

การวิเคราะห์ชีพลักษณะพืชพรรณเพื่อศึกษาระยะพัฒนาการของข้าวนาปี และ  
ตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา  
กรณีศึกษาอำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา



ภูมิพัฒน์ อุ่นบาน

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาภูมิสารสนเทศประยุกต์

พฤษภาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา



การวิเคราะห์ซีพีจีเอ็มพีชพรรณเพื่อศึกษาระยะพัฒนาการของข้าวนาปี และตรวจหาพื้นที่  
เพาะปลูกข้าวนาปีด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา กรณีศึกษาอำเภอดอกคำใต้ จังหวัด

พะเยา



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาภูมิสารสนเทศประยุกต์

พฤษภาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

ANALYSIS OF THE PHENOLOGY TO STUDY RAINFED RICE GROWING STAGE AND RAINFED  
RICE DETECTION USING TIME-SERIES SATELLITE: A CASE STUDY OF DOKKUMTAI  
DISTRICT, PHAYAO PROVINCE



A Thesis Submitted to University of Phayao  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Master of Science Degree in Applied Geoinformatics  
November 2022  
Copyright 2022 by University of Phayao

## วิทยานิพนธ์

## เรื่อง

การวิเคราะห์ชีพลักษณะพืชพรรณเพื่อศึกษาระยะพัฒนาการของข้าวนาปี และตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา กรณีศึกษาอำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา

พะเยา

ของ ภูมิพัฒน์ อุณบ้าน

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศประยุกต์

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานัส ศรีวณิช)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิตติ เขียมชื่น)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาพ แพงวังทอง)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นครินทร์ ชัยแก้ว)

..... คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรเทพ ไรจนนวล)

- เรื่อง:** การวิเคราะห์ชีพลักษ์ณพีชพรรณเพื่อศึกษาระยะพัฒนาการของข้าวนาปี และตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา กรณีศึกษาอำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา
- ผู้วิจัย:** ภูมิพัฒน์ อุ่นบ้าน, วิทยานิพนธ์: วท.ม.(ภูมิสารสนเทศประยุกต์), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2565
- อาจารย์ที่ปรึกษา:** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิตติ เอี่ยมชื่น
- คำสำคัญ:** ชีพลักษณ์, เทคนิคผลต่างภาพ, ภูเกิล เอิร์ธ เอนจิน

### บทคัดย่อ

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ และสัญญาณชีพลักษ์ณของข้าวที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับติดตามการเจริญเติบโต และพื้นที่ปลูกข้าวอย่างทันท่วงทีและมีความแม่นยำ อีกทั้งเป็นการวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันตามนโยบายของรัฐ นำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนเพื่อบรรลุเป้าหมายของทิศทางการพัฒนาประเทศ การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล-2 ผ่านแพลตฟอร์มภูเกิล เอิร์ธ เอนจิน สร้างกราฟชีพลักษ์ณพีชพรรณ และศึกษาระยะพัฒนาการของข้าวนาปีโดยใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อระบุวันเริ่มต้น-สิ้นสุดการเพาะปลูก ผลลัพธ์พบว่าในพื้นที่อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา พื้นที่เพาะปลูกข้าวส่วนใหญ่อยู่นอกเขตการให้บริการชลประทานและต้องอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ส่งผลให้สามารถปลูกข้าวได้เพียง 1 รอบ (ข้าวนาปี) โดยฤดูการปลูกข้าวอยู่ระหว่างเดือน พฤษภาคม-พฤศจิกายน และช่วงเวลาดังกล่าวเป็นผลลัพธ์ที่นำไปใช้ประโยชน์ต่อการคัดเลือกช่วงเวลาการวิเคราะห์ผลต่างภาพ โดยแบ่งเป็นวิธีการผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว และแบบภาพผสม จากการตรวจสอบความถูกต้องด้วยค่าความถูกต้องโดยรวมและสัมประสิทธิ์แคปปา ผลลัพธ์พบว่าวิธีการวิเคราะห์ผลต่างภาพแบบภาพผสมให้ค่าความถูกต้องมากกว่าแบบภาพเดี่ยว ปรากฏจากอุปสรรคด้านสภาพอากาศที่บดบังพื้นที่ศึกษา ข้อมูลผลลัพธ์จากการศึกษาได้นำเสนอผ่านเว็บแอปพลิเคชันสามารถเข้าถึงได้ผ่านเบราว์เซอร์และใช้สำหรับเป็นแนวทางการต่อยอดสู่แพลตฟอร์มติดตามสถานการณ์ข้าวและการแก้ไขปัญหาความซับซ้อนด้านการเกษตรที่ยั่งยืน

**Title:** ANALYSIS OF THE PHENOLOGY TO STUDY RAINFED RICE GROWING STAGE AND RAINFED RICE DETECTION USING TIME–SERIES SATELLITE: A CASE STUDY OF DOKKUMTAI DISTRICT, PHAYAO PROVINCE

**Author:** Phummipat Oonban, Thesis: M.Sc. (Applied Geoinformatics), University of Phayao, 2022

**Advisor:** Assistant Professor Niti lamcheun , Ph.D.

**Keywords:** Phenology Image Difference Technique Google Earth Engine

### ABSTRACT

Botanical morphology and phenology of paddy fields changing over time. Are the key factor for monitoring growth stage and paddy fields area promptly and accurately including the research and development for increasing competitiveness with government policies to achieve the goal of the country. This study used the image satellite obtained from Sentinel-2 by using the Google Earth Engine platform to create a vegetation phenology graph and study the rainfed rice growth stage using mathematical processes to detect start of season and end of season. The findings indicated that in Dokkumtai district, Phayao province most of the paddy fields in rainfed areas and use rainwater-based. As a result, can be planting only a single crop (In-season rice). The cropping season of rice between May–November and such period applies to selection data of Image difference divided into 2 methods consisting of single image method and composite image. the accuracy assessment by overall accuracy and kappa coefficient. It was found that composite image method can give more accuracy single image method without noise signals due to clouds. The result of the study will show on web application can be using the browser and the extension and used as a guideline for further development of the Rice monitoring platform and solving the complexity of sustainable agriculture.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของผลผลิตและการประยุกต์ต่อยอดการโครงการวิจัย  
สัญญาเลขที่ วช.อว.(อ)(ภส)/190/2563 จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำเร็จลุล่วงได้  
ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิติ เอี่ยมชื่น ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลักของการศึกษาในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นครินทร์ ชัยแก้ว  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภพ แพงวังทอง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานัส ศรีวินิช กรรมการ  
ควบคุมวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำแนะนำการปรับปรุงแก้ไข และชี้แนะให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความ  
สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ นอกจากนี้ผู้เขียน  
ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ  
และการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้  
คำปรึกษาแก่ข้าพเจ้า รวมถึงครอบครัวที่สนับสนุนด้านการศึกษาตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อน พี่ๆ  
น้องๆ ทุกท่านที่เป็นกำลังใจให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้เขียนมีความคาดหวัง  
ว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นส่วนหนึ่งของการต่อยอดไอเดีย และนำไปสู่การพัฒนาที่ดียิ่งขึ้นต่อไป

ภูมิพัฒน์ อุ่นบ้าน

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                       | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ฉ    |
| สารบัญ.....   | ช    |
| สารบัญตาราง.....  | ฎ    |
| สารบัญภาพ.....  | ฉ    |
| บทที่ 1.....  | 1    |
| บทนำ.....   | 1    |
| ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....                           | 1    |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                                  | 2    |
| ขอบเขตของการวิจัย.....  | 3    |
| นิยามศัพท์เฉพาะ.....  | 4    |
| ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย.....                           | 4    |
| กรอบแนวคิด.....   | 4    |
| บทที่ 2.....  | 6    |
| เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                           | 6    |
| 1.เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-information Technology).....     | 7    |
| 1.1 ดาวเทียมเซนทิเนล (Sentinel Satellites).....               | 8    |
| 1.2 แพลตฟอร์มกูเกิ้ล เอิร์ธ เอนจิน (Google Earth Engine)..... | 9    |
| 2.ความรู้พื้นฐานเรื่องข้าว.....                               | 10   |
| 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว.....                           | 10   |

|   |    |
|---|----|
| 2.2 รอบการเพาะปลูก และวงจรชีวิตของข้าว (Crop and Life Cycle of Rice) .....          | 12 |
| 3.ชีพลักษณะของพืชพรรณ และการปรับปรุง.....   | 14 |
| 3.1 ชีพลักษณะพืชพรรณ (Vegetation Phenology) .....                                   | 14 |
| 3.2 การใช้ดัชนีจากดาวเทียมเพื่อตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพืชพรรณ .....               | 15 |
| 3.3 การปรับแก้ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยการวิเคราะห์แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Analysis)..... | 19 |
| 3.4 การระบุตำแหน่ง SOS/EOS ด้วย Modify Dynamic Threshold Method .....               | 22 |
| 3.5 ความสัมพันธ์ของข้อมูล (Relationships) .....                                     | 24 |
| 4.กระบวนการจำแนกข้อมูลภาพด้วยข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล.....                         | 25 |
| 4.1 เทคนิคผลต่างภาพ (Image Difference).....   | 25 |
| 4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล .....  | 26 |
| 5.การให้บริการข้อมูลบนเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) .....                       | 28 |
| 5.1 การให้บริการข้อมูลผ่านเครือข่าย .....   | 28 |
| 5.2 มาตรฐานภูมิสารสนเทศ (Geographic Information Standard) .....                     | 28 |
| 5.3 ข้อมูลแผนที่บนระบบเครือข่าย (Web Mapping).....                                  | 29 |
| 5.4 ระบบฐานข้อมูล PostgreSQL.....   | 29 |
| 5.5 ระบบให้บริการ Geoserver.....  | 30 |
| 5.6 Quantum GIS (QGIS).....   | 30 |
| 6.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการสังเคราะห์ .....                                      | 30 |
| 6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....   | 30 |
| 6.2 การใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลเพื่อติดตามพื้นที่เพาะปลูก .....                    | 40 |
| บทที่ 3.....  | 44 |
| วิธีดำเนินการวิจัย.....   | 44 |
| เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....   | 44 |

|   |    |
|---|----|
| ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา .....  | 44 |
| วิธีการวิเคราะห์ .....  | 47 |
| 1.การประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อสร้างกราฟซีพลักษณ์พืชพรรณ.....  | 49 |
| 1.1 การเรียกใช้ และคัดกรองภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2.....  | 49 |
| 1.2 การปรับแก้ข้อมูลด้วยวิธีคำนวณอัตราส่วนช่วงคลื่น .....   | 49 |
| 1.3 การคำนวณค่าสถิติ และนำเสนอข้อมูลซีพลักษณ์พืชพรรณ .....  | 49 |
| 2.กราฟซีพลักษณ์พืชพรรณ และการปรับปรุง .....   | 50 |
| 2.1 ลดขนาดของสัญญาณรบกวน และปรับเรียบข้อมูลด้วยกระบวนการ HANTS.....   | 50 |
| 2.2 ระบุตำแหน่งของ SOS/EOS ด้วย Modify Dynamic Threshold Method .....   | 50 |
| 2.3 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของซีพลักษณ์กับข้อมูลการสำรวจ<br>ภาคพื้นดิน.....                                       | 50 |
| 1.การตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวโดยใช้เทคนิคผลต่างระหว่างภาพ .....  | 50 |
| 1.1 เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว (Single Image).....   | 51 |
| 1.2 เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม (Composite) .....  | 51 |
| 1.3 การประมวลผลเพื่อระบุพื้นที่เพาะปลูกข้าว.....  | 52 |
| 2.การประเมินความถูกต้องจากการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าว.....   | 52 |
| 3.การให้บริการข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน .....   | 52 |
| บทที่ 4 .....   | 54 |
| ผลการวิเคราะห์ข้อมูล/ผลการทดลอง/ผลการวิจัย .....  | 54 |
| 1.ผลการศึกษาการประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อสร้างกราฟซีพลักษณ์พืชพรรณ<br>และระยะพัฒนาการของข้าว.....                      | 58 |
| 2.ผลการวิเคราะห์ระบุตำแหน่ง SOS/EOS และการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่าง<br>คุณลักษณะของซีพลักษณ์กับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน..... | 75 |
| 2.1 การระบุตำแหน่ง SOS/EOS ด้วย Modify Dynamic Threshold Method.....  | 75 |

|   |     |
|---|-----|
| 2.2 พิจารณาช่วงการเพาะปลูกจากดัชนี SAVI .....   | 88  |
| 2.3 พิจารณาช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด และช่วงที่ไม่มีการเจริญเติบโต .....            | 91  |
| 2.4 ผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของชีพลักษ์กับข้อมูลการสำรวจ<br>ภาคพื้นดิน ..... | 91  |
| 1.ผลการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวโดยใช้เทคนิคผลต่างระหว่างภาพ .....                      | 101 |
| 1.1 ผลการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว (Single Image).....                             | 101 |
| 1.2 ผลการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม (Composite).....                                   | 103 |
| 1.3 ผลการประมวลผลเพื่อระบุพื้นที่เพาะปลูกข้าว .....                                     | 105 |
| 1.3.1 การจัดกลุ่มข้อมูลของเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว (Single Image) .....              | 106 |
| 1.3.2 การจัดกลุ่มข้อมูลของเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม (Composite) ....                     | 107 |
| 2.การประเมินความถูกต้อง.....  | 109 |
| 2.1 การประเมินความถูกต้องจากการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว.....                      | 109 |
| 2.2 การประเมินความถูกต้องจากการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม.....                         | 111 |
| 3.การให้บริการข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน .....   | 113 |
| บทที่ 5 .....   | 114 |
| บทสรุป .....  | 114 |
| สรุปผลการวิจัย .....  | 114 |
| แผนภูมิเส้นที่ใช้แสดง.....  | 115 |
| การประยุกต์ใช้สมการ Modify Dynamic Threshold Method ที่เป็นการคำนวณขนาด<br>ของ .....    | 115 |
| อภิปรายผลการวิจัย.....  | 119 |
| ข้อเสนอแนะ.....   | 124 |
| บรรณานุกรม .....  | 125 |
| ประวัติผู้วิจัย .....   | 135 |

## สารบัญตาราง

|   | หน้า |
|---|------|
| ตาราง 1 ช่วงคลื่นของดาวเทียม Sentinel-2A และ 2B ระบบ Multispectral (MSI)..... | 8    |
| ตาราง 2 การตรวจสอบค่าความถูกต้องโดยใช้ตารางคำนวณค่าความผิดพลาด .....          | 27   |
| ตาราง 3 ดัชนีที่ใช้ติดตามสถานะการเปลี่ยนแปลงของพืชด้วยกราฟซีฟลักซ์ ..... 42   | 42   |
| ตาราง 4 ระยะการเจริญเติบโตแปลงทดสอบบรหส์ Paddy Field 1.....                   | 60   |
| ตาราง 5 ระยะการเจริญเติบโตแปลงทดสอบบรหส์ Paddy Field 2.....                   | 62   |
| ตาราง 6 ระยะการเจริญเติบโตแปลงทดสอบบรหส์ Paddy Field 3.....                   | 64   |
| ตาราง 7 ระยะการเจริญเติบโตแปลงทดสอบบรหส์ Paddy Field 4.....                   | 66   |
| ตาราง 8 ระยะการเจริญเติบโตแปลงทดสอบบรหส์ Paddy Field 5.....                   | 68   |
| ตาราง 9 ระยะการเจริญเติบโตแปลงทดสอบบรหส์ Paddy Field 6.....                   | 70   |
| ตาราง 10 แสดงค่าดัชนีพืชพรรณเฉลี่ยรายเดือน ของแปลงทดสอบ .....                 | 72   |
| ตาราง 11 ตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์แปลงทดสอบ Paddy Field 1-6 .....              | 76   |
| ตาราง 12 ผลต่างของวันจากสมการและวันเริ่มต้นการเพาะปลูกจริงจาก LSWI.....       | 77   |
| ตาราง 13 ผลต่างของวันจากสมการและวันเริ่มต้นการเพาะปลูกจริงจากดัชนี NDVI.....  | 77   |
| ตาราง 14 ผลต่างของวันจากสมการและวันเริ่มต้นการเพาะปลูกจริงจากดัชนี SAVI ..... | 78   |
| ตาราง 15 ผลต่างของวันจากสมการและวันสิ้นสุดการเพาะปลูกจริงจากดัชนี LSWI.....   | 78   |
| ตาราง 16 ผลต่างของวันจากสมการและวันสิ้นสุดการเพาะปลูกจริงจากดัชนี NDVI .....  | 79   |
| ตาราง 17 ผลต่างของวันจากสมการและวันสิ้นสุดการเพาะปลูกจริงจากดัชนี SAVI .....  | 79   |
| ตาราง 18 การประเมินความสอดคล้องด้วย Root Mean Square Error ของ LSWI.....      | 80   |
| ตาราง 19 การประเมินความสอดคล้องด้วย Root Mean Square Error ของ NDVI.....      | 80   |
| ตาราง 20 การประเมินความสอดคล้องด้วย Root Mean Square Error ของ SAVI.....      | 81   |
| ตาราง 21 การประเมินความสอดคล้องด้วย LSWI (ปักดำ แปลงทดสอบ 1, 3 และ 5) .....   | 82   |

|  |     |
|--|-----|
| ตาราง 22 การประเมินความสอดคล้องด้วย NDVI (ปักดำ แปลงทดสอบ 1, 3 และ 5).....     | 83  |
| ตาราง 23 การประเมินความสอดคล้องด้วย SAVI (ปักดำ แปลงทดสอบ 1, 3 และ 5).....     | 83  |
| ตาราง 24 การประเมินความสอดคล้องด้วย LSWI (หว่านแห้ง แปลงทดสอบ 2, 4 และ 6)..... | 84  |
| ตาราง 25 การประเมินความสอดคล้องด้วย NDVI (หว่านแห้ง แปลงทดสอบ 2, 4 และ 6)..... | 85  |
| ตาราง 26 การประเมินความสอดคล้องด้วย SAVI (หว่านแห้ง แปลงทดสอบ 2, 4 และ 6)..... | 86  |
| ตาราง 27 สรุปการประเมินความสอดคล้องทั้ง 3 ดัชนี .....                          | 86  |
| ตาราง 28 สรุปดัชนีและระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมของดัชนี SAVI .....                   | 88  |
| ตาราง 29 พิจารณาช่วงการเพาะปลูกแบบรวมทุกแปลง.....                              | 89  |
| ตาราง 30 พิจารณาช่วงการเพาะปลูกแบบแยกวิธีการเพาะปลูกแบบปักดำ .....             | 89  |
| ตาราง 31 พิจารณาช่วงการเพาะปลูกแบบแยกวิธีการเพาะปลูกแบบหว่านแห้ง .....         | 90  |
| ตาราง 32 ช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด-ต่ำที่สุด เฉลี่ย .....               | 91  |
| ตาราง 33 การประเมินความถูกต้องจากการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว .....       | 110 |
| ตาราง 34 การประเมินความถูกต้องจากการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว.....        | 110 |
| ตาราง 35 การประเมินความถูกต้องจากการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม .....          | 111 |
| ตาราง 36 การประเมินความถูกต้องจากการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม .....          | 111 |



