



การจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่สูงด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงจุดภาพจากข้อมูลหลายช่วง
คลื่นดาวเทียม Sentinel-2 และปัจจัยแวดล้อมทางภูมิศาสตร์
Coffee Plantation Area Classification in Highlands Using Pixel Based
Approaches from Sentinel-2 Multi-Spectral Data and
Auxiliary Geographical Features

ดวงนภา สุขะหุต¹ อิดารัตน์ ชลประเสริฐสุข^{2*} และ รัฐสิทธิ์ สุขะหุต³
Duangnapa Sukhahuta,¹ Tidarat Cholprasertsuk^{2*} and Rattasit Sukhahuta³

Article History

Receive: August 13, 2025

Revised: December 4, 2025

Accepted: December 11, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดปัจจัยและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟ และเพื่อพัฒนาเทคนิคการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่สูงด้วยวิธีการเชิงจุดภาพจากข้อมูลหลายช่วงคลื่นดาวเทียม Sentinel-2 โดยใช้ค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นที่มีผลต่อลายเซ็นเชิงคลื่น (Digital Signature) ของพื้นที่ปลูกกาแฟ ประกอบกับค่าดัชนีที่ประมวลผลได้จากค่าการสะท้อนในช่วงต่างๆ ของข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 การดำเนินการวิจัยใช้การลงสำรวจพื้นที่เพาะปลูกกาแฟและพัฒนาเขียนสคริปต์จากข้อมูลหลายช่วงคลื่นดาวเทียม Sentinel-2 การกำหนดกลุ่มเป้าหมายเลือกแบบเฉพาะเจาะจงโดยใช้พื้นที่ปลูกกาแฟในพื้นที่สูงของประเทศไทยที่มีความเหมาะสมในการโดยใช้ช่วงคลื่นดาวเทียม Sentinel-2 ได้แก่ 1) จังหวัดเชียงใหม่ 2) จังหวัดเชียงราย และ 3) จังหวัดน่าน ผลการวิจัยพบว่า 1) ลักษณะพื้นที่การเพาะปลูกที่เป็นป่าดิบเขา กับป่าไม่ผลัดใบมีผลต่อผลผลิต และความสูงจากระดับน้ำทะเล 850 เมตร สามารถปลูกกาแฟอาราบิก้าได้ 2) ผลจากการใช้ข้อมูลดาวเทียมและการเขียนสคริปต์เพื่อประมวลผลในการจำแนกพื้นที่เพาะปลูก โดยใช้แบบจำลอง Random Forest พบว่าเทคนิคการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟด้วยข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 สามารถให้ผลการจำแนกที่มีความแม่นยำสูง ให้ค่าความถูกต้องรวมของการจำแนกร้อยละ 89.70 ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวางแผนเชิงยุทธศาสตร์เพื่อจัดการการปลูกกาแฟในพื้นที่สูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : เทคนิควิเคราะห์เชิงจุดภาพ; ข้อมูลหลายช่วงคลื่นดาวเทียม Sentinel-2; ปัจจัยแวดล้อมทางภูมิศาสตร์; กาแฟอาราบิก้า; แบบจำลอง Random Forest

¹⁻² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, Assistant Professor, Faculty of Business Administration, Maejo University

³ รองศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, Associate Professor, Faculty of Science, Chiang Mai University

*Corresponding author E-mail: tc_ple@hotmail.com

ABSTRACT

This research aimed to identify the key factors and conditions influencing the classification of coffee-growing areas and to develop a highland coffee plantation classification technique using point-based image analysis from multispectral Sentinel-2 satellite data. The methodology utilizes spectral reflectance values that influence the digital signature of coffee plantation areas, in combination with spectral indices derived from various Sentinel-2 bands. Field surveys were conducted in highland coffee-growing regions, and custom scripts were developed to process multispectral satellite data. Purposive sampling was used to select suitable study sites in three provinces of northern Thailand: Chiang Mai, Chiang Rai, and Nan. The research results showed that 1) the cultivation areas, consisting of montane forests and deciduous forests, affect yields, and that an altitude of 850 meters above sea level is suitable for Arabica coffee cultivation. 2) The results of using satellite data and scripting to process the cultivation area classification using the Random Forest model showed that the coffee growing area classification technique using Sentinel-2 satellite data can produce highly accurate classification results, with an overall classification accuracy of 89.70 percent. This can be used for strategic planning to effectively manage coffee growing in highlands.

Keywords : Pixel Based Approaches; Sentinel-2 Multi-Spectral Data; Auxiliary Geographical Features; Arabica Coffee; Random Forest Model

บทนำ

กาแฟเป็นสินค้าโภคภัณฑ์ที่ซื้อขายกันทั่วโลก มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศเขตร้อนหลายแห่งสำหรับประเทศไทยกาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ทำให้เกิดรายได้แก่เกษตรกร โดยภาครัฐมีนโยบายที่ชัดเจนในการส่งเสริมการส่งออกกาแฟ ตลอดจนการเพิ่มศักยภาพในการผลิตและการเพาะปลูก การส่งเสริมการปลูกกาแฟในพื้นที่ยังเป็นปัญหาสำคัญระดับประเทศ (Highland Research and Development Institute (Public Organization), 2024) เนื่องจากมีการปลูกกระจายกันในพื้นที่ต่างๆ ทั่วไป ทำให้การกำกับติดตามไม่สามารถทำได้ เนื่องจากขาดข้อมูลและระบบการจัดเก็บข้อมูลที่จะนำไปสู่การวางแผนในเชิงนโยบาย โดยการที่ภาครัฐจะส่งเสริมการผลิตได้อย่างถูกต้องนั้น จำเป็นจะต้องมีข้อมูลสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจ ทั้งข้อมูลพื้นที่การปลูกและการผลิต ซึ่งการพัฒนาข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นชั้นต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตกาแฟ จนนำไปสู่การบูรณาการและวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ข้อมูล นำไปสู่การพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์ข้อมูลและความสัมพันธ์ในมิติต่างๆ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างกาแฟกับวิถีชุมชน และการวิเคราะห์ถึงผลผลิตของการปลูกกาแฟในปัจจุบันที่สัมพันธ์กับประชากรผู้ปลูก ซึ่งอาจจะเป็นเกษตรกรในพื้นที่ราบ หรือประชากรบนพื้นที่สูงที่มีความแตกต่างของชาติพันธุ์ ซึ่งมีความสัมพันธ์ของพื้นที่ปลูกบนพื้นที่สูงในระดับชั้นความสูงต่างๆ รวมถึงการครอบครองที่ดินที่นำมาปลูกกาแฟ ทั้งนี้เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวของกระบวนการผลิตกาแฟ โดยมีเป้าประสงค์เพื่อขจัดความยากจน โดยการกำหนดทิศทางการปลูกกาแฟของหมู่บ้านชุมชนบนพื้นที่สูง การประเมินพื้นที่ปลูกกาแฟนับเป็นความท้าทายสำหรับการดำเนินงานในเชิงยุทธศาสตร์ของการผลิตกาแฟ จากแนวโน้มที่มีความต้องการเมล็ดกาแฟที่เพิ่มขึ้นอาจจะส่งผลต่อการขยายพื้นที่ปลูกกาแฟ ซึ่งต้องมีกระบวนการที่ต้องสามารถสำรวจพื้นที่ของปลูกกาแฟได้อย่างรวดเร็ว การเพาะปลูกที่ขาดระบบข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ทันสมัยในการติดตามทำให้ไม่สามารถจำแนกพื้นที่ที่เหมาะสม ดังนั้นเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลด้วยข้อมูลดาวเทียมจึงเข้ามามีบทบาทต่อการดำเนินงาน เนื่องจากสามารถได้ข้อมูลที่รวดเร็ว ครอบคลุมพื้นที่กว้าง ใช้งบประมาณต่ำ และได้ข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูล ส่งผลให้การประเมินพื้นที่ปลูกกาแฟสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติงานในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดีด้วยคุณสมบัติของการโคจรเพื่อบันทึกข้อมูลของดาวเทียม และคุณสมบัติของการตรวจวัดข้อมูลที่สามารถนำมาใช้สำหรับการจำแนกวัตถุที่อยู่บนพื้นผิวโลกได้ โดยอาศัยคุณสมบัติการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกันของวัตถุแต่ละชนิด ซึ่งจะต้องศึกษาเพื่อหาคุณสมบัติการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเฉพาะตัวของพื้นที่ปลูกกาแฟ เพื่อใช้สำหรับการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟ รวมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่สามารถ



นำมาสนับสนุนการจำแนก เพื่อให้ได้ผลการจำแนกที่ดีมากขึ้น ดังนั้นการใช้ข้อมูลดาวเทียมเป็นแหล่งข้อมูลที่มีความสำคัญ เพราะนอกจากจะมีความละเอียดสูงแล้ว ยังมีรอบเวลาของการโคจร ทำให้ภาพมีความถี่มากยิ่งขึ้น ตัวอย่างของดาวเทียมที่นิยมใช้ ได้แก่ Sentinel-2, Landsat และ MODIS ซึ่งภาพถ่ายดาวเทียมจะถูกนำมาประมวลผลเพื่อคัดแยกสี วิเคราะห์ด้วยดัชนี และการวิเคราะห์ด้วยการแยกส่วน เพื่อจำแนกพื้นที่ออกเป็นพื้นที่เมือง พื้นที่ป่า พื้นที่ทำการเกษตร และด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ ทำให้สามารถจำแนกพื้นที่การเกษตรออกเป็นพืชประเภทต่างๆ

ประเทศไทย ถือเป็นแหล่งปลูกกาแฟชั้นนำของโลก ที่ผลิตเมล็ดกาแฟคุณภาพดี ที่มีความเป็นเอกลักษณ์ กาแฟอาราบิก้าของไทย มีความโดดเด่นในเรื่องของกลิ่นและรสชาติที่กลมกล่อม มีปริมาณคาเฟอีนที่ต่ำ โดยปกติแล้วแหล่งปลูกชั้นดีอาราบิก้าจะต้องมีความสูง 1,200 เมตร เหนือ ระดับน้ำทะเลเป็นต้นไป เมล็ดกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทยนั้น ที่เหมาะแก่การเพาะปลูกเป็นพื้นที่ทางภาคเหนือ เนื่องจาก อุณหภูมิ สภาพอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ และระดับความสูงจากน้ำทะเลปานกลาง 548.64 เมตร - 1,920.24 เมตร (Office of the Permanent Secretary for Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2025) ดังนั้นจึงก่อให้เกิดคำถามวิจัยว่าการปลูกกาแฟในพื้นที่หลากหลายสามารถรวบรวมข้อมูลโดยใช้ให้ชัดเจนได้จากข้อมูลดาวเทียมเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการตัดสินใจได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาพื้นที่การปลูกกาแฟในพื้นที่สูงของจังหวัดในภาคเหนือ แต่การรวบรวมข้อมูลและลงพื้นที่สำรวจใช้เวลาและงบประมาณจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะทดสอบการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่สูง โดยใช้การหาปัจจัยที่เหมาะสมในการปลูกกาแฟจากการสำรวจและโดยใช้เทคนิคการจำแนกเชิงจุดภาพ จากค่าการสะท้อนช่วงคลื่นเป็นหลักสำหรับการดำเนินงานเพื่อจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟร่วมกับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถประมวลผลได้จากข้อมูลดาวเทียม เพื่อให้ได้ผลการจำแนกที่ดีมากขึ้น เพื่อให้ได้เทคนิควิธีสำหรับการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟในพื้นที่สูงของประเทศไทย นำไปสู่การนำมาใช้เพื่อพัฒนาข้อมูลพื้นที่ปลูกกาแฟในพื้นที่สูงเพื่อใช้ประโยชน์สำหรับการดำเนินงานเชิงยุทธศาสตร์ของการผลิตกาแฟต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อกำหนดปัจจัยและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟ
2. เพื่อพัฒนาเทคนิคการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่สูงด้วยวิธีการเชิงจุดภาพจากข้อมูลหลายช่วงคลื่นดาวเทียม

