

การประเมินปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินจากค่าความสว่างด้วยเซนเซอร์วัดสีแบบประหยัด

Assessment of Soil Organic Carbon Content Based on Lightness Values Measured by a Low-Cost Color Sensor

สรารวุฒิ สมนาม และ มิกิ กัณณะ*

Sarawut Somnam and Miki Kanna*

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

E-mail: sarawut_som@cmru.ac.th and miki_kan@cmru.ac.th *

*Corresponding author

(Received: 8 July 2025, Revised: 30 January 2026, Accepted: 3 February 2026)

<https://doi.org/10.57260/stc.2026.1239>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีของดินกับปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ (%OC) โดยใช้เซนเซอร์วัดสี TCS34725 ที่มีราคาประหยัดร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ได้เก็บดินจำนวน 50 ตัวอย่างนำมาวิเคราะห์ค่าสีในระบบ RGB และแปลงเป็นระบบ CIELAB พร้อมทั้งวัดปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี Walkley-Black นอกจากนี้ได้วัดค่า pH ของดินเพื่อประกอบการวิเคราะห์ ตัวอย่างดินมีค่า pH เฉลี่ย 6.6 (ช่วง 5.42-7.75) ซึ่งอยู่ในระดับกรดอ่อนถึงเป็นกลาง และมีปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในช่วง 0.059-1.091%OC ผลการศึกษาพบว่าค่าความสว่าง (L*) ในระบบ CIELAB มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ %OC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 1.25 \times 10^{-7}$) และสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น $\%OC = 0.868 - 0.0148L^*$ เพื่อประเมิน %OC โดยแบบจำลองนี้มีค่า R^2 และ RMSE เท่ากับ 0.4445 และ 0.1796 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์วัดสีสามารถใช้เป็นเครื่องมือเบื้องต้นสำหรับประเมินคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้อย่างรวดเร็วและประหยัด อย่างไรก็ตาม ค่าสีอื่นในระบบ CIELAB (a^* , b^*) และค่าผลคูณ $R \times G \times B$ ไม่แสดงความสัมพันธ์กับ %OC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับค่าสีและ %OC พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติที่ชัดเจน แสดงว่าค่า pH ไม่ใช่ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อสีของดินในการศึกษานี้

คำสำคัญ: คาร์บอนอินทรีย์ เซนเซอร์วัดสี ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตัวอย่างดิน

Abstract

This study aimed to investigate the relationship between soil color values and percent organic carbon (%OC) content using a low-cost TCS34725 color sensor integrated with ESP32 microcontroller. A total of 50 soil samples were collected and analyzed for color in the RGB system, which was subsequently converted to the CIELAB color space. %OC content was determined using the Walkley-Black method, and soil pH was also measured to support the analysis. The soil samples exhibited an average pH of 6.6 (range 5.42-7.75), corresponding to slightly acidic to neutral conditions, and %OC contents ranging from 0.059 to 1.091 %OC. The results revealed that the lightness (L^*) in the CIELAB system showed a statistically significant negative correlation with %OC (p -value = 1.25×10^{-7}). A linear regression model, $\%OC = 0.868 - 0.0148L^*$, was developed to estimate %OC content, yielding R^2 and RMSE values of 0.4445 and 0.1796, respectively. These findings indicate that the color sensor can serve as a rapid and cost-effective preliminary tool for estimating %OC. However, other CIELAB color parameters (a^* , b^*) and the $R \times G \times B$ product did not exhibit statistically significant correlations with %OC. Analysis of the relationship between pH and both color values and %OC showed no significant statistical correlation, suggesting that pH is not a primary factor affecting soil color in this study.

Keywords: Organic carbon, Color sensor, Microcontroller, Soil sample

บทนำ

คาร์บอนอินทรีย์ในดิน (Soil organic carbon) ถือเป็นตัวชี้วัดสำคัญของคุณภาพดินและความสามารถในการผลิตทางการเกษตร เนื่องจากมีบทบาทในการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ เสริมสร้างโครงสร้างของดิน และเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในระบบนิเวศดิน (Vargas-Rojas et al., 2019) ปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ที่เหมาะสมยังช่วยลดการพังทลายของดินและเพิ่มความสามารถในการเก็บกักธาตุอาหารอย่างยั่งยืน (Gou et al., 2022) งานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ค่าสีของดินมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ โดยดินที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงมักปรากฏเป็นสีเข้มกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ (Jorge et al., 2021) ซึ่งความสัมพันธ์นี้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการประเมินสถานะของคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้อย่างรวดเร็ว

มีรายงานวิจัยการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสีของดินกับปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์โดยใช้วิธีการและเทคนิคที่หลากหลาย เช่น การประเมินสีของดินด้วยสายตาโดยใช้แผนภูมิสี Munsell ซึ่งเป็นวิธีที่แพร่หลาย แต่ยังคงมีข้อจำกัดด้านความคลาดเคลื่อนจากประสบการณ์ส่วนบุคคล รวมถึงอิทธิพลจากสภาพแสงในขณะทำการวัด (Kirillova et al., 2018; Fan et al., 2017) นอกจากนี้ การใช้ Machine learning

เพื่อพยากรณ์ปริมาณสารอินทรีย์ในดินโดยอาศัยค่าสี RGB จากภาพถ่ายดิจิทัลของตัวอย่างดิน พบว่าโครงข่ายประสาทเทียม หรือ ANN ให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือสูงสุดในการประเมินค่าสารอินทรีย์จากข้อมูลสี (Mansur & Abbod, 2026) แต่เทคนิคดังกล่าวมีการประมวลผลที่ค่อนข้างซับซ้อน