## สารบัญภาพ

|   | หน้า |
|---|------|
| ภาพ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....   | 3    |
| ภาพ 2 กรอบแนวคิด.....   | 5    |
| ภาพ 3 องค์ประกอบของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ.....                                   | 7    |
| ภาพ 4 การจำลองวัฏจักรการปลูกข้าวด้วยความเป็นชีพลักษณะพืชพรรณ.....               | 14   |
| ภาพ 5 การสะท้อนของช่วงคลื่นด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI.....                           | 17   |
| ภาพ 6 การระบุตำแหน่งของ SOS/EOS ด้วย Modify Dynamic Threshold Method.....       | 24   |
| ภาพ 7 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา และลุ่มน้ำย่อย.....                                    | 46   |
| ภาพ 8 ตัวอย่างตำแหน่งของแปลงจุดสำรวจย่อย (Plot).....                            | 46   |
| ภาพ 9 ขั้นตอนการศึกษา.....  | 48   |
| ภาพ 10 การให้บริการข้อมูลบนเว็บแอปพลิเคชัน.....                                 | 53   |
| ภาพ 11 ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน กระดานสรุปข้อมูลและแผนที่.....                   | 53   |
| ภาพ 12 แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 1.....   | 55   |
| ภาพ 13 แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 2.....   | 55   |
| ภาพ 14 แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 3.....   | 56   |
| ภาพ 15 แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 4.....   | 56   |
| ภาพ 16 แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 5.....   | 57   |
| ภาพ 17 แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 6.....   | 57   |
| ภาพ 18 Script การเรียกใช้ข้อมูลดาวเทียมด้วย GEE.....                            | 58   |
| ภาพ 19 ตัวอย่างผลลัพธ์เปรียบเทียบข้อมูลที่ยังไม่ผ่านและผ่านกระบวนการ HANTS..... | 59   |
| ภาพ 20 กราฟชีพลักษณะแปลงเพาะปลูก Paddy Filed 1.....                             | 60   |
| ภาพ 21 การพัฒนาของต้นข้าวแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 1.....                       | 61   |

|   |    |
|---|----|
| ภาพ 22 กราฟชีพลักษณะแปลงทดสอบPaddy Filed 2 .....                              | 63 |
| ภาพ 23 การพัฒนาของต้นข้าวแปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 2.....                    | 63 |
| ภาพ 24 กราฟชีพลักษณะแปลงทดสอบ Paddy Filed 3.....                              | 65 |
| ภาพ 25 การพัฒนาของต้นข้าวแปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 3.....                    | 65 |
| ภาพ 26 กราฟชีพลักษณะแปลงทดสอบ Paddy Filed 4.....                              | 67 |
| ภาพ 27 การพัฒนาของต้นข้าวแปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 4.....                    | 67 |
| ภาพ 28 กราฟชีพลักษณะแปลงทดสอบPaddy Filed 5.....                               | 69 |
| ภาพ 29 การพัฒนาของต้นข้าวแปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 5.....                    | 69 |
| ภาพ 30 กราฟชีพลักษณะแปลงทดสอบบรหัท Paddy Filed 6.....                         | 70 |
| ภาพ 31 การพัฒนาของต้นข้าวแปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 6.....                    | 71 |
| ภาพ 32 กราฟชีพลักษณะแสดง LSWI 6 แปลงทดสอบ .....                               | 74 |
| ภาพ 33 กราฟชีพลักษณะแสดง NDVI 6 แปลงทดสอบ .....                               | 74 |
| ภาพ 34 กราฟชีพลักษณะแสดง SAVI 6 แปลงทดสอบ.....                                | 75 |
| ภาพ 35 การประเมินความสอดคล้องด้วย Root Mean Square Error ของLSWI .....        | 80 |
| ภาพ 36 การประเมินความสอดคล้องด้วย Root Mean Square Error ของ NDVI.....        | 81 |
| ภาพ 37 การประเมินความสอดคล้องด้วย Root Mean Square Error ของ SAVI.....        | 81 |
| ภาพ 38 การประเมินความสอดคล้องด้วย LSWI (ปักดำ แปลงทดสอบ 1, 3 และ 5).....      | 82 |
| ภาพ 39 การประเมินความสอดคล้องด้วย NDVI (ปักดำ แปลงทดสอบ 1, 3 และ 5).....      | 83 |
| ภาพ 40 การประเมินความสอดคล้องด้วย SAVI (ปักดำ แปลงทดสอบ 1, 3 และ 5) .....     | 84 |
| ภาพ 41 การประเมินความสอดคล้องด้วย LSWI (หว่านแห้ง แปลงทดสอบ 2, 4 และ 6).....  | 85 |
| ภาพ 42 การประเมินความสอดคล้องด้วย NDVI (หว่านแห้ง แปลงทดสอบ 2, 4 และ 6) ..... | 85 |
| ภาพ 43 การประเมินความสอดคล้องด้วย SAVI (หว่านแห้ง แปลงทดสอบ 2, 4 และ 6).....  | 86 |
| ภาพ 44 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 1 (ตลอดฤดูการ) .....    | 92 |
| ภาพ 45 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 1.....                  | 93 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| ภาพ 46 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงแปลงทดสอบ Paddy Field 2 (ตลอดฤดูการ).....  | 94  |
| ภาพ 47 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 2 .....                  | 94  |
| ภาพ 48 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 3 (ตลอดฤดูการ).....      | 95  |
| ภาพ 49 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 3.....                   | 95  |
| ภาพ 50 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 4 (ตลอดฤดูการ)..... | 96  |
| ภาพ 51 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 4.....              | 97  |
| ภาพ 52 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 5 (ตลอดฤดูการ)..... | 98  |
| ภาพ 53 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 5.....                   | 98  |
| ภาพ 54 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 6 (ตลอดฤดูการ).....      | 99  |
| ภาพ 55 | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 6.....                   | 99  |
| ภาพ 56 | ปฏิทินการเพาะปลูกข้าวนาปีในพื้นที่ศึกษา.....                            | 100 |
| ภาพ 57 | ตัวแทนภาพถ่ายจากดาวเทียมสำหรับเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว .....         | 102 |
| ภาพ 58 | ผลลัพธ์ผลต่างของดัชนีพืชพรรณโดยใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว .....     | 103 |
| ภาพ 59 | ตัวแทนภาพถ่ายจากดาวเทียมสำหรับเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม.....             | 104 |
| ภาพ 60 | ผลลัพธ์ผลต่างของดัชนีพืชพรรณโดยใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม.....         | 105 |
| ภาพ 61 | ผลลัพธ์การจัดกลุ่มข้อมูลของเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว.....             | 106 |
| ภาพ 62 | ผลลัพธ์การจัดกลุ่มข้อมูลของเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม.....                | 108 |
| ภาพ 63 | จุดตรวจสอบและการสำรวจการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....                          | 112 |
| ภาพ 64 | เว็บแอปพลิเคชัน กระดานสรุปข้อมูลและแผนที่ .....                         | 113 |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันรัฐบาลไทยให้ความสำคัญกับการพัฒนาประเทศสู่การเป็นประเทศที่พัฒนาแล้ว โดยขับเคลื่อนไปสู่เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ซึ่งเป็นเป้าหมายระดับสากลมาเป็นกรอบแนวทางจัดทำยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี โดยเฉพาะยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ที่มีแนวทางใช้พื้นที่เป็นตัวตั้งในการกำหนดกลยุทธ์และแผนงาน นอกจากนี้ยังมีการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในแพลตฟอร์มที่ 3 และโปรแกรมที่ 10 (กระทรวงการอุดมศึกษาวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม, 2562) ยุทธศาสตร์ข้าวของไทย ปี พ.ศ.2563 – 2567 มีวิสัยทัศน์ “ไทยเป็นผู้นำตลาดนำการผลิต การตลาดข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าวคุณภาพของโลก” โดยเฉพาะการส่งออกข้าวหอมมะลิสู่ตลาดพรีเมียม แต่ในปัจจุบันผลผลิตข้าวของไทยยังคงต่ำกว่าคู่แข่งมาก ข้อมูลปี พ.ศ.2560-2562 ประเทศไทยมีผลผลิตข้าวเฉลี่ยเพียง 446 กิโลกรัม/ไร่ แตกต่างจากประเทศจีน, เวียดนาม, ปากีสถาน และอินเดียที่สามารถผลิตได้ 1,099, 862, 605 และ 593 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ (กรมการข้าว, 2564) ประเทศไทยต้องอาศัยองค์ความรู้จากการวิจัยนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนเพื่อบรรลุเป้าหมายของทิศทางการพัฒนาประเทศ อีกทั้งกรมการข้าวได้กำหนดทิศทางการทำงานแบบข้อมูลขนาดใหญ่เชิงพื้นที่ (Spatial Big Data) ภายใต้ข้อเสนอโครงการพัฒนาระบบข้อมูลข้าวอัจฉริยะ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้เทคโนโลยี (กรมการข้าว, 2564)

ในปัจจุบันมีหลายหน่วยงานที่นำเทคโนโลยีเชิงพื้นที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS) และการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing) เข้ามาเป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผน วิเคราะห์ และพัฒนาข้อมูลด้านเกษตรกรรมโดยใช้ศักยภาพของข้อมูลดาวเทียม เป็นส่วนช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจ และพัฒนาระบบบริหารจัดการการเกษตรที่แม่นยำ ซึ่งสอดคล้องกับกรอบการวิจัยที่ 2 การเกษตรแม่นยำสูง (Precision Agriculture) ภายใต้แผนงานเกษตรสมัยใหม่ของสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2563)

จังหวัดพะเยาเป็นอีกหนึ่งแหล่งปลูกข้าวหอมมะลิที่มีคุณภาพได้รับการขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์จากกรมทรัพย์สินทางปัญญาว่าเป็น “ข้าวหอมมะลิพะเยา”

(กรมทรัพย์สินทางปัญญา, 2563) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ “ข้าว” เป็นผลิตภัณฑ์เศรษฐกิจฐานรากของจังหวัดพะเยา โดยเฉพาะในอำเภอดอกคำใต้ซึ่งเป็นอำเภอที่มีการเพาะปลูกข้าวมากที่สุด มีพื้นที่เพาะปลูกมากถึง 198,975 ไร่ (ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ.2563) และมีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่นอกเขตการให้บริการชลประทาน หลายหน่วยงานภาครัฐจึงให้ความสำคัญกับข้อมูลที่มีความถูกต้องเพื่อนำไปบริหารจัดการด้านต่าง ๆ ทั้งในระดับท้องถิ่นและลุ่มน้ำโขงเหนือ จากประเด็นดังกล่าวผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นศึกษาถึงความเป็นชีพลักษณะของข้าวซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับลักษณะทางพฤกษศาสตร์ และมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Zhang, et al., 2003) อีกทั้งยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับติดตามพื้นที่เกษตรกรรมที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น (Zheng, et al., 2016) โดยการพิจารณาจากกราฟชีพลักษณะบนแกนเวลา ประกอบกับการศึกษาที่ผ่านมาโดยมากจะเป็นการศึกษาชีพลักษณะของข้าวในเขตพื้นที่ให้บริการชลประทานซึ่งมีการควบคุมน้ำให้เพียงพอตลอดทั้งปีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ราบ และบริเวณตอนกลางของประเทศ แตกต่างจากจังหวัดพะเยาโดยเฉพาะอำเภอดอกคำใต้ พื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่อยู่นอกเขตการให้บริการชลประทาน และคลองส่งน้ำจึงเป็นอีกหนึ่งความท้าทายของการศึกษารุ่นนี้ที่มุ่งหวังให้ผลของชีพลักษณะต่อยอดสู่การพัฒนากลไกสำหรับติดตามการเจริญเติบโต และประเมินพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีในอำเภอดอกคำใต้ด้วยเทคนิคการรับรู้ระยะไกลร่วมกับศาสตร์เชิงพื้นที่ และเสนออีกมุมมองหนึ่งเพื่อแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อน และท้าทาย ในด้านการเกษตร พัฒนาเข้าสู่ระบบข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) และนำไปสู่การสร้างแพลตฟอร์มสำหรับติดตามสถานการณ์ข้าว มุ่งหมายให้เป็นประโยชน์และเพิ่มศักยภาพการปฏิบัติงาน การบริการแก่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องผ่านกระดานสรุปข้อมูลแผนที่ออนไลน์ (Web Mapping) ภายใต้การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสามารถเข้าถึงและใช้งานได้สะดวก ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้จะสร้างโอกาสในการวางแผนจัดการที่เป็นระบบ พัฒนาสู่นโยบาย และก่อให้เกิดแนวทางการแก้ปัญหาอย่างยั่งยืน

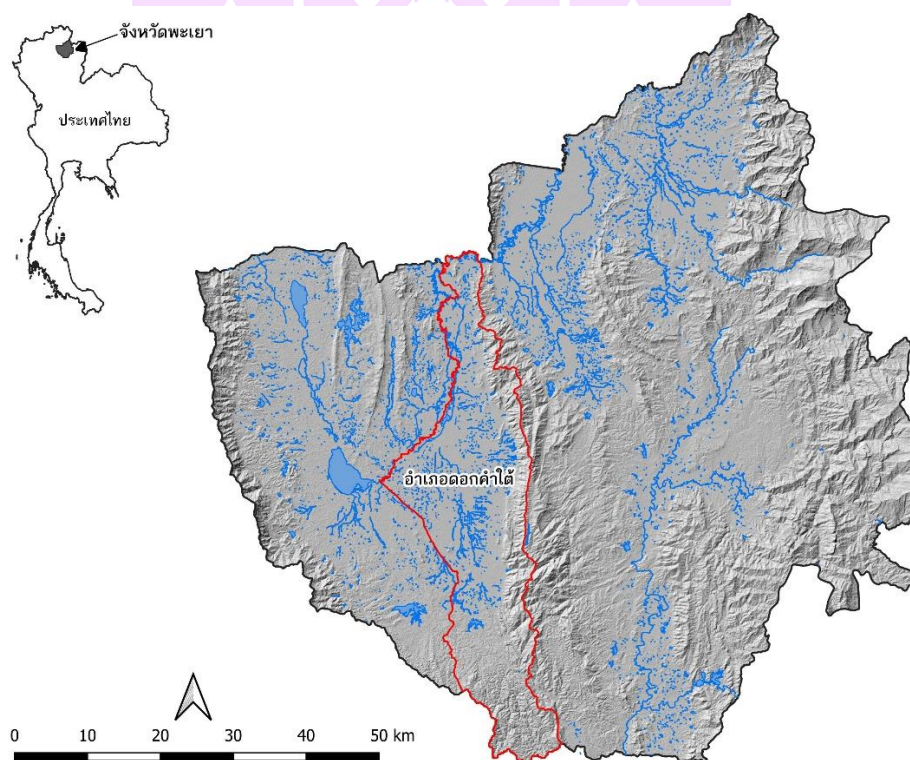
### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. สร้างปฏิทินการเพาะปลูกของข้าวนาปีโดยอาศัยลักษณะชีพลักษณะพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา
2. ตรวจสอบพื้นที่เพาะปลูกนาปีข้าวภายในอำเภอดอกคำใต้ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา

### ขอบเขตของการวิจัย

**ขอบเขตด้านเนื้อหา** การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้เทคนิคประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อศึกษาระยะพัฒนาการของข้าวนาปี และตรวจหาพื้นที่ปลูกข้าวนาปีโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนทิเนล-2 ระหว่างเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม พ.ศ.2564 และพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อแสดงผลข้อมูลที่สำคัญ และข้อมูลเชิงตำแหน่ง

**ขอบเขตด้านพื้นที่** ดำเนินการศึกษาภายในพื้นที่ อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา ครอบคลุมพื้นที่ 447,351 ไร่ หรือ 715 ตารางกิโลเมตร



ภาพ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

## นิยามศัพท์เฉพาะ

ศัพท์ลักษณะของข้าว หมายถึง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลเพื่อเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลง การแสดงออกของต้นข้าวในรอบฤดูกาลเพาะปลูกตั้งแต่เกิดหน่อแรกแตกกอ ออกดอก แก่ชรา จนถึงสิ้นสุดอายุขัย ผลลัพธ์จากการศึกษาศัพท์ลักษณะของข้าวสามารถบอกถึงช่วงเวลาของการเพาะปลูกในรอบฤดูกาล นำไปสู่การตัดสินใจเพื่อคัดกรองข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแบบอนุกรมเวลาใช้ในกระบวนการประเมินพื้นที่เพาะปลูกข้าว

แพลตฟอร์มติดตามสถานการณ์ข้าว หมายถึง เว็บไซต์พลิเคชันที่แสดงผลลัพธ์และสิ่งที่ค้นพบจากการศึกษาด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ และกระดานสรุปข้อมูล ผู้ใช้สามารถสืบค้นข้อมูลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ และสามารถเข้าถึงได้จากหลากหลายอุปกรณ์

## ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย

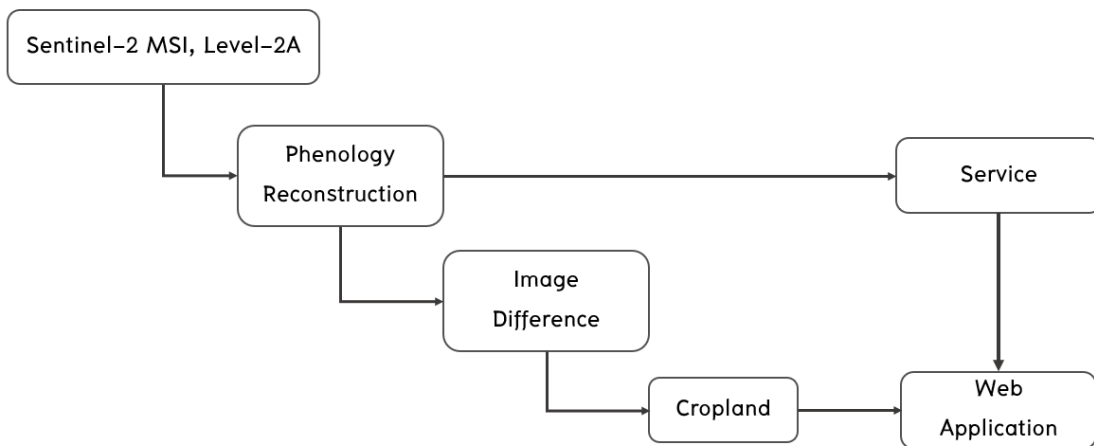
1. ลักษณะความเป็นศัพท์ลักษณะของพื้นที่ปลูกข้าวนาปี และระยะพัฒนาการของข้าว รวมถึงวันเริ่มต้น - สิ้นสุดการเพาะปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา นำไปต่อยอดเพื่อประเมินพื้นที่เพาะปลูกข้าว

2. พื้นที่เพาะปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา และเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการติดตามพื้นที่เพาะปลูกข้าวโดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม

3. แพลตฟอร์มติดตามสถานการณ์ข้าวบนระบบสารสนเทศ (เว็บไซต์พลิเคชัน) เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจประกอบกับการวางแผนบริหารจัดการสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้ที่เกี่ยวข้อง

## กรอบแนวคิด

ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนทิเนล-2 ในปี พ.ศ.2564 (1 มกราคม - 31 ธันวาคม) วิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ปลูกข้าวตลอดฤดูกาลเพาะปลูกด้วยดัชนีพืชพรรณ เพื่อสร้างเป็นกราฟศัพท์ลักษณะ และพิจารณาช่วงเวลา และระยะเวลาการเพาะปลูกข้าวประจำปี จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้เป็นข้อมูลสำหรับการคัดกรองชุดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมก่อนนำไปประเมินพื้นที่เพาะปลูกข้าวด้วยเทคนิคผลต่างภาพ และให้บริการผลลัพธ์จากการศึกษาบนเว็บไซต์พลิเคชัน



ภาพ 2 กรอบแนวคิด



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะอธิบายถึงแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่มีความสำคัญต่อแนวทางการศึกษาอันประกอบไปด้วย

- 1.เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-information Technology)
  - 1.1 ดาวเทียมเซนทิเนล (Sentinel Satellites)
  - 1.2 แพลตฟอร์มกูเกิ้ล เอิร์ธ เอนจิน (Google Earth Engine: GEE)
- 2.ความรู้พื้นฐานเรื่องข้าว
  - 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว
  - 2.2 รอบการเพาะปลูก และวงจรชีวิตของข้าว (Crop and Life Cycle of Rice)
- 3.ซีพีลักษณะของพืชพรรณ และการปรับปรุง
  - 3.1 ซีพีลักษณะพืชพรรณ (Vegetation Phenology)
  - 3.2 การใช้ดัชนีจากดาวเทียมเพื่อตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพืชพรรณ
  - 3.3 การปรับแก้ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยการวิเคราะห์แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Analysis)
  - 3.4 การระบุตำแหน่ง SOS/EOS ด้วย Modify Dynamic Threshold Method
  - 3.5 ความสัมพันธ์ของข้อมูล (Relationships)
- 4.กระบวนการจำแนกข้อมูลภาพด้วยข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล
  - 4.1 เทคนิคผลต่างภาพ (Image Difference)
  - 4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล
- 5.การให้บริการข้อมูลบนเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application)
  - 5.1 การให้บริการข้อมูลผ่านเครือข่าย
  - 5.2 มาตรฐานภูมิสารสนเทศ (Geographic Information Standard)
  - 5.3 ข้อมูลแผนที่บนระบบเครือข่าย (Web Mapping)
- 6.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการสังเคราะห์
  - 6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
  - 6.2 การใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลเพื่อติดตามพื้นที่เพาะปลูก