Sentinel-2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปลูกกาแฟอาราบิก้า

กาแฟอาราบิก้า (*Coffea Arabica* L.) ได้ถูกนำมาพัฒนาและส่งเสริมบนพื้นที่สูงของประเทศไทยโดยหน่วยงานและโครงการต่างๆ ที่ดำเนินงานเกี่ยวกับการพัฒนาชุมชนบนพื้นที่สูง โดยมีเป้าหมายเพื่อทดแทนการปลูกฝิ่นตามนโยบายเพื่อความมั่นคง (Highland Research and Development Institute (Public Organization), 2024) ซึ่งการปลูกกาแฟอาราบิก้าบนพื้นที่สูงมีการปลูก 2 แบบ คือ การปลูกสภาพกลางแจ้งและปลูกภายใต้ร่มเงา (Muangpha & Mensin, 2021) โดยที่การปลูกกลางแจ้งในสภาพไม่มีร่มเงาจะต้องเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมกับการรับแสงแดด ส่วนการปลูกภายใต้สภาพพืชร่มเงาสามารถทำได้ 2 แบบคือ การใช้ไม้บังร่มชั่วคราว โดยใช้ไม้ไผ่หรือวัสดุสำหรับบังร่มกาแฟในระดับต่ำ และการใช้ไม้บังร่มถาวร ซึ่งเป็นไม้ใหญ่ ทรงพุ่มกว้าง และให้ร่มเงาในระดับสูง

คุณลักษณะของข้อมูลดาวเทียม

การสำรวจภาคสนามแบบดั้งเดิมและวิธีการถ่ายภาพด้วยโดรน (UAV) จะพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพในการจำแนกชนิดพันธุ์ไม้ในระดับพื้นที่ขนาดเล็กยังมีข้อจำกัดในการทำแผนที่แบบเรียลไทม์และการปรับปรุงข้อมูลในพื้นที่ขนาดใหญ่ (Qin et al., 2022 ; Huang et al., 2023) ในทางตรงกันข้าม การสำรวจระยะไกลผ่านดาวเทียมกลายเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการดำเนินการสำรวจและจัดการทรัพยากรป่าไม้ได้ทั่วโลก ทั้งนี้เพราะข้อมูลจากดาวเทียมมีขอบเขตครอบคลุมกว้างและมีความละเอียดสูง ได้ (Fassnacht et al., 2024) ในทางตรงกันข้าม การถ่ายภาพทางอากาศโดยโดรน ที่ใช้เซ็นเซอร์แสงที่มองเห็น (RGB) ราคาประหยัด ให้ภาพออร์โธโมเสกความละเอียดสูงพิเศษ แต่ขาดข้อมูลสเปกตรัมที่สมบูรณ์ ดาวเทียมแผด Sentinel-2 ให้ภาพหลายสเปกตรัม ด้วยความละเอียดเชิงพื้นที่ปานกลาง (10 เมตรสำหรับย่านความถี่ที่มองเห็นและย่านความถี่อินฟราเรดใกล้ ความกว้างหน้าด้านขีดความสามารถของกลุ่มดาวเทียม เชิงพาณิชย์ทำให้สามารถดึงข้อมูลการสะท้อนพื้นผิวแบบหลายสเปกตรัมเหนือพื้นผิวโลกได้เกือบทุกวัน ยกตัวอย่างเช่น ในขณะที่กลุ่มดาวเทียม รุ่นแรกๆ ของ

Planet ให้ข้อมูลภาพออปติคัลแบบ 3 แบนด์ และ 4 แบนด์ แต่ดาวเทียมรุ่นล่าสุดให้ความสามารถในการถ่ายภาพด้วยแถบสเปกตรัมเฉพาะ 8 แถบสำหรับระบบโลกรุ่นล่าสุดนี้มอบความสามารถในการถ่ายภาพด้วยแถบสเปกตรัมเฉพาะ 8 แถบสำหรับการตรวจสอบระบบโลก เพื่อประเมินประโยชน์ของชุดข้อมูลภูมิสารสนเทศเชิงพื้นที่ที่หลากหลายได้ ซึ่งการใช้งานที่หลากหลาย จำเป็นต้องกำหนดลักษณะความแม่นยำเชิงรังสีของชุดข้อมูลเหล่านี้ ข้อมูลภาพ Sentinel-2 ที่ตรงกับวันที่และซ้อนทับกันทางสเปกตรัมยังถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความแม่นยำสัมพัทธ์ของข้อมูลการสะท้อนแสงจากกลุ่มดาวเทียม ซึ่งประโยชน์จากการวัดค่าคุณลักษณะที่ไม่แปรผันเชิงรังสีด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมภาคพื้นดินบนพื้นดิน ทำให้สามารถประเมินความแม่นยำสัมบูรณ์ของลำดับข้อมูลการสะท้อนแสงบนพื้นผิวของเปลือกโลกได้ดีถ้าข้อมูลจากดาวเทียมมีความละเอียด (Tu et al., 2022) ความละเอียดเชิงพื้นที่เป็นตัวชี้วัดที่ใช้กันมากที่สุดในการจำแนกประเภทภาพถ่ายดาวเทียม ยิ่งความละเอียดสูงยิ่งแสดงรายละเอียดได้มากขึ้นเท่านั้น และยังมีความละเอียดสูงในแต่ละพิกเซล ตัวอย่างเช่น ภาพถ่ายขนาด 30 ซม. ให้ปริมาณข้อมูลมากกว่าภาพขนาด 70 ซม. ดังนั้นภาพความละเอียดสูงทำให้สามารถมองเห็นวัตถุและรายละเอียดต่างๆ ที่ไม่สามารถแยกแยะได้ด้วยความละเอียดต่ำ เช่น ประเภทของยานพาหนะ และเครื่องหมายจราจรได้ (Maxar, 2025) ซึ่งความละเอียดเชิงพื้นที่จะส่งผลต่อความชัดเจนของข้อมูลและความสามารถในการจำแนกวัตถุในพื้นที่ที่ตรวจวัด ข้อมูลดาวเทียมรายละเอียดสูงจะให้รายละเอียดข้อมูลที่ดีกว่า ส่งผลให้มีความสามารถในการจำแนกดีกว่า ส่วนความละเอียดช่วงคลื่นถูกกำหนดจากขนาดความคลืนซึ่งเป็นความสามารถของเครื่องตรวจวัดในการใช้ช่วงคลื่นสำหรับบันทึกข้อมูลแต่ละแบนด์ ถ้าช่วงคลื่นที่เครื่องสามารถตรวจจับได้มีช่วงห่าง แสดงว่าข้อมูลนั้นมีรายละเอียดช่วงคลื่นหยากกว่าข้อมูลที่ใช้เครื่องตรวจจับที่สามารถตรวจจับช่วงคลื่นได้แคบกว่า นอกจากนี้ข้อมูลดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิงเวลาคือข้อมูลที่มีการบันทึกข้อมูลพื้นที่เดิมในช่วงเวลาที่ยาวขึ้น ซึ่งมีผลทำให้สามารถสำรวจการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ได้ละเอียดมากขึ้น รวมถึงการมีทางเลือกสำหรับการเรียกใช้ข้อมูลได้มากขึ้น ความละเอียดเชิงรังสี (Radiometric Resolution) เป็นความละเอียดของระดับค่าความสว่างในการแสดงผลของภาพใน 1 จุดภาพที่แบ่งระดับการแยกแยะความเข้มในแต่ละแบนด์ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นความสามารถของข้อมูลในการบันทึกความสว่างหลายระดับและความลึกบิตที่มีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจวัดได้ (Dai et al., 2025)

ข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2

ดาวเทียม Sentinel-2 อยู่ในชุดดาวเทียม Sentinel ถูกออกแบบมาเพื่อเป็นดาวเทียมสำรวจโลก โดยความร่วมมือขององค์กร European Space Agency (ESA) และคณะกรรมการการสหภาพยุโรป มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการตรวจและติดตามภาคพื้นดิน กลุ่มดาวเทียม Sentinel-2 ประกอบด้วยดาวเทียม 2 ดวง คือ ดาวเทียม Sentinel-2A ที่ขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ.2558 และ Sentinel-2B ขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ.2560 (European Space Agency, 2024) การกิจของดาวเทียม Sentinel-2 ให้ภาพทางแสงความละเอียดสูงของภาคเกษตรกรรม ป่าไม้ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ปกคลุมดิน โดยทำแผนที่ตัวแปรทางชีวฟิสิกส์ เช่น ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ปริมาณน้ำในใบ และดัชนีพื้นที่ใบ นอกจากนี้ยังติดตามตรวจสอบแหล่งน้ำชายฝั่งและแหล่งน้ำภายใน และช่วยจัดทำแผนที่ความเสี่ยงและภัยพิบัติ (European Space Operations Centre, 2024) Sentinel-2A อาศัยกลุ่มดาวเทียมที่เหมือนกันสองดวงในวงโคจรเดียวกัน ดาวเทียมแต่ละดวงติดตั้งกล้องถ่ายภาพหลายสเปกตรัมความละเอียดสูงแบบ Wide Swath High-Resolution ซึ่งเป็นนวัตกรรมใหม่ ครอบคลุม 13 ย่านความถี่ เพื่อมุมมองใหม่เกี่ยวกับผืนดินและพืชพรรณของโลกได้ (European Space Agency, 2025)

การจำแนกข้อมูล

ข้อมูลจากดาวเทียมสามารถนำมากำหนดคุณลักษณะเชิงคลื่นของวัตถุได้ ทั้งนี้เพราะวัตถุต่างๆ มีความสามารถในการสะท้อน ดูดกลืน ส่งผ่าน และแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าได้ในลักษณะเฉพาะตัว ปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัตถุและพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเรียกว่า คุณลักษณะเชิงคลื่น (Spectral Characteristics) ซึ่งลักษณะเชิงคลื่นของวัตถุต่างชนิด มีลักษณะการสะท้อน (Reflection) การดูดกลืน (Absorption) การส่งผ่าน (Transmission) ที่ต่างกัน ดังนั้นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ณ ช่วงคลื่นหนึ่งที่ตกกระทบวัตถุใดๆ จะมีค่าเท่ากับผลรวมของพลังงานที่สะท้อน พลังงานที่ถูกดูดกลืนและพลังงานที่ส่งผ่าน ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ให้ความสำคัญกับค่าการสะท้อนซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานตกกระทบพื้นผิวใดๆ กับพลังงานที่สะท้อนจากพื้นผิวนั้น ค่าการสะท้อนของวัตถุชนิดเดียวกัน จะมีความแตกต่างกันไปตามความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ข้อมูลจากดาวเทียมยังสามารถนำมาใช้วิเคราะห์และจัดประเภทข้อมูลภาพ โดยการใช้เทคนิคจำแนกเชิงจุดภาพ (Pixel-Based Classification) โดยพิจารณาจากค่าของแต่ละจุดภาพในภาพ โดยไม่คำนึงถึงบริบทหรือความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพใกล้เคียง โดยกระบวนการจัดเข้าหมวดหมู่ของค่าแต่ละจุดภาพตามกลุ่มค่าความเข้ม