แม้ว่าเทคนิคทางสเปกโทรสโกปี เช่น Diffuse Reflectance Spectroscopy สามารถวัดค่าสีได้อย่างแม่นยำและเป็นทางเลือกแทนการวิเคราะห์ดินในห้องปฏิบัติการแบบดั้งเดิม Viscarra Rossel และคณะ (2006) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของช่วงคลื่นต่าง ๆ ทั้ง Visible, NIR และ MIR เพื่อหาความแม่นยำในการระบุคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินที่หลากหลายพร้อมกันในคราวเดียว แต่เครื่องมือเหล่านี้มักมีราคาสูง ต้องใช้กระบวนการเตรียมตัวอย่างที่ซับซ้อน และอาจไม่เหมาะสำหรับการประเมินสภาพดินในพื้นที่กว้างหรือการตรวจวัดแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ มีงานวิจัยที่กล่าวถึงการใช้เซนเซอร์วัดสีราคาประหยัด (Stiglitz et al., 2016) การใช้สมาร์ตโฟนถ่ายภาพดินเพื่อนำไปประมวลผลค่าสีบนแอปพลิเคชัน (Nodi et al., 2023) ความละเอียดของกล้องและสภาพแสงขณะถ่ายภาพสามารถส่งผลต่อค่าสีที่ได้เช่นกัน นอกจากนี้ กรณีที่ต้องการผลการวิเคราะห์แบบละเอียด การวิเคราะห์ปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดินโดยวิธีมาตรฐาน เช่น วิธี Walkley-Black (Bahadori & Tofghi, 2016; สุทธิเดชา ขุนทอง และคณะ, 2562) และวิธี Dry combustion ด้วยเครื่อง CN analyzer (Wright & Bailey, 2001) แม้จะให้ผลที่แม่นยำ แต่กระบวนการวิเคราะห์กลับมีความยุ่งยาก ต้องใช้สารเคมีปริมาณมาก อุปกรณ์มีราคาสูง ใช้เวลานาน และจำเป็นต้องอาศัยผู้ปฏิบัติงานที่มีความชำนาญ ซึ่งส่งผลให้การประเมินคาร์บอนอินทรีย์ในพื้นที่กว้างขวางหรือการตรวจสอบภาคสนามเป็นไปได้ยากในเชิงปฏิบัติ ซึ่งบางกรณี เกษตรกรต้องการเพียงปริมาณคร่าว ๆ และรวดเร็ว เพื่อใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการปรับปรุงสภาพดินหรือการจัดการปุ๋ยได้ในทันที

งานวิจัยนี้นำเสนอการวัดค่าสีของดินในระบบสี RGB โดยใช้เซนเซอร์วัดสี TCS34725 ซึ่งเป็นเซนเซอร์รับแสงแบบดิจิทัลที่สามารถตรวจจับค่าความเข้มของสีแดง (R), เขียว (G) และน้ำเงิน (B) ได้อย่างแม่นยำ (Comejina, et al., 2024) โดยเซนเซอร์นี้ถูกเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เพื่อใช้เป็นระบบวัดสีแบบพกพาและต้นทุนต่ำสำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีของดินกับปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ แม้ว่าเซนเซอร์ประเภทนี้จะมีช่วงการตรวจวัดที่จำกัดกว่าเครื่องมือวัดแสงระดับห้องปฏิบัติการ แต่มีความสามารถในการวัดค่าสีของดินได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ลดความผิดพลาดจากการรับรู้สีของมนุษย์สามารถนำไปใช้ในภาคสนามได้โดยไม่ต้องส่งตัวอย่างไปยังห้องปฏิบัติการ และสามารถนำข้อมูลที่นำไปพัฒนาแบบจำลองเชิงสถิติสำหรับการประเมินค่าปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้อย่างรวดเร็วเพียงคำนวณจากค่าสีที่วัดได้โดยไม่เป็นการทำลายตัวอย่าง นอกจากนี้ การใช้เซนเซอร์วัดสีดิจิทัลยังช่วยให้สามารถเก็บข้อมูลได้ในปริมาณมาก ซึ่งอาจนำไปสู่การพัฒนาแผนที่ค่าสีของดินสำหรับการจัดการดินแบบจำเพาะพื้นที่ (Site-specific management) ที่สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยได้อย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีของดินในระบบ CIELAB (L^* , a^* , b^*) และระบบ RGB กับปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดิน
2. เพื่อพัฒนาอุปกรณ์วัดสีดินแบบพกพาโดยใช้เซนเซอร์วัดสี TCS34725 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ที่มีราคาประหยัด
3. เพื่อสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นสำหรับประเมินปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดินจากค่าสีที่วัดได้
4. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ของดินกับค่าสีและปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์

ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน

เก็บตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่ภายในและรอบมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม ตำบลชี้เหล็ก อำเภอมะริม จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 50 ตัวอย่าง โดยบริเวณที่ขุดจะทางหญ้ากวาดเศษพืชหรือวัสดุหน้าผิวดินออก จากนั้นใช้เสียมขุดหลุมเป็นรูปตัว V ในแนวตั้งลึกประมาณ 15 เซนติเมตร แซะเอาดินด้านหนึ่งของหลุมตั้งแต่ผิวดินถึงก้นหลุม ให้เป็นแผ่นหนาประมาณ 2-3 เซนติเมตร ตัดวงรีระยะห่างในรัศมีประมาณ 5 เมตร เพื่อขุดหลุมต่อไป โดยแต่ละบริเวณจะขุด 3 หลุม นำมารวมกัน ดินที่ได้นับเป็นหนึ่งตัวอย่าง ดินที่ขุดได้จะถูกบรรจุในถุงพลาสติกพร้อมทั้งเขียนรายละเอียดของตัวอย่างดินก่อนนำไปเตรียมตัวอย่างต่อไป

นำตัวอย่างดินทั้งหมดมาตากลมจนแห้งสนิท จากนั้นบดตัวอย่างดินทั้งหมดให้ละเอียดและนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร โดยทำซ้ำสามรอบ เพื่อให้ได้อนุภาคดินที่สม่ำเสมอ นำตัวอย่างดินที่ผ่านการเตรียมบรรจุในถุงพลาสติกพร้อมทั้งเขียนรายละเอียดของตัวอย่างดินและนำไปวิเคราะห์ค่าสีและค่าคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

การวัดค่า pH ของดิน

ชั่งดินตากแห้งที่ร่อนผ่านตะแกรงแล้ว หนัก 10 g ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 50 mL เติมน้ำปราศจากไอออน 20 mL คนอย่างต่อเนื่อง 1 นาที แล้วทิ้งไว้ 30 – 60 นาที จุ่มขั้วอิเล็กโทรดของเครื่อง pH meter (METTLER TOLEDO Seven Compact pH/ION S220, China) ลงในสารละลายส่วนใสเหนือตะกอนดินเพื่อวัดค่า pH (FAO, 2020)

การวัดค่าสีของดิน

เซนเซอร์วัดสี TCS34725 (ams-OSRAM AG, Austria) ได้ถูกนำมาใช้ในการวัดค่าสีของดินในการทดลองนี้ เซนเซอร์ทำงานโดยมีตัวตรวจจับแสง (Photodiode) สำหรับวัดความเข้มแสงในแต่ละช่วงคลื่นของแสงสีแดง เขียว น้ำเงิน (RGB) และแสงรวม (Clear) ร่วมกับฟิลเตอร์แสงและวงจรแปลงสัญญาณแสงเป็น