## 1.เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-information Technology)

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศคือเครื่องมือที่ใช้สำหรับจัดการกับข้อมูลเชิงพื้นที่ รวมไปถึงข้อมูลเชิงตำแหน่งของสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่บนพื้นโลก และในชั้นบรรยากาศ เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นการนำเอา 3 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์เชิงพื้นที่ผสมผสานด้วยกัน ซึ่งประกอบไปด้วยเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing: RS) ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกด้วยดาวเทียม (Global Positioning Systems: GPS) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) โดยนิยมเรียกกันว่า “เทคโนโลยีสามเอส” ทั้งสามเทคโนโลยีนั้นช่วยสนับสนุน และเพิ่มขีดความสามารถในการทำงานเชิงพื้นที่ของกันและกัน เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศสามารถสนับสนุน และเพิ่มประสิทธิภาพให้กับงานเชิงพื้นที่ได้ ยกตัวอย่างเช่น งานด้านการบริหารจัดการป่าไม้ การวางแผนการเกษตร การวางผังเมือง คมนาคมและขนส่ง และการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ด้วยศักยภาพของข้อมูลดาวเทียมที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในงานเชิงพื้นที่นั้น เราสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในคาบเวลา ประมวลผล และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ หรือการเชื่อมโยงเชิงพื้นที่ ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศสามารถนำมาประกอบการวางแผน และการตัดสินใจได้รวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อให้ได้สารสนเทศที่ถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น เช่น วิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science) การสำรวจและการทำแผนที่ (Survey and Mapping) และระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System) (นครินทร์ ชัยแก้ว, 2560)



ภาพ 3 องค์ประกอบของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

### 1.1 ดาวเทียมเซนทิเนล (Sentinel Satellites)

ดาวเทียมเซนทิเนล (Sentinel Satellites) เป็นกลุ่มดาวเทียมที่มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สำหรับภารกิจสังเกตการณ์โลก (Earth Observation) ได้รับการพัฒนาภายใต้โครงการ Copernicus ดูแลโดยองค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency: ESA) และ คณะกรรมาธิการยุโรป (European Commission: EC) ประกอบไปด้วยดาวเทียม Sentinel-1A และ 1B ด้วยเครื่องมือการรับแสง Synthetic Aperture Radar (SAR) ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลได้ในทุกสภาพอากาศ, Sentinel-3 ใช้เพื่อสนับสนุนภารกิจด้านมหาสมุทร พื้นดิน น้ำแข็ง และระดับความสูงของผิวน้ำทะเล รวมไปถึงความหนาของน้ำแข็งในทะเล, Sentinel-5 บันทึกข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการประเมินคุณภาพและความเข้มข้นของละอองลอยในอากาศ, โอโซน, มีเทน, พอร์มาลดีไฮด์, คาร์บอนมอนอกไซด์, ไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ส่วนดาวเทียมที่นิยมใช้เพื่อศึกษาและตรวจสอบพื้นดิน น้ำ และความเสียด้านภัยพิบัติ ตลอดจนติดตามความเป็นพิษพรรณในพื้นที่ได้แก่ภารกิจของดาวเทียม Sentinel-2 ซึ่งเป็นดาวเทียมที่บันทึกภาพแบบหลายช่วงคลื่นความละเอียดเชิงจุดภาพสูง ประกอบไปด้วยดาวเทียมจำนวน 2 ดวงได้แก่ Sentinel-2A (เข้าสู่วงโคจร 23 มิถุนายน 2558) และ Sentinel-2B (เข้าสู่วงโคจร 7 มีนาคม 2560) ดาวเทียมทั้งสองดวงมีเครื่องมือสำหรับการบันทึกภาพแบบเดียวกัน แต่มีวงโคจรที่แตกต่างกันเพื่อร่วมกันบันทึกข้อมูล ดาวเทียมแต่ละดวงจะมีรอบการวนซ้ำทุก ๆ 10 วัน เมื่อได้รับข้อมูลจากดาวเทียมทั้งสองดวงจะมีรอบการวนซ้ำที่ถี่มากยิ่งขึ้น (Drusch, et al., 2012; Piazzini, et al., 2019)

ตาราง 1 ช่วงคลื่นของดาวเทียม Sentinel-2A และ 2B ระบบ Multispectral (MSI)

| Name   | Resolution (m) | Wavelength (nm) |       | Description     |
|--------|----------------|-----------------|-------|-----------------|
|        |                | 2A              | 2B    |                 |
| Band 1 | 60             | 443.9           | 442.3 | Coastal aerosol |
| Band 2 | 10             | 496.6           | 492.1 | Blue            |
| Band 3 | 10             | 560             | 559   | Green           |
| Band 4 | 10             | 664.5           | 665   | Red             |
| Band 5 | 20             | 703.9           | 703.8 | Red-edge 1      |
| Band 6 | 20             | 740.2           | 739.1 | Red-edge 2      |
| Band 7 | 20             | 782.5           | 779.7 | Red-edge 3      |

ตาราง 1 (ต่อ)

| Name    | Resolution (m) | Wavelength (nm) |        | Description                |
|---------|----------------|-----------------|--------|----------------------------|
|         |                | 2A              | 2B     |                            |
| Band 8  | 10             | 835.1           | 833    | Near infrared              |
| Band 8A | 20             | 864.8           | 864    | Red-edge 4                 |
| Band 9  | 60             | 945             | 943.2  | Water vapor                |
| Band 10 | 60             | 1375            | 1375   | Short-wave infrared Cirrus |
| Band 11 | 20             | 1613.7          | 1610.4 | Short-wave infrared 1      |
| Band 12 | 20             | 2202.4          | 2185.7 | Short-wave infrared 2      |

ที่มา: Piazzzi, et al. (2019) และ European Space Agency

## 1.2 แพลตฟอร์มกูเกิ้ล เอิร์ธ เอนจิน (Google Earth Engine)

ปัจจุบันหลายหน่วยงานของรัฐบาลเปิดให้บริการข้อมูลเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น องค์การอวกาศแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา, การสำรวจทางธรณีวิทยาของสหรัฐอเมริกา รวมไปถึงองค์การอวกาศยุโรป ด้วยปริมาณข้อมูลหลากหลายและมหาศาล นำมาสู่อุปสรรคในการจัดการข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่ไม่ว่าจะเป็นการแยกข้อมูล, การวางกรอบงานวิเคราะห์, บริหารจัดการระบบเครือข่าย ฯลฯ ซึ่งต้องอาศัยเจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เป็นข้อจำกัดในการเข้าถึง และพัฒนาต่อยอดของนักวิจัย ต่อมา Google Cloud Platform ได้เปิดผลิตภัณฑ์ ชื่อว่ากูเกิ้ล เอิร์ธ เอนจิน แพลตฟอร์ม (Google Earth Engine Platform: GEE) เป็นแพลตฟอร์มสำหรับวิเคราะห์ และประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่โดยอาศัยจาวัสคริปต์มีคลังข้อมูลขนาดใหญ่บรรจุไปด้วย ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์, ข้อมูลสภาพอากาศ, ข้อมูลดาวเทียม รวมไปถึงผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ผ่านการปรับแก้และผ่านการวิเคราะห์ในระดับหนึ่งแล้วให้บริการฟรี นอกจากนี้แพลตฟอร์ม GEE เป็นการประมวลผลบนคลาวด์โดยใช้งานผ่านเบราว์เซอร์ จึงทำให้ประหยัดทรัพยากรจัดเก็บข้อมูลบนอุปกรณ์ส่วนตัวของผู้ใช้ (Gorelick, et al., 2017)

## 2. ความรู้พื้นฐานเรื่องข้าว

### 2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว

ข้าว (Rice) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจำพวกหญ้าล้มลุกจัดอยู่ในวงศ์ Gramineae สกุล *Oryza* ลำต้นมีลักษณะรูปทรงกระบอกด้านในกลวง ข้าวหนึ่งต้นสามารถแตกหน่อได้ 5 – 15 หน่อ และมีตาอยู่ตามข้อซึ่งจะอยู่บริเวณใต้ผิวดินมีระบบรากเป็นแบบรากฝอย ใบข้าวจะมีลักษณะเป็นใบเรียวยาว และมีกาบห่อหุ้มตามลำต้นเอาไว้ กาบใบและแผ่นใบเชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อใบ และมีลึนใบอยู่ด้านบน ดอกของข้าวจะเป็นช่อบริเวณปลายสุดของลำต้นและมีดอกย่อย (Spikelet) เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะพัฒนาเป็นเมล็ดข้าวหลังจากผสมเกสรแล้ว (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2562) ข้าวเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ง่ายแต่มีอายุสั้นออกผลในลักษณะผลแห้งมีกาบแข็งสีเหลืองสองกาบหุ้มเรียกว่าข้าวเปลือก (รัตติกาล ศรีอำไพ, 2564) ข้าวสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพน้ำขัง โดยเฉพาะช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ และพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 13°C (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2550)

1. ประเภทของข้าว สามารถจำแนกได้หลายวิธีโดย คมกฤษณ์ ศิริรัมย์ (2554) ได้จำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

#### 1.1 จำแนกตามชนิด (Species)

##### 1.1.1 ข้าวปลูก (Cultivated)

##### 1.1.2 ข้าวป่า (Wild Rice)

#### 1.2 จำแนกตามแหล่งกำเนิด (Classification Based on Geographical Origins)

##### 1.2.1 อินเดียกา (Indica Group)

##### 1.2.2 จาпонิกา (Japonica Group)

##### 1.2.3 จาวานิกา (Javanica Group)

#### 1.3 จำแนกตามชนิดของแป้งในเมล็ด (Endosperm Characteristic)

##### 1.3.1 ข้าวเหนียว (Glutinous Rice)

##### 1.3.2 ข้าวเจ้า (Non – Glutinous Rice)

นอกจากนี้ (กรมวิชาการเกษตร, 2537, อ้างอิงใน คมกฤษณ์ ศิริรัมย์, 2554) ได้จำแนกออกเป็น 2 ประเภทย่อย ได้แก่จำแนกตามระบบนิเวศ และลักษณะความไวต่อแสงของข้าว

#### 1.1 จำแนกตามระบบนิเวศ (Ecosystem-based Classification)

1.1.1 ข้าวไร่ (Upland Rice หรือ Hill Rice) เป็นการปลูกข้าวในลักษณะของพื้นที่นอกเขตการให้บริการชลประทาน อาศัยน้ำฝนตามฤดูกาล

สภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่จะเป็นที่ดอนไม่มีการกักเก็บน้ำหรือทำคันนา และมีความทนทานต่อความแห้งแล้งพอสมควร

### 1.1.2 ข้าวนาสวน (Lowland Rice)

1) ข้าวนาสวนนาชลประทาน (Irrigated Lowland Rice) เป็นการปลูกข้าวในเขตการให้บริการชลประทาน ลักษณะของพื้นที่มีน้ำขัง และมีการทำคันนาเพื่อกักเก็บน้ำ รวมถึงใช้เครื่องจักรปรับหน้าดินให้เรียบ ส่วนมากจะใช้วิธีการปักดำหรือหว่านน้ำตมซึ่งไม่มีปัญหาการขาดน้ำ

2) ข้าวนาสวนน่าน้ำฝน (Rainfed Lowland Rice) เป็นการปลูกข้าวในสภาพน้ำขังมีการทำคันนาเพื่อกักเก็บน้ำให้เพียงพอต่อความชื้น และปริมาณที่ข้าวต้องการใช้ตลอดรอบการเพาะปลูกแต่อาศัยน้ำฝนตามฤดูกาล บางคราวน้ำในนาข้าวอาจแห้งหรือมีระดับสูงกว่าปกติเกิดจากปริมาณและการกระจายของฝนในฤดูกาลนั้น ๆ ด้วยเหตุนี้จึงนิยมเรียกว่า “ข้าวนาปี” อย่างไรก็ตามแม้ว่าข้าวนาน้ำฝนจะไม่มีระบบชลประทานแต่เมื่อข้าวขาดน้ำสามารถอาศัยน้ำจากบ่อกักเก็บน้ำในนาได้

3) ข้าวทนน้ำลึกและข้าวขึ้นน้ำ (Deepwater and Floating rice) เป็นการปลูกข้าวในฤดูฝนโดยมากจะปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้ง และอาศัยน้ำฝนตามฤดูกาล ทำคันนาเพื่อขังน้ำให้มีความลึกเกินกว่า 50 เซนติเมตร ข้าวน้ำลึก (Deepwater rice) หมายถึงข้าวที่ปลูกในสภาพน้ำขังมีระดับน้ำสูงไม่เกิน 1 เมตร แต่หากระดับน้ำสูงเกิน 1 เมตร จะเรียกว่า ข้าวขึ้นน้ำ (Floating rice)

1.2 จำแนกตามลักษณะความไวต่อช่วงแสง (Photoperiod Sensitivity Classification)

1.2.1 พันธุ์ข้าวไวแสงหรือข้าวไวต่อความยาวของช่วงแสง (Photoperiod Sensitive Rice Variety) โดยมากข้าวจะเป็นพืชวันสั้น (Short day plant) การเปลี่ยนจากระยะหนึ่งไปอีกระยะหนึ่ง จะต้องได้รับช่วงแสงต่อวันน้อยกว่า 12 ชั่วโมง ส่วนมากจะปลูกในฤดูนาปี หรือนาน้ำฝน ซึ่งจะมีวันออกทรง-ออกดอกค่อนข้างเป็นระบบ และช่วงเวลาเดียวกันทุกปีสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่

- 1) ข้าวเบา (Early Maturing rice)
- 2) ข้าวกลาง (Medium Maturing rice)
- 3) ข้าวหนัก (Late Maturing rice)

1.2.2 ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง (Photoperiod Insensitive Variety) เป็นข้าวที่สามารถนับอายุวันตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวได้แน่ชัด เช่น 100 วัน หรือ 120 วัน

มีการเจริญเติบโตเป็นระบบโดยไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของช่วงแสง เมื่ออายุครบ สามารถพัฒนาสู่ระยะการเจริญเติบโตระยะต่อไปโดยไม่อาศัยแสงเป็นตัวกำหนด สามารถเพาะปลูกได้ตลอดปี อย่างไรก็ตามข้าวชนิดนี้สามารถเปลี่ยนแปลงอายุได้ เช่นเดียวกับข้าวไวแสง ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ เช่น สภาพดิน ปุ๋ย ระบบการปลูก และการให้น้ำ โดยมากข้าวชนิดนี้จะนิยมปลูกทั่วไปในฤดูนาปรัง

## 2.2 รอบการเพาะปลูก และวงจรชีวิตของข้าว (Crop and Life Cycle of Rice)

โดยทั่วไปแล้วพื้นที่สำหรับเพาะปลูกข้าวจะถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่ พื้นที่ปลูกข้าวแบบนาปี (Single-Crop) และนาปรัง (Double-Crop) ส่วนใหญ่พื้นที่ใดที่สามารถปลูกข้าวนาปรังได้ บริเวณนั้นมักจะปลูกข้าวนาปีด้วยเช่นกัน เนื่องจากข้าวนาปรังเป็นการเพาะปลูกนอกฤดูกาล หากสามารถทำการเพาะปลูกได้หมายถึงพื้นที่นั้นมีน้ำเพียงพอสำหรับการเพาะปลูกตลอดปี Soontranon, Srestasathien and Rakwatin (2015) กล่าวว่าทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และพื้นที่นอกเขตการให้บริการของระบบชลประทาน มักจะมีการเพาะปลูกข้าวเพียงครั้งเดียวในรอบปี (นาปี หรือ นาหน้าฝน) ดังแสดงในภาพ 4 (a) ส่วนพื้นที่ภาคกลางส่วนใหญ่จะอยู่ภายในเขตการให้บริการของระบบชลประทานสามารถเพาะปลูกได้สองครั้งในรอบปี (นาปี และ นาปรัง) ดังแสดงในภาพ 4 (b)

จากเอกสารประกอบการบรรยายวิชาดินนา ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งเป็นข้อมูลจากงานวิจัยของ Ponnampetuma, F.N. (1976), Patrick, W.H. (1981). และ Kyuma, K. (1986, 2004). และอีกหลายท่าน ถูกเรียบเรียงและปรับปรุงโดยศาสตราจารย์ ดร.ทัศนีย์ อัดตะนันท์ วงจรชีวิตของข้าวจะอยู่ในช่วง 90 – 180 วัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพันธุ์ข้าว นั้น ๆ โดยแบ่งระยะพัฒนาการของข้าวออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative Phase) โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 60 วัน หลังจากเมล็ดข้าวมีรากและเกิดใบ ข้าวนั้นจะใช้ระยะเวลาแตกกอ สูงประมาณ 30 – 50 วัน ถัดมาเป็นช่วงการเจริญเติบโตทางการเจริญพันธุ์ (Reproduction Phase) ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 25 – 30 วัน ในระยะนี้จะมีการสร้างช่อดอก ดอกข้าวผสมเกสร และมีการปฏิสนธิภายในรังไข่ สุดท้ายเป็นช่วงเจริญเติบโตของเมล็ด (Ripening Phase) ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 25 – 30 วัน

### 1. ช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ (Vegetative Phase)

ระยะต้นกล้า (Seedling Stage) ข้าวในเขตร้อนและชุ่มชื้นภายหลังจากหว่านข้าวลงสู่พื้นดินแล้วข้าวจะงอกออกจากเมล็ดภายใน 3 วัน (เริ่มมีราก) หลังจากข้าวงอกจนถึงช่วงก่อนที่ข้าวจะแตกกอเรียกช่วงนี้ว่า ระยะต้นกล้า

ระยะแตกกอ (Tillering Stage) นับตั้งแต่เริ่มมีการแตกหน่อจากข้อที่ต่ำสุด (ใต้ผิวดิน หรือเหนือผิวดินเล็กน้อย) ซึ่งจะเรียกว่า Primary Tiller และจะเกิด Secondary Tiller ตามมา ต้นข้าวในระยะนี้จะมีความสูงเพิ่มขึ้น และแตกกอเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนเกิด Tertiary Tiller ซึ่งถูกแบ่งออกเป็นสองระยะย่อยคือ ระยะแตกกอสูงสุด (Maximum Tillering Stage) หลังจากระยะนี้กอข้าวจะเริ่มตายและมีจำนวนกอลดลง จนพัฒนาไปสู่ระยะยืดปล้อง (Stem Elongation Stage) ในพันธุ์ข้าวหนักระยะนี้จะเกิดขึ้นหลังจากระยะแตกกอ ส่วนในพันธุ์ข้าวเบาในระยะแตกกอสูงสุด การยืดปล้องและกำเนิดช่อดอกจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน

## 2. ช่วงการเจริญเติบโตทางการเจริญพันธุ์ (Reproduction Phase)

การกำเนิดช่อดอก (Panicle Initiation Stage) นับตั้งแต่เริ่มมองเห็นช่อดอกบริเวณปลายสุดของลำต้นเดิม และกออื่น ๆ ถัดมา ในระยะนี้ไม่ควรขาดน้ำเนื่องจากอาจทำให้การเกิดช่อดอกชะงักงันได้

ระยะตั้งท้อง (Booting Stage) ระยะนี้เป็นระยะที่เกิดขึ้นภายหลังที่ช่อดอกเจริญเติบโตไปจะเริ่มแห้งตาย

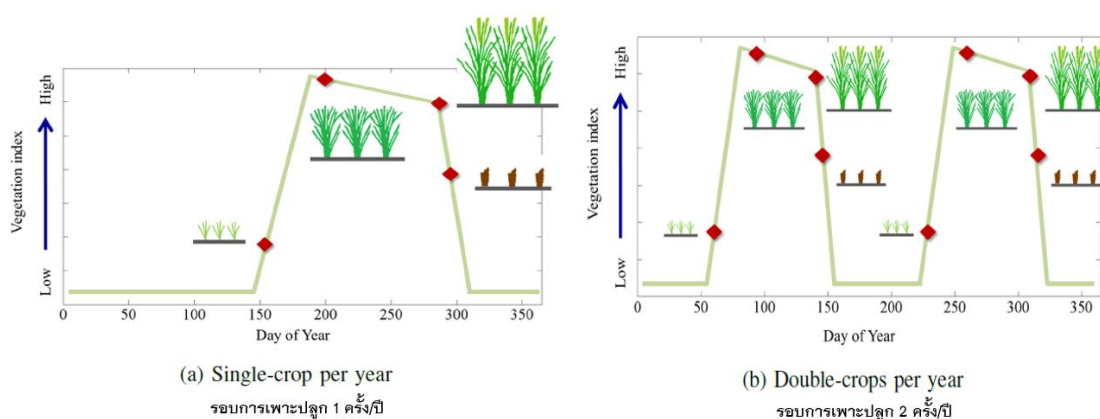
ระยะช่อดอกโผล่ออกมา ระยะนี้เป็นระยะที่ช่อดอก (Panicle) โผล่ออกมาจากกาบใบธง ระยะออกดอก (Flowering Stage) เกิดขึ้นประมาณ 25 วันหลังจากมองเห็นช่อดอก