โดยอาศัยข้อมูลเชิงสเปกตรัม (Spectral Information) จากคลื่นความถี่อื่นๆ ที่ได้จากเซ็นเซอร์ (Digital Economy Promotion Agency, 2025) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม เกี่ยวกับคุณลักษณะเชิงคลื่น การสะท้อน การดูดกลืน การส่งผ่าน แถบสเปกตรัมหลายช่วงที่ต่างกัน สามารถนำมาคำนวณเป็นค่าดัชนี เช่น NDVI, EVI, VIN, LSWI, SAVI, NDRE และ MSI เพื่อจำแนกลักษณะต่างๆ ของพืชได้ (Hunt et al., 2020)

การใช้ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการประเมินสถานะของพืช

การสำรวจพื้นที่เพื่อจัดทำแผนที่สวนกาแฟใช้เวลาและงบประมาณค่าเดินทางจำนวนมาก ซึ่งเป็นได้ยากถ้าพื้นที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นการจัดทำแผนที่สวนกาแฟขนาดใหญ่โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมจะมีประโยชน์อย่างยิ่ง โดยเฉพาะการดึงข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 จะสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการจำแนกประเภทป่าสุ่ม (Random Forest: RF) ได้ ในต่างประเทศ Random Forest (RF) เป็นแบบจำลองหลักที่ใช้ในการจำแนกประเภทพื้นที่ปลูกกาแฟในงานวิจัยนี้ โดยเป็นเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ในกลุ่ม Ensemble Learning ที่ใช้การรวมกันของโมเดลย่อยหลายตัวเพื่อเพิ่มความแม่นยำและความเสถียรของการจำแนก หลักการทำงานของ RF คือการสร้าง ป่า (Forest) ที่ประกอบด้วย ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Trees) จำนวนมาก แล้วให้ต้นไม้เหล่านั้น "โหวต" เพื่อหาผลการจำแนกสุดท้าย เมื่อมีชุดข้อมูลใหม่ (จุดภาพที่ต้องการจำแนก) เข้ามาในระบบ Random Forest จะดำเนินการป้อนข้อมูล (Input): ป้อนข้อมูลคุณลักษณะของจุดภาพ (เช่น ค่า EVI, NDRE, B4, B8) เข้าสู่ต้นไม้ตัดสินใจทุกต้นในป่า จากนั้นจะทำนายรายต้น (Individual Prediction): ต้นไม้ตัดสินใจแต่ละต้นจะทำการจำแนกจุดภาพนั้นว่าจัดอยู่ในประเภทใด เช่น กาแฟได้หรือไม่ ป่าไม้ และสวน เป็นต้น (Hunt et al., 2020) งานวิจัยของ Schneider et al. (2025) ใช้ข้อมูลและภาพจากดาวเทียม Sentinel-2 โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงความแม่นยำในพื้นที่นอกพื้นที่ปลูกกาแฟ และทำประเมินความสามารถของแบบจำลองในการสรุปผล เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในพื้นที่ที่มีพื้นที่แตกต่างกัน ใกล้กับเขตเทศบาลเมืองลาวาส รัฐมิโซอรา ประเทศบราซิล นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาเทคนิคใหม่เรียกว่า Spatial Coherence ซึ่งผสมข้อมูลจากพิกเซลใกล้เคียงเข้ากับกระบวนการจำแนกประเภทเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของ Salt-and-Paper (แบบแยกแยะข้อมูล) วิธีการนี้ช่วยปรับปรุงการจำแนกประเภท RF แบบดั้งเดิมโดยการรวมข้อมูลสเปกตรัมเข้ากับบริบทเชิงพื้นที่ ทำให้ได้แผนที่พืชกาแฟที่แม่นยำและต่อเนื่องมากขึ้น โดยใช้ภาพ Sentinel-2 ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ.2565 ผลการศึกษาพบว่าเทคนิคที่ใช้สามารถทำแผนที่สวนกาแฟขนาดใหญ่ในทางปฏิบัติได้ นอกจากนี้ข้อมูลและภาพจากดาวเทียมสามารถนำมาใช้เพื่อดูความแข็งแรงของพืช เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พืชที่มีความแข็งแรงสามารถเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการเกษตรแบบยั่งยืน วิธีการดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลสามารถนำมาใช้สำหรับการเก็บค่าตัวแปรทางสัณฐานวิทยา เช่น ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลาง และดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI and Normalized Difference Red Edge, NDRE) เพื่อสำรวจในส่วนต้นกาแฟส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างได้ (Oliveira et al., 2021) ได้มีการประยุกต์ใช้การสำรวจระยะไกลและเครือข่ายประสาทเทียม (MLP) เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้ยาฆ่าแมลงในอัตราที่แปรผัน โดยใช้แบบจำลองเพอร์เซ็ปตรอนแบบหลายชั้น (Multi-layer Perceptron) เพื่อประเมินความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นกาแฟ และใช้ดัชนีพืชพรรณของส่วนต่างๆ ของพืชเป็นข้อมูลนำเข้า ผลการศึกษาพบว่า การสามารถประมาณปริมาตรต้นกาแฟได้อย่างแม่นยำในระดับที่เหมาะสม

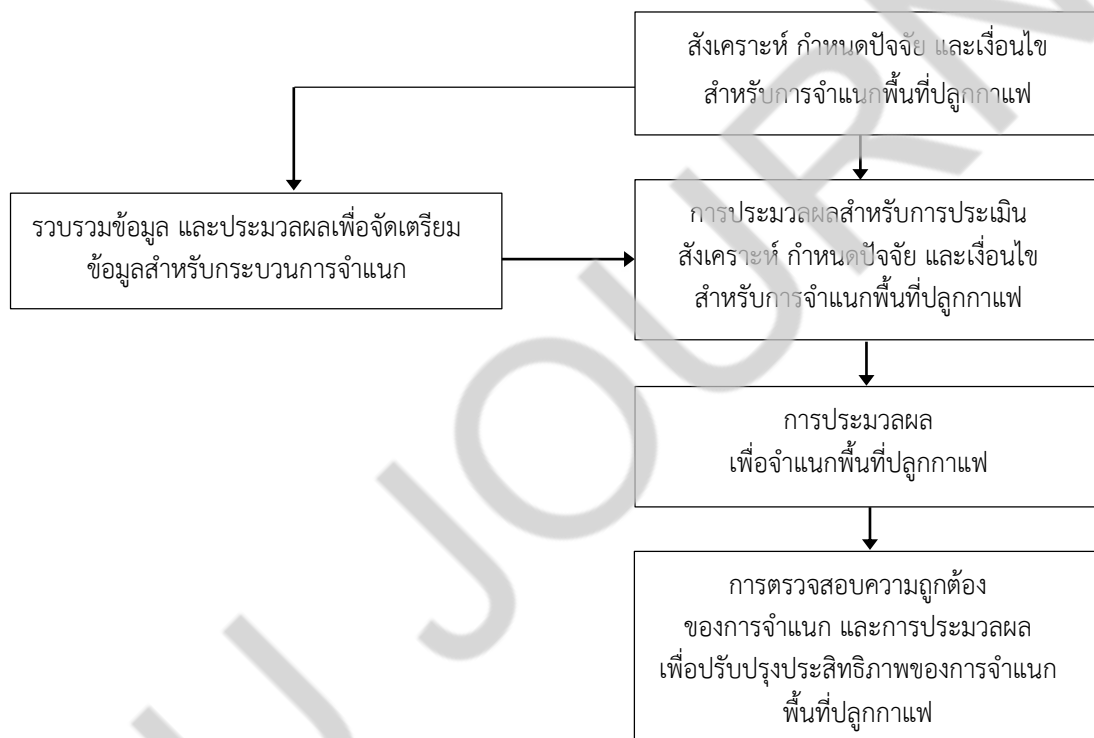
การจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟด้วยข้อมูลดาวเทียม

ผลงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาและทดสอบกระบวนการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟจากการประมวลผลข้อมูลดาวเทียม การกำหนดเทคนิควิธีการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟด้วยข้อมูลดาวเทียม โดยใช้โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก โดยเฉพาะโมเดล U-Net ที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพเฉพาะและขนาดข้อมูลที่นำเข้า แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำและประสิทธิภาพสูงเหนือกว่าวิธีการแบบเดิม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการวิจัยและการจัดการกาแฟได้ (Le et al., 2022) นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม ข้อมูลแถบสเปกตรัมหลายช่วง สามารถนำมาจัดทำดัชนีต่างๆ เช่น NDVI, EVI, VIN, LSWI, SAVI, NDRE และ MSI ข้อมูลมัลติสเปกตรัมที่เข้าถึงได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย เช่น Landsat 8 และ Sentinel-2 มีแบนด์วิดท์ 11 และ 10 แบนด์ ตามลำดับ โดยมีแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 20 นาโนเมตรไปจนถึงมากกว่า 200 นาโนเมตร ข้อมูลเพียงพองของจำนวนแบนด์วิดท์จากดาวเทียมดังกล่าวสามารถนำมาทำการวิเคราะห์และคำนวณดัชนีต่างๆ เพื่อทำแผนที่ขอบเขตของกาแฟได้ (Hunt et al., 2020) นอกจากนี้ในการทำแผนที่กาแฟ วิธีการที่ใช้พิกเซลสเปกตรัมโดยใช้ภาพออปติคัลความละเอียดปานกลางเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่งเน้นย้ำถึงประโยชน์ของข้อมูลหลายสเปกตรัมในการแยกกาแฟออกจากพื้นที่ที่มีสเปกตรัมคล้ายคลึงกันในภูมิภาคที่ซับซ้อน เซ็นเซอร์ที่ใช้อย่างดีที่สุดคือ Landsat (30 เมตร) (Bourgoin et al., 2020) จากการทบทวนงานวิจัยการใช้ข้อมูลจากดาวเทียม

สามารถใช้จำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟได้ จึงนำมาสู่การกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคนิคการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่สูงต่อไป

กรอบแนวคิดการวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรม งานวิจัยนี้จึงเสนอกรอบเทคนิควิธีการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟด้วยข้อมูลดาวเทียม โดยแสดงถึงขั้นตอนเพื่อพัฒนาเทคนิคการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่สูง ขั้นตอนแรกรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ตามปัจจัยทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ น้ำฝนเฉลี่ย ความสูงภูมิประเทศ ประเภทป่า และรูปแบบการปลูก ตรวจสอบความเหมาะสมตามคุณลักษณะเชิงคลื่น และค่าดัชนีพืชพรรณ ที่มีผลต่อการปลูกและการจำแนกกาแฟราบีกาบนพื้นที่สูง จากนั้นทำการประมวลผลเพื่อจัดเตรียมข้อมูลสำหรับกระบวนการจำแนก นำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลเพื่อจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟประกอบด้วย 2 ขั้นตอนสำคัญคือ 1. การแปลงข้อมูลค่าของจุดภาพ (Digital Number: DN) 2. การคำนวณค่าดัชนี (Index Values) โดยใช้ค่าการสะท้อนที่แปลงแล้วจากช่วงคลื่นต่างๆ ของ Sentinel-2 เพื่อพื้นที่ปลูกกาแฟ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยประยุกต์ มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาเทคนิคการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่สูง ด้วยวิธีการเชิงจุดภาพจากข้อมูลหลายช่วงคลื่นดาวเทียม Sentinel-2 กับการใช้ข้อมูลประกอบโดยเทคนิคทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยมีเป้าหมายเพื่อหาเครื่องมือ เทคนิค รวมถึงวิธีการที่เป็นไปได้ในการนำมาใช้กับการประเมินพื้นที่ปลูกกาแฟในพื้นที่สูงของประเทศไทย โดยกำหนดวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

กลุ่มเป้าหมาย

การกำหนดกลุ่มเป้าหมายใช้วิธีการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง โดยการกำหนดใช้พื้นที่ปลูกกาแฟในพื้นที่สูงของประเทศไทยที่มีความโดดเด่นของพื้นที่ปลูกกาแฟเป็นพื้นที่ตัวอย่างสำหรับการประมวลผล ประกอบด้วย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดน่าน โดยกลุ่มเป้าหมายที่ทำการวิจัยเลือกที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่สูงมีความเหมาะสมในการโดยใช้ช่วงคลื่นดาวเทียม Sentinel-2 สามารถจำแนกพื้นที่ที่เหมาะสมตามปัจจัยแวดล้อมทางภูมิศาสตร์ของการใช้



ข้อมูลจากดาวเทียม ได้แก่ 1) จังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ ตำบลเทพเสด็จ อำเภอดอยสะเก็ด ตำบลบ้านทับ อำเภอแม่แจ่ม
2) จังหวัดเชียงราย ได้แก่ ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย และ 3) จังหวัดน่าน ได้แก่ ตำบลผาทอง อำเภอท่าวังผา ตำบลดงพญา
อำเภอบ่อเกลือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การดำเนินการสำรวจข้อมูลภาคสนามมีเป้าหมายเพื่อสำรวจลักษณะพื้นที่จริงในการปลูกกาแฟบนพื้นที่สูง เพื่อนำข้อมูลมาใช้สำหรับกำหนดปัจจัยและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟด้วยข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 รวมถึงการพิจารณาปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อการปลูกกาแฟเพื่อให้ทราบถึงปัจจัยเสริมหรือจำกัดของการปลูกกาแฟ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิจัยนี้แบ่งเป็น

เครื่องมือสำหรับการสำรวจพื้นที่ประกอบด้วย 1) แผนที่แสดงตำแหน่งแปลงปลูกกาแฟ ซึ่งเป็นแผนที่ที่สร้างจาก ข้อมูลตำแหน่งกลางแปลงปลูกกาแฟที่รวบรวมได้และสร้างเก็บไว้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ พัฒนาให้เรียกใช้งาน ผ่านเครื่องมือ Google Earth โดยอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ เพื่อแสดงผลและนำเข้าข้อมูลรายละเอียดของแปลงปลูกกาแฟ 2) อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) สนับสนุนการสำรวจในพื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึง เพื่อยืนยัน ความถูกต้องของการระบุรายละเอียดของแปลงปลูกกาแฟให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

สำหรับการจำแนกพื้นที่เครื่องมือที่ใช้เป็นการใช้ช่วงคลื่นดาวเทียม Sentinel-2 โคจรที่ระดับความสูงจากพื้นโลก ประมาณ 786 กิโลเมตร โดยดาวเทียม Sentinel-2A และ Sentinel-2B จะโคจรในเส้นทางแนวเดียวกัน แต่จะทำมุมห่างกัน 180 องศา และจะโคจรกลับมาถ่ายภาพซ้ำตำแหน่งเดิมทุก 5 วัน เครื่องมือตรวจวัดแบบ Multi-Spectral Instrument (MSI) ตรวจวัดตั้งแต่ช่วงคลื่นตามองเห็น และอินฟราเรดใกล้ (Visible and Near Infrared - VNIR) ไปจนถึงช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่น สั้น อีกทั้งยังสามารถบันทึกช่วงคลื่นได้ทั้งหมด 13 ช่วงคลื่น มีระยะการมองเห็น (Field Of View: FOV) 290 กิโลเมตร ความละเอียดจุดภาพสามารถแบ่งออกแบ่งได้ 3 ขนาด ได้แก่ ความละเอียดจุดภาพ 10 เมตร เป็นข้อมูลดาวเทียมที่อยู่ในช่วง คลื่นที่ตามองเห็นและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ความละเอียดจุดภาพ 20 เมตร เป็นข้อมูลดาวเทียมที่อยู่ในช่วงคลื่นขอบแดง (Red Edge) ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ช่วงแคบ (Narrow NIR) และช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น ส่วนความละเอียดจุดภาพ 60 เมตร เป็นข้อมูลดาวเทียมที่อยู่ในช่วงคลื่นแถบชายฝั่ง ช่วงคลื่นละอองไอน้ำ (Water Vapor) และช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่น สั้นเซอร์ริส (SWIR-Cirrus) (European Space Agency, 2024) การนำข้อมูลระยะไกลมาศึกษาพืชพรรณเกษตรด้วยช่วงคลื่น ตามองเห็นจนถึงอินฟราเรดโดย ใช้ประโยชน์จากการสะท้อนของพืชที่มีปฏิสัมพันธ์กับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยเฉพาะช่วงคลื่น อินฟราเรดใกล้ที่มีค่าระหว่าง 0.7-1.3 ไมโครเมตร (μm) จะมีค่าการสะท้อนสูงสุด โดยใบพืชจะสะท้อนพลังงาน ออกมา ร้อยละ 40-50 และพลังงานที่เหลือถูกส่งผ่านออกไปเพราะโครงสร้างในใบพืชไม่มีการดูดกลืนพลังงานในคลื่นอินฟราเรดใกล้ จากคุณสมบัติดังกล่าวนี้ทำให้แยกพืชออกจากน้ำและดิน โดยในคลื่น 1.4, 1.9 และ 2.7 ไมโครเมตรเป็นคลื่นที่ถูกดูดกลืนอัน เป็นผลมาจากน้ำที่อยู่ในใบพืช และคลื่น 1.6 และ 2.2 ไมโครเมตรจะมีค่าการสะท้อนมากขึ้น แต่ไม่เท่ากับในคลื่นอินฟราเรด ใกล้ และในพืชแต่ละชนิดก็จะมีค่าการสะท้อนที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพืชนั้นๆ

เครื่องมือสำหรับการประมวลผลข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 ใช้ Google Earth Engine (GEE) เป็นเครื่องมือ ในการปฏิบัติงาน เนื่องจาก GEE เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถสืบค้นและวิเคราะห์ข้อมูลจากชุดข้อมูลการตรวจจับ ระยะไกลกว่า 600 ชุดได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งภาพถ่ายดาวเทียมตั้งแต่ทศวรรษที่ 1970 ถึงปัจจุบัน เนื่องจากมีฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่ประกอบไปด้วยภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลการตรวจจับระยะไกล ซึ่งการทำงานสามารถใช้ Earth Engine Code Editor สำหรับเขียนชุดคำสั่งเพื่อเริ่มการสืบค้นและวิเคราะห์ชุดข้อมูล นอกจากนั้นยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือเพื่อวิเคราะห์ ข้อมูลเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ได้เป็นอย่างดี GEE โดย Earth Engine Code Editor เป็นระบบพัฒนาทางเว็บสำหรับ Earth Engine JavaScript API คุณสมบัติการทำงานของ Code Editor ออกแบบมาเพื่อใช้พัฒนากระบวนการเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ ที่ซับซ้อนเพื่อให้การทำงานสะดวกและรวดเร็ว สามารถวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมได้จาก Data Catalog ซึ่งการใช้งานสามารถ ทำงานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ซึ่งไม่จำเป็นต้องดาวน์โหลดหรือติดตั้งซอฟต์แวร์เพิ่มเติม

การแปลงข้อมูลค่าของจุดภาพ (Digital Number: DN) ให้เป็นค่าการสะท้อน (Reflectance) เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เพราะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลได้อย่างถูกต้องโดยปราศจากการแปรปรวนจากสภาพแสง และใช้สำหรับ คำนวณค่าดัชนีต่างๆ งานวิจัยนี้ดำเนินการประมวลผลใน Google Earth Engine (GEE) และได้แสดงสคริปต์ที่ใช้ในการแปลง ข้อมูล:



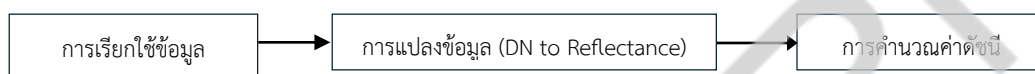
JavaScript

```
var imageReflect = image.map(function(image) { return image.multiply(0.0001).copyProperties(image, image.  
propertyNames());})
```

การแปลงข้อมูลค่าของจุดภาพ (Digital Number: DN) ให้เป็นค่าการสะท้อน (Reflectance) จากสคริปต์ที่แสดงในงานวิจัย
สูตรที่ใช้คือ: $Reflectance = DN \times 0.0001$

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บข้อมูลเป็นส่วนของการเรียกใช้ข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 รวมถึงการประมวลผลข้อมูลดาวเทียมและ
การคำนวณค่าดัชนีเพื่อจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการตรวจสอบค่าการสะท้อนของพื้นที่ตัวอย่างเพื่อระบุปัจจัยและเงื่อนไขสำหรับ
การจำแนก ข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 ที่นำมาศึกษาทำการกำหนดภาพที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาที่อยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 1
มกราคม พ.ศ.2566 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2566 โดยมีกระบวนการ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนหลักสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม Sentinel-2 ได้แก่ 1) นำข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมมา
แปลงข้อมูลค่าของจุดภาพ (Digital Number: DN) ให้เป็นค่าการสะท้อน (Reflectance) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ
เนื่องจากค่าการสะท้อนช่วยให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลได้อย่างถูกต้องเพราะเป็นค่าที่สอดคล้องกับการสะท้อนของแสง
จากพื้นผิวที่ถูกบันทึกข้อมูล โดยปราศจากการแปรปรวนจากสภาพแสงในขณะนั้น นอกจากนั้นการประมวลผลค่าดัชนีต่างๆ
ต้องใช้ค่าการสะท้อนสำหรับการคำนวณ ดังนั้นค่าการสะท้อนจึงเป็นค่าที่สามารถนำไปใช้ในการคำนวณได้ตรงๆ และมีความ
ถูกต้องมากกว่าค่าของจุดภาพ และ 2) ทำการประมวลผลข้อมูลช่วงคลื่นต่างๆ ของข้อมูลดาวเทียม เพื่อหาค่าดัชนีต่างๆ
ที่สามารถวัดลักษณะของพื้นที่ได้ ซึ่งค่าดัชนีพืชพรรณ (Vegetation indexes, VI) เป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ที่อ้างอิงจาก
การรวมแถบความถี่ต่างๆ ภายในสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ดัชนีพืชพรรณที่มีความแตกต่าง Normalized Difference
Vegetation Index (NDVI) เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดทั่วโลก สามารถเพิ่มความไวของ NDVI ได้โดยการเพิ่มช่องสัญญาณสีแดง
(ใกล้ 700 นาโนเมตร ขอบสีแดงของความแตกต่าง Normalized Difference Red Edge (NDRE) ดัชนีที่ประมวลผลสำหรับ
การพิจารณาเพื่อเลือกใช้เป็นปัจจัยในการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟมี ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าดัชนีที่สามารถคำนวณจากข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2