ดิจิตอล (Analog-to-Digital Converter; ADC) นอกจากนี้ยังมีไดโอดแสง (LED) สีขาวในตัวเพื่อให้แสงสว่างคงที่แก่ตัวอย่างขณะวัด เซนเซอร์ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32-WROOM (Espressif systems, China) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ประมวลผลและแสดงผลบนหน้าจอสัมผัส LCD ขนาด 3.2 นิ้ว (ILI9341, Ilitek, Taiwan) ผู้ใช้สามารถส่งค่าสีที่ได้ไปเก็บใน Google sheets ผ่านสัญญาณ Wi-Fi โดยใช้เราเตอร์พกพา (TP-Link 4G LTE Mobile Wi-Fi M7000, China) สำหรับเชื่อมต่อแบบไร้สาย โค้ดควบคุมการทำงานของ ESP32 ถูกเขียนด้วยภาษา C และพัฒนาโดยใช้ Arduino IDE อุปกรณ์ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ 3.7V ความจุ 2000 mAh สามารถใช้งานได้มากกว่า 8 ชั่วโมง และชาร์จผ่านสาย Micro USB

เนื่องจากแสงมีผลต่อการวัดค่าสี จึงต้องดำเนินการในระบบปิด อุปกรณ์ทั้งหมดดังกล่าวข้างต้นถูกบรรจุในกล่องเคสแบบตั้งโต๊ะที่ทำจากอะลูมิเนียมและเหล็ก ดังภาพที่ 1 (ก) มีขนาด 159×117×58/34 มม. ด้านบนมีลักษณะลาดเอียงพร้อมหน้าจอสัมผัส TFT LCD มีสวิทช์เปิด/ปิดเครื่อง และตัวแสดงปริมาณแบตเตอรี่ ด้านหลังของอุปกรณ์มีช่องที่สามารถเลื่อนเข้าออกได้คล้ายกับลิ้นชัก สำหรับใส่ตัวอย่างดินที่บรรจุอยู่ในถ้วยพลาสติกใสทรงกลม ดังรูป 1 (ข) หน้าจอถูกออกแบบให้แสดงผล 3 ส่วน ได้แก่: 1. ส่วนแสดงค่าระดับสี RGB 2. ส่วนแสดงตัวอย่างสีของตัวอย่างที่ตรวจจับได้ 3. ส่วนปุ่มกด ซึ่งประกอบด้วยปุ่มตรวจจับสี (Detect Color), ปุ่มลบค่า (Delete), และปุ่มส่งข้อมูล (Send Data) ดังรูป 1 (ค) ตัวเซนเซอร์สี TCS34725 ติดตั้งอยู่ที่ด้านล่างของภาชนะพลาสติกที่บรรจุตัวอย่างดินและสามารถรายงานค่าสี RGB ในระดับ 256 ค่า



(ก) ตัวเครื่อง



(ข) หน้าจอแสดงผลบนตัวเครื่อง



(ค) การใส่ตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์

ภาพที่ 1 เครื่องวัดสีด้วยเซนเซอร์วัดสี TCS34725 (ที่มา: คณะผู้วิจัย, 2568)

เริ่มทำการวัดค่าสีของตัวอย่างดิน โดยกดปุ่มเปิด Pocket Wi-Fi เพื่อให้สัญญาณอินเทอร์เน็ตไปยังเครื่องวัดสีที่ควบคุมโดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นทำการเปิดเครื่องวัดสีดินที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยกดปุ่มสวิทช์สีดำทางด้านซ้าย เพื่อเริ่มการทำงานจะปรากฏแถบคำสั่งให้เลือกใช้ ดังนี้ แถบคำสั่ง “DETECT” สัมผัสเมื่อต้องการวัดค่าสี, แถบคำสั่ง “CLEAR” สัมผัสเมื่อต้องการลบข้อมูลค่าการวัดสีและแถบคำสั่ง “Send DATA” สัมผัสเมื่อต้องการส่งออกข้อมูล ทำการนำตัวอย่างดินทั้งหมดที่ผ่านการ

เตรียมแล้วใส่ในกล่องบรรจุตัวอย่างและนำกล่องบรรจุตัวอย่างวางลงบนแท่นรองรับเพื่อนำเข้าสู่เครื่องวัดค่าสี โดยนำแท่นรองรับพร้อมด้วยกล่องบรรจุตัวอย่างเข้าสู่เครื่องวัดสีทางช่องด้านหลังและเมื่อนำตัวอย่างเข้าสู่เครื่องวัดสีแล้วให้สัมผัสแถบคำสั่ง “DETECT” จากนั้นตัวเครื่องจะทำการวัดผลและแสดงค่าสีออกมาในระบบ RGB ทำการวัดค่าสีซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกผลและหาค่าเฉลี่ย

การวิเคราะห์ปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี Walkley-Black ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน โดยในเบื้องต้น ได้เตรียมสารละลายมาตรฐานซูโครส ($C_{12}H_{22}O_{11}$) เข้มข้นในช่วง 0 – 4 mgC/mL ปิเปตต์สารมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น 2 mL ผสมกับ 0.34 M โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 2 mL และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) 5 mL และปรับปริมาตรด้วยขวดปรับปริมาตรขนาด 20 mL นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 582 นาโนเมตร จากนั้นสร้างกราฟมาตรฐานพลอตระหว่างความเข้มข้นสารมาตรฐานซูโครสและค่าการดูดกลืนแสง

ชั่งตัวอย่างดิน 5.0000 – 5.1000 g ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 mL เติมสารละลาย 0.34 M โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 2 mL และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) 5 mL เขย่าให้เข้ากันและทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 20 mL ด้วยน้ำปราศจากไอออนและตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน (หากสารละลายตัวอย่างดินไม่ตกตะกอนอยู่ข้างล่าง ให้นำสารละลายตัวอย่างดินไปเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที) นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 582 นาโนเมตร เพื่อเทียบหาปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์จากกราฟมาตรฐาน จากนั้นนำค่าที่เทียบได้จากแต่ละตัวอย่างไปคำนวณหาปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (%OC) ดังแสดงในสมการ

$$\%OC = \frac{mgC_{sample} - mgC_{blank}}{w} \times f \times mcf \times 100$$

โดย %OC คือ ปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (% น้ำหนัก)

mgC_{sample} คือ ปริมาณคาร์บอนที่วัดได้ในตัวอย่าง

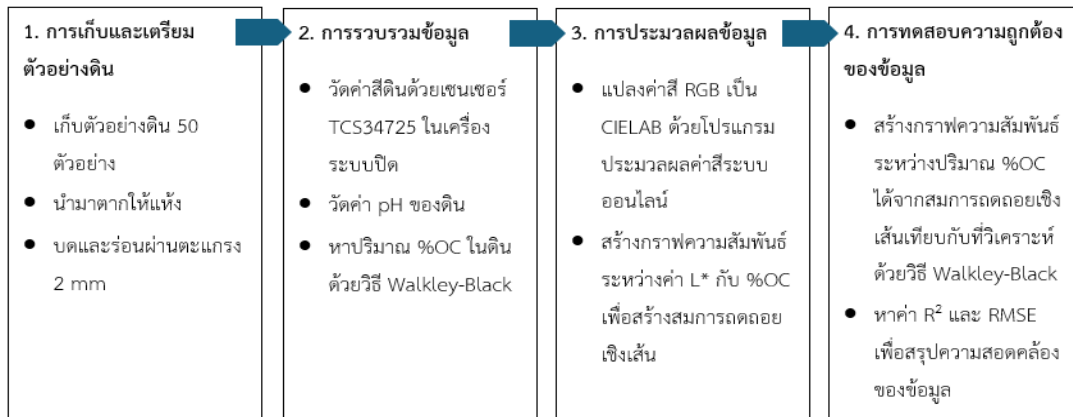
mgC_{blank} คือ ปริมาณคาร์บอนที่วัดได้ในแบลنگก์