## 3. ช่วงเจริญเติบโตของเมล็ด (Ripening Phase)

Milk grain Stage เป็นระยะที่แป้งในเมล็ดเปลี่ยนจากสภาพของเหลวเป็นสภาพเหมือนน้ำนม ซึ่งจะบีบออกมาได้

Dough Grain Stage ส่วนที่เป็นน้ำนมในเมล็ดจะเปลี่ยนสภาพแข็งขึ้น

Mature Grain Stage สีของรวงจะเปลี่ยนจากเขียวเป็นเหลือง ระยะนี้สิ้นสุดเมื่อ 90-100 % ของเมล็ดเปลี่ยนเป็นสีเหลือง จะเห็นใบบนและใบธงเหี่ยวและตายไป บางพันธุ์ต้นและใบบนอาจยังเขียวอยู่ถึงแม้เมล็ดจะแก่แล้ว



ภาพ 4 การจำลองวัฏจักรการปลูกข้าวด้วยความเป็นชีพักษณ์พืชพรรณ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Soontranon, Srestasathien and Rakwatin (2015)

### 3. ชีพักษณ์ของพืชพรรณ และการปรับปรุง

#### 3.1 ชีพักษณ์พืชพรรณ (Vegetation Phenology)

ชีพักษณ์พืชพรรณหมายถึงกระบวนการหรือการตอบสนองของพืชต่อสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงในรอบฤดูกาล หรือรอบปี ในทางพฤกษศาสตร์ชีพักษณ์จะหมายถึงช่วงเวลานับตั้งแต่การเกิดดอกจนถึงระยะที่ใบร่วงหล่นในฤดูใบไม้ร่วง (Lechowicz and Koiki, 1995 อ้างอิงใน วิโรจน์ รัตนพรเจริญ และสมหมาย นามสวาท, 2546) บางกรณีอาจเน้นลงไปถึงการศึกษารายละเอียดที่มากขึ้นของพืชแต่ละชนิดตั้งแต่การออกดอก ออกผล ผลสุก ร่วงหล่น ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้สามารถพบได้ทั่วโลกไม่ว่าในสังคมพืชเขตร้อน เขตหนาว เขตอบอุ่นหรือเขตแห้งแล้ง (ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้, 2551 อ้างอิงใน แคสเสต มงคลสวัสดิ์ และ ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, 2552)

แคสเสต มงคลสวัสดิ์ และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ (2552) ได้กล่าวถึงนิยามของชีพักษณ์ว่าเป็นกระบวนการการแสดงออกของพืชที่มีความสัมพันธ์กับสภาวะแวดล้อมเป็นช่วงเวลาหรือสัมพันธ์กับฤดูกาลในรอบปีพร้อมยกตัวอย่างเช่น การไม่ผลัดใบ (Evergreen) การมีใบสีเขียวในช่วงฤดูฝนหรือผลัดใบในช่วงฤดูแล้ง (Rainy Green or Dry Deciduous) การแตกใบเขียวในช่วงฤดูร้อน (Summer Green) และผลัดใบในฤดูหนาว (Winter Deciduous)

วรรณภรณ์ ศรีชูเปี่ยม (2561) ให้คำนิยามของชีพักษณ์พืชพรรณไว้ว่าเป็นการสังเกตการเปลี่ยนแปลง รวมถึงสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลา ผลลัพธ์ที่ได้นั่นคือวงจรชีวิตของพืช ณ ช่วงเวลาหนึ่ง

จากการทบทวนนิยามและการศึกษาที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่าชีพลักษณะพืชพรรณเป็นการเฝ้าสังเกต และติดตามระยะพัฒนาการของพืชตั้งแต่เริ่มแตกดอกออกใบ จนถึงสิ้นสุดอายุขัยของพืชชนิดนั้น ๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม ณ พื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งไม่ว่าจะเป็นอิทธิพลจากปัจจัยด้านอนุกรมวิธาน ปัจจัยด้านวิธีการเพาะปลูก คัดรูพืช หรือแม้กระทั่งการเปลี่ยนแปลงของรังสีจากดวงอาทิตย์ ดังนั้นการศึกษาชีพลักษณะพืชพรรณจึงเป็นการศึกษาวัฏจักรของพืชภายใต้อิทธิพลของสภาวะแวดล้อม

### 3.2 การใช้ดัชนีจากดาวเทียมเพื่อตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพืชพรรณ

การศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้ศักยภาพของดาวเทียมกับการวิเคราะห์ที่หลากหลายทั้งการนำไปใช้เพื่อประเมินความชื้นในดินด้วยดัชนีพืชพรรณ (ขนิษฐา สุทธิบริบาล, สมณมิตร พุกงาม และปิยพงษ์ ทองดีนอก, 2554) การใช้ข้อมูลจากดาวเทียมเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิในพื้นที่เมืองร่วมกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Doussat and Gourmelon, 2003) การติดตามความแห้งแล้งและสภาวะด้านชีพลักษณะด้วยดัชนีพืชพรรณและดัชนีความชื้น (แคสเสต มงคลสวัสดิ์ และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, 2552) การวิเคราะห์ปีที่ปลูกพืชผลด้วยดัชนีพืชพรรณ จากข้อมูลแลนด์แซทแบบอนุกรมเวลา (Chen, Jin and Brown, 2019) กระทั่งติดตามการเปลี่ยนแปลงสถานะของพืช และสร้างปฏิทินพืชพรรณจากการวิเคราะห์ชีพลักษณะ (Soontranon, Srestasathien and Rakwatin, 2015) การศึกษาเหล่านี้ต่างใช้ประโยชน์จากสิ่งที่พืชแสดงออกผ่านค่าการสะท้อนจากภาพถ่ายดาวเทียม แต่บางครั้งไม่สามารถจำแนกพฤติกรรมที่เกิดขึ้นได้ด้วยสายตา จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการพัฒนาการปรับเน้นข้อมูลเพิ่มประสิทธิภาพให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นโดยเรียกวิธีการปรับเน้นข้อมูลนี้ว่าดัชนี (Index) (ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, 2540 อ้างอิงใน แคสเสต มงคลสวัสดิ์ และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, 2552) และยังคงมีความท้าทายจากลักษณะการเจริญเติบโตที่ซับซ้อน ของพืชต่างชนิด ต่างพื้นที่ หรือแม้กระทั่งอุปสรรคปัญหาด้านสภาพแวดล้อมจึงเป็นไปได้ยากที่จะใช้เพียงดัชนีเดียวเพื่อตอบโจทย์การศึกษาทั้งด้านปริมาณความหนาแน่น และความรุนแรงได้เพียงพอ (Heim, 2002)

ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index: VI) หมายถึงค่าที่สามารถบ่งบอกถึงปริมาณของพืชที่ปกคลุมพื้นผิว โดยอาศัยช่วงคลื่น (ค่าการสะท้อนที่ได้จากการรับรู้ระยะไกล) ที่มีความเกี่ยวข้องกับพืชพรรณตั้งแต่สองช่วงคลื่นขึ้นไป เข้าสู่กระบวนการทางคณิตศาสตร์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณสามารถอธิบายได้ถึงปริมาณความหนาแน่นของพืชปกคลุมพื้นผิวในบริเวณพื้นที่ศึกษา นิยมใช้สำหรับติดตามสุขภาพของพืช (Plant Health) ความเป็นชีพลักษณะ (Phenology) จำแนกพืชพรรณ (Classification of Vegetation) และมวลชีวภาพ (Biomass) เป็นต้น

(Pablo, Luis and Nicole, 2020) ที่ผ่านมามีผู้ให้คำนิยาม หรือความหมายของดัชนีพืชพรรณไว้น่าสนใจหลายท่านดังนี้

Terrill (1994) ค่าตัวเลขที่ถูกสร้างขึ้นโดยการรวมตัวกันในบางช่วงคลื่นของข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล หรืออาจเป็นการรวมกันของพืชที่ทำให้เกิดความสัมพันธ์

Chen, Elvidge and Groeneveld (1998) การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการสังเกตพืชพรรณธรรมชาติ

Paul and Clare (2000) สูตรที่ถูกสร้างขึ้นจากความแตกต่างระหว่างช่วงคลื่นสีแดงกับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ซึ่งวัดออกมาได้โดยใช้วิธีเชิงปริมาณ

กิตติศักดิ์ เรืองกระโทก (2560) การรวมตัวกันของค่าการสะท้อนแสงพื้นผิวดังแต่สองช่วงคลื่นขึ้นไป มีวัตถุประสงค์เพื่อนำคุณสมบัติเฉพาะต่าง ๆ และอธิบายออกมาเป็นความสำคัญระหว่างการดูดซับพลังงานของพืชกับปริมาณความหนาแน่น และดัชนีพืชพรรณนั้นถูกออกแบบมาเพื่อนำไปใช้บ่งชี้ถึงบริเวณของพรรณไม้ วัดปริมาณและคุณภาพขององค์ประกอบ การสังเคราะห์แสงของพืช โดยใช้คุณสมบัติการสะท้อนแสงของพืช

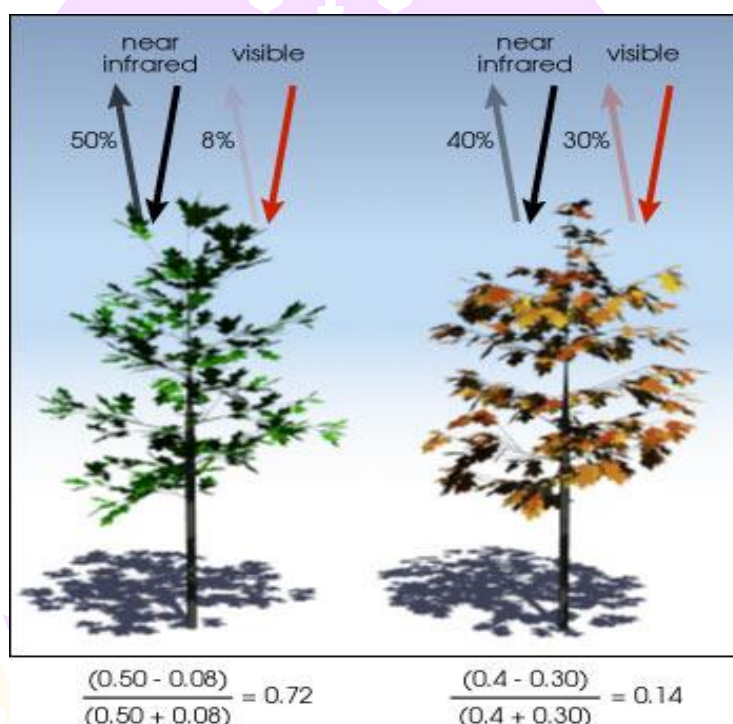
การศึกษาที่ผ่านมามีดัชนีพืชพรรณหลากหลายที่ถูกนำมาใช้ศึกษาและวิเคราะห์ เพื่อวัตถุประสงค์แตกต่างกันออกไป โดยส่วนใหญ่มักจะนำช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible) กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near-Infrared) มาทำสัดส่วนกันซึ่งพืชพรรณจะมีความแปรผันกับช่วงคลื่นสีแดงที่ถูกพืชพรรณดูดซับมาก กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่มีการสะท้อนมาก (Lillesand and Kiefer, 1987) สอดคล้องกับการศึกษาของ นราธิป เฟ่งพิศ, วรธนนันท์ ใจสะอาด และไชยา อุชนะภัย (2562) ที่ยกตัวอย่างดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์แมลไลซ์ (Normalized Differential Vegetation Index: NDVI) ที่ใช้อัตราส่วนของค่าการสะท้อนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นที่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของพืชกับการดูดซับพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง กล่าวคือ หากพืชมีความอุดมสมบูรณ์มากจะมีการดูดซับพลังงาน ในช่วงคลื่นสีแดงสูง (ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น) และโครงสร้างของใบพืชโดยเฉพาะจำนวนชั้นของใบจะส่งผลต่อค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near-Infrared) กล่าวคือหากพืชมีจำนวนชั้นของใบมากจะสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้สูง

ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์แมลไลซ์ (Normalized Differential Vegetation Index: NDVI) ถูกพัฒนาโดย John, et al. (1973) เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายในการศึกษาด้านพืชพรรณ ซึ่งเป็นการศึกษาอัตราส่วนระหว่างผลต่างของปริมาณค่าการสะท้อนต่อผลรวมของปริมาณค่าการสะท้อน ในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีแดง (Red) และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) (Paul and Clare, 2000) ดังสมการ 1 และ ภาพ 5 ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยส่วนใหญ่

แล้วค่าที่เข้าใกล้ 0 จะหมายความว่าไม่มีพืชพรรณที่มีลักษณะใบสีเขียวปกคลุมพื้นผิว ในขณะที่ค่าที่เข้าใกล้ 1 จะหมายถึงมีพืชพรรณที่มีลักษณะใบ สีเขียวปกคลุมพื้นผิว

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad (1)$$

โดยที่ NIR หมายถึง ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้  
RED หมายถึง ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง



ภาพ 5 การสะท้อนของช่วงคลื่นด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI

ที่มา: National Aeronautics and Space Administration (2000)

ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI) พัฒนามาจากดัชนีพืชพรรณ NDVI โดย Huete (1988) วัตถุประสงค์เพื่อลดค่าการสะท้อนของดินที่ปะปนเข้ามาในจุดภาพ โดยการเพิ่มค่าคงที่ (L) เข้าไปในสมการ ซึ่งค่า L จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณเรือนยอดที่ปกคลุมดิน กล่าวคือหากพืชมีลักษณะทรงพุ่มการปกคลุมดินระดับหนาแน่นจะใช้ค่า L = 0.25 พืชปกคลุมดินระดับปานกลางใช้ค่า L = 0.50 และพืชปกคลุมดินระดับน้อยใช้ค่า L = 1.0 และดัชนี SAVI จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 บริเวณที่ความเป็นพื้นดินมากกว่าพืชจะมีค่าเข้าใกล้ -1 ตรงกันข้ามกับบริเวณที่มีความเป็นพืชมากกว่าพื้นดินจะมีค่าเข้าใกล้ 1 (คันสนีย์ มณีโชติ และตุลา คมกฤต มโนรัตน์, 2564)

$$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \quad (2)$$

โดยที่ NIR หมายถึง ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้  
 RED หมายถึง ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง  
 L หมายถึง ค่าการปกคลุมของพืช

ดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (Enhanced Vegetation Index: EVI) เป็นดัชนีพืชพรรณที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Jiang, et al. (2008) วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสัญญาณของพืชให้มีความไวต่อการตรวจสอบพืชพรรณในระดับภูมิภาค โดยการประยุกต์ใช้ร่วมกับค่าการสะท้อนช่วงคลื่นตามองเห็นสีฟ้า เพื่อแก้ปัญหาค่าการสะท้อนที่ได้รับจากสัญญาณผิวดินและชั้นบรรยากาศ มีรายงานของ Matsushita, et al. (2007) และ Waring, et al. (2006) กล่าวว่าดัชนี EVI มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีผิวใบที่มากกว่าค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ ซึ่งมีรูปแบบการคำนวณดังสมการ 3

$$EVI = \frac{NIR - RED}{NIR + (C^1 \times RED - C^2 \times BLUE) + L} \quad (3)$$

โดยที่ NIR หมายถึง ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้  
 RED หมายถึง ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง  
 BLUE หมายถึง ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีน้ำเงิน  
 C<sup>1</sup> และ C<sup>2</sup> หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับค่าฝุ่นละอองในอากาศ  
 L คือค่าปรับแก้สำหรับดิน  
 โดยพื้นที่ทั่วไปมีการกำหนดค่าดังนี้ C<sup>1</sup> = 6, C<sup>2</sup> = 7.5 และ L = 1

ดัชนีคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll Index: CI) ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของใบโดยอาศัยค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรด (NIR) ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นขอบสีแดง (Red edge) และค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีเขียว (Green) (Gitelson, Gritz and Merzlyak, 2003) ดังสมการ 4 และ 5

$$CI_{Green} = \frac{NIR}{Green} - 1 \quad (4)$$

$$CI_{Red\ edge} = \frac{NIR}{Red\ edge} - 1 \quad (5)$$

โดยที่ NIR หมายถึง ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

Green หมายถึง ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีเขียว

Red edge หมายถึง ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นขอบสีเขียว

ดัชนีอัตราส่วนพืชพรรณ (Ratio Vegetation Index: RVI) เป็นการนำสัดส่วนระหว่าง 2 ช่วงคลื่น ระหว่างช่วงคลื่นสีแดง (Red) และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) ถูกใช้โดย Jordan (1969) ในการศึกษาพื้นที่ผิวใบของพื้นที่ป่า

$$RVI = \frac{Red}{NIR} - 1 \quad (6)$$

ดัชนีน้ำผิวดิน (Land Surface Water Index: LSWI) เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณชนิดนั้น ๆ โดยวัดจากโมเลกุลของน้ำในเรือนยอดหรือทรงพุ่มพืชที่มีลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไปเช่นยืนต้นตาย ใบร่วงหล่น หรือเรือนยอดที่ลดลง จะส่งผลให้ดัชนีดังกล่าวมีค่าที่เปลี่ยนแปลง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ดัชนีน้ำผิวดินมีความไวต่อปริมาณน้ำและช่องเหลวในพืชพรรณ และพื้นดินโดยรอบ (Chandrasekar, et al., 2010; Chandrasekar, Sesha and Behera, 2011)

$$LSWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (7)$$

### 3.3 การปรับแก้ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยการวิเคราะห์แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Analysis)

ภายหลังจากการสร้างดัชนีเพื่อตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพืชพรรณแล้ว จะต้องนำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อปรับแก้ความผิดพลาดของข้อมูลที่เกิดจากอุปสรรคด้านสภาพอากาศอีกครั้งด้วยกระบวนการวิเคราะห์แบบฮาร์มอนิกเพื่อปรับความเรียบให้กับกราฟซีพลักษณ์พืชพรรณ ที่มีการขึ้นและลงตามวงรอบคาบการเจริญเติบโตของพืช (ชัยณรงค์ โอภาไพบูลย์, 2564) ประกอบไปด้วยทฤษฎีดังนี้

### อนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series)

อนุกรมฟูรีเยร์เป็นปรากฏการณ์ทางกายภาพที่มีลักษณะเป็นเชิงคาบ (Periodic Signal) ยกตัวอย่างเช่น คลื่นเสียง กระแสน้ำ กระแสไฟฟ้าแบบสลับ และแรงสั่นสะเทือน เป็นต้น สามารถบ่งบอกถึงจำนวนช่วงคลื่นที่เป็นตัวแปรตาม และเวลาที่เป็นตัวแปรอิสระได้ถูกตั้งชื่อตามผู้คิดค้นสัญชาติฝรั่งเศสชื่อ Joseph Fourier (ค.ศ.1768–1830) การวิเคราะห์ฟูรีเยร์ หรือการวิเคราะห์แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Analyses) ถูกนำมาใช้เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นซ้ำมีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าฟังก์ชันในโดเมนเวลา (Time Domain) ซึ่งผลรวมเชิงเส้นของคลื่นจะอยู่ในรูปแบบไซน์ (Sine) และโคไซน์ (Cosine) (Clélia and Pedro, 2006) โดยลำดับที่ 1 ของอนุกรมฟูรีเยร์จะเรียกว่าคลื่นมูลฐาน (Fundamental Wave) ส่วนลำดับอื่นๆในอนุกรมฟูรีเยร์จะเรียกว่าคาบคลื่นของคลื่นมูลฐาน ประกอบไปด้วยหลาย ๆ คลื่นมูลฐานเรียกว่าฮาร์มอนิก (Harmonics) (ชัยณรงค์ โอภาไพบูลย์, 2564)

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{k=1}^{\infty}(a_k \cos kx + b_k \sin kx) \quad (8)$$

$$\text{โดยที่} \quad a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos kx \, dx \quad (9)$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin kx \, dx \quad (10)$$

