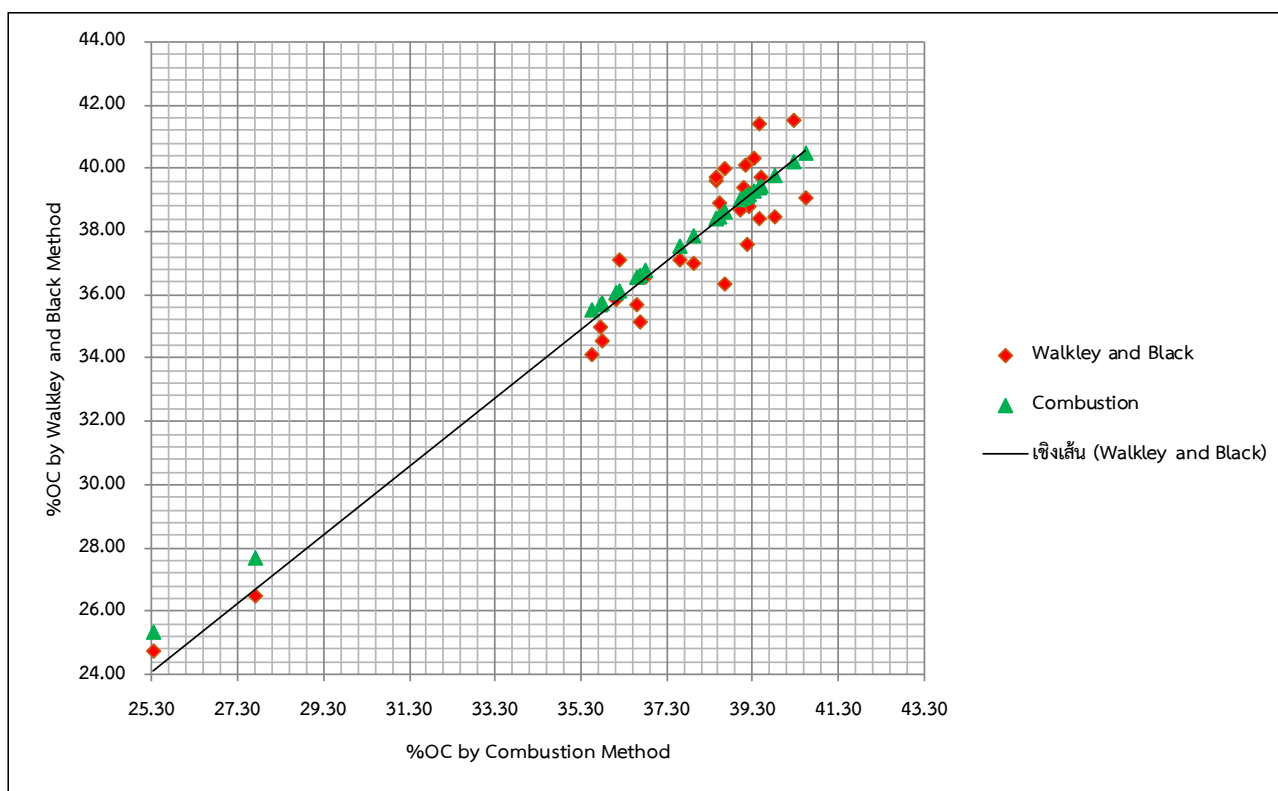
เปรียบเทียบผลการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-Test Paired Two Sample for Means

ผลการวิจัย

การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ระหว่างวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion โดยทำการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ โดยการเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากผู้ให้บริการที่ส่งมาทดสอบที่ ศูนย์บริการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จำนวน 30 ตัวอย่าง และนำผลการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากวิธี Walkley & Black และ วิธี Combustion ไปเปรียบเทียบด้วยวิธี t-Test Paired Two Sample for Means