ค่าดัชนี	ชื่อค่าดัชนี	ประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณ โดยอาศัยค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นเฉพาะ	การคำนวณ (อ้างอิงแบบต์ของ Sentinel-2)
DATT6	Disease and Thermal Tolerance	ดัชนีที่ถูกปรับแต่งเพื่อแก้ไขผลของ NDVI จากอิทธิพลของชั้นบรรยากาศ การกระเจิง ของละอองลอย และค่าการสะท้อนจากพื้นดิน ใช้การสะท้อนช่วงคลื่นตามองเห็นสีน้ำเงิน	$DATT6 = \frac{B8}{B3 * B5}$
EVI	Enhanced Vegetation Index	วัดค่าการสะท้อนที่มีความไวต่อการเพิ่มขึ้น ของปริมาณน้ำในใบพืช	$EVI = 2.5 \times \frac{B8 - B4}{(B8 + C1 \times B4 - C2 \times B2 + L)}$



ตารางที่ 1 (ต่อ)

ค่าดัชนี	ชื่อค่าดัชนี	ประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณ โดยอาศัยค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นเฉพาะ	การคำนวณ (อ้างอิงแบบตของ Sentinel-2)
MSI	Moisture Stress Index	อัตราส่วนของความเขียวของพืชพรรณต่อผลรวมของความเขียวของพืชพรรณทุกชนิด เป็นการวัดปริมาณพืชพรรณสีเขียวในพื้นที่ที่แม่นยำยิ่งขึ้น และสามารถใช้ในการติดตามสุขภาพของพืชพรรณได้	$MSI = \frac{B11}{B8}$
MSR	Modified Simple Ratio for Vegetation	ใช้ดัชนีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช สามารถบ่งบอกถึงความแข็งแรงของพืช การตรวจจับความเครียดของพืช ความต้องการปุ๋ยในพืช และการดูดซึมของไนโตรเจนได้	$MSR = \frac{\left(\frac{B8}{B4}\right) - 1}{\left(\sqrt{\frac{B8}{B4}}\right) + 1}$
NDRE	Normalized Difference Red Edge	ดัชนีแสดงความเขียวของพืชหรือกิจกรรมการสังเคราะห์แสงของพืช	$NDRE = \frac{B8 - B5}{B8 + B5}$
NDVI	Normal Difference Vegetation Index	ดัชนีพืชพรรณที่ลดอิทธิพลของความสว่างของดินโดยใช้ปัจจัยการแก้ไขดินบริเวณที่มีความสว่าง	$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$
SAVI	Soil-adjusted Vegetation Index	ประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณโดยอาศัยค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นเฉพาะ	$SAVI = \frac{1.5 * (B8 - B4)}{(B8 + B4 + 0.5)}$

จากตารางที่ 1 พบว่าข้อมูลช่วงคลื่นจากข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 สามารถนำมาคำนวณตามค่าดัชนีทำให้ทราบข้อมูลช่วงคลื่นต่างๆ ที่สามารถวัดลักษณะของพื้นที่ได้ ซึ่งค่าดัชนีที่ประมวลผลสำหรับการพิจารณาเพื่อเลือกใช้เป็นปัจจัยในการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟได้

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. เพื่อกำหนดปัจจัยและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟ โดยการลงสำรวจพื้นที่ปลูกกาแฟของกลุ่มเป้าหมายและทำการสำรวจโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศ งานวิจัยนี้ทำการสำรวจพื้นที่สูงของประเทศไทยที่มีความโดดเด่น ปัจจัยที่มีผลต่อการปลูกกาแฟอาราบิก้าได้แก่ อุณหภูมิ สภาพอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ (Office of the Permanent Secretary for Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2025) อีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการปลูกกาแฟ ได้แก่ ความสูงจากระดับน้ำทะเล การปลูกกาแฟในพื้นที่ระดับความสูงต่างกันมีผลกับการปลูกและผลผลิตที่ได้ พื้นที่ต่ำระหว่าง 500-800 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลไม่เหมาะกับการปลูกกาแฟอาราบิก้า พื้นที่สูงกลาง ระหว่าง 800-1200 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล มีผลกระทบเชิงลบแนะนำให้ทำการปลูกต้องใช้พันธุ์ใหม่และหลากหลาย พื้นที่สูงระหว่าง 1200-1400 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล เพื่อให้ได้ผลดีควรปรับปรุงด้วยการให้ร่มเงาและให้น้ำพื้นที่สูงมากระหว่าง 1400-1600 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล จะมีผลที่ดี (Anhar et al., 2021) นอกจากนี้กาแฟที่ปลูกได้ต้นไม่ให้ร่มเงากับกาแฟที่ปลูกกลางแจ้งโดยตรงมีผลต่อการปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิก้า การปลูกต้นกาแฟได้ร่มเงาช่วยปกป้องต้นกาแฟจากสภาวะทางสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิของดินสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อีกทั้งร่มเงายังทำให้ต้นกาแฟมี การสังเคราะห์แสงที่เพิ่มขึ้นและพื้นที่ใบที่มากขึ้น ส่งผลให้ต้นกาแฟเจริญเติบโตได้ดีกว่าในแสงแดดโดยตรง ต้นกาแฟได้ร่มเงาจึงให้ผลไม้ที่ใหญ่และหนักกว่าและมีคุณภาพของเมล็ดดีกว่า (Adugna & Struik, 2011) เพื่อความเหมาะสมสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ดังนั้นงานวิจัยนี้กำหนดปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อการปลูกกาแฟอาราบิก้า กลุ่มเป้าหมายที่เลือกแบบเฉพาะเจาะจง ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดน่าน ที่มีพื้นที่สูงเหนือระดับน้ำทะเล 800 เมตรขึ้นไป การสำรวจปัจจัยทางกายภาพโดยลงสำรวจ

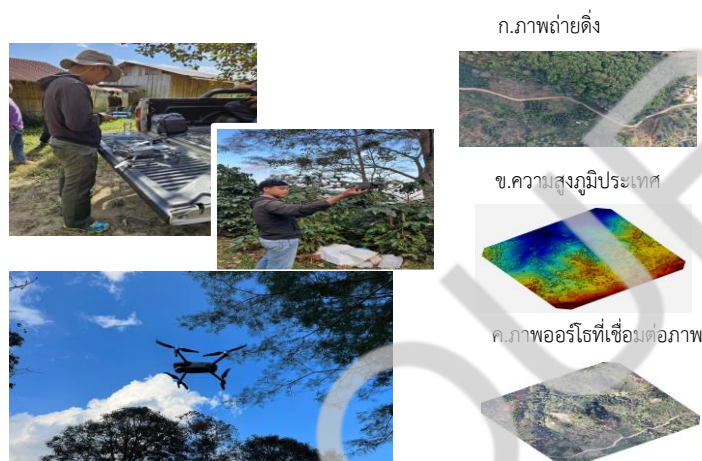


ภาคสนาม ระหว่างวันที่ วันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ.2566 ถึง 21 มกราคม พ.ศ.2567 ได้ใน 5 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ตำบลเทพเสด็จ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่ตำบลบ้านทับ อำเภอมะแม่ม จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่ตำบลลาวี อำเภอมะสรวย จังหวัดเชียงราย พื้นที่ตำบลผากอง อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน และพื้นที่ตำบลดงพญา อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน จากการสำรวจ ได้ข้อมูลพื้นฐานของแต่ละพื้นที่สรุป ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะทางพื้นที่ของแปลงปลูกกาแฟในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา	อุณหภูมิ (°C)		น้ำฝนเฉลี่ย (มม./ปี)	ความสูง ภูมิประเทศ (M. MSL)	ประเภทป่า	รูปแบบการปลูก	อายุ การ ปลูก(ปี)
	ต่ำสุด	สูงสุด					
ตำบลเทพเสด็จ อำเภอดอย สะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่	10-18	25-32	1,400-1,800	1,000-1,300	ป่าดิบเขา	- ไร่ร้างป่าไม้ - พื้นที่โล่ง - แปลงขนาดเล็ก - มีแปลงทดลอง ของโครงการหลวง	30-40
ตำบลบ้านทับ อำเภอมะแม่ม จังหวัดเชียงใหม่	12-20	28-35	1,200 -1,600	1,350-1,500	ป่าไม้ผลัดใบ	- ไร่ร้างป่าไม้ - ไร่ร้างสวนผลไม้ - พื้นที่โล่ง (ยังไม่ได้ ผลดี) - แปลงขนาดเล็ก- ขนาดกลาง	3-5
ตำบลลาวี อำเภอมะสรวย จังหวัดเชียงราย	18-26	32-40	1,300-1,700	850-1,400	ป่าไม้ผลัดใบ ป่าดิบเขา	- ไร่ร้างป่าไม้ - ไร่ร้างสวนผลไม้ - พื้นที่โล่ง - แปลงขนาดกลาง- ขนาดใหญ่	10-50
ตำบลผากอง อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน	14-22	30-40	900-1,300	850-1,500	ป่าไม้ผลัดใบ	- ไร่ร้างป่าไม้ - ไร่ร้างสวนผลไม้ - พื้นที่โล่ง - แปลงขนาดกลาง- ขนาดใหญ่	1-15
ตำบลดงพญา อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน	16-23	32-39	1,100-1,300	1,000-1,650	ป่าดิบเขา	- ไร่ร้างป่าไม้ - ไร่ร้างสวนผลไม้ - แปลงขนาดกลาง- ขนาดใหญ่	7-10