เมื่อ  $k \geq 0$

### การแปลงฟูรีเยร์ (Fourier Transform)

การแปลงฟูรีเยร์เป็นการแปลงสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของเวลาให้อยู่ในรูปของสัญญาณในโดเมนความถี่ (Spectrum) การวิเคราะห์สัญญาณในรูปของโดเมนความถี่จะทำได้ง่ายกว่าการวิเคราะห์สัญญาณในรูปของฟังก์ชันเวลา อีกทั้งยังบอกถึงความกว้างของแถบคลื่นความถี่ (Bandwidth) และรูปร่างของสัญญาณจะทำให้สามารถอธิบายองค์ประกอบได้เข้าใจมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น วงจรกรองแต่ละแบบจะยอมให้สัญญาณช่วงแถบความถี่หนึ่งผ่านไปได้ ในขณะที่จะเกิดการลดทอน (Attenuation) ในอีกช่วงแถบความถี่หนึ่ง เป็นต้น (ปิยะ โควินท์ทวิวัฒน์, 2551 อ้างอิงใน ชัยณรงค์ โอภาไพบูลย์, 2564)

### การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก (Harmonic Analysis)

ดัชนีที่ได้รับจากภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งประเมินได้จากการทำสัดส่วนของช่วงคลื่นดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ “การใช้ดัชนีจากดาวเทียมเพื่อตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพืชพรรณ” มักจะได้รับผลกระทบจากอุปสรรคด้านสภาพแวดล้อม (เมฆ และสภาพบรรยากาศ) ทำให้ช่วงของสัญญาณมีความผิดปกติจึงต้องมีการปรับปรุงข้อมูลดัชนีอนุกรมเวลาให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นด้วยกระบวนการ Harmonic Analysis ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจัดการกับข้อมูลแบบอนุกรมเวลาที่มีระยะห่างไม่ปกติ โดยการระบุตำแหน่งและกำจัดข้อมูลที่ผิดปกติจากอุปสรรคด้านสภาพอากาศโดยเฉพาะเมฆ (Roerink, Menenti and Verhoef, 2000; Verhoef, 1996) และถูกพัฒนาต่อมาจนเป็นวิธีที่เรียกว่า Harmonic Analysis of Time Series (HANTS) ซึ่งเป็นการพิจารณาเฉพาะความถี่ที่สำคัญที่สุด และปรับปรุงเส้นโค้งด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares) ตามส่วนประกอบฮาร์มอนิก (Roerink, Menenti and Verhoef, 2000; Verhoef, 1996) ชัยณรงค์ โอภาไพบูลย์ (2564) กล่าวว่า การวิเคราะห์แบบฮาร์มอนิกเป็นวิธีการหนึ่งในทางคณิตศาสตร์ ใช้เพื่ออธิบายฟังก์ชันของสัญญาณที่มีปรากฏการณ์เกิดขึ้นซ้ำเป็นระยะ และข้อมูลที่ทับซ้อนกันจำนวนมาก โดยใช้อนุกรมฟูรีเยร์และการแปลงฟูรีเยร์เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลด้านการรับรู้ระยะไกลสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\tilde{y}(t_j) = a_0 + \sum_{i=1}^{nf} [a_i \cos(2\pi f_i t_i) + b_i \sin(2\pi f_i t_i)] \quad (11)$$

$$y(t_j) = \tilde{y}(t_j) + \mathcal{E}(t_j) \quad (12)$$

โดยที่

$y$ ,  $\tilde{y}$  และ  $\mathcal{E}$  คือ อนุกรมดั้งเดิม อนุกรมของการปรับแก้ และ อนุกรมของความผิดพลาด ตามลำดับ

$t_j$  คือ เวลา

$y$  คือ ข้อมูลดัชนี

$j$  คือ ลำดับ 1, 2, ... จนถึง  $N$  โดย  $N$  เป็นจำนวนสูงสุดของข้อมูลดัชนี (Samples) ของอนุกรมเวลา ตัวอย่างเช่น อนุกรมเวลาของข้อมูลดัชนีพืชพรรณจากเซนทิเนล-2 ราย 5 วัน เพราะฉะนั้นจำนวนของข้อมูลสำรวจใน 1 ปี ค่า  $N$  เท่ากับ 73

$nf$  คือ จำนวนของลำดับในอนุกรม หรือจำนวนส่วนประกอบของฮาร์มอนิกที่รวมกันเป็นความถี่  $f_i$

$a_0$  คือ ค่าคงที่ที่ความถี่เท่ากับศูนย์

กระบวนการวิเคราะห์แบบ HANTS จะคำนวณเพื่อสร้างความสัมพันธ์ของจุดข้อมูล และโค้งความสัมพันธ์ โดยการกำจัดข้อมูลในตำแหน่งที่มีค่าสูงหรือต่ำจนผิดปกติออกจากชุดข้อมูล และสร้างโค้งถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดแทนที่ โดยการทำซ้ำ (กระบวนการวนซ้ำ) จนกว่าจะได้ฮาร์มอนิกที่มีความถี่ แอมพลิจูด และเฟส เข้ากับข้อมูลได้ดีที่สุด (ชัยณรงค์ โอภาไพบูลย์, 2564) ซึ่งแตกต่างจากวิธีอื่น ๆ เช่นตัวกรองสาร์วิทซกี-โกลีย์ที่มีพื้นฐานจากการประมาณแบบพหุนามเป็นช่วง ๆ แล้วหาค่าเฉลี่ยแบบเลื่อนวินโดว์ (Savitzky and Golay, 1964) จากการศึกษาของ ขวัญใจ นาชัยภูมิ (2551) พบว่าเมื่อสัญญาณหรือคลื่นที่มีความถี่สูงขึ้นผลลัพธ์จากตัวกรองสาร์วิทซกี-โกลีย์ จะมีขนาดของสัญญาณลดลงซึ่งเป็นของคุณสมบัติของการประมาณแบบพหุนาม ในการศึกษา ซีฟลักซ์ของพีชพรรณเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลง จำเป็นที่จะต้องคงรูปคลื่นของสัญญาณต้นฉบับไว้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการติดตามที่สอดคล้องกับการเจริญเติบโต และกำหนดช่วงเวลาการเพาะปลูกที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด จึงควรใช้กระบวนการปรับความเรียบให้กับกราฟซีฟลักซ์ด้วยวิธีการ HANTS ก่อนนำกราฟไปวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

#### 3.4 การระบุตำแหน่ง SOS/EOS ด้วย Modify Dynamic Threshold Method

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาและพัฒนาวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับข้อมูลอนุกรมเวลาเพื่อลดสัญญาณรบกวนในข้อมูลซีฟลักซ์พีชพรรณที่ได้จากดาวเทียม ยกตัวอย่างเช่น Savitzky-Golay Filtering, High-order Annual Splines with Roughness Damping, Wavelet-Based Approach, Mean-value Iteration Filtering, Gaussian Function, Logistic Function and Best Index Slope Extraction Method (BISE) จากรายงานของ (Zhu, et al., 2012; สรวิตสุภเวชญ์, 2562) รวมถึงมีการพัฒนาวิธีการกำหนดจุดสูงสุด/ต่ำสุดเฉพาะที่ (Local Maximum/Minimum Points) (Gang, et al., 2015; Ibrahim, et al., 2020; Payam, et al., 2021) ซึ่งมีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะของซีฟลักซ์พีชพรรณ (Zhu, et al., 2012) โดยสังเกตที่ข้อมูลเวลา (Time) และข้อมูลแอมพลิจูด (Amplitude) ซึ่งมีความสัมพันธ์และสอดคล้องกับข้อมูลวัฏจักรซีฟลักซ์ โดยทั่วไปแล้ววิธีการเหล่านี้จะให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับข้อมูลตามอนุกรมเวลาที่นำมาวิเคราะห์ (Chen, et al., 2004; Soontranon, Srestasathien and Rakwatin, 2015; Yonglin, et al., 2021) อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้มักจะต้องอาศัยขนาดของ

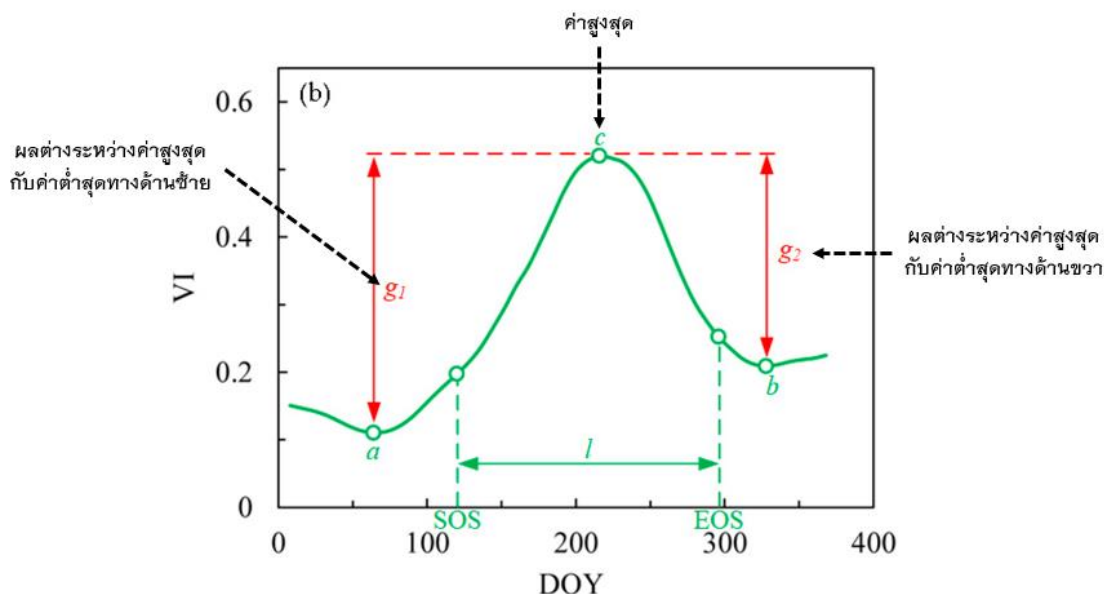
ช่วงเวลาที่เท่ากันก่อนนำไปวิเคราะห์ในกระบวนการ ที่ผ่านมามีการพัฒนาเทคนิคกำหนดตำแหน่งของวันเริ่มต้นและสิ้นสุดการเพาะปลูกด้วย Modify Dynamic Threshold Method พัฒนาโดย Huang , et al. (2019) เป็นการสร้างเงื่อนไขสำหรับระบุตำแหน่งของวันเริ่มต้นการเพาะปลูก (Start of Season: SOS) และวันสิ้นสุดการเพาะปลูก (End of Season: EOS) โดยการคำนวณขนาด Amplitude ของค่าต่ำสุดทางด้านซ้ายและด้านขวากับค่าสูงสุด ร่วมกับค่าขีดแบ่ง (Threshold) โดยทดลองเกณฑ์ที่เหมาะสมตั้งแต่ร้อยละ 0-35 จากค่าสูงสุด และพิจารณาข้อมูลเป็นรายจุด (Date) ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งและไม่ควรใช้เกณฑ์หรือ Threshold เดียวกันในการระบุตำแหน่งของ SOS/EOS โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกณฑ์ที่นิยมใช้กันทั่วไปเช่นร้อยละ 20 หรือ 50 เนื่องจากไม่ใช่เกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับทุกพืชพรรณ รายละเอียดของเทคนิค Modify Dynamic Threshold Method แสดงไว้ดังสมการต่อไปนี้

$$VI_{SOS} \geq a + VI_{thd} * g_1 \quad (13)$$

$$VI_{EOS} \leq b + VI_{thd} * g_2 \quad (14)$$

โดยที่

- $a$  หมายถึงค่าต่ำสุดของกราฟทางด้านซ้าย
- $b$  หมายถึงค่าต่ำสุดของกราฟทางด้านขวา
- $c$  หมายถึงค่าสูงสุดของกราฟ
- $VI_{thd}$  หมายถึงขีดแบ่งที่ผู้ใช้กำหนด
- $g_1$  หมายถึงผลต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดทางด้านซ้าย
- $g_2$  หมายถึงผลต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดทางด้านขวา
- $VI_{SOS}$  และ  $VI_{EOS}$  หมายถึง วันแรกที่มีความสอดคล้องตามเงื่อนไข



ภาพ 6 การระบุตำแหน่งของ SOS/EOS ด้วย Modify Dynamic Threshold Method

หมายเหตุ : ดัดแปลงจาก Huang, et al. (2019)

### 3.5 ความสัมพันธ์ของข้อมูล (Relationships)

วิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) คือวิธีการทางคณิตศาสตร์ใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (Independent Variable) และตัวแปรผลหรือตัวแปรตาม (Dependent Variable) เพื่ออธิบายความแข็งแกร่งของข้อมูลทั้งสองชุดโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเชิงเดียว (Simple Linear Regression Analysis) สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังสมการ 15

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad (15)$$

โดยที่

Y หมายถึง ค่าของตัวแปรตาม (Dependent Variable)

X หมายถึง ค่าของตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

$\alpha$  หมายถึง ค่าคงที่ของสมการถดถอย (Constant)

$\beta$  หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient)

$\varepsilon$  หมายถึง ค่าความคลาดเคลื่อน (Error or Residual)

การใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-Squared :  $R^2$ ) เพื่อบอกระดับของความสัมพันธ์ว่ามีความมั่นคงมากน้อยเพียงใดต่อข้อมูลทั้งสองชุด ยิ่งค่า มีค่ามากขึ้นเท่าใดบ่งชี้ว่าใกล้กับความ

เป็นจริงมากเท่านั้น (ณททัย ราตรี, 2554) ถ้าหากค่า  $R^2$  มีแนวโน้มไปในทิศทางลบหมายถึงชุดข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงลบในแบบเส้นตรง (สมจิตร วัฒนาชยากุล, 2532) หากค่า  $R^2$  มีแนวโน้มไปในทิศทางบวกหมายถึงชุดข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงบวกในแบบเส้นตรง และหากค่า  $R^2$  เข้าใกล้ 0 หมายถึงไม่มีความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลในแบบเส้นตรง โดยที่ระดับของความสัมพันธ์ 0.91 – 1.00 หมายถึงชุดข้อมูลมีความสัมพันธ์ในระดับสูงมาก, 0.71 – 0.90 หมายถึงชุดข้อมูลมีความสัมพันธ์ในระดับสูง, 0.51 – 0.70 หมายถึงชุดข้อมูลมีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง, 0.31 – 0.50 หมายถึงชุดข้อมูลมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ และ 0.00 – 0.30 หมายถึงชุดข้อมูลมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำมาก (คณิต สุขรัตน์ และดุสิต อธิวุฒัน, 2019)

$$R^2 = \frac{\sum x - xy - y}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (16)$$

โดยที่

$R^2$  = ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

$X$  = ค่าของตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

$y$  = ค่าของตัวแปรตาม (dependent Variable)

$\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

$\bar{y}$  = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม (dependent Variable)

#### 4. กระบวนการจำแนกข้อมูลภาพด้วยข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล

##### 4.1 เทคนิคผลต่างภาพ (Image Difference)

เทคนิคผลต่างภาพเป็นเทคนิคเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลการรับรู้ระยะไกล มีการนำไปประยุกต์ใช้ที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็นด้านการติดตามภัยพิบัติ การขยายตัวของเมือง และอื่น ๆ เนื่องจากมีการบันทึกข้อมูลซ้ำในช่วงเวลาที่สม่ำเสมอ (Mas, 1999) จากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงเทคนิคผลต่างภาพด้วยดัชนี NDVI ให้ความสัมพันธ์สูงกับปรากฏการณ์ที่น่าสนใจมากกว่าการใช้เพียงช่วงคลื่นเดียว และผลลัพธ์สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้น และลดลงของพืชพรรณ (Nelson, 1983) ปี พ.ศ.2548 มีการศึกษาของ Volcani, Karnieli and Svoray (2005) เพื่อตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงของพืชระหว่างฤดูกลางด้วยเทคนิคผลต่างภาพโดยเขียนในรูปสมการดังนี้

$$\Delta \text{Image} = \text{Image}_2 - \text{Image}_1 \quad (17)$$

โดยที่

$\Delta$  Image หมายถึง ค่าการเปลี่ยนแปลงของการวิเคราะห์ผลต่างภาพ

Image<sub>1</sub> หมายถึง ภาพ NDVI จากวันที่ 1

Image<sub>2</sub> หมายถึง ภาพ NDVI จากวันที่ 2

#### 4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

กระบวนการเตรียมข้อมูล การรับสัญญาณดาวเทียม การวิเคราะห์และประมวลผล การแปลงข้อมูล ตลอดจนจนถึงการจำแนกข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ และการแปลงข้อมูลด้วยสายตาจะพบความคลาดเคลื่อนในข้อมูลหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล (Jensen, 2005) จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบความแม่นยำของการจำแนกข้อมูล โดยมากค่าความแม่นยำโดยรวม (Overall Accuracy) จะให้การยอมรับในระดับที่มีค่ามากกว่าร้อยละ 80 ผ่านการสุ่มตรวจสอบด้วยการคำนวณจุดตรวจสอบด้วยการกระจายที่มีความน่าจะเป็นแบบทวินาม (Binomial Probability Theory) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลสามารถใช้สูตรของ Lins (1981) เขียนในรูปของสมการได้ดังนี้

$$N = \frac{Z^2(P)(Q)}{E^2} \quad (18)$$

โดยที่

P = เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยรวมของงานที่ต้องการ

Q = 100 - P

E = ความผิดพลาดที่ยอมรับได้

Z = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด (Z = 1.96 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

ตารางความคลาดเคลื่อน (Error Matrix) ถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดความถูกต้องสำหรับการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลที่ได้รับจากการจำแนก กับข้อมูลสำรวจภาคสนาม (Reference) เนื่องจากเป็นการคำนวณทางสถิติที่ไม่ซับซ้อน และสามารถอธิบายค่าความแม่นยำโดยรวมดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 การตรวจสอบค่าความถูกต้องโดยใช้ตารางคำนวณค่าความผิดพลาด

|                 | Reference Data |              |           |
|-----------------|----------------|--------------|-----------|
|                 | นาข้าว         | ไม่ใช้นาข้าว | Row Total |
| Classified Data |                |              |           |
| นาข้าว          | $N_{11}$       | $N_{12}$     | $N_{1+}$  |
| ไม่ใช้นาข้าว    | $N_{21}$       | $N_{22}$     | $N_{2+}$  |
| Column Total    | $N_{+1}$       | $N_{+2}$     | $N$       |

หมายเหตุ : ดัดแปลงจาก วิภาพ แพงวังทอง และวันฉัตรชชา เทพวงศ์ (2564)

การคำนวณค่าความแม่นยำโดยรวม (Overall Accuracy: OA) เป็นการนำอัตราส่วนระหว่างผลรวมของจำนวนจุดที่จำแนกได้ (แนวทแยงของตาราง) และจำนวนจุดทั้งหมดที่นำมาตรวจสอบ และคำนวณร้อยละด้วยสมการดังนี้

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^K N_{ii}}{N} \quad (19)$$

โดย

OA คือ ความแม่นยำโดยรวม

K คือ จำนวนแถว (Row)

$N_{ii}$  คือ จำนวนจุดภาพในแต่ละแถว  $i$  และคอลัมน์  $i$  ของการจำแนกแต่ละประเภท

N คือ จำนวนจุดตรวจสอบทั้งหมด

ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa Coefficient) คือการคำนวณโดยใช้วิธีทางสถิติทดสอบความสอดคล้องของข้อมูลสองชุด โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยสมมติฐานว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยแบ่งเกณฑ์ตาม McHugh (2012) ดังนี้

|  |                            |
|--|----------------------------|
| ค่าความเชื่อมั่น ตั้งแต่ 0.81 ขึ้นไป   | คือ มีความเชื่อมั่นสูงมาก  |
| ค่าความเชื่อมั่น ตั้งแต่ 0.61 ถึง 0.80 | คือ มีความเชื่อมั่นสูง     |
| ค่าความเชื่อมั่น ตั้งแต่ 0.41 ถึง 0.60 | คือ มีความเชื่อมั่นปานกลาง |
| ค่าความเชื่อมั่น ตั้งแต่ 0.21 ถึง 0.40 | คือ มีความเชื่อมั่นต่ำ     |
| ค่าความเชื่อมั่น น้อยกว่า 0.20         | คือ ไม่มีมีความเชื่อมั่น   |

$$\text{Kappa} = \frac{N \sum_{i=1}^K X_{ii} - \sum_{i=1}^K (X_{i+} X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^K (X_{i+} X_{+i})} \quad (20)$$