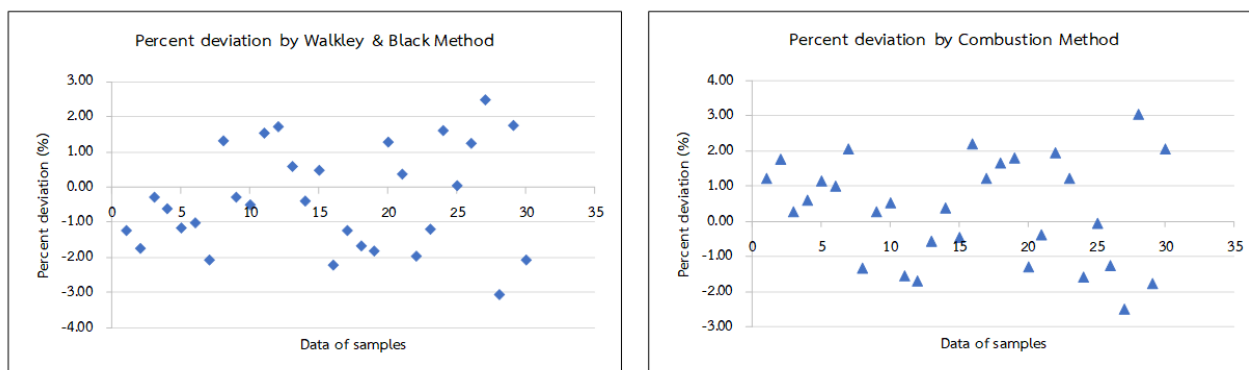
1. ผลการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่ศึกษาด้วยวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion

ผลการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion ในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จำนวน 30 ตัวอย่าง พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ได้จากการทดสอบปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธี Walkley & Black เท่ากับ $37.46 \pm 0.07\%$ โดยน้ำหนักและค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ที่ทดสอบด้วยวิธี Combustion เท่ากับ $37.25 \pm 0.05\%$ โดยน้ำหนัก ดังแสดงในกราฟการกระจายตัว ของทั้งสองวิธี ดังภาพที่ 1

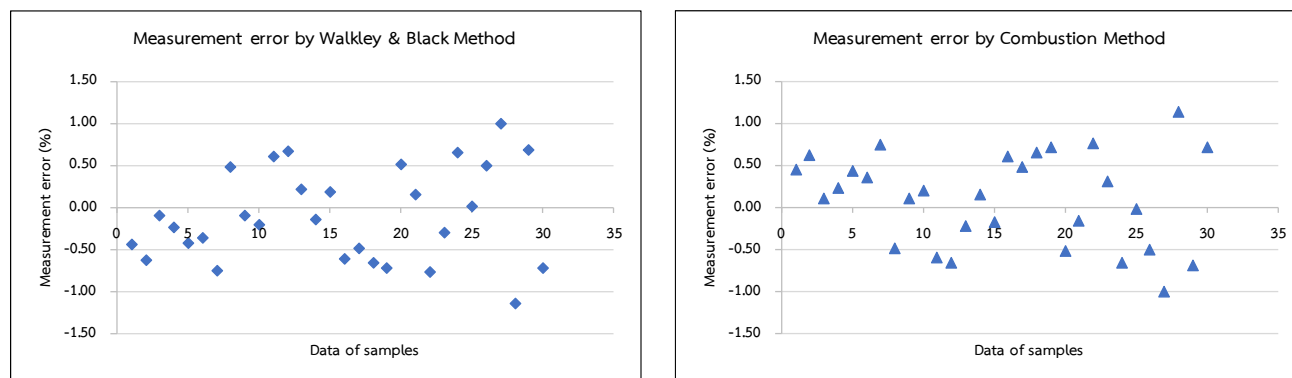


ภาพที่ 1 การกระจายตัวของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ จำนวน 30 ตัวอย่าง ของวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion

จากผลการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ด้วยวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion ในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จำนวน 30 ตัวอย่าง และนำมาหาค่าที่ได้จากทั้งสองวิธีมาหาค่าเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนจากค่ากลาง (Mean) ในแต่ละวิธี โดยแสดงในภาพที่ 2 เป็นกราฟระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนจากค่ากลางของทั้งสองวิธี (Percent deviation by Walkley & Black และ Percent deviation by combustion method) กับข้อมูลของแต่ละตัวอย่างในแกน x และในภาพที่ 3 เป็นกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน (Measurement error) ของผลการทดสอบทั้ง 2 วิธี โดยเทียบกับค่ากลาง กับข้อมูลในแต่ละตัวอย่างในแกน x เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 2 ค่าเปอร์เซ็นต์การเบี่ยงเบนจากค่ากลางของวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion



ภาพที่ 3 ค่าความคลาดเคลื่อนของวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion

2. ผลการเปรียบเทียบเชิงสถิติจากค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์จำนวน 30 ตัวอย่าง ที่ทดสอบด้วยวิธี Walkley & Black และ Combustion Method โดยใช้เทคนิค t-Test Paired Two Sample for Means ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบเชิงสถิติจากค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์จำนวน 30 ตัวอย่าง ที่ทดสอบด้วยวิธี Walkley & Black และ Combustion Method โดยใช้เทคนิค t-Test Paired Two Sample for Means