w คือ น้ำหนักของตัวอย่างดินแห้งในอากาศ (Air-dry soil) (mg)

f คือ ค่าปรับแก้ (Correction factor) มีค่า 1.3

mcf คือ ค่าปรับแก้ความชื้น (Moisture Correction Factor) มีค่า 0.95

เพื่อให้เห็นภาพรวมของวิธีดำเนินการวิจัยทั้งหมด ผู้วิจัยได้สรุปขั้นตอนการดำเนินงานในรูปแบบผังงาน (Workflow diagram) ดังแสดงในภาพที่ 2









ภาพที่ 2 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเพื่อประเมินปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดินด้วยเซนเซอร์วัดสี (ที่มา: คณะผู้วิจัย, 2568)

ผลการวิจัย














ข้อมูลลักษณะของตัวอย่างดิน

ก่อนทำการวิเคราะห์ค่าสีและคาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างดิน ได้เก็บดินจากพื้นที่ต่าง ๆ โดยระบุพิกัดภูมิศาสตร์อย่างชัดเจน เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ โดยตรวจวัดค่า pH ของแต่ละตัวอย่าง ซึ่งเป็นดัชนีสำคัญที่บ่งบอกสภาพเคมีของดินและอาจมีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์และลักษณะสี นอกจากนี้ ตัวอย่างดินได้ผ่านการเตรียมเบื้องต้น ได้แก่ การอบแห้ง ร่อน และบดละเอียด พร้อมถ่ายภาพเพื่อบันทึกลักษณะทางกายภาพของเนื้อดิน เช่น สี ความละเอียด และความสม่ำเสมอ ซึ่งใช้ประกอบการแปลผลในขั้นตอนต่อไป ได้ข้อมูลทั้งหมดดังแสดงในตาราง 1

















ตาราง 1 ข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์ ลักษณะดิน และค่า pH ของตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษา

ตัวอย่าง	พิกัดเก็บตัวอย่าง	ภาพตัวอย่างดิน	ค่า pH ของดิน	ตัวอย่าง	พิกัดเก็บตัวอย่าง	ภาพตัวอย่างดิน	ค่า pH ของดิน
1	ละติจูด : 19.01459 ลองจิจูด : 98.92342		6.28	26	ละติจูด : 19.0106889 ลองจิจูด : 98.9408011		6.52
2	ละติจูด : 19.01502 ลองจิจูด : 98.92374		6.36	27	ละติจูด : 19.0130632 ลองจิจูด : 98.9403679		6.35
3	ละติจูด : 19.01476 ลองจิจูด : 98.92359		6.70	28	ละติจูด : 19.0140468 ลองจิจูด : 98.9138100		6.31













ตาราง 1 ข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์ ลักษณะดิน และค่า pH ของตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ตัวอย่าง	พิกัดเก็บตัวอย่าง	ภาพตัวอย่างดิน	ค่า pH ของดิน	ตัวอย่าง	พิกัดเก็บตัวอย่าง	ภาพตัวอย่างดิน	ค่า pH ของดิน
4	ละติจูด : 19.01452 ลองจิจูด : 98.92275		7.40	29	ละติจูด : 19.0225119 ลองจิจูด : 98.9138100		6.20
5	ละติจูด : 19.01441 ลองจิจูด : 98.92278		7.56	30	ละติจูด : 19.0259322 ลองจิจูด : 98.9347802		6.61
6	ละติจูด : 19.01221 ลองจิจูด : 98.91532		6.56	31	ละติจูด : 19.0258311 ลองจิจูด : 98.9346900		6.76
7	ละติจูด : 19.01415 ลองจิจูด : 98.91425		7.10	32	ละติจูด : 19.0132226 ลองจิจูด : 98.9413939		6.65
8	ละติจูด : 19.01401 ลองจิจูด : 98.91435		6.42	33	ละติจูด : 19.0137012 ลองจิจูด : 98.9420460		6.52
9	ละติจูด : 19.02183 ลองจิจูด : 98.92333		6.30	34	ละติจูด : 19.0133507 ลองจิจูด : 98.9414388		6.45
10	ละติจูด : 19.02097 ลองจิจูด : 98.92287		6.48	35	ละติจูด : 19.0223746 ลองจิจูด : 98.9362098		6.61
11	ละติจูด : 19.02079 ลองจิจูด : 98.92313		6.76	36	ละติจูด : 19.0088371 ลองจิจูด : 98.9442605		6.45

ตาราง 1 ข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์ ลักษณะดิน และค่า pH ของตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ตัวอย่าง	พิกัดเก็บตัวอย่าง	ภาพตัวอย่างดิน	ค่า pH ของดิน	ตัวอย่าง	พิกัดเก็บตัวอย่าง	ภาพตัวอย่างดิน	ค่า pH ของดิน
12	ละติจูด : 19.01905 ลองจิจูด : 98.92596		6.93	37	ละติจูด : 19.0113828 ลองจิจูด : 98.9141688		6.69
13	ละติจูด : 19.01978 ลองจิจูด : 98.92468		6.84	38	ละติจูด : 19.0125217 ลองจิจูด : 98.9328594		6.71
14	ละติจูด : 19.01872 ลองจิจูด : 98.9252		7.11	39	ละติจูด : 19.0213727 ลองจิจูด : 98.9222314		5.87
15	ละติจูด : 19.02203 ลองจิจูด : 98.92432		7.38	40	ละติจูด : 19.0216976 ลองจิจูด : 98.9233245		6.42
16	ลองจิจูด : 19.02152 ลองจิจูด : 98.92641		7.43	41	ละติจูด : 19.0301684 ลองจิจูด : 98.9357622		5.42
17	ละติจูด : 19.02068 ลองจิจูด : 98.92477		7.75	42	ละติจูด : 19.0221455 ลองจิจูด : 98.9177790		6.26
18	ลองจิจูด : 19.02586 ลองจิจูด : 98.93472		7.65	43	ละติจูด : 19.0211572 ลองจิจูด : 98.9178075		6.31
19	ละติจูด : 19.02881 ลองจิจูด : 98.93422		7.59	44	ละติจูด : 19.0244714 ลองจิจูด : 98.8170355		6.36