โดยที่

**Kappa** คือ สัมประสิทธิ์แคปปาของความสอดคล้อง

$X_{ii}$  คือ ผลรวมของแนวทแยงของเมทริกซ์ความคลาดเคลื่อนแถวที่  $i$  และคอลัมน์ที่  $i$

$X_{+i}$  คือ ผลรวมในคอลัมน์ที่  $i$  ของเมทริกซ์ความคลาดเคลื่อน

$X_{i+}$  คือ ผลรวมในแถวที่  $i$  ของเมทริกซ์ความคลาดเคลื่อน

$N$  คือ จำนวนความคลาดเคลื่อน

## 5. การให้บริการข้อมูลบนเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application)

ในอดีตการจัดการข้อมูลภูมิสารสนเทศและการแสดงผลเชิงพื้นที่ค่อนข้างจำกัดในวงแคบ เนื่องจากผู้ใช้งานต้องมีองค์ความรู้ด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ซึ่งต้องอาศัยซอฟต์แวร์จัดการข้อมูลเชิงพื้นที่บนเดสก์ทอปเท่านั้น ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาเรื่อยมาจากอดีตถึงปัจจุบัน อีกทั้งนโยบายของรัฐที่สนับสนุนแพลตฟอร์มดิจิทัลเพื่อการพัฒนาประเทศ จึงทำให้เกิดการให้บริการและเข้าถึงแผนที่บนเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) โดยใช้ซอฟต์แวร์ฟรีและรหัสเปิดในการพัฒนาเพื่อเผยแพร่ข้อมูลภูมิสารสนเทศ

### 5.1 การให้บริการข้อมูลผ่านเครือข่าย

ศิริพร อวมมีเพียร และวลัยนุช สกุลนุ้ย (2552) กล่าวว่าระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์หมายถึงกลุ่มของคอมพิวเตอร์ที่มีตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไปที่เชื่อมต่อกัน สามารถใช้ทรัพยากรร่วมกัน แลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านทางระบบเครือข่าย และติดต่อสื่อสารกันได้ มีตั้งแต่ระบบเครือข่ายขนาดเล็กภายในบ้านจนถึงขนาดใหญ่ระดับโลก ประเภทของระบบเครือข่ายสามารถแบ่งได้หลายรูปแบบยกตัวอย่าง เช่น ระบบเครือข่ายท้องถิ่น (LAN), ระบบเครือข่ายเมือง (MAN), ระบบเครือข่ายกว้างไกล (WAN) และระบบเครือข่ายแบบไร้สาย เป็นต้น

### 5.2 มาตรฐานภูมิสารสนเทศ (Geographic Information Standard)

มาตรฐานภูมิสารสนเทศหมายถึงข้อกำหนดซึ่งวิธีการ, เครื่องมือ, การจัดการข้อมูล การสำรวจ, การประมวลผล รวมไปถึงการให้บริการข้อมูล เพื่อสนับสนุนการพัฒนาและ

ทำงานร่วมกันของบุคลากรและระบบที่มีความแตกต่างกันสำหรับข้อมูลภูมิสารสนเทศแบบดิจิทัล (แก้ว นवलฉวี, 2562) ปัจจุบันมีหน่วยงานที่รับผิดชอบพัฒนามาตรฐานภูมิสารสนเทศคือ Open Geospatial Consortium (OGC) ซึ่งเป็นความร่วมมือของหน่วยงานภาครัฐ และเอกชน จัดตั้งเป็นองค์กรขึ้นโดยไม่มีการแสดงผลกำไร มีวัตถุประสงค์เพื่อร่วมกันพัฒนาข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลภูมิสารสนเทศ และพยายามผลักดันให้ข้อกำหนดของ OGC ได้รับการพิจารณาเป็นส่วนหนึ่งในชุดมาตรฐาน ISO19100 (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2550)

### 5.3 ข้อมูลแผนที่บนระบบเครือข่าย (Web Mapping)

ข้อมูลแผนที่บนระบบเครือข่าย หรือการให้บริการภาพแผนที่ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สามารถเข้าถึงได้ด้วยเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) ที่ให้บริการเป็นหลักคือแผนที่ ยกตัวอย่างเช่น ภาพถ่ายจากดาวเทียม, เส้นทางคมนาคม, เขตการปกครอง และข้อมูลอื่น ๆ โดยผู้ใช้สามารถขยาย เลื่อนภาพ หรือใช้เครื่องมือที่มีอยู่ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ (กรมพัฒนาที่ดิน, มปป.) ในปัจจุบันมีหลายหน่วยงานภาครัฐที่ให้บริการข้อมูลแผนที่บนระบบเครือข่าย ส่วนมากจะให้บริการในรูปแบบ Web Map Service (WMS) หรือรูปแบบการให้บริการข้อมูลภูมิสารสนเทศผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายใต้ข้อกำหนด และมาตรฐาน OGC ในรูปแบบข้อมูลต่าง ๆ เช่น PNG, GIF และ JPEG เป็นต้น (กองทัพเรือ, 2560)

### 5.4 ระบบฐานข้อมูล PostgreSQL

PostgreSQL เป็นระบบสำหรับจัดการฐานข้อมูลเชิงวัตถุสัมพันธ์ (Object-Relational Database Management System: ORDBMS) ถูกพัฒนาตั้งแต่ปี ค.ศ.1977 ณ มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย เบิร์กลีย์ สหรัฐอเมริกา ภายใต้โครงการที่มีชื่อว่า Ingres และต่อมาในปี ค.ศ. 1986 นำทีมโดย Michael Stonebraker พัฒนาโค้ด Ingres เพื่อสร้างระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงวัตถุที่เรียกว่า Postgres และได้รับการพัฒนาเรื่อยมา เนื่องด้วยการใช้งานที่แพร่หลายและความก้าวหน้าของซอฟต์แวร์ยุคนั้น Postgres จึงถูกเปลี่ยนชื่อเป็น PostgreSQL ในปี ค.ศ.1996 ซึ่งปัจจุบันเป็นเซิร์ฟเวอร์ฐานข้อมูลที่สามารถใช้งานได้หลากหลายแพลตฟอร์ม โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายนอกจากนี้ยังรองรับข้อมูลเชิงพื้นที่อีกด้วย (Drake and Worsley, 2002; Riggs, et al., 2015)

### 5.5 ระบบให้บริการ Geoserver

Geoserver เป็นเครื่องมือสำหรับให้บริการข้อมูลเชิงพื้นที่หรือข้อมูลภูมิสารสนเทศผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยเป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิดและรองรับข้อมูลทั้งรูปแบบเวกเตอร์ และราสเตอร์ ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษาจาวาภายในมาตรฐานของ Web Feature Service (WFS) และมาตรฐาน Web Coverage Service (WCS) และสามารถจัดเรียง แก๊ซ และส่งออกข้อมูลได้ในรูปแบบ Web Map Tile Service เพื่อความสะดวก และรวดเร็วสำหรับการเผยแพร่ (Geoserver, n.d.)

### 5.6 Quantum GIS (QGIS)

Quantum GIS หรือ QGIS เป็นโปรแกรมสำหรับจัดการด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แบบซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open-source) สามารถดาวน์โหลดและติดตั้งบนระบบปฏิบัติการได้ทั้ง Windows, Mac OS X และ Linux แบบไม่มีค่าใช้จ่ายและมีปลั๊กอินหรือส่วนขยายฟังก์ชันการทำงานให้เลือกหลากหลาย (Pennsylvania, n.d.) สามารถสืบค้น วิเคราะห์ เรียกแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) ทั้งข้อมูลเวกเตอร์ (Vector Data) และข้อมูลราสเตอร์ (Raster Data) นอกจากนี้ QGIS สามารถเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูลภายนอกเช่น PostgreSQL อีกทั้งยังรองรับการให้บริการข้อมูลภูมิสารสนเทศผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบ Web Map Service (WMS) ซึ่งได้รับการกำหนดมาตรฐานโดย Open Geospatial Consortium (OGC) (กองทัพเรือ, 2560; รัตนา มั่นประสิทธิ์, 2560)

## 6.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการสังเคราะห์

### 6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สรวิศ สุกเวชย์ (2562) ได้ศึกษาเรื่องการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบกัดพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนทิเนลตามอนุกรมเวลา เพื่อจำแนกพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง ด้วยวิธีการสกัดข้อมูลพีชไร์จากสมการคณิตศาสตร์เชิงคาบ ใช้วิธีการประมวลผลเชิงจุดภาพ (Pixel-Based) ร่วมกับดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน SAVI เนื่องจากต้องการลดทอนค่าการสะท้อนของดินที่มองเห็นในจุดภาพปะปนกับข้อมูลการสะท้อนคลื่นแสง โดยเฉพาะในช่วงเริ่มปลูก จากกลุ่มตัวอย่างแปลงเพาะปลูกมันสำปะหลังจำนวน 20 แปลงระหว่างเดือน มกราคม – ตุลาคม พ.ศ.2561 การศึกษานี้มีสมมติฐานว่า “ดัชนีพืชพรรณของพีชไร์ในอนุกรมเวลาที่มีการเก็บผลผลิตแบบตัดเพื่อเก็บแล้วปลูกใหม่ จะมีค่าดัชนีพืชพรรณลดลงในช่วงฤดูเก็บเกี่ยว และจะเริ่มเพิ่มขึ้นในฤดูเริ่มเพาะปลูก” ผู้ศึกษาให้ความเห็นว่าวิธีการแสดงลักษณะการเจริญเติบโตของพีชไร์โดยสังเกตจากการตรวจวัดข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น

Iterative Caterpillar Singular Spectrum Analysis Method, Empirical Mode Decomposition Method (EMD), Low Pass Filtering (LPF) และ Whittaker Smoother (Whit) เป็นต้น ผู้ศึกษาให้ความเห็นว่าไม่เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้เพื่อการติดตามที่ต้องค่อย ๆ ประมวลผลต่อเนื่องตามระยะเวลา เนื่องจากความแปรผันของอุปสรรคด้านสภาพแวดล้อม (เมฆ ฝนตก การเผาพื้นที่ และการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน) ในการศึกษาครั้งนี้จึงพัฒนาระบบการที่สามารถใช้ข้อมูลน้อยกว่า มาแสดงเฉพาะตำแหน่งคาดการณ์ที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวจนถึงฤดูเริ่มปลูก นอกจากนี้ยังใช้เทคนิคการผสมภาพข้อมูลรายเดือนเพื่อลดทอนผลกระทบจากเมฆบดบังเหนือพื้นที่ศึกษา ด้วยเทคนิค Minimum Value Composite (จะเลือกพิจารณาเฉพาะจุดภาพที่มีค่าดัชนี SAVI ต่ำที่สุดมาสร้างเป็นภาพใหม่) ซึ่งตรงกันข้ามกับวิธีการของ Holben (1986) ที่ใช้ Maximum Value Composite (MVC) เพื่อเลือกจุดภาพ อย่างไรก็ตามในช่วงเดือนมิถุนายนก็ยังคงพบกับปัญหาข้อมูลที่ขาดหายไป เนื่องจากอุปสรรคของเมฆบดบังพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ผู้ศึกษาจึงใช้การประมาณค่าเพื่อเติมข้อมูลให้กับตำแหน่งที่ขาดหายไปด้วยสมการพหุนาม (Polynomial) โดยให้เหตุผลว่าจำเป็นต้องคำนวณทุกจุดภาพที่เป็นสิ่งปกคลุมอื่นๆ นอกจากพืชไร่จึงใช้สมการที่สามารถใช้ได้ทั่วไป และไม่มีคุณลักษณะเฉพาะบางประการมากเกินไป ตรวจสอบความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน SAVI ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R-squared : R<sup>2</sup>) ผลลัพธ์พบว่าการศึกษาที่ระดับกำลัง 4 (Polynomial degree = 4) จะให้ R<sup>2</sup> ที่สูงกว่า 0.5 ทุกแปลง จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ผ่านการประมาณค่าส่วนที่ขาดหายไปจากอนุกรมเวลาพัฒนาเป็นแบบจำลองเชิงคาบ (Periodic Function) ที่ใช้ข้อมูลเพียงช่วงสั้น ๆ (Holben, 1986) (3 เดือน) ได้แก่ ก่อนเก็บเกี่ยว, ระหว่างเก็บเกี่ยวผลผลิต และหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต และสุดท้ายเริ่มปลูกใหม่ โดยมีสมการดังนี้

$$f(SAVI_{i,j}^T) = \sum a_n \cdot P_m^d \quad (21)$$

เมื่อกำหนดให้คาบ P<sub>m</sub> เท่ากับ

$$P_m = \frac{mt}{12} \quad (22)$$

โดยที่ a<sub>n</sub> หมายถึงค่าสัมประสิทธิ์ที่ต้องการ

m<sub>t</sub> หมายถึงชุดตัวเลข 1 – 12 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 และค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.083

เมื่อนำสมการเชิงคาบดังกล่าวเขียนให้อยู่ในรูปพหุนามกำลังสอง จะได้รูปแบบสมการดังนี้

$$f(SAVI_{i,j}^T) = a_0 + a_1 \cdot P_m + a_2 \cdot P_m^2 \quad (23)$$

โดยเรียกสมการนี้ว่า “สมการกรองเชิงคาบ” (Periodic Filter Function : PFF) ผลการทดสอบประมวลผลข้อมูล เพื่อตรวจหาแปลงเพาะปลูกที่มีการเก็บเกี่ยวผลผลิตสามช่วงเวลา ได้แก่ เดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน ปี พ.ศ.2561 อีกทั้งยังได้ทดสอบประมวลผลข้อมูลกับสิ่งปกคลุมดินประเภทอื่นๆ ได้แก่ สิ่งปลูกสร้าง บ่อน้ำ ป่าไม้ ซึ่งสิ่งที่สมการ PFF ของพืชไร่นั้นแตกต่างจากสิ่งปกคลุมดินประเภทอื่นๆ 3 เดือนไซ ได้แก่ 1.มีการตกของค่าต่ำกว่า 2,000 ในช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต 2.มีค่าสูงสุด - ต่ำสุดในช่วงฤดูการเพาะปลูกมากกว่า 6,000 และ 3.ค่าจากสมการ PFF ในแต่ละเดือนจะมีระยะห่างที่สม่ำเสมอ

พันธวิดี ตั้งพัฒนากุล และคณะ (2557) ได้ศึกษาการประเมินความผันแปรระยะพัฒนาการของข้าวจากภาพถ่ายในระบบ Field Server (เสาดัดตั้งอุปกรณ์สำหรับติดตามการเปลี่ยนแปลงของข้าว) โดยมีวัตถุประสงค์สองประการ ได้แก่ 1.ศึกษาการผันแปรของค่าดัชนีพืชพรรณ ExG (Excessive Green) ตามระยะพัฒนาการของข้าวนาปีและนาปรังด้วยภาพถ่ายแบบ RGB และ 2.เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำแนกระยะการพัฒนาของข้าวด้วยภาพถ่าย RGB กับ แบบจำลองข้าว KKU Rice model ในปี พ.ศ.2556 พื้นที่ศึกษาข้าวนาปีจำนวน 1 รอบการเพาะปลูก ณ อำเภอเกษตรวิสัย จังหวัดร้อยเอ็ด และข้าวนาปรังจำนวน 2 รอบการเพาะปลูก ณ อำเภอสวนแตง จังหวัดสุพรรณบุรี ผ่านการเฝ้าสังเกตความเปลี่ยนแปลงของนาข้าวด้วย Field Server ซึ่งเป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลสภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ, ความชื้น, ค่าจากรังสีดวงอาทิตย์, ความเร็วและทิศทางลม, ปริมาณน้ำฝน และภาพถ่ายแบบ RGB การศึกษาครั้งนี้ได้นำภาพถ่ายแบบ RGB ในรูปแบบไฟล์ Jpeg มาคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ ExG ของภาพ แต่ละวัน และนำเสนอบนแกนเวลา เพื่อวิเคราะห์ระยะพัฒนาการของข้าวโดยกำหนดจุดที่เริ่มมีการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีพืชพรรณ ExG ให้เป็นจุดเริ่มต้นของช่วงที่พิจารณา (Start of Season : SOS) และกำหนดจุดสิ้นสุดที่มีการลดลงของค่าดัชนีพืชพรรณ ExG ภายหลังจากช่วงการเจริญเติบโต ให้เป็นจุดสิ้นสุดของช่วงที่พิจารณา (End of Season : EOS) จากนั้นจึงคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ และกำหนดค่า Ratio จากพื้นที่ใต้กราฟในช่วงที่พิจารณา นอกจากนี้ยังประเมินระยะพัฒนาการของข้าวด้วยแบบจำลองการคาดคะเนผลผลิตข้าว KKU Rice Model ซึ่งจะต้องนำเข้าข้อมูลบางส่วนที่จำเป็นต่อการประมวลผล ได้แก่ วันที่เริ่มปลูก, อุณหภูมิ, ความชื้นดิน, รังสีจากดวงอาทิตย์, พันธุ์ข้าวที่เพาะปลูก และชนิดดิน เป็นต้น ผลการศึกษาพบว่าการประเมินระยะพัฒนาการของข้าวจากภาพถ่าย Field Server ภายหลังจากการคำนวณและแบ่งค่า ratio

แล้วกำหนดให้วันที่มีค่ามากกว่า 0.0%, 14%, 86%, และ 100% เป็นค่าแบ่งระยะพัฒนาการของข้าวได้แก่ ช่วงต้นกล้า, ช่วงเจริญเติบโต, ช่วงออกทรง และช่วงเก็บเกี่ยว ตามลำดับ โดยที่ค่า ratio ดังกล่าวผ่านการประมาณค่า และทดสอบความถูกต้องกับแปลงนาที่แตกต่างกัน ในส่วนการประเมินระยะพัฒนาการของข้าวจากแบบจำลองข้าว KKU Rice model จะแสดงข้อมูลต่าง ๆ เช่น ระยะพัฒนาการ, น้ำหนักของลำต้น, พื้นที่ใบ, น้ำหนักรวงข้าว และวันเริ่มต้นทยอยอด เป็นต้น ซึ่งสามารถคำนวณหาวันเริ่มต้นของช่วงเจริญเติบโตได้จาก 25 % ของระยะพัฒนาการทั้งหมด วันเริ่มต้นของการออกทรงคำนวณจากวันเริ่มต้นของกราฟที่มีการเพิ่มน้ำหนักรวงข้าว และวันเก็บเกี่ยวคำนวณจาก 100% ของระยะพัฒนาการทั้งหมด เมื่อแสดงตารางเปรียบเทียบระยะพัฒนาการของข้าวจากทั้งสองวิธีเห็นได้ชัดว่าวิธีการพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟจากค่าดัชนีพืชพรรณ ExG และจากแบบจำลองการคาดคะเนผลผลิตข้าว KKU Rice model ให้วันที่ใกล้เคียงกับระยะพัฒนาการจริงจากการบันทึกข้อมูล ณ แปลงนา แม้ว่าในวันเริ่มต้นของช่วงการเจริญเติบโตที่เป็นค่าจริงจากแปลงนา จะไม่สามารถระบุได้ เนื่องจากไม่สามารถจำแนกช่วงต้นกล้า กับช่วงการเจริญเติบโตโดยใช้สายตาได้อย่างชัดเจน

แคสเสด มงคลสวัสดิ์ และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ (2552) ศึกษาแนวทางการใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงเวลาเพื่อติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งจากสภาวะด้านชีพลักษ์ของป่ามรสุมเขตร้อน ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ วัตถุประสงค์เพื่อใช้ข้อมูลดาวเทียมตรวจสอบบริเวณที่เกิดความแห้งแล้งโดยอาศัยลักษณะทางชีพลักษ์ของพืช เนื่องจากการขาดน้ำ และเพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์พื้นที่และระดับความรุนแรงของความแห้งแล้ง ในกรณีที่มีข้อมูลอุตุนิยมิวิทยาไม่เพียงพอ โดยการประยุกต์ใช้ดัชนีเชิงคลื่นที่มีผลต่อความสัมพันธ์ทางกายภาพ และสภาวะด้านชีพลักษ์พืชพรรณ ได้แก่ ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์แมลไลซ์ (NDVI), ดัชนีผลต่างความชื้น (Normalized difference water index : NDWI) และดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (EVI) จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมรายเดือนระบบ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) พร้อมตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงในพืชพรรณระหว่างฤดูกาล และระหว่างปี โดยอาศัยพื้นฐานจากการเปลี่ยนแปลงของค่าระหว่างคู่ภาพต่างวัน เพื่อศึกษาวงจรการเจริญเติบโตตามฤดูกาลของพืช และประเมินความสัมพันธ์ของคู่ตัวแปรปริมาณน้ำฝน กับความเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนี โดยใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) เพื่อกำหนดขนาดความเปลี่ยนแปลง ผลของการศึกษาจะบ่งชี้ให้เห็นถึงรูปแบบเชิงเวลา