	ชุดข้อมูลที่ 1	ชุดข้อมูลที่ 2
Mean	37.46	37.25
Variance	10.96728517	14.05281379
Observations	30	30
t Stat	1.03606715	
t Critical two-tail	2.045229611	

จากการประเมินทางสถิติด้วยวิธี t-Test Paired Two Sample for Means ดังตารางที่ 1 จะเห็นว่า ค่า t Stat น้อยกว่า ค่า t Critical สรุปได้ว่าวิธีการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion ในปุ๋ยอินทรีย์ให้ผลการทดสอบแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P > 0.05$) ดังนั้นศูนย์บริการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน จึงสามารถใช้วิธี Combustion ทดสอบปุ๋ยอินทรีย์ทดแทนวิธี Walkley & Black แบบเดิมได้ ซึ่งให้ผลวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำกว่า ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า นอกจากนี้ก็มีความยุ่งยากในการทดสอบน้อยกว่า มีความรวดเร็ว ที่สำคัญสามารถวิเคราะห์ได้พร้อมๆ กันหลายๆ ตัวอย่างได้ด้วย จึงประหยัดทรัพยากร และเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับงานบริการวิเคราะห์/ทดสอบตัวอย่าง ที่ศูนย์บริการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน คณะวิทยาศาสตร์ ได้ให้บริการอย่างทุกวันนี้

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จะเห็นได้ว่า จากกราฟการกระจายตัว (ภาพที่ 1) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลวที่ได้จากการทดสอบทั้งสองวิธีกระจายตัวอยู่ในช่วง 35-40% โดยน้ำหนัก ซึ่งตามประกาศกรมวิชาการเกษตร เล่ม 129 ตอนพิเศษ 59ง ลงวันที่ 29 มีนาคม 2555 ในปุ๋ยอินทรีย์ ต้องมีปริมาณอินทรีย์วัตถุรับรอง ไม่ต่ำกว่า 20% โดยน้ำหนักในปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลว หรือคิดเป็นปริมาณอินทรีย์คาร์บอนไม่ต่ำกว่า 11.60% โดยน้ำหนัก (กรมวิชาการเกษตร, 2555) ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ทำการทดสอบจะมีค่าอินทรีย์คาร์บอนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือมีค่าอยู่ในช่วง 35-40% โดยน้ำหนัก และผลการทดสอบค่าอินทรีย์คาร์บอนทั้งสองวิธีไม่ได้แตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์โดยโพตัสเซียมไดโครเมต ที่มีกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ความร้อน จะสามารถออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนได้ใกล้เคียงกับการทดสอบอินทรีย์คาร์บอนโดยการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 950°C ด้วยวิธี Combustion ที่ทดสอบกับเครื่องวิเคราะห์คาร์บอนและไนโตรเจนอัตโนมัติ ซึ่งแตกต่างจากการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (สุทธิเดชฯ ขุนทอง และคณะ, 2562) เนื่องจากคาร์บอนในดินเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุ มีโครงสร้างซับซ้อนทนทานต่อการสลายตัวมากกว่าในปุ๋ยอินทรีย์ โดยเฉพาะพันธะของลิกนิน และหมู่ฟีนอลิกเป็นปัจจัยต้านทานการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอน การสลายพันธะดังกล่าวต้องใช้อุณหภูมิสูง เช่น การหาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในดินโดยใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ ที่ใช้อุณหภูมิในการเผาตัวอย่างที่มากกว่า 900°C จึงสามารถหาปริมาณคาร์บอนได้ทั้งหมด ความสามารถในการออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนจากดิน ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน เนื้อดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะสภาพแวดล้อมของดินในพื้นที่นั้นๆ อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามมีการทดสอบเชิงเปรียบเทียบระหว่างวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion โดยการใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนอัตโนมัติ เช่นเดียวกันงานวิจัยนี้ แต่เป็นการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินประเทศไทย รวมถึงเนื้อดินชนิดต่างๆ ซึ่งพบว่ามีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานไม่มีความแตกต่างกันในระหว่างสองวิธีเช่นเดียวกับผลการทดสอบค่าอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ของงานวิจัยนี้ (ณัฐกร อินทวิชะ และคณะ, 2562)