ตาราง 1 ข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์ ลักษณะดิน และค่า pH ของตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ตัวอย่าง	พิกัดเก็บตัวอย่าง	ภาพตัวอย่างดิน	ค่า pH ของดิน	ตัวอย่าง	พิกัดเก็บตัวอย่าง	ภาพตัวอย่างดิน	ค่า pH ของดิน
20	ละติจูด : 19.02857 ลองจิจูด : 98.93357		7.45	45	ละติจูด : 19.0244714 ลองจิจูด : 98.9222996		6.48
21	ละติจูด : 19.0270593 ลองจิจูด : 98.9105498		7.71	46	ละติจูด : 19.0127410 ลองจิจูด : 98.9386090		6.56
22	ละติจูด : 19.0244441 ลองจิจูด : 98.9180104		5.94	47	ละติจูด : 19.0262474 ลองจิจูด : 98.9145973		6.63
23	ละติจูด : 19.0108100 ลองจิจูด : 98.9157771		6.16	48	ละติจูด : 19.0279440 ลองจิจูด : 98.9115928		6.34
24	ละติจูด : 19.0107777 ลองจิจูด : 98.9155367		6.42	49	ละติจูด : 19.0104344 ลองจิจูด : 98.9403941		6.56
25	ละติจูด : 19.0203223 ลองจิจูด : 98.9218402		6.24	50	ละติจูด : 19.0101947 ลองจิจูด : 98.9404112		6.42

จากตาราง 1 จะเห็นได้ว่าสีของตัวอย่างดินมีความหลากหลายเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า และมีค่า pH เฉลี่ยประมาณ 6.6 ซึ่งเป็นกรดอ่อนมากค่อนข้างไปทางกลาง ซึ่งถือว่าดินมีความปกติ เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเกษตรส่วนใหญ่ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น แบคทีเรียและเชื้อรา ทำงานได้ดีในดินที่มี pH 6.0–7.5 ซึ่งช่วยปลดปล่อยธาตุอาหารจากอินทรีย์วัตถุให้พืช

ค่าสีของดินและปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

นำดิน 50 ตัวอย่าง มาหาค่าสี RGB ด้วยเครื่องวัดสีตัวอย่างละ 3 ซ้ำและนำไปหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำค่า RGB ที่ได้มาหาค่าผลคูณ $R \times G \times B$ เพื่อเพิ่มความละเอียดของน้ำหนักสี (แต่ละค่าสี RGB มีน้ำหนักสีค่าละ 256 ค่า แต่เมื่อนำค่าสีทั้งสามมาคูณกัน จะได้ความละเอียดมากกว่า 16.7 ล้านสี) นอกจากนี้ ได้แปลงค่าสีจากระบบ RGB เป็นระบบ CIELAB โดยใช้โปรแกรมประมวลผลค่าสีระบบออนไลน์ (Aspose, 2025) ซึ่งใช้อัลกอริทึมการคำนวณตามมาตรฐานการแปลงค่าสีสากล เนื่องจากระบบ CIELAB สะท้อนการรับรู้สีของมนุษย์ได้ดีกว่า และช่วยให้การเปรียบเทียบสีมีความแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ ระบบ CIELAB ยังเป็นอิสระจากแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์แสดงผล ทำให้สามารถวัดสีได้อย่างสม่ำเสมอในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ช่วยให้การวิเคราะห์ความแตกต่างของสีระหว่างตัวอย่างดินเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสีดินกับคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน

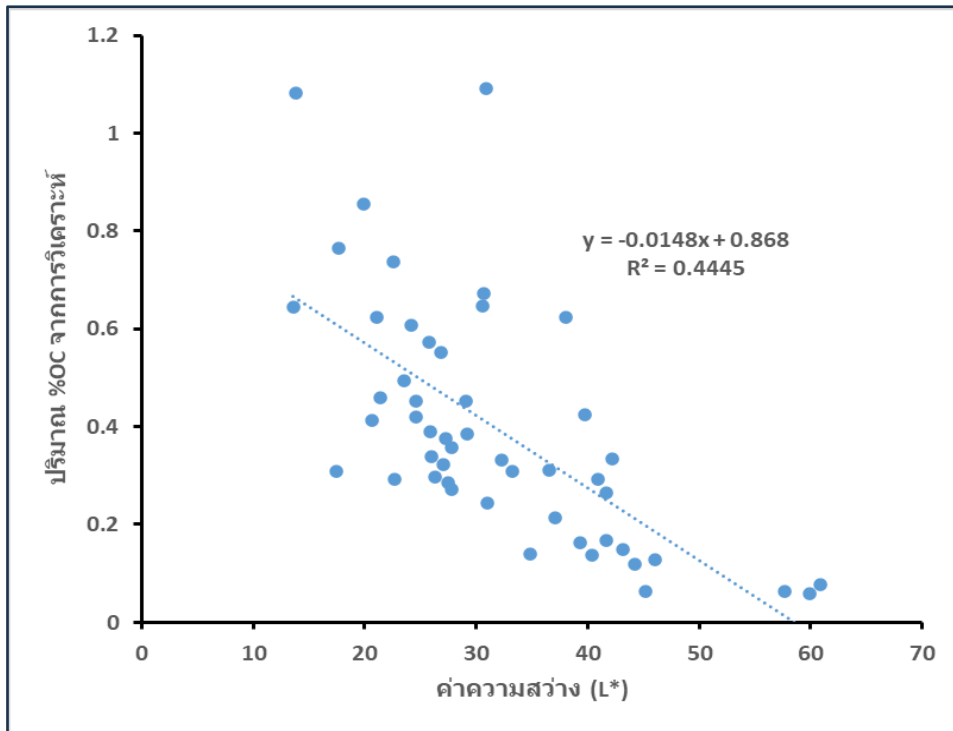
จากการวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ด้วยวิธี Walkley-Black ดังที่อธิบาย ผู้วิจัยได้สรุปผลการวัดค่าสีและผลการวิเคราะห์ดังตาราง 2 และได้สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง (L^*) กับปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้ดังภาพที่ 3

ตาราง 2 ผลการวัดค่าสีของดินในระบบสี CIELAB และปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์

ตัวอย่าง	ค่าสีระบบ CIELAB			ปริมาณ %OC
	L^*	a^*	b^*	
1	46.07	-7.12	16.84	0.128
2	34.81	-2.64	13.29	0.140
3	43.15	-7.41	14.59	0.149
4	60.89	-13.38	15.33	0.078
5	57.70	-12.39	14.92	0.063
6	25.91	-5.18	8.41	0.390
7	45.18	-9.04	13.96	0.065
8	59.91	-12.72	15.14	0.059
9	27.83	-6.31	8.47	0.273
10	27.10	-5.72	9.21	0.323
11	27.31	-5.98	8.62	0.377
12	32.26	-5.91	10.38	0.333
13	36.52	-7.49	11.12	0.310
14	41.62	-7.01	14.34	0.265
15	44.18	-6.44	13.41	0.119
16	39.30	-6.58	12.78	0.164
17	41.72	-6.07	14.00	0.167
18	27.46	-6.07	9.08	0.286