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลจากการสำรวจพื้นที่พบว่าถ้าลักษณะพื้นที่เป็นป่าดิบเขา การเพาะปลูกแบบพื้นที่โล่งระหว่างต้นไม้ได้ผลผลิตไม่ดี แต่ถ้าพื้นที่เป็นป่าไม้ผลัดใบ สามารถปลูกกาแฟได้หลายแบบเช่น แบบได้ร่มเงาป่าไม้แบบได้ร่มเงาสวนผลไม้ แบบแปลงขนาดเล็ก ถึง ขนาดใหญ่ ปกติอารบิก้าที่สามารถเรียกได้ว่าเป็นแหล่งปลูกชั้นดีจะต้องมีความสูง 1,200 เมตร เหนือ ระดับน้ำทะเลเป็นต้นไปจึงเหมาะแก่การเพาะปลูกกาแฟอารบิก้า (Office of the Permanent Secretary for Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2025) แต่จากผลการสำรวจพบว่าสามารถปลูกกาแฟอารบิก้าได้ตั้งแต่พื้นที่ 850 เมตรได้และพื้นที่เป็นป่าไม้ผลัดใบสามารถปลูกกาแฟได้ การสำรวจภาพถ่ายทางอากาศสามารถช่วยตรวจสอบพื้นที่ทั้งในส่วนของการกำหนดจุดควบคุม การจัดทำภาพถ่ายทางอากาศใช้การบินถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับช่วยความแนวดิ่งช่วย ตรวจสอบความถูกต้องจากผลการจำแนกเบื้องต้นได้ การประมวลผลตามกระบวนการการจัดทำภาพถ่ายทางอากาศทำให้ได้ภาพถ่ายออร์โธ ภาพที่ได้ช่วยยืนยันความถูกต้องทางตำแหน่ง ผลการดำเนินงานจะได้ภาพถ่ายดิ่งในพื้นที่ข้อมูลความสูง และภาพออร์โธที่ต่อเชื่อมภาพ (Orthophoto Mosaic) ที่เน้นเฉพาะพื้นที่ปลูกกาแฟที่ได้สำรวจ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การสำรวจพื้นที่ปลูกกาแฟ ด้วยภาพถ่ายทางอากาศ

2. ผลการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่สูงด้วยเทคนิควิเคราะห์เชิงจุดภาพจากข้อมูลหลายจากช่วงคลื่นดาวเทียม Sentinel-2 โดยกำหนดภาพที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาที่อยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2566 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2566 และข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 แสดงภาพที่มีเมฆปกคลุมน้อยกว่าร้อยละ 5 ของภาพ โดยพื้นที่ศึกษา มีภาพครอบคลุมจำนวน 6 ชิน ส่งผลให้มีภาพที่อยู่ในเงื่อนไขสำหรับการนำมาใช้เพื่อการประมวลผลจำนวน 178 ภาพ ข้อมูลดาวเทียมที่ผ่านกระบวนการข้างต้นนำไปสู่การคำนวณค่าดัชนีตามที่ได้คัดเลือกโดยสร้างสคริปต์เพื่อประมวลผลใน GEE ตามสูตรการคำนวณ ผลที่ได้จะนำไปสู่การนำไปจัดกลุ่มเพื่อใช้เป็นตัวอย่งของพื้นที่ประเภทต่างๆ ในกระบวนการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟต่อไป โดยทำการพัฒนาเทคนิคการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟจากข้อมูลของดาวเทียม Sentinel-2 โดยการเขียนสคริปต์การเรียกใช้ข้อมูล Sentinel-2 ตามเงื่อนไข วิธีการทำแผนที่พื้นที่ปลูกกาแฟ จะเขียนเซอร์โวลากหลายรูปแบบ และทำการวิเคราะห์ภาพดาวเทียมแบบพิกเซลด้วยข้อมูลภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นที่มีความละเอียดปานกลาง เช่นเซอร์ที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดคือ Landsat ที่มีความละเอียด 30 เมตร โดยความแม่นยำในการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 50-95 นักวิจัยมักใช้ดัชนีต่างๆ เช่น NDVI, EVI, VIN, LSWI, SAVI, NDRE และ MSI เพื่อช่วยแยกแยะข้อมูลจากภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นได้ดีขึ้น ข้อมูลจากดาวเทียมที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ Landsat 8 และ Sentinel-2 เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ไม่มีการใช้ซ้ำและให้ข้อมูลแบบต่อเนื่อง และมีจำนวนแบนด์ตั้งแต่ 10-11 แบนด์และช่วงความยาวคลื่นกว้างพอเหมาะ ทำให้สามารถวิเคราะห์และคำนวณดัชนีต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อการทำแผนที่พื้นที่ปลูกกาแฟอย่างแม่นยำ (Hunt et al., 2020) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการเขียนสคริปต์การแปลงข้อมูลค่าของจุดภาพให้เป็นค่าการสะท้อน เขียนสคริปต์การคำนวณค่าดัชนี เช่น EVI, MSI, NDRE, NDVI, และ SAVI ให้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ผลการวิจัยพบว่าการใช้ค่าการสะท้อนในช่วงความถี่คลื่นสีแดง (B4) ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (B7, B8 B8A) และช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น (B11, B12) เนื่องจากเป็นช่วงความถี่ที่มีปฏิริยากับพืชที่มีรูปแบบเฉพาะ นอกจากนั้นยังมีรูปแบบของการสะท้อนช่วงคลื่นที่แตกต่างกันไปในพื้นที่แต่ละชนิด ในส่วนของดัชนีที่เป็นปัจจัยสำหรับการจำแนกเลือกใช้ค่าจากดัชนี EVI,

MSI, NDRE, NDVI, และ SAVI ซึ่งการดำเนินงานสามารถได้ค่าความถูกต้องรวมร้อยละ 89.70 การเขียนสคริปต์การแปลงข้อมูลค่าของจุดภาพให้เป็นค่าการสะท้อน และทำการคำนวณค่าดัชนี ดังภาพที่ 4-6

```
var imageCollection = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2');  
  
// Filtering Sentinel: Where, When, How  
var image = imageCollection  
    .filterBounds(studyarea)  
    .filterDate('2023-04-01', '2023-04-28')  
    .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 5));  
  
print(image);
```

ภาพที่ 4 สคริปต์การเรียกใช้ข้อมูล Sentinel-2 ตามเงื่อนไข

```
var imageReflect = image.map(function(image) {  
    return image.multiply(0.0001).copyProperties(image, image.propertyNames());  
})  
    .select(['B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B8', 'B8A', 'B9', 'B11', 'B12'])  
    .median()  
    .clip(studyarea);  
Map.addLayer(imageReflect);
```

ภาพที่ 5 สคริปต์การแปลงข้อมูลค่าของจุดภาพให้เป็นค่าการสะท้อน

```
function addIndices(imageReflect) {  
    var ndvi = imageReflect.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename('NDVI');  
    var ndre = imageReflect.normalizedDifference(['B8', 'B5']).rename('NDRE');  
    var evi = imageReflect.expression(  
        '2.5 * ((NIR - RED) / (NIR + 6 * RED - 7.5 * BLUE + 1))', {  
            'NIR': imageReflect.select('B8'),  
            'RED': imageReflect.select('B4'),  
            'BLUE': imageReflect.select('B2')  
        }).rename('EVI');  
    var savi = imageReflect.expression(  
        '1.5 * ((NIR - RED) / (NIR + RED + 0.5))', {  
            'NIR': imageReflect.select('B8'),  
            'RED': imageReflect.select('B4')  
        }).rename('SAVI');  
    var msi = imageReflect.select('B11').divide(imageReflect.select('B8')).rename('MSI');  
    var msr = imageReflect.expression(  
        '(((NIR/RED)-1)/((sqrt(NIR/RED))+1))', {  
            'NIR': imageReflect.select('B8'),  
            'RED': imageReflect.select('B4')  
        }).rename('MSR');  
    var datt6 = imageReflect.expression(  
        'NIR/(GREEN*RE)', {  
            'NIR': imageReflect.select('B8'),  
            'GREEN': imageReflect.select('B3'),  
            'RE': imageReflect.select('B5')  
        }).rename('DATT6');  
  
    return imageReflect.addBands([ndvi, ndre, evi, savi, msi, msr, datt6]);  
}  
  
// Apply the indices calculation to the imageReflect  
var combined = addIndices(imageReflect);  
Map.addLayer(combined);  
  
// Select bands and indices for processing  
var bands = ['B4', 'B7', 'B8', 'B8A', 'B11', 'B12', 'NDVI', 'NDRE', 'EVI', 'MSI', 'MSR', 'SAVI', 'DATT6'];
```

ภาพที่ 6 สคริปต์การคำนวณค่าดัชนี

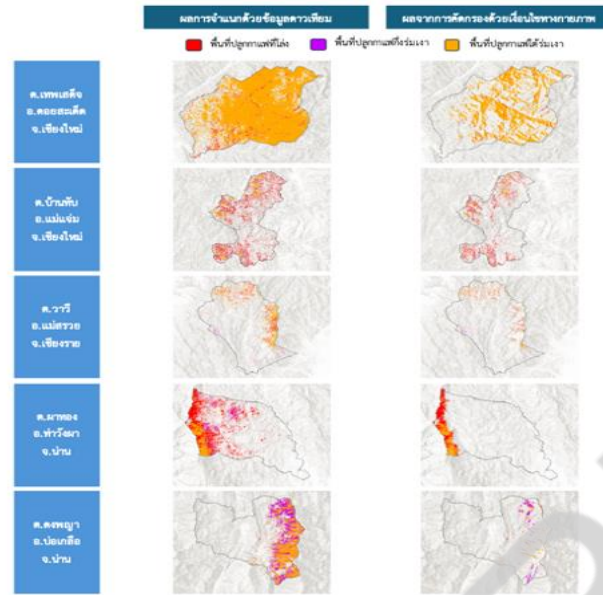
ผลการเขียนสคริปต์เพื่อเลือกใช้ช่วงค่าการสะท้อนและค่าดัชนีสำหรับเป็นปัจจัยและเงื่อนไขสำหรับการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟเบื้องต้น และปัจจัยทางกายภาพสามารถเลือกพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการโดยใช้ช่วงคลื่นดาวเทียม Sentinel-2 จะถูกนำไปใช้เพื่อเป็นเงื่อนไขสำหรับกระบวนการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟต่อไป ดังตารางที่ 3



ตารางที่ 3 แบนด์ข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 และค่าดัชนี

ค่าปัจจัย ปัจจัย	ค่าต่ำที่สุด (-0.5SD) – มากที่สุด (+0.5SD)				
	กาแฟไตรัมเงา	กาแฟกึ่งร่มเงา	กาแฟที่โล่ง	ป่าไม้	สวน
แบนด์ข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2					
B4	0.16 - 0.17	0.18 - 0.19	0.17 - 0.19	0.17 - 0.19	0.18 - 0.20
B7	0.33 - 0.37	0.32 - 0.36	0.34 - 0.39	0.31 - 0.35	0.31 - 0.34
B8	0.33 - 0.37	0.32 - 0.36	0.33 - 0.39	0.31 - 0.35	0.30 - 0.34
B8A	0.37 - 0.40	0.35 - 0.39	0.37 - 0.42	0.34 - 0.38	0.34 - 0.37
B11	0.23 - 0.26	0.28 - 0.31	0.28 - 0.32	0.26 - 0.31	0.28 - 0.33
B12	0.15 - 0.18	0.19 - 0.22	0.19 - 0.22	0.18 - 0.22	0.20 - 0.24
ดัชนี					
DATT6	8.98 - 10.15	7.68 - 8.68	7.93 - 9.57	7.58 - 8.98	7.10 - 8.28
EVI	0.52 - 0.63	0.41 - 0.52	0.43 - 0.60	0.38 - 0.52	0.33 - 0.46
MSI	0.65 - 0.76	0.82 - 0.93	0.76 - 0.94	0.79 - 0.95	0.89 - 1.05
MSR	0.41 - 0.51	0.32 - 0.41	0.33 - 0.47	0.31 - 0.42	0.27 - 0.37
NDRE	0.26 - 0.31	0.21 - 0.26	0.22 - 0.30	0.20 - 0.26	0.18 - 0.23
NDVI	0.33 - 0.39	0.27 - 0.33	0.27 - 0.36	0.26 - 0.33	0.23 - 0.30
SAVI	0.25 - 0.30	0.20 - 0.25	0.21 - 0.29	0.19 - 0.25	0.17 - 0.23