จากภาพที่ 2 จะเห็นว่าค่าความแตกต่างจากค่ากลาง (Mean) ของวิธี Walkley & Black จะมีแนวโน้มไปในทางลบมากกว่าทางบวก ในขณะที่วิธี Combustion มีค่ากระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ หมายความว่า ผลการทดสอบอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธี Walkley & Black มีแนวโน้มน้อยกว่าความเป็นจริงมากกว่าวิธี Combustion เนื่องจากวิธี Walkley & Black เป็นวิธีทางเคมี ใช้หลักการออกซิไดซ์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้โพตัสเซียมไดโครเมต และมีกรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งให้ความร้อน ทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์และไม่สม่ำเสมอเหมือนกับวิธี Combustion ซึ่งให้ความร้อนโดยตรงที่อุณหภูมิ 950°C สามารถเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์มากกว่า ในทำนองเดียวกัน หากพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน (Uncertainty หรือ Error) ดังภาพที่ 3 ค่าความคลาดเคลื่อนของวิธี Walkley & Black มีแนวโน้มไปในทางลบ มากกว่าวิธี Combustion เช่นเดียวกัน นอกจากนี้จะเห็นว่าวิธี Walkley & Black มีค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty) จากการคำนวณเท่ากับ 0.07% โดยน้ำหนัก ซึ่งมากกว่าวิธี Combustion ที่มีค่าความไม่แน่นอนของการวัดจากการคำนวณ 0.05% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากวิธี Walkley & Black มีขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างหลายขั้นตอน ใช้สารเคมีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาหลายชนิด ในแต่ละขั้นตอนก็มีความผิดพลาดมากขึ้น ในขณะที่วิธี Combustion ใช้เครื่องมือในการทดสอบโดยตรง จึงมีผิดพลาดน้อยกว่า และมีความไม่แน่นอนของการวัดที่เกิดจากการทดสอบน้อยกว่าด้วย (William and Ellison, 2012)

นอกจากนี้จากการทดสอบหาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธีทั้งสองในห้องปฏิบัติการ สามารถสรุปให้เห็นความแตกต่างของประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการทำงาน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบระหว่างวิธี Combustion และวิธี Walkley & Black

รายการ	วิธี Combustion	วิธี Walkley & Black
1. เวลาที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างต่อตัวอย่าง	1-2 นาที	16 ชั่วโมง
2. เวลาที่ใช้ในการทดสอบต่อตัวอย่าง	4 นาที	ขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรีย์คาร์บอน
3. อัตราการสิ้นเปลืองสารเคมี	สิ้นเปลืองสารเคมีน้อย	สิ้นเปลืองสารเคมีสูง
4. ความผิดพลาดของผลการทดสอบ	มีความเสี่ยงน้อย	มีความเสี่ยงสูง
5. จำนวนตัวอย่างที่สามารถทดสอบได้ในแต่ละครั้ง	ทดสอบได้ครั้งละ 30 ตัวอย่าง	ทดสอบได้ครั้งละ 1 ตัวอย่าง
6. ระยะเวลาทั้งหมดที่สามารถออกรายงานผล	1 สัปดาห์	2-3 สัปดาห์
7. รายได้จากการทดสอบตัวอย่างต่อปี	ไม่น้อยกว่าห้าแสนบาทต่อปี	ประมาณสองแสนบาทต่อปี

ข้อเสนอแนะ

จากตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธี Combustion มีประโยชน์ในการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในด้านความคุ้มค่าของราคาและทรัพยากรมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด เพื่อความถูกต้องและเพิ่มความน่าเชื่อถือของงานบริการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยเครื่องวิเคราะห์คาร์บอนและไนโตรเจนแบบอัตโนมัติของหน่วยงาน ควรทำการทดสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบเชิงเปรียบเทียบสำหรับตัวอย่างประเภทอื่นๆ ด้วย เช่น ตัวอย่างดิน ตัวอย่างกากของเสีย เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ระหว่างวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion ทำการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ไม่เป็นของเหลว โดยการเก็บตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์จากผู้ให้บริการที่ส่งมาทดสอบที่ศูนย์บริการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จำนวน 30 ตัวอย่าง ผลการทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ที่ทดสอบด้วยวิธี Walkley & Black เท่ากับ $37.46 \pm 0.07\%$ โดยน้ำหนัก และค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ที่ทดสอบด้วยวิธี Combustion เท่ากับ $37.25 \pm 0.05\%$ โดยน้ำหนัก ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการทดสอบทั้งสองวิธีกระจายตัวอยู่ในช่วง 35-40% โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความแตกต่างจากค่าเฉลี่ย และค่าความคลาดเคลื่อน ของวิธี Walkley & Black จะมีแนวโน้มไปในทางลบมากกว่าทางบวก ในขณะที่วิธี Combustion มีค่ากระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ หมายความว่า ผลการทดสอบอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธี Walkley & Black มีแนวโน้มน้อยกว่าความเป็นจริงมากกว่าวิธี Combustion ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ความร้อนโดยตรงที่อุณหภูมิ 950°C สามารถเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์มากกว่า ดังจะเห็นได้จากค่าความไม่แน่นอนจากการวัดจากการคำนวณที่น้อยกว่าด้วย (0.05% โดยน้ำหนัก) แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อนำผลการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี Walkley & Black และ Combustion ไปประเมินด้วยวิธีการทางสถิติแบบ t-Test Paired Two Sample for Means พบว่าค่า t Stat น้อยกว่า ค่า t Critical สรุปได้ว่าวิธีการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธี Walkley & Black และวิธี Combustion ในปุ๋ยอินทรีย์ให้ผลการทดสอบแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($P > 0.05$) ศูนย์บริการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จึงสามารถใช้วิธีการทดสอบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์ ด้วยวิธี Combustion โดยใช้เครื่องวิเคราะห์คาร์บอนและ