และเชิงพื้นที่ของความแห้งแล้ง โดยที่ภาพผลต่าง NDVI และ EVI จะบอกถึงความแตกต่างระหว่างพื้นที่ของพืชพรรณที่ปกคลุม ส่วนภาพผลต่าง NDWI จะแสดงความแตกต่างที่ผสมผสานระหว่างพืชพรรณ กับปริมาณน้ำในพื้นที่ ผู้ศึกษายังได้กล่าวอีกว่าหากเป็นพื้นที่ป่าไม้ผลัดใบ (Ever Green Forest) ค่า NDVI จะสูงตลอดทั้งปี ซึ่งจะแตกต่างกับพื้นที่ป่าผลัดใบ (Deciduous Forest) และเกษตรกรรมที่จะมีค่าสูงเฉพาะในช่วงฤดูฝน และต่ำลงมากในฤดูแล้งหรือช่วงฤดูแล้งเกี่ยว ในด้าน NDWI จะมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ และมีนาคม แต่จะมีค่าสูงตลอดทั้งฤดูฝนตั้งแต่เดือนกรกฎาคมจนถึงพฤศจิกายน

Soontranon และคณะ (n.d.) ศึกษาการประมวลผลชีพลักษณะพืชพรรณระหว่างรูปภาพ Field Server และ Landsat 8 เพื่อเปรียบเทียบปฏิทินการเพาะปลูกข้าว ในรอบการเพาะปลูกปี พ.ศ.2557 มีพื้นที่ศึกษาเป็นแปลงทดสอบ 3 แปลง ได้แก่ แปลงข้าวนาปรังจำนวน 2 แปลง (แปลง ก) และ (แปลง ข) ตั้งอยู่พื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี และข้าวนาปี จังหวัดร้อยเอ็ด จำนวน 1 แปลง โดยมีวัตถุประสงค์ 1.เพื่อสร้างวิธีการประมวลผลภาพชีพลักษณะแบบรายปี อัตโนมัติ และกำหนดปฏิทินการเพาะปลูก 2.เปรียบเทียบชีพลักษณะพืชพรรณบนแปลงนาข้าวจากรูปภาพภาคพื้นดิน (Field Server) และ Landsat 8 และ 3.หาความสัมพันธ์ รวมถึงความคลาดเคลื่อนของปฏิทินการเพาะปลูก ระหว่างรูปภาพ Field Server และ Landsat 8 โดยใช้รูปภาพ Field Server เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อตรวจสอบความถูกต้องเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้ง ณ พื้นที่ศึกษาจริง ซึ่งการศึกษานี้จะมุ่งเน้น 2 ตัวแปรที่สำคัญได้แก่ วันเริ่มต้นรอบการเพาะปลูก (SOS) และ วันสิ้นสุดรอบการเพาะปลูก (EOS) โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-Series) สองประเภทที่แตกต่างกัน ประกอบไปด้วยรูปภาพภาคพื้นดินที่ได้จากอุปกรณ์ Field Server และข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสถานะของการเพาะปลูก ในส่วนของรูปภาพ Field Server นั้นเป็นข้อมูลรายวันที่ผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดได้จากระบบติดตามการเกษตร (AMS) ถูกลำมาแยกประมวลผลบริเวณที่สนใจ (Area of Interest : AOI) หรือแปลงข้าว จากนั้นจึงคำนวณดัชนีพืชพรรณแบบ ExG เพื่อแสดงกราฟชีพลักษณะพืชพรรณ และปรับลดการสวิงของสัญญาณด้วยระเบียบวิธี Savitzky-Golay และภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร และมีความละเอียดเชิงเวลาเท่ากับ 16 วัน จะถูกนำมาพิจารณาเฉพาะตำแหน่งของจุดภาพที่ติดตั้ง Field Server โดยการคำนวณดัชนีพืชพรรณแบบ ExG เช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากความละเอียดเชิงเวลาที่ไม่เท่ากัน (Field Server รายวัน ส่วน Landsat 8 ราย 16 วัน) จึงต้องทำการประมาณค่าในช่วงแบบ Cubic Interpolation ให้มีความ

ละเอียดเชิงเวลาเท่ากับรูปภาพจาก Field Server (365 วัน) และประมวลผลอีกครั้งเพื่อลดการสวิงของสัญญาณด้วย Savitzky-Golay เช่นเดียวกับรูปภาพจาก Field Server ในขั้นตอนการประมวลผลสุดท้ายกราฟชีพลักษณะที่ได้จากทั้งสองวิธี จะถูกกำหนดตำแหน่งของวันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดการเพาะปลูกด้วยเงื่อนไขเดียวกันซึ่งคล้ายคลึงกับการศึกษาของ พันธุ์ดี ตั้งพัฒนากุล และคณะ (2557) คือตำแหน่งที่ค่าดัชนีพืชพรรณ ExG มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.4 และพื้นที่ใต้กราฟมีค่า Ratio เท่ากับ 5% จะถูกกำหนดให้เป็นวันเริ่มต้นรอบการเพาะปลูก และ 95% กำหนดให้เป็นวันสิ้นสุดรอบการเพาะปลูก ผลการเปรียบเทียบปฏิทินการเพาะปลูกของพื้นที่ทดสอบทั้ง 3 แปลง จากรูปภาพจาก Field Server และภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดเท่ากับ +3 (วัน) ซึ่งหมายถึงปฏิทินการเพาะปลูกที่ได้จาก Landsat 8 เกิดขึ้นหลังจาก Field Server ในตำแหน่งวันเริ่มต้นรอบการเพาะปลูกที่ 2 ของแปลงทดสอบ (ข) ข้าวนาปรัง จังหวัดสุพรรณบุรี และค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่สุด -47 (วัน) หมายถึงปฏิทินการเพาะปลูกที่ได้จาก Landsat 8 เกิดขึ้นก่อน Field Server ในตำแหน่งวันสิ้นสุดรอบการเพาะปลูกของแปลงทดสอบเดียวกัน สาเหตุเนื่องจากการเลื่อนวันเก็บเกี่ยวจริงส่งผลให้รูปคลื่นของสัญญาณเกิดเป็นยอดคลื่นหลักสองยอด และทำให้เกิดการสวิง ขึ้น-ลงของสัญญาณ และนับว่าเป็นความคลาดเคลื่อนอันหนึ่งที่พบในการทดลอง อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย จะอยู่ที่ประมาณ 18 - 19 วัน ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้สำหรับข้อมูล Landsat 8 ที่มีความละเอียดเชิงเวลาเท่ากับ 16 วัน แต่ยังคงจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการที่มีประสิทธิภาพให้มากยิ่งขึ้นต่อไป

Soontranon, Srestasathien and Rakwatin (2015) ได้ศึกษาการสร้างปฏิทินข้าวจากการวิเคราะห์ชีพลักษณะ ด้วยข้อมูลแบบอนุกรมเวลา ภายใต้โครงการเครือข่ายเซ็นเซอร์ Field Server (FS) ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ สทอภ. ใช้สำหรับติดตามพื้นที่เกษตรกรรมทุกภาคของประเทศไทยจำนวน 24 สถานี (ติดตั้งพื้นที่ทดสอบแปลงข้าว 11 สถานี) มีวัตถุประสงค์เพื่อบันทึกข้อมูลจากพื้นที่จริง ทดแทนการสำรวจด้วยเจ้าหน้าที่ FS จะซึ่งบันทึกข้อมูล 2 รูปแบบได้แก่ภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลที่เป็นข้อมูลภาพถ่ายรายวันบันทึกช่วงคลื่นที่ตามองเห็นประกอบไปด้วย ช่วงคลื่นสีแดง (Red) ช่วงคลื่นสีเขียว (Green) และช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (Blue) นอกจากนี้สถานี FS ยังบันทึกข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาได้แก่ อุณหภูมิ, ความชื้นอากาศ, ปริมาณน้ำฝน, ความเร็วลม และทิศทางลม เป็นต้น ทุกสถานีเป็นระบบอัตโนมัติอัพโหลดข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์กลาง และสามารถเข้าถึงได้

ผ่านเว็บไซต์ ที่ผ่านมามีการศึกษาโดยมุ่งเน้นไปที่การแสดงลักษณะทางชีพลักษณ์ด้วยการประมวลผลภาพถ่ายรายวันที่ได้จากสถานี FS เพื่อติดตาม-คำนวณระยะเวลาการเพาะปลูก การวัดความสูงของข้าว และการศึกษาเปรียบเทียบดัชนีพืชพรรณระหว่าง Normalized Difference Green / Red Normalized green red difference index (NGRDI), Excess Green minus Excess red (ExGR) และ Excess Green (ExG) แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าดัชนีพืชพรรณ ExG มีประสิทธิภาพมากกว่าในการประเมินระยะพัฒนาการของข้าว โดยก่อนที่จะประมวลผลภาพถ่ายแต่ละภาพจะถูกกำหนดพื้นที่พิจารณา (AOI) หรือการจำแนกบริเวณที่เป็นนาข้าว และพื้นที่อื่นๆ (ท้องฟ้า ต้นไม้ และอื่น ๆ) จากภาพถ่ายด้วยค่าขีดแบ่งระดับความเขียว และถูกนำไปคำนวณดัชนีพืชพรรณ ExG เฉพาะบริเวณที่พิจารณาสอดคล้องกับการศึกษาของ พันธุ์ดี ตั้งพัฒนาภู และคณะ (2557) จากนั้นนำแสดงบนแกนเวลาจะได้ผลลัพธ์คือกราฟชีพลักษณ์พืชพรรณของพื้นที่นาข้าว และเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์กราฟชีพลักษณ์ด้วย 3 เทคนิคประกอบไปด้วย การปรับความเรียบของกราฟ (Curve Fitting) เพื่อลดความซับซ้อนของสัญญาณด้วยอนุกรมฟูเรียร์ (Fourier Series), การกำหนดจุดต่ำสุดเฉพาะที่ (Local minimum points) คือการพิจารณาตำแหน่งที่มีค่าดัชนีพืชพรรณสูงเกินกว่าค่าขีดแบ่ง (20% ของค่าสูงสุด) จะไม่ถูกนำมาวิเคราะห์ และตำแหน่งที่มีค่าดัชนีพืชพรรณในระดับต่ำกว่าค่าขีดแบ่ง จะกำหนดให้เป็นจุดแบ่งของโค้งย่อย (Sub Curves) ให้กับกราฟชีพลักษณ์ และการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟและช่วงเวลา (Area and Duration) เพื่อระบุรอบการเพาะปลูก จากการศึกษาพบว่าระยะเวลาในพื้นที่ใต้กราฟของโค้งย่อยที่มีระยะเวลา และค่าดัชนีพืชพรรณ ExG สูงจะระบุได้ว่าเป็นช่วงเวลาในการเพาะปลูก (Cultivated) ซึ่งแตกต่างกับช่วงที่ไม่มีการเพาะปลูก (Non-cultivated) แต่มีวัชพืชปกคลุมดิน จะมีลักษณะของโค้งย่อย มีระยะเวลา และค่าดัชนีพืชพรรณ ExG ต่ำอย่างเห็นได้ชัด โดยเรียกเทคนิคนี้ว่า Threshold Selection Technique สังเกตได้ว่ากราฟชีพลักษณ์จะมีลักษณะเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) แล้วจึงคำนวณ Ratio ตลอดช่วงเวลาในพื้นที่ใต้กราฟที่มีการเพาะปลูก (Sub Curves Cultivated) ตำแหน่งที่มีค่า Ratio เท่ากับ 5% และ 95% จะถูกกำหนดเป็นวันเริ่มต้นรอบการเพาะปลูก และวันสิ้นสุดรอบการเพาะปลูกตามลำดับ คล้ายคลึงกับวิธีการที่ปรากฏในการศึกษาของ พันธุ์ดี ตั้งพัฒนาภู และคณะ (2557) ดังนั้นภาพอนุกรมเวลาสามารถใช้คำนวณเพื่อสร้างปฏิทินการเพาะปลูกข้าวได้ด้วยดัชนีพืชพรรณ ExG และวิเคราะห์กราฟชีพลักษณ์ วิธีการนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกเพียงรอบเดียว (Single Crop) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ปลูกข้าวนาปี และไม่อยู่

ในเขตชลประทาน และพื้นที่การเพาะปลูกสองรอบ (Double Crop) หรือพื้นที่นาปรังที่สามารถเพาะปลูกได้สองครั้งในรอบปี อย่างไรก็ตามยังคงต้องมีการพัฒนาวิธีการเพื่อรองรับประเภทการเพาะปลูกที่หลากหลายขึ้นไป ยกตัวอย่างเช่น การเพาะปลูก 2.5 – 3 รอบต่อปี หรือการคาดการณ์ปฏิทินการเพาะปลูกล่วงหน้า

Amir, et al. (2019) พัฒนาระบบการติดตามชีพลักษณะเพื่อตรวจจับพื้นที่ปลูกข้าวด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนทิเนล 2 ในพื้นที่ศึกษา 3 แห่ง ประกอบไปด้วยเมือง Marvdasht, Dargaz และ Qazvin ในประเทศอิหร่าน โดยมีจุดมุ่งหมายสร้างเงื่อนไขที่ใช้สำหรับจำแนกพื้นที่ปลูกข้าวออกจากสิ่งปกคลุมดินชนิดอื่นแบบอัตโนมัติ พิจารณาจากโปรไฟล์ของช่วงคลื่นสีน้ำเงิน, สีเขียว, สีแดง, และอินฟราเรดใกล้ ของสิ่งปกคลุมดิน 6 ชนิด ประกอบไปด้วย ข้าว, ข้าวสาลี, ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, ผักกาดฝรั่ง, อัลพัลฟา และมะเขือเทศ เพื่อค้นหาช่วงคลื่นที่มีค่าการสะท้อนแตกต่างกันสูงระหว่างพื้นที่ปลูกข้าว และสิ่งปกคลุมดินชนิดอื่น พบว่าช่วงคลื่นสีแดง และอินฟราเรดใกล้ให้ความแตกต่างของกราฟได้ดีกว่าช่วงคลื่นสีน้ำเงิน และสีเขียวอีกทั้งยังสามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างแต่ละระยะการเพาะปลูกอีกด้วย จากการทดสอบสมมติฐานด้วยเทคนิคการทดสอบแบบ t-test ค่าเฉลี่ยช่วงคลื่นสีแดง และอินฟราเรดใกล้ของพื้นที่ปลูกข้าว และสิ่งปกคลุมดินชนิดอื่นให้ค่า p-value เท่ากับศูนย์หมายความว่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของพืชผลมีนัยสำคัญทางสถิติ จากนั้นใช้เทคนิคอัตราส่วนช่วงคลื่นสร้างข้อมูล NDVI เพื่อศึกษารูปแบบชีพลักษณะของพื้นที่ปลูกข้าว และสิ่งปกคลุมดินชนิดอื่นด้วยการใช้ค่าเฉลี่ยจากจุดภาพ (NDVI) พบว่าพื้นที่ปลูกข้าวมีค่าต่ำมากในช่วงแรกของการเพาะปลูกเนื่องจากมีน้ำขังในแปลงนา และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดการเจริญเติบโตสูงสุด (Greenness Peak: GP) แล้วค่อย ๆ ลดระดับลงจนถึงวันเก็บเกี่ยว ซึ่งแตกต่างจากสิ่งปกคลุมดินชนิดอื่นที่มีรูปแบบแตกต่างกันออกไป กล่าวอีกนัยหนึ่งข้าวจะถูกเก็บเกี่ยวหลังจากที่ออกรวงเต็มที่ และใบกลายเป็นสีเหลืองซึ่งแตกต่างจากข้าวโพดโดยที่ข้าวโพดจะถูกเก็บเกี่ยวทันทีหลังจากถึงจุด GP แล้วดังนั้นคุณลักษณะ และพฤติกรรมนี้เป็นประโยชน์สำหรับการตรวจจับพื้นที่เพาะปลูกข้าว การศึกษาครั้งนี้จึงผลิตเงื่อนไข (Rule-base) เพื่อตรวจจับพื้นที่เพาะปลูกข้าวประกอบไปด้วย 1. พิจารณาลักษณะเด่นของนาข้าวในช่วงแรกของการปลูกที่เต็มไปด้วยน้ำท่วมขังส่งผลให้ค่า NDVI บนโปรไฟล์จะค่อนข้างต่ำ ดังนั้นหากค่าของจุดภาพใดที่มีค่าสูงกว่าค่าขีดแบ่งจะถูกกำจัดออกเพื่อคัดกรองสิ่งปกคลุมดินชนิดอื่นที่มีพฤติกรรมคล้ายคลึงกับพื้นที่ปลูกข้าว 2. หลังจากผ่านช่วงแรกของการปลูกไปแล้วค่า NDVI จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นไปจนถึงจุด GP แล้วจะค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงวันเก็บเกี่ยวอัตราส่วนของความชันระหว่างสองจุดนี้จะมีลาดชันไม่มากนักซึ่งแตกต่างจากข้าวโพดที่ถูกเก็บเกี่ยวทันทีหลังจาก

จุด GP จึงทำให้มีความลาดชันสูง และ 3. ประเด็นที่น่าสังเกตคือกระบวนการตรวจจับพื้นที่ปลูกข้าวนี้ เป็นการวิเคราะห์ทุกจุดภาพในช่วงแรกของการปลูก NDVI จะค่อนข้างต่ำดังที่ได้กล่าวไป ซึ่งอาจทำให้ปะปนกันกับพืชชนิดอื่นในช่วงเวลาเดียวกัน และทำให้เกิดความสับสนได้ ดังนั้นจึงต้องกำหนด NDVI ขั้นต่ำด้วยอัตราส่วนข้าว (Rice Ratio) โดยใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้โดยให้เหตุผลว่าการสะท้อนแสงในช่วงระยะแรกของการปลูกจนถึงจุด GP จะน้อยกว่าสิ่งปกคลุมดินชนิดอื่นจึงสามารถใช้ค่าจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาเป็นตัวหารของอัตราส่วนได้ และอีกหนึ่งคุณสมบัติเด่นคือหลังจากเจริญเติบโตเต็มที่แล้วจนถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวจะมีค่าในช่วงคลื่นสีแดงที่สูงกว่าสิ่งปกคลุมดินชนิดอื่น จึงสามารถใช้เป็นตัวเศษของอัตราส่วนช่วงคลื่นได้ดังสมการ

24

$$\text{Rice Ratio} = \frac{\text{Red (Harvest)}}{\text{NIR (Cultivation)}} \quad (24)$$

โดยที่

Rice Ratio หมายถึง อัตราส่วนข้าว

Red (Harvest) หมายถึง ค่าการสะท้อนสูงที่สุดในช่วงคลื่นสีแดงที่อยู่ระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยว

NIR (Cultivation) หมายถึง ค่าการสะท้อนต่ำที่สุดในช่วงคลื่นอินฟราเรดที่อยู่ระหว่างช่วงแรกของการเพาะปลูก

นอกจากนี้ยังใช้การจำแนกแบบกำกับคู่ด้วยเทคนิค Support Vector Machine (SVM) และ Machine Learning (ML) เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องการจำแนกพื้นที่เพาะปลูกข้าวจากทั้ง 3 วิธี (Rule-base, SVM และ ML) ในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่ง ผลลัพธ์พบว่าเมือง Marvdasht, Dargaz และ Qazvin มีความถูกต้องโดยรวมเท่ากับร้อยละ 88, 98 และ 91 ตามลำดับ มีค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 0.73, 0.94 และ 0.71 ตามลำดับ นอกจากนี้ผลลัพธ์จากการจำแนกด้วย SVM และ ML มีความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 81 และ 57 ตามลำดับ และ ค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 0.77 และ 0.46 ตามลำดับ จากการพิจารณาพบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการตรวจจับพื้นที่เพาะปลูกข้าวด้วย Rule-base ได้รับผลใกล้เคียงกับ SVM ในขณะที่ ML มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด

Pan, et al. (2021) ศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการทางชีพลักษณ์เพื่อสร้างแผนที่พืชฤดูหนาวในประเทศจีนด้วยข้อมูลแบบอนุกรมเวลาบน ภูเกิ้ล เอิร์ธ เอนจิน ผ่านการรวมข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-7/8 และ Sentinel-2A/B เพื่อสร้างชุดข้อมูลเชิงพื้นที่