ตาราง 2 ผลการวัดค่าสีของดินในระบบสี CIELAB และปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ (ต่อ)

ตัวอย่าง	ค่าสีระบบ CIELAB			ปริมาณ %OC
	L*	a*	b*	
19	40.97	-9.66	11.65	0.292
20	33.25	-5.38	11.50	0.309
21	40.37	-5.25	11.12	0.137
22	39.74	-6.35	14.67	0.424
23	21.41	-3.35	7.12	0.459
24	24.59	-3.35	9.08	0.452
25	24.22	-2.93	7.12	0.608
26	30.84	-4.67	9.85	1.091
27	26.82	-5.10	9.94	0.551
28	24.63	-3.25	10.67	0.419
29	25.81	-3.81	9.38	0.572
30	30.64	-5.49	10.10	0.673
31	29.07	-4.89	10.89	0.453
32	13.79	-1.93	6.32	1.083
33	17.50	-2.30	6.01	0.308
34	22.62	-4.03	8.44	0.738
35	27.76	-4.91	10.97	0.358
36	21.08	-4.71	7.78	0.623
37	19.93	-3.76	7.06	0.854
38	20.69	-2.59	7.40	0.413
39	30.59	-3.95	10.09	0.647
40	38.08	-6.27	12.39	0.624
41	26.26	-3.80	9.36	0.297
42	26.03	-4.75	10.10	0.339
43	13.60	-2.64	5.53	0.645
44	29.15	-4.62	11.49	0.385
45	30.97	-4.23	11.50	0.243
46	17.63	-3.69	6.66	0.766
47	37.09	-6.89	11.77	0.215
48	42.26	-7.77	14.54	0.335
49	23.52	-4.01	8.39	0.494
50	22.71	-3.65	8.56	0.292



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง (L*) ของดินกับปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้ (ที่มา: คณะผู้วิจัย, 2568)

การอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างในระบบสี L*, a*, b* (ค่า L*) กับปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (%OC) โดยใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression) พบว่า ตัวแปรอิสระ L* มีความสัมพันธ์เชิงลบกับ %OC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่า p-value เท่ากับ 1.25×10^{-7} ซึ่งน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่า ค่า L* มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของ %OC อย่างมีนัยสำคัญ สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้คือ

$$\%OC = 0.868 - 0.0148L^*$$

ซึ่งแสดงว่า เมื่อค่าความสว่าง L* เพิ่มขึ้น 1 หน่วย จะส่งผลให้ปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ลดลงประมาณ 0.0148 หน่วย โดยค่าคงที่ (intercept) ของสมการมีค่าเท่ากับ 0.868 ซึ่งหมายถึงค่าประมาณของ %OC เมื่อค่า L* เท่ากับศูนย์ (แม้ในทางปฏิบัติจะไม่พบค่า L* เท่ากับศูนย์ก็ตาม)

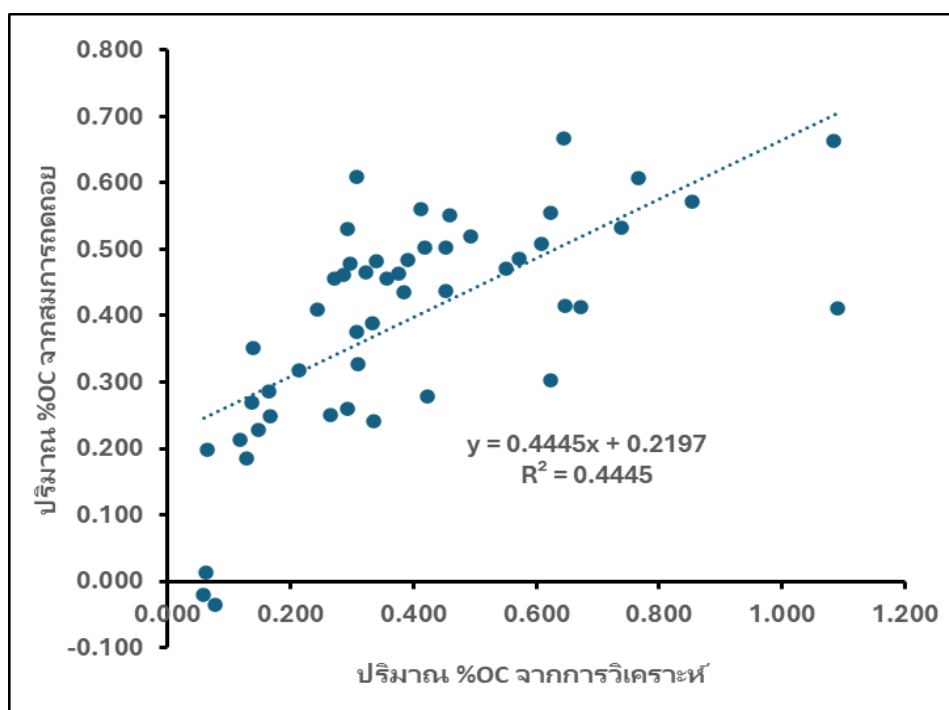
นอกจากนี้ พบว่าช่วงความเชื่อมั่น 95% ของสัมประสิทธิ์ของ L* อยู่ระหว่าง -0.0196 ถึง -0.0100 ซึ่งไม่ครอบคลุมศูนย์ จึงสนับสนุนผลการวิเคราะห์ว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวมีแนวโน้มเชิงลบอย่างชัดเจนและสอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่า ดินที่มีปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์สูงมักมีลักษณะสีเข้ม ซึ่งส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ต่ำลง ในขณะที่ดินที่มีคาร์บอนอินทรีย์น้อยจะมีสีอ่อนกว่า ทำให้ค่า L* สูงขึ้น ดังนั้นค่า

ความสว่างจึงสามารถใช้เป็นตัวแปรเชิงตัวแทน (proxy) สำหรับประเมินปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดินเบื้องต้นได้

อย่างไรก็ตาม ในการวิเคราะห์เบื้องต้นได้นำตัวแปรในระบบสีอื่น ๆ ได้แก่ค่า a^* , b^* และค่าคุณของค่าความเข้มแสงในระบบ RGB คือ $R \times G \times B$ มาวิเคราะห์ร่วมกัน แต่พบว่าไม่มีตัวแปรใดที่มีความสัมพันธ์กับ %OC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าของ p-value สำหรับ a^* , b^* และ $R \times G \times B$ มีค่ามากกว่า 0.05 ทั้งสิ้น แสดงว่าค่าดังกล่าวไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดินอย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น ค่า p-value ของ $R \times G \times B$ เท่ากับ 0.755 ซึ่งสูงเกินกว่าระดับนัยสำคัญ และค่า p-value ของ a^* และ b^* มีค่าเท่ากับ 0.817 และ 0.595 ตามลำดับ ซึ่งยืนยันว่าค่าเหล่านี้ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นตัวแปรพยากรณ์