จากตารางที่ 3 พบว่าการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟบนที่สูงจากข้อมูลและเทคนิคการประมวลผลด้วยข้อมูลดาวเทียมนำสู่การคัดกรองพื้นที่ปลูกกาแฟบนที่สูงโดยใช้ช่วงคลื่นดาวเทียม Sentinel-2 ใช้ค่าจากดัชนี DATT6, EVI, MSI, MSR, NDRE, NDVI, และ SAVI เพื่อจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟแต่ละประเภทได้แก่ ไตรัมเงา กาแฟกึ่งร่มเงา กาแฟที่โล่ง ป่าไม้ และสวน ผลจากการเลือกใช้ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นที่มีปฏิสัมพันธ์กับพืชในรูปแบบเฉพาะ ได้แก่ คลื่นสีแดง (B4) และ อินฟราเรดคลื่นสั้น (B11, B12) ชุดดัชนีที่ใช้สำหรับการจำแนกได้แก่ EVI, MSI, NDRE, NDVI, และ SAVI ผลการจำแนกที่ได้มีความแม่นยำสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hunt et al. (2020) เพื่อตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากคลื่นดาวเทียม Sentinel-2 กับการสำรวจจากการถ่ายภาพทางอากาศโดยโดรน ใช้เงื่อนไขทางกายภาพที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกาแฟบนที่สูงพันธุ์อาราบิกากำหนดความสูงภูมิประเทศต้องมากกว่า 800 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง และมีทิศด้านลาดอยู่ระหว่างทิศเหนือถึงทิศตะวันออกเฉียงใต้ ในกรณีที่พื้นที่ปลูกกาแฟที่โล่ง ผลจากการเปรียบเทียบผลการจำแนกจากข้อมูลดาวเทียมกับการคัดกรองด้วยปัจจัยทางกายภาพ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบผลการจำแนกจากข้อมูลดาวเทียมกับการคัดกรองด้วยปัจจัยทางกายภาพ

จากภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบผลการจำแนกจากข้อมูลดาวเทียมกับการคัดกรองด้วยปัจจัยทางกายภาพ ทั้งนี้การจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟบนที่สูงด้วยข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 ทำการวิเคราะห์หาค่าการสะท้อนจากแต่ละช่วง ความถี่ ที่ดาวเทียมบันทึกตามคุณสมบัติของดาวเทียมและค่าดัชนีต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการจำแนกพื้นที่ เพื่อระบุเป็นปัจจัยและเงื่อนไขสำหรับการจำแนก ในเบื้องต้นใช้ค่าการสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง อินฟราเรดใกล้ และอินฟราเรดคลื่นสั้น และกำหนดค่าช่วงของค่าการสะท้อนเพื่อเป็นเงื่อนไขสำหรับการจำแนก โดยใช้ค่าดัชนีเพื่อกำหนดปัจจัยในการจำแนก จำนวน 7 ดัชนี คือ DAT6, EVI, MSI, MSR, NDRE, NDVI, SAVI การกำหนดค่าช่วงของค่าดัชนีเพื่อเป็นเงื่อนไขสำหรับการจำแนก การประมวลผลเพื่อจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟบนที่สูงโดยใช้แบบจำลอง Random Forest ผลที่ได้จากการจำแนกได้ค่าความถูกต้องรวมร้อยละ 79.23 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการจำแนกจากข้อมูลดาวเทียมกับการคัดกรองด้วยปัจจัยทางกายภาพที่ได้

จากการสำรวจพื้นที่ปลูกกาแฟ ด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ผลที่ได้จากการจำแนกเบื้องต้นสามารถนำมาตรวจสอบเพื่อปรับปรุงปัจจัยและค่าช่วงของค่าการสะท้อนและค่าดัชนี ในส่วนของดัชนีที่เป็นปัจจัยสำหรับการจำแนกเลือกใช้ค่าจากดัชนี EVI, MSI, NDRE, NDVI, และ SAVI ซึ่งการดำเนินงานสามารถได้ค่าความถูกต้องรวมร้อยละ 89.70 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางค่าความคาดเคลื่อนของการจำแนกรวมพื้นที่ศึกษา

จุดที่ได้จากการจำแนก	จุดควบคุมจากพื้นที่								ความถูกต้องสำหรับผู้ใช้ (%)
	กาแฟที่โล่ง	กาแฟกิ่งร่มเงา	กาแฟใต้ร่มเงา	ป่าไม้	สวน	แหล่งน้ำ	เมือง	รวม	
กาแฟที่โล่ง	1,276	94	5	-	-	-	-	1,375	92.8
กาแฟกิ่งร่มเงา	181	2,798	114	-	121	-	-	3,214	87.06
กาแฟใต้ร่มเงา	-	-	1,789	201	-	-	-	1,990	89.9
ป่าไม้	-	25	96	1,164	-	-	-	1,285	90.58
สวน	27	21	-	-	741	-	18	807	91.82
แหล่งน้ำ	-	-	-	-	-	123	-	123	100
เมือง	-	-	-	-	18	-	132	150	88
รวม	1,484	2,938	2,004	1,365	880	123	150	8,944	



ตารางที่ 4 (ต่อ)

จุดที่ได้จากการจำแนก	จุดควบคุมจากพื้นที่								ความถูกต้องสำหรับผู้ใช้ (%)
	กาแฟที่ไล่	กาแฟกิ่งรมเงา	กาแฟใต้ร่มเงา	ป่าไม้	สวน	แหล่งน้ำ	เมือง	รวม	
ความถูกต้องสำหรับการจำแนก (%)	85.98	95.23	89.27	85.27	84.2	100	88		
ความถูกต้องรวม	89.70%								

จากตารางที่ 4 แสดงค่าความคาดเคลื่อนของการจำแนกรวมพื้นที่ศึกษา เมื่อนำมาประมวลผลจำแนกใหม่ พบว่าผลการจำแนกที่มีค่าความถูกต้องรวมที่ดีที่สุด นอกจากนั้นการใช้ค่าการสะท้อนในช่วงความถี่คลื่นสีแดง (B4) ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (B7, B8 B8A) และช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น (B11, B12) เนื่องจากเป็นช่วงความถี่ที่มีปฏิกิริยากับพืชที่มีรูปแบบเฉพาะ และรูปแบบของการสะท้อนช่วงคลื่นที่แตกต่างกันไปสามารถแยกแยะพืชแต่ละชนิดได้ดี โดยเปรียบเทียบผลการจำแนกจากข้อมูลดาวเทียมกับการคัดกรองด้วยปัจจัยทางกายภาพอีกครั้ง พบว่าค่าความถูกต้องรวมร้อยละ 89.70

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาปัจจัยและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟ โดยการสำรวจพื้นที่จริงและการสำรวจทางอากาศ พบว่าปัจจัยด้านอุณหภูมิ น้ำฝนเฉลี่ย ความสูง ภูมิประเทศ และ ประเภทป่า มีผลกับการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟ และรูปแบบการปลูกกาแฟ ความเหมาะสมของพื้นที่: แม้ปกติกาแฟจะเหมาะกับความสูง 1,200 เมตรขึ้นไป แต่ผลการสำรวจพบว่าสามารถปลูกได้ตั้งแต่พื้นที่ 850 เมตร ขึ้นไป ในพื้นที่ที่เป็นป่าไม้ผลัดใบ นอกจากนี้พบว่าถ้าพื้นที่เป็นป่าดิบเขา การเพาะปลูกแบบพื้นที่ไล่ระหว่างต้นไม่ได้ผลผลิตดี แต่ถ้าเป็นป่าไม้ผลัดใบสามารถปลูกได้หลายแบบ

2. ผลการศึกษพบว่าการพัฒนาเทคนิคการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่สูงด้วยวิธีการเชิงจุดภาพจากข้อมูลหลายช่วงคลื่นดาวเทียม Sentinel-2 โดยเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นใช้ค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นที่มีผลต่อลายเซ็นเชิงคลื่น (Digital Signature) ประกอบกับค่าดัชนีที่ประมวลผลได้จากค่าการสะท้อนในช่วงต่างๆ ของข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 ช่วงคลื่นการใช้ชุดดัชนีจากข้อมูลดาวเทียมสามารถนำมาจำแนกพื้นที่เพาะปลูกกาแฟได้ การพัฒนาระบบการสำรวจระยะไกลให้มีความแม่นยำ น่าเชื่อถือ และปรับขนาดการใช้งานได้ดียิ่งขึ้นสำหรับการทำแผนที่กาแฟ สำหรับงานวิจัยนี้โดยให้ค่าความถูกต้องรวมของการจำแนกร้อยละ 89.70 ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวางแผนจัดการการปลูกกาแฟในพื้นที่สูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

การจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟด้วยเทคนิคการประมวลผลข้อมูลจากระยะไกลในงานวิจัยนี้เป็นเทคนิควิธีที่ทำให้ได้ข้อมูลพื้นที่ปลูกกาแฟสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้หน่วยงานที่มีภาระงานที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริม การพัฒนา และการดูแลพื้นที่ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ดังนี้

1. การวางแผนเชิงยุทธศาสตร์: เนื่องจากผลการจำแนกที่แม่นยำสามารถนำไปใช้ในการวางแผนจัดการการปลูกกาแฟในพื้นที่สูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ และวางแผนยุทธศาสตร์การส่งเสริมและสนับสนุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทันต่อสถานการณ์ รวมถึงการจัดเก็บรวมเป็นฐานข้อมูลพื้นที่การปลูกกาแฟสำหรับประเทศไทย ด้วยวิธีนี้จะทำให้มีความถี่ในการสำรวจพื้นที่ได้มากขึ้น เนื่องจากมีข้อมูลที่ต่อเนื่องสม่ำเสมอ มีความทันสมัย มีความแม่นยำ รวดเร็ว และลดปริมาณงบประมาณในการสำรวจได้มาก ตลอดจนครอบคลุมพื้นที่กว้าง ทำให้สามารถดำเนินการวางแผนได้ในระดับประเทศและยังสามารถขยายได้ถึงระดับภูมิภาค ส่งผลให้การกำหนดมาตรฐานหรือแผนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิต การตลาด รวมถึงการพิจารณาแข่งขันทางการตลาดสามารถทำได้มีประสิทธิภาพ เอื้อประโยชน์ต่อเกษตรกรและภาคเอกชนที่ประกอบธุรกิจที่เกี่ยวข้อง เช่น ภาคเอกชนสามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากการพัฒนาของโครงการวิจัยไปใช้ สำหรับการวางแผนการส่งเสริมการปลูกกาแฟและการผลิตกาแฟในกรณีที่เป็นพื้นที่ที่ควบคุมดูแลโดยภาคเอกชนที่มีการผลิตกาแฟในลักษณะของ