ไนโตรเจนแบบอัตโนมัติ (CN Analyzer) แทนแบบเดิม คือวิธี Walkley & Black ซึ่งเป็นวิธีการทางเคมีได้ โดยที่ให้ผลวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำกว่า ค่าความคลาดเคลื่อน และค่าความไม่แน่นอนของการวัดน้อยกว่า นอกจากนี้ ก็มีความยุ่งยากในการทดสอบน้อยกว่า มีความสะดวก รวดเร็ว ที่สำคัญสามารถวิเคราะห์ได้พร้อมๆ กันหลายๆ ตัวอย่างได้ด้วย จึงประหยัดทรัพยากร และเกิดความคุ้มค่า เหมาะแก่การเปิดให้บริการตรวจวิเคราะห์/ทดสอบปริมาณ อินทรีย์คาร์บอนในปุ๋ยอินทรีย์อย่างทุกวันนี้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์บริการตรวจสอบและรับรองมาตรฐาน คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อทุนอุดหนุนวิจัย และ หลักสูตรสาขาเคมีเพื่ออุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ที่ได้จัดส่งนักศึกษาสหกิจศึกษา ซึ่งทำให้งานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2555). ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่องการขอขึ้นทะเบียน การออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียน การขอแก้ไขรายการทะเบียนและการแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์. *ราชกิจจานุเบกษา*, 129(59ง), 12–14.
- กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2548). *ปุ๋ยอินทรีย์: การผลิต การใช้ มาตรฐานและคุณภาพ*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- ชนิดา ศรีสาคร. (2563). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุในดินด้วยวิธี Walkley Black modified acid-dichromate digestion, FeSO₄ titration method. ใน *งานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม* (หน้า 261–268). นครปฐม: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- ณัฐกร อินทวิชะ, ศักดิ์ศรี รักไทย, ปราณ ศรีกอบัว, อติรัฐ มากสุวรรณ, จตุพล คงสอน, และรุจิรา พินโย. (2562). การประยุกต์การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุด้วยวิธี Wet Oxidation อย่างง่ายเพื่อใช้ในภาคสนาม. *วารสารวิชาการสถาบันการอาชีวศึกษาเกษตร*, 3(2), 25–26.
- บัญชา รัตน์ทุ. (2555). ปุ๋ยอินทรีย์กับการปรับปรุงดินเสื่อมสภาพ. *วารสารนราธิวาสราชนครินทร์*, 4(2), 119–121.
- ศุภจิตา อ่ำทอง, ทวี ชัยพิมลพิน, และชาคริต โชติอมรศักดิ์. (2561). ความสัมพันธ์ของคาร์บอนอินทรีย์โดยวิธีเพอร์แมงกานีสไดออกไซด์เฮปเทิลกับอินทรีย์วัตถุเพื่อเป็นดัชนีคุณภาพของดินปลูกลำไยและดินปลูกข้าว. *วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร*, 36(1), 1–10.
- สุทธิเดชา ขุนทอง, จิราพร สวีสสม, สุรเชษฐ์ นารากัณฑ์, กมรินทร์ นิมนวลรัตน์, และชัยสิทธิ์ วัฒนาวังจสุข. (2562). ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์จากการใช้วิธีวอร์เคลย์-เบลคหาอินทรีย์คาร์บอนในดินประเทศไทย. *แก่นเกษตร*, 47(4), 797–808.
- George, W., & Latimer, Jr. (2019). *Official methods of analysis of AOAC international* (21st ed.). Maryland, USA: AOAC International.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination Degtjareff method for determination soil organic matter and propose modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29–38.
- Williams, A., & Ellison, S. L. R. (2012). *Quantifying uncertainty in analytical measurement* (3rd ed.). UK: EURACHEM / CITAC Guide CG4.