เหตุผลที่ค่าดังกล่าวไม่แสดงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องมาจาก ค่า a^* และ b^* แสดงถึง โทนสีแดง-เขียว และเหลือง-น้ำเงิน ตามลำดับ ซึ่งไม่ได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณสารอินทรีย์ที่ส่งผลต่อความสว่างของดิน ส่วนผลคูณ $R \times G \times B$ แม้จะดูเป็นตัวแทนของความเข้มโดยรวม แต่ไม่ได้สะท้อนการเปลี่ยนแปลงในเชิงโครงสร้างของสีที่เกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ได้ดีเท่ากับค่า L^*

จากสมการถดถอยเชิงเส้นข้างต้น เมื่อทดลองแทนค่าสี L^* ของตัวอย่างดินลงในสมการดังกล่าวเพื่อหาปริมาณ %OC จากนั้นพลอตกราฟระหว่างปริมาณ %OC ที่วิเคราะห์ได้กับปริมาณ %OC ที่คำนวณจากสมการถดถอยเชิงเส้น ได้กราฟดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้กับที่คำนวณจากสมการถดถอยเชิงเส้น (ที่มา: คณะผู้วิจัย, 2568)

จากกราฟ ค่า R^2 เท่ากับ 0.4445 หมายความว่า สมการถดถอยเชิงเส้นนี้อธิบายความแปรปรวนได้ประมาณ 44.45% ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง อย่างไรก็ตาม ค่า R^2 ที่ไม่สูงมากนักสามารถอธิบายได้จากปัจจัยที่ส่งผลต่อความแม่นยำ ได้แก่ ข้อจำกัดของเซนเซอร์ TCS34725 ที่ตรวจวัดได้เพียงช่วงแสงที่ตามองเห็น (visible light) ซึ่งไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสีผิวสัมผัส แต่ไม่สามารถตรวจจับพันธะเคมีของคาร์บอนได้โดยตรงเหมือนช่วงคลื่น NIR/MIR ในเครื่องมือราคาสูง นอกจากนี้ แม้ดินจะผ่านการทำให้แห้ง แต่ความชื้นระดับโมเลกุลที่ตกค้างและปริมาณแร่เหล็ก ในดินแต่ละพื้นที่ มีผลรบกวนการสะท้อนของค่าความสว่าง (L^*) ทำให้ความสัมพันธ์กับปริมาณ %OC คลาดเคลื่อนได้ และการใช้แบบจำลองเชิงเส้นเพียงอย่างเดียวอาจไม่ครอบคลุมความหลากหลายของชุดดิน การพัฒนาไปสู่แบบจำลองที่มีความซับซ้อนขึ้น เช่น โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) อาจช่วยเพิ่มค่า R^2 ให้สูงขึ้นในอนาคต สรุปได้ว่า แม้ความแม่นยำจะน้อยกว่าวิธีมาตรฐาน แต่เครื่องมือนี้มีจุดเด่นด้านต้นทุนต่ำ ลดความผิดพลาดจากการใช้สายตาและมีความเหมาะสมสำหรับเป็นเครื่องมือคัดกรองเบื้องต้นในภาคสนาม เพื่อให้เกษตรกรสามารถบริหารจัดการดินได้อย่างทันท่วงที

นอกจากการวิเคราะห์ค่า R^2 แล้ว ผู้วิจัยได้ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบปริมาณ %OC ที่ได้จากการทำนายด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น กับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จริงด้วยวิธี Walkley-Black ผ่านการคำนวณค่ารากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error: RMSE) ผลการทดสอบพบว่าค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 0.1796 แม้จะปรากฏความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ แต่เมื่อพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ที่เน้นการใช้เครื่องมือตรวจวัดราคาประหยัดเพื่อการประเมินเบื้องต้นในภาคสนามที่ต้องการความรวดเร็ว ค่าความคลาดเคลื่อนระดับนี้ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการประเมินและจำแนกกลุ่มปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดินเบื้องต้น

และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ของดิน (ค่าเฉลี่ย 6.6, ช่วง 5.42-7.75) กับค่าความสว่าง L^* และปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ %OC โดยใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) พบว่า ค่า pH ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติที่มีนัยสำคัญกับทั้งค่า L^* ($r = 0.158$, p -value = 0.274) และ %OC ($r = -0.195$, p -value = 0.174) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการศึกษานี้ยังแสดงให้เห็นว่า แม้ค่า pH จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน แต่ในช่วง pH ที่ศึกษา (5.42-7.75) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในระดับกรดอ่อนถึงเป็นกลาง ค่า pH ไม่ได้เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีดินโดยตรง เหตุผลที่เป็นไปได้มีดังนี้:

1. ช่วง pH ที่ไม่กว้างพอ: ตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษามีค่า pH ที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยกระจุกตัวอยู่ในช่วง 6.0-7.0 (72% ของตัวอย่าง) ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมของจุลินทรีย์และการย่อยสลายสารอินทรีย์ในอัตราที่ค่อนข้างคงที่ หากมีการศึกษาในช่วง pH ที่กว้างกว่า เช่น ดินที่เป็นกรดจัด ($pH < 5$) หรือเป็นด่างสูง ($pH > 8$) อาจพบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนมากขึ้น
2. คาร์บอนอินทรีย์เป็นปัจจัยหลักที่กำหนดสีของดิน: ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับสีของดิน (ค่า L^*) มากกว่าค่า pH โดยดินที่มีสารอินทรีย์สูงจะมีสี

เข้มกว่า (ค่า L^* ต่ำ) เนื่องจากสารฮิวมิก (humic substances) ที่เป็นองค์ประกอบหลักของสารอินทรีย์ในดิน มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ

3. ปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่อสีของดิน: นอกจากสารอินทรีย์แล้ว สีของดินยังได้รับอิทธิพลจากแร่ธาตุประกอบ เช่น ออกไซด์ของธาตุเหล็ก (Fe_2O_3) ที่ทำให้ดินมีสีแดง-เหลือง และแมงกานีส (MnO_2) ที่ทำให้ดินมีสีดำ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจมีความสำคัญมากกว่าค่า pH ในบางกรณี