พันธะสัญญากับเกษตรกร การวางแผนการตลาด รวมถึงการจัดการการกระจายเมล็ดกาแฟออกสู่ตลาดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของธุรกิจต่อไป

2. การเพิ่มศักยภาพ: การจำแนกพื้นที่เพาะปลูกกาแฟที่เหมาะสมจะนำไปสู่การเพิ่มศักยภาพในการผลิตและการเพาะปลูกของเกษตรกร งานวิจัยได้กำหนดปัจจัยทางกายภาพที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกกาแฟอาราบิก้า (เช่น ความสูงภูมิประเทศ, ประเภทป่า, รูปแบบการปลูก) การใช้เทคนิคนี้ทำให้สามารถระบุแปลงที่เหมาะสมและไม่เหมาะสมได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการแก้ไขปัญหาผลผลิตต่ำ เกษตรกรหรือหน่วยงานสามารถใช้แผนที่ผลลัพธ์เพื่อทราบพื้นที่ที่ควรปลูกแบบใด ตัวอย่างเช่น หากพื้นที่เป็นป่าดิบเขา ควรหลีกเลี่ยงการปลูกแบบพื้นที่โล่งระหว่างต้น เพราะให้ผลผลิตไม่ดี แต่ควรเลือกปลูกแบบได้รับเงาที่เหมาะสมกว่า ข้อมูลการจำแนกพื้นที่แต่ละประเภท ได้แก่ ได้รับเงาป่าไม้ ได้รับเงาสวนผลไม้ พื้นที่โล่ง ช่วยให้สามารถจัดการการใส่ปุ๋ย การให้น้ำ หรือการควบคุมโรคในแต่ละแปลงได้อย่างแม่นยำตามความต้องการเฉพาะของพื้นที่นั้นๆ

3. ลดต้นทุนและเวลา: การใช้ข้อมูลดาวเทียมช่วยให้การสำรวจพื้นที่ปลูกกาแฟทำได้อย่างรวดเร็ว ครอบคลุมพื้นที่กว้าง และลดปริมาณงบประมาณในการสำรวจภาคสนามได้มาก

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัย

ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

1. ควรการนำกระบวนการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟที่ได้จากการศึกษาไปเพื่อขยายพื้นที่ไปในพื้นที่อื่นๆ ประสิทธิภาพของการจำแนกโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม ทำให้สามารถวางแผนยุทธศาสตร์การส่งเสริมและสนับสนุนการปลูกกาแฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. พัฒนาการทดสอบประสิทธิภาพของการจำแนกเพื่อให้สามารถทดสอบความถูกต้องในมิติของขนาดพื้นที่ ซึ่งจะต้องกำหนดพื้นที่สำหรับการตรวจสอบและออกแบบกระบวนการสำหรับการตรวจสอบที่มีประสิทธิภาพ ความท้าทายของการดำเนินงานดังกล่าวคือการพัฒนาฐานข้อมูลพื้นที่ปลูกกาแฟที่มีความชัดเจนและเชื่อถือได้ในระดับแปลงปลูก ซึ่งต้องอาศัยเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลสูง เวลาสำหรับการปฏิบัติงาน และงบประมาณที่ค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จะเป็นข้อบ่งชี้ที่ชัดเจนมากขึ้น ถึงความน่าเชื่อถือในการนำผลการจำแนกจากกระบวนการดังกล่าวนี้ไปใช้สำหรับการปฏิบัติงานต่อไป

3. ควรพิจารณาทางเลือกในการใช้ข้อมูลดาวเทียมอื่นๆ ที่อาจจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่า เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการดำเนินงาน ซึ่งจะต้องมีการนำกระบวนการจากการศึกษานี้ไปใช้ทดสอบการประมวลผลกับข้อมูลดาวเทียมที่เป็นทางเลือกนั้น เป็นต้น

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

เทคนิคการประมวลผลข้อมูลระยะไกลเพื่อจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟที่ได้จากการทดสอบและคัดเลือกจากการดำเนินงานในโครงการวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาต่อยอดในรายละเอียดของเทคนิควิธีการปรับปรุง และเงื่อนไขของปัจจัยต่างๆ เพื่อเพิ่มความแม่นยำ ถูกต้องของผลการจำแนก ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการจำแนกพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่สูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถประเมินพื้นที่ปลูกกาแฟบนพื้นที่สูงได้ในระดับประเทศ และสามารถขยายผลการจำแนกในพื้นที่ประเทศคู่แข่งทางด้านผลผลิตกาแฟ จึงสามารถเสนอแนะให้ทำการศึกษาในอนาคต โดยนำข้อมูลพื้นที่ปลูกกาแฟที่จะได้จากการประมวลผลเมื่อนำมาใช้ร่วมกับชุดฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้พัฒนาขึ้น จะส่งผลให้การวางแผนเชิงยุทธศาสตร์สำหรับการผลิตกาแฟมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ต่อไปได้

ข้อจำกัดการวิจัย

แนวคิดเบื้องหลัง Random Forest ที่พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของการใช้ต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Trees) แม้ว่าจะมีความสามารถในการตีความสูง แต่ยังคงมีปัญหาด้านความแม่นยำในการทำนายต่ำ เนื่องจากมักเกิดความพอดีที่เกินกับข้อมูลฝึก (High Variance) เพื่อแก้ไขปัญหานี้ แนวคิดของ Bagging จึงถูกนำมาใช้ โดยการสร้างต้นไม้การตัดสินใจหลายต้นที่อิงข้อมูลย่อย (Subsets) ต่างๆ จากข้อมูลฝึก และนำผลลัพธ์จากต้นไม้เหล่านี้มารวมกันเพื่อสร้างการทำนายขั้นสุดท้าย โดยทั่วไปการเฉลี่ยผลลัพธ์จากต้นไม้หลายต้นมีแนวโน้มที่จะช่วยลดความแปรปรวน (Variance) ของโมเดลได้



References

- Adugna, D. & Struik, P. C. (2011). Effects of Shade on Growth, Production and Quality of Coffee (Coffea Arabica) in Ethiopia. *Journal of Horticulture and Forestry*, 3(11), 336-341. https://www.researchgate.net/publication/215979044_Effects_of_shade_on_growth_production_and_quality_of_coffee_Coffea_arabica_in_Ethiopia
- Anhar, A., Rasyid, U. H. Ar., Muslih, A. M., Baihaqi, A., Romano & Abubakar Y. (2021). Sustainable Arabica Coffee Development Strategies in Aceh, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 667. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/667/1/012106>
- Bourgoin, C., Oszwald, J., Bourgoin, J., Gond, V., Blanc, L., Dessard, H., Phan, T. V., Sist, P., Läderach, P. & Reymondin, L. (2020). Assessing the Ecological Vulnerability of Forest Landscape to Agricultural Frontier Expansion in the Central Highlands of Vietnam. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 84, 101958. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101958>
- Digital Economy Promotion Agency. (2025). *Remote Sensing for Precision Agriculture with Remote Sensing Technology*. Retrieved August 2025, from <https://www.depa.or.th/th/article-view/remote-sensing-20210903>
- Dai, J., Ding, L., Zhang, T., Qin, Z. & Wang, J. (2025). RCFC: Radiometric Resolution Compression of Remote Sensing Images Considering Feature Reconstruction and Color Consistency. *Digital Signal Processing*, 164(2025), 105255. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2025.105255>
- European Space Agency. (2024). *Sentinel-2*. Retrieved December 2024, from <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/sentinel-2>
- European Space Agency. (2025) *Applications Sentinel-2*. Retrieved Mar 2025, from https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2
- European Space Operations Centre. (2024). *Mission Sentinel-2B*. Retrieved April 2025, from <https://esoc.esa.int/content/sentinel-2b>
- Fassnacht, F., White, J., Wulder, M. & Næsset, E. (2024). Remote Sensing in Forestry: Current Challenges, Considerations and Directions. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 97(1), 11-37. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpad024>
- Highland Research and Development Institute (Public Organization). (2024). *History of Arabica Coffee in Thailand*. Retrieved December 2024, from <https://research.hrdi.or.th/public/upload/fj11zku0i6.pdf>
- Huang, Z., Zhong, L., Zhao, F., Wu, J., Tang, H., LV, Z., Xu, B., Zhou, L., Sun, R & Meng, R. (2023), A Spectral-Temporal Constrained Deep Learning Method for Tree Species Mapping of Plantation Forests using Time Series Sentinel-2 Imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 204, 397-420. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.09.009>
- Hunt, D. A., Tabor, K., Hewson, J. H., Wood, M. A., Reymondin, L., Koenig, K., Schmitt-Harsh, M. & Follett, F. (2020). Review of Remote Sensing Methods to Map Coffee Production Systems. *Remote Sensing*, 12(12), 2041. <https://doi.org/10.3390/rs12122041>
- Le, T., Dang, K. B., Giang, T. L., Tong, T. H. A., Nguyen, V. G., Nguyen, T. D. L. N. & Yasir, M. (2022). Deep Learning Model Development for Detecting Coffee Tree Changes Based on Sentinel-2 Imagery in Vietnam. *IEEE Access*, 10, 109097-109107. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3203405>
- Maxar. (2025). *Extract more data in greater detail*. Retrieved January 2025, from <https://www.maxar.com/maxar-intelligence/imagery-leadership#high-resolution>
- Muangpha, S. & Mensin, S. (2021). *Royal Project Research Project on Breeding and Value-Added Arabica Coffee Products. Subproject 1: Selection of Quality Coffee Varieties and Study of Environmentally*



- Friendly High-Quality Coffee Cultivation Systems*. Retrieved January 2025, from <https://research.hrdi.or.th/public/upload/2yl594gciy.pdf>
- Office of the Permanent Secretary for Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2025). *Where are the important Arabica growing areas in Thailand?*. Retrieved August 2025, from <https://www.opsmoac.go.th/news-preview-471991792943>
- Oliveira, M., Santos, A., Kazama, E. & Rolim, G. & Silva, R. (2021). Determination of Application Volume for Coffee Plantations using Artificial Neural Networks and Remote Sensing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 106096. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106096>
- Qin, H., Zhou, W., Yao, Y. & Wang, W. (2022). Individual Tree Segmentation and Tree Species Classification in Subtropical Broadleaf Forests using UAV-based LiDAR, hyperspectral, and Ultrahigh-resolution RGB data. *Remote Sensing of Environment*, 280, 113143. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113143>
- Schneider, B., Alves, M. & Ferreira, V. (2025). Coffee Crop Detection and Mapping using Sentinel-2 Data and Spatial Coherence. *Theoretical and Applied Engineering*, 9(3), 1-10. <https://doi.org/10.31422/taae.v9i3.64>
- Tu, Y., Johansen, K., Aragon, B., Hajj, M. & McCabe, M. (2022). The Radiometric Accuracy of the 8-band Multi-spectral Surface Reflectance from the Planet SuperDove Constellation, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 114, 103035. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103035>