ความละเอียดสูงและสร้างดัชนีเน้นภาพประกอบไปด้วย NDVI, LSWI, EVI และ Modified Normalized Difference Water Index (mNDWI) เป็นข้อมูลอนุกรมเวลาทุก ๆ 10 วัน ด้วยการใช้อัลกอริทึมตรวจจับเมฆ (Fmask) สำหรับภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-7/8 เพื่อระบุว่าในจุดภาพใดมีอุปสรรคด้านสภาพอากาศ (เมฆปกคลุม หรือเงาเมฆ) จะถูกกำหนดให้เป็น Bad quality observations และจุดภาพใดที่ไม่มีอุปสรรคด้านสภาพอากาศถูกกำหนดให้เป็น High quality observations และใช้ข้อมูลแถบประเมินคุณภาพเมฆซึ่งเป็นรายละเอียด (Metadata) ระบุไว้ในผลิตภัณฑ์ของดาวเทียม Sentinel-2A/B เพื่อสังเกตข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ไม่ผ่านการประเมินคุณภาพ ถูกกำหนดให้เป็น Bad/High quality observations เช่นเดียวกัน จุดภาพที่ไม่ผ่านการประเมินคุณภาพจะจัดเก็บเป็น NODATA และไม่ถูกนำมาวิเคราะห์ เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม 2 ดวง จึงทำให้ข้อมูลที่ได้รับมีความละเอียดเชิงเวลาไม่เท่ากันดังนั้นจึงอาศัยเทคนิคการผสมภาพแบบค่าสูงสุด (Maximum Value) โดยกำหนดระยะเวลาในช่วง 10 วัน เพื่อสร้างเป็นภาพแบบผสมหนึ่งภาพ (Image Composite) หากภาพในบางพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศ (หิมะ, เมฆ และปัจจัยทางกายภาพ) และไม่สามารถสร้างเป็นภาพแบบผสมได้ดีในช่วง 10 วัน จะต้องคำนวณด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ เติมค่าให้กับชุดข้อมูลด้วยการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น อย่างไรก็ตาม แม้ว่าชุดข้อมูลผ่านการประมวลผลข้างต้นแล้วยังคงพบข้อผิดพลาด หรือข้อมูลรบกวน (Noises) ในจุดภาพที่เกิดจากเศษเมฆหรือปัจจัยด้านอื่น ๆ เป็นสาเหตุทำให้ต้องประมวลผลอีกครั้งเพื่อปรับปรุงข้อมูลให้เส้นโค้งมีความเรียบ (Smooth Curve) และลดความสวิตซ์ขึ้น-ลงของสัญญาณรบกวนด้วย Savitzky-Golay Filter (S-G Filter) เพื่อสร้างชุดข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีคุณภาพ จากนั้นใช้จุดตัวอย่าง (Sample Point) ของสิ่งปกคลุมดินประกอบไปด้วย พืชดูหนาว, ป่าดงดิบหรือป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen Forest), ป่าผลัดใบผสมบูรณ (Deciduous Forest), ข้าว, ข้าวโพด และถั่วลิสง รวมถึงพื้นที่น้ำที่ไม่สามารถซึมผ่านได้ และพื้นที่น้ำจากข้อมูลอนุกรมเวลาผ่านการประมวลผลในขั้นตอนก่อนหน้ามาสร้างเป็นกราฟซีฟลักซ์ แล้วคำนวณค่าทางสถิติ (ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เพื่อระบุแต่ละช่วงของการเพาะปลูกเช่น SOS, Green-up Speed (GUS), ความยาวของการเพาะปลูก (Growing Season Length: GSL) และ EOS โดยการพิจารณาจากแต่ละโค้งของกราฟ NDVI โดยมีเงื่อนไขไว้ว่าเมื่อค่าในช่วงเวลาหนึ่งมีค่ามากกว่าค่าก่อนหน้า และค่าถัดไปจะถูกกำหนดให้เป็นค่าสูงสุด (Peak) และต้องมีค่าไม่เกินกว่า 0.6 เพื่อกำจัดค่าสูงสุดที่เกิดจากวัชพืชหรือการเก็บเกี่ยวที่ไม่สมบูรณ์ (ไม่อยู่ในช่วงการเพาะปลูกประจำปี) และใช้เทคนิคการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด (Maximum rate of NDVI Changes) เพื่อระบุ SOS/EOS พร้อมทั้งคำนวณ GUS และ GSL ด้วย

ค่าทางสถิติจากกราฟ NDVI ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลที่สมบูรณ์แล้วตลอดทั้งฤดูกาลเพาะปลูก จากนั้นใช้ตำแหน่งจากการสำรวจภาคสนาม และประเมินความถูกต้องด้วยเมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) พบว่าผลการจำแนกพืชฤดูหนาว และพื้นที่อื่น ๆ มีความแม่นยำโดยรวมเท่ากับร้อยละ 94.56

Guo, et al. (2021) พัฒนาระบบการศึกษาลักษณะทางชีพลักษณ์เพื่อจัดทำแผนที่รายละเอียดสูงของความเข้มข้นการเพาะปลูกพืชในพื้นที่ซับซ้อนด้วยแพลตฟอร์มกูเกิล เอิร์ธ เอนจิน ในมณฑลเหอหนาน วัตถุประสงค์เพื่อระบุรูปแบบการปลูกพืช (Single, and Triple crop) ด้วยการตรวจจับสถานะการเจริญเติบโตสูงสุด (Peak Point) ในข้อมูลดัชนีพืชพรรณและดัชนีน้ำผิวดินแบบอนุกรมเวลาร่วมกับวิเคราะห์ลักษณะทางพฤกษศาสตร์จากวัฏจักรการเจริญเติบโต โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนทิเนล-2 ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2562 - กรกฎาคม 2564 จำนวน 8,883 ภาพ และคัดกรองด้วยแถบประเมินคุณภาพ QA60 (สำหรับคัดกรองภาพที่มีเมฆปกคลุมมาก) และเน้นเฉพาะพื้นที่การเพาะปลูกด้วยผลิตภัณฑ์ข้อมูลสิ่งปกคลุมดินที่ความละเอียดจุดภาพ 10 เมตร (FROMGLC10) บริเวณมณฑลเหอหนาน แล้วสร้างดัชนีเน้นภาพประกอบไปด้วยดัชนี NDVI และ LSWI พร้อมทั้งสร้างข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยการประมวลผลข้อมูลแบบภาพ ผสม (Composite) ด้วยค่าสูงสุดทุกๆ 10 วัน (เนื่องจากค่าสูงสุดของ NDVI สามารถสะท้อนถึงการเจริญเติบโตที่แท้จริงของพืชพรรณในช่วงเวลานั้น ๆ) และปรับปรุงข้อมูลด้วยการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นเพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ของข้อมูลให้มากที่สุด พร้อมทั้งลดขนาดของสัญญาณรบกวนบนข้อมูลอนุกรมเวลา NDVI ด้วย S-G Filter และวิเคราะห์ลักษณะทางชีพลักษณ์พบว่าพืชที่ปลูกเพียงหนึ่งรอบในหนึ่งปี (Single Crop) มักมีจุดสูงสุดของการเจริญเติบโตเพียงหนึ่งจุดเท่านั้น เช่นเดียวกันกับพื้นที่ที่มีการปลูกพืชสองรอบต่อปีมักจะมีจุดสูงสุดของการเจริญเติบโต 2 จุด ผลลัพธ์จากการศึกษาพบว่าบริเวณมณฑลเหอหนานมีพื้นที่ปลูกพืชแบบรอบเดียว 52,236 ตร.กม. กระจายตัวอยู่บริเวณด้านใต้ด้านตะวันตก และตะวันตกเฉียงเหนือ คิดเป็นร้อยละ 40.56 ของพื้นที่การเพาะปลูก พื้นที่ปลูกพืชแบบสองรอบ 74,334 ตร.กม. กระจายอยู่บริเวณตอนกลาง และตอนใต้คิดเป็นร้อยละ 57.85 ของพื้นที่การเพาะปลูกในมณฑลเหอหนาน จากการตรวจสอบความถูกต้องโดยรวมพบว่ามีความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 90.95 และสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับร้อยละ 0.81

## 6.2 การใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลเพื่อติดตามพื้นที่เพาะปลูก

ที่ผ่านมา มีการประยุกต์ใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงพืชพรรณอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปด้วยแนวคิด และเทคนิคด้านต่าง ๆ แต่สิ่งหนึ่งที่มีความสอดคล้องกันนั้นคือการสังเกต และตรวจวัดข้อมูลโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความ

สอดคล้องกับข้อมูลอนุกรมเวลา (Time-Series) โดยเฉพาะข้อมูลจากดาวเทียมที่มีศักยภาพในการติดตามเชิงพื้นที่และครอบคลุมด้วยการบันทึกเพียงครั้งเดียวด้วยเซ็นเซอร์แบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral) ทำให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ระดับในเขตการปกครองระดับลุ่มน้ำ และระดับภูมิภาคได้ แผลงเพาะปลูกในประเทศไทยมีขนาดเล็กและยังแบ่งพื้นที่ใช้สอยออกเป็นรูปแบบต่าง ๆ ทำให้เกิดการปะปนกันของข้อมูล (Non-Homogeneous) ดังนั้นความละเอียดของจุดภาพจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมควรจะอยู่ระหว่าง 10 – 30 เมตร จึงจะให้ความเหมาะสมกับการวิเคราะห์แปลงเกษตรขนาดเล็ก (Supavetch, 2019) ปัจจุบัน Copernicus Open Access Hub ให้บริการเข้าถึงข้อมูลโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย (Open Access Data) ได้แก่ข้อมูลในกลุ่มดาวเทียม Sentinel-2A/B ไม่เพียงแต่มีความละเอียดเชิงเวลาสูง (5-10 วัน) แต่ยังมีค่าความละเอียดเชิงพื้นที่สูงเช่นกัน (10 – 60 เมตร) ซึ่งจะทำให้ข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับนำมาวิเคราะห์และติดตามพืชพรรณมีความละเอียดมากยิ่งขึ้น และสามารถใช้อธิบายร่วมกับดัชนีพืชพรรณเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของข้อมูล เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของพืชพรรณจะสะท้อนถึงวัฏจักรประจำปี (Crop Cycle) ของพืชชนิดนั้น ๆ ภายใต้อิทธิพลทั้งปัจจัยทางชีวภาพและไม่ใช้ทางชีวภาพ (Xia, et al., 2017) ดังนั้นการประยุกต์ใช้ดัชนีเชิงคลื่นที่มีผลต่อความสัมพันธ์ทางกายภาพ และสถานะด้านชีวลักษณ์พืชพรรณจึงเป็นที่นิยมสำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงของพืชผ่านกระบวนการทางลักษณะชีวลักษณ์ เช่น การระบุวันเริ่มต้น (Start of Season) และวันสิ้นสุดการเพาะปลูก (End of Season) (Pan, et al., 2021) รวมไปถึงการระบุจุดสูงสุดของการเจริญเติบโต (Peak Growth) จากการศึกษาที่ผ่านมาข้อมูลดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ (NDVI) ถูกใช้เป็นข้อมูลหลักที่นิยมใช้สำหรับติดตามตรวจสอบพืชพรรณเนื่องจากค่าของ NDVI จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากระยะแรกของการเจริญเติบโต (Green-Up Stage) จนถึงระยะการเจริญเติบโตสูงที่สุด (Peak Growth Stage) และหลังจากระยะโตเต็มวัย (Mature Stage) ค่าจะค่อย ๆ ลดลง จนถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยว (Harvest Stage) ดังนั้นข้อมูล NDVI สามารถใช้สำหรับติดตามการเปลี่ยนแปลงสถานะด้านชีวลักษณ์พืชพรรณได้ (Guo, et al., 2021) อีกดัชนีพืชพรรณที่ได้รับการพัฒนามาจาก NDVI คือดัชนี SAVI ซึ่งเป็นดัชนีที่พยายามจะลดอิทธิพลจากความสว่างของดินที่สะท้อนเข้ามายังภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “พืชไร่” ซึ่งเป็นพืชปกคลุมดินที่มองเห็นความสว่างของดินชัดเจนในระยะแรกของการปลูก และจะลดลงเมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะเจริญเติบโต (เรือนยอดปกคลุมดินมากขึ้น) ซึ่งผลกระทบจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณ เรือนยอด และความหนาแน่นของโครงสร้างทางพฤกษศาสตร์แต่ละชนิด จึงทำให้ดัชนีพืชพรรณ SAVI เหมาะสมแก่การนำไปใช้เพื่อตรวจสอบกิจกรรม และลักษณะทางกายภาพของพืชไร่โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน

ระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตเนื่องจากบริเวณใกล้เคียงจะมักจะมีความหนาแน่นของพืชต่ำ (Supavetch, 2019) และเนื่องจากลักษณะของระบบรากในพืชไร่มีข้อแตกต่างจากพืชสวนหรือไม้ยืนต้นชนิดอื่น ยกตัวอย่างเช่นข้าวต้องการใช้น้ำเยอะในบางระยะการเจริญเติบโต โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นและลดลงของระดับน้ำในสภาพพื้นที่นาฝ้าฝน (ข้าวนาปี) ที่ไม่มีระบบชลประทานควบคุมน้ำให้เพียงพอตลอดฤดูกาลเพาะปลูก อีกทั้งยังมีระบบการเพาะปลูกที่หลากหลาย (ปักดำ, หว่านแห้ง และหว่านน้ำตม) ซึ่งมีการจัดการดูแลรักษาที่แตกต่างกันจึงนำมาสู่ดัชนีน้ำผิวดิน (LSWI) ที่จะบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของพืช และเนื่องจาก LSWI มีความไวต่อผิวน้ำ และความชื้นดินมาก (Guo, et al., 2021; Pan, et al., 2021) จึงเหมาะสมแก่การนำมาประยุกต์ใช้เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงและลักษณะทาง ชีพลักษณะของพืชควบคู่ไปกับดัชนีที่ได้กล่าวในตอนต้น

ตาราง 3 ดัชนีที่ใช้ติดตามสถานะการเปลี่ยนแปลงของพืชด้วยกราฟชีพลักษณะ

| Vegetation Index                             | Formula   | Reference  |
|--|---|--|
| Normalized difference vegetation index: NDVI | $NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$                    | (แคสเสด มงคลสวัสดิ์ และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, 2552)<br>(Sakamoto, et al., 2006)<br>(Pan, et al., 2021)<br>(Guo, et al., 2021)<br>(Khare, et al., 2022)<br>(Li, et al., 2022)<br>(Burns, et al., 2022)<br>(สรวิศ สุภเวชัย, 2562) |
| Soil-Adjusted Vegetation Index: SAVI         | $SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \times (1 + L)$ |  |
| land surface water index (LSWI)              | $LSWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$                  | (Pan, et al., 2021)<br>(Guo, et al., 2021)   |
| Excessive Green : EXG                        | $EXG = 2 \times GREEN - RED - BLUE$                     | (พันธ์วิดี ตั้งพัฒนากุล และคณะ, 2557)<br>(Soontranon, et al., n.d.)  |

| Vegetation Index   | Formula   | Reference   |
|--|---|---|
|  |   | (Soontranon, Srestasathiern and Rakwatin, 2015)                                   |
| Enhanced vegetation index : EVI                          | $EVI = 2.5 \times \frac{NIR - RED}{NIR + 6 \times RED - 7.5 \times BLUE + 1}$ | (Pan, et al., 2021)<br>(Khare, et al., 2022)<br>(Sisheber, et al., 2022)          |
| green chromatic coordinate (GCC)                         | $GCC = \frac{GREEN}{RED + GREEN + BLUE}$                                      | (Khare, et al., 2022)   |
| green normalized difference vegetation index (GNDVI)     | $GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$                                     | (Burns, et al., 2022)   |
| red-edge normalized difference vegetation index (RENDVI) | $RENDVI = \frac{NIR - REDEGE}{NIR + REDEGE}$                                  | (Burns, et al., 2022)   |
| normalized area vegetation index (NAVI)                  | $NAVI = 1 - \frac{RED}{NIR}$  | (Burns, et al., 2022)   |
| chlorophyll index-green (C <sub>green</sub> )            | $C_{green} = \frac{NIR}{GREEN} - 1$   | (Gitelson, et al., 2005)<br>(Hatfield and Prueger, 2010)<br>(Burns, et al., 2022) |

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

แนวทางการศึกษาสำหรับการวิเคราะห์ชีพลักษณะพืชพรรณเพื่อศึกษาระยะพัฒนาการของข้าว และตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา กรณีศึกษาอำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา จะมุ่งเน้นที่การพัฒนาปฏิทินระยะพัฒนาการของข้าว โดยการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมและวิเคราะห์ผลลัพธ์เพื่อนำไปสู่การกำหนดช่วงเวลาสำหรับเทคนิคผลต่างภาพเพื่อตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าว เนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา และวิธีการวิเคราะห์

#### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แพลตฟอร์ม Google Earth Engine (GEE)

ภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 "COPERNICUS/S2\_SR"

PostgresQL

Qgis

#### ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

**ดาวเทียม Sentinel-2** ประยุกต์ใช้ GEE เพื่อสืบค้นและเรียกใช้ชุดข้อมูลจาก Sentinel-2 ได้แก่ Top-of-Atmosphere Reflectance (TOA) และ Surface Reflectance (SR) แต่เนื่องจากข้อมูล TOA มีข้อจำกัดบางประการซึ่งอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของละอองลอยในอากาศ การศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ข้อมูล SR (COPERNICUS/S2\_SR) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม – 31 ธันวาคม พ.ศ.2564 โดยเลือกใช้ ช่วงคลื่นสีแดง, อินฟราเรดใกล้ และอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น (Short-wavelength infrared : SWIR)

**ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม** เพื่อพัฒนาขอบเขตพื้นที่ศึกษาให้มีความเหมาะสม ได้มีการสำรวจพื้นที่เบื้องต้น มีรายละเอียดดังนี้

1.กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา หรือลุ่มน้ำย่อย (Subbasin) โดยการกำหนดจุดปลายน้ำไว้ ณ ตำแหน่งของเสาตรวจวัดจุลอุตุนิยมวิทยา (ตำแหน่งสีเขียวในภาพ 7) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการวิจัยของโครงการประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำในพื้นที่ปลูกข้าวหอมมะลิ ลุ่มน้ำโขงเหนือ

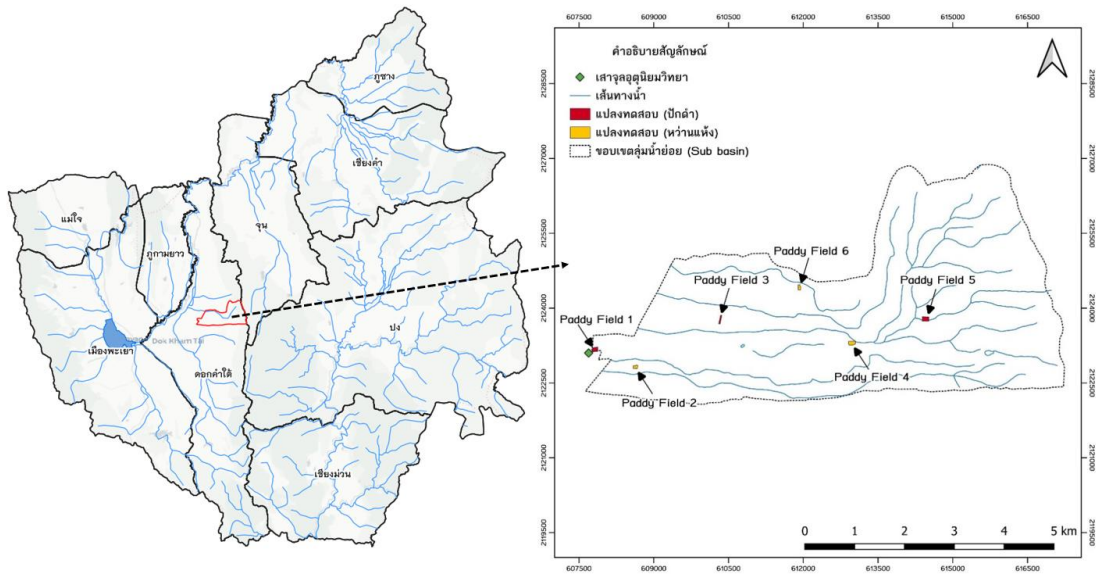
หรือบริเวณแปลงนาข้าวต้