4. ความสัมพันธ์ทางอ้อมระหว่าง pH กับสีดิน: แม้ว่าจะไม่พบความสัมพันธ์โดยตรงระหว่าง pH กับสีของดินในการศึกษานี้ แต่ค่า pH อาจมีผลทางอ้อมผ่านกระบวนการเคมีต่าง ๆ เช่น ในดินที่เป็นกรดจัด ธาตุเหล็กและแมงกานีสจะถูกชะล้างออกไป ทำให้สีของดินอ่อนลง ในขณะที่ดินที่มี pH สูงเกินไปอาจทำให้สารอินทรีย์ถูกออกซิไดส์เร็วขึ้น ส่งผลให้ปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ลดลงในระยะยาว

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ในระบบสี CIELAB มีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (%OC) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} = 1.25 \times 10^{-7}$) โดยสามารถสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นเพื่อประเมิน %OC จากค่า L^* ได้คือ $\%OC = 0.868 - 0.0148L$ แม้ว่าค่าสีอื่น ๆ ในระบบ CIELAB (a^* , b^*) และค่าผลคูณ $R \times G \times B$ ไม่แสดงความสัมพันธ์ทางสถิติกับ %OC ซึ่งอาจเนื่องมาจากค่าเหล่านี้ไม่สะท้อนการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในดินโดยตรง

นอกจากนี้ ควรศึกษาตัวอย่างดินที่มีช่วง pH กว้างขึ้น (เช่น 4.0-9.0) เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ที่ชัดเจนยิ่งขึ้น รวมถึงวิเคราะห์ปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อสีของดิน เช่น ปริมาณธาตุเหล็ก แมงกานีส และความชื้นของดิน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีดินตามระยะเวลาภายใต้ค่า pH ที่ต่างกัน เพื่อดูผลกระทบระยะยาว

แม้ว่าแบบจำลองนี้จะอธิบายความแปรปรวนได้เพียง 44.45% ($R^2 = 0.4445$) และมีความคลาดเคลื่อน (RSME) เท่ากับ 0.1796 เนื่องจากจำนวนตัวอย่างที่ใช้ยังมีไม่มากนัก แต่วิธีดังกล่าวสามารถใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับการประเมินปริมาณร้อยละคาร์บอนอินทรีย์ในดินได้อย่างรวดเร็วและไม่ทำลายตัวอย่าง ดังนั้น การใช้เซนเซอร์วัดสี TCS34725 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ในการวัดค่าสีของดินเพื่อสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นในการประเมินปริมาณธาตุอาหารจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ ประหยัด รวดเร็ว และเหมาะสมสำหรับการวัดค่าสีดินในภาคสนาม โดยไม่จำเป็นต้องนำส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ หรือทำลายตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ไป และลดข้อผิดพลาดจากการประเมินด้วยสายตา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินงานโดยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย จากกองทุนส่งเสริม ววน. ประเภททุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) โดยมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ปีงบประมาณ 2568 และขอขอบคุณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่สนับสนุนเครื่องมือวิเคราะห์สำหรับงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- สุทธิเดชา ขุนทอง, จิราพร สวยสม, สุรเชษฐ์ นาราภักดิ์, กมรินทร์ นิ่มนวลรัตน์ และ ชัยสิทธิ์ วัฒนาวังจงสุข. (2562). ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ถูกออกไซด์ซีดจากการใช้วิธีวอลค์เลย์-แบลคหาอินทรีย์คาร์บอนในดินประเทศไทย. *แก่นเกษตร*, 47(4), 797–808. <https://doi.org/10.14456/kaj.2019.75>
- Aspose. (2025). *Aspose Color Converter*. <https://products.aspose.app/svg/color-converter>
- Bahadori, M., & Tofighi, H. (2016). A modified Walkley-Black method based on spectrophotometric procedure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(2), 213–220. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1118118>
- Comejina, P., Kanna, M., & Somnam, S. (2024). Development of an ESP32 microcontroller-based colorimeter with an Android app for the verification of roasting degree of coffee beans. *Chiang Mai Journal of Science*, 51(5), e2024079. <https://doi.org/10.12982/CMJS.2024.079>
- Fan, Z., Herrick, J. E., Saltzman, R., Matteis, C., Yudina, A., Nocella, N., Crawford, E., Parker, R., & Van, Z. J. (2017). Measurement of soil color: A comparison between smartphone camera and the Munsell color charts. *Soil Science Society of America Journal*, 81(5), 1139–1146. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.01.0009>
- FAO. (2020). *Soil testing methods – Global Soil Doctors Programme: A farmer-to-farmer training programme*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca2796en>
- Gou, F., Liang, W., Yan, J., Sun, S., Chen, Z., Zhang, W., Ji, Q., & Wang, F. (2022). Decrease in erosion-induced soil organic carbons a result of vegetation restoration in the Loess Plateau, China. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 127(8). <https://doi.org/10.1029/2022JG006917>
- Jorge, N. F., Clark, J., Cárdenas, M. L., Geoghegan, H., & Shannon, V. (2021). Measuring soil colour to estimate soil organic carbon using a large-scale citizen science-based approach. *Sustainability*, 13(19), 11029. <https://doi.org/10.3390/su131911029>
- Kirillova, N. P., Grauer-Gray, J., Hartemink, A. E., Sileova, T. M., Artemyeva, Z. S., & Burova, E. K. (2018). New perspectives to use Munsell color charts with electronic devices. *Computers and Electronics in Agriculture*, 155, 378–385. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.028>
- Mansur, N., & Abbod, M. (2026). Machine learning-based estimation of soil organic matter using RGB values. *DYSONA - Applied Science*, 7, 73-81. <https://doi.org/10.30493/DAS.2025.539371>

- Nodi, S. S., Paul, M., Robinson, N., Wang, L., & Rehman, S. U. (2023). Determination of Munsell soil colour using smartphones. *Sensors*, 23(6), 3181. <https://doi.org/10.3390/s23063181>
- Stiglitz, R. D., Mikhailova, E. A., Post, C. J., Schlautman, M. A., & Sharp, J. L. (2016). Evaluation of an inexpensive sensor to measure soil color. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.11.014>
- Vargas-Rojas, R., Cuevas-Corona, R., Yigini, Y., Tong, Y., Bazza, Z., & Wiese, L. (2019). Unlocking the potential of soil organic carbon: A feasible way forward. In H. Ginzky, E. Dooley, I. Heuser, E. Kasimbazi, T. Markus, & T. Qin (Eds.), *International yearbook of soil law and policy 2018*. (pp. 373-395). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00758-4_18
- Viscarra Rossel, R. A., Walvoort, D. J. J., McBratney, A. B., Janik, L. J., & Skjemstad, J. O. (2006). Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, 131(1-2), 59-75. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.03.007>
- Wright, A. F., & Bailey, J. S. (2001). Organic carbon, total carbon, and total nitrogen determinations in soils of variable calcium carbonate contents using a Leco CN-2000 dry combustion analyzer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(19–20), 3243–3258. <https://doi.org/10.1081/CSS-120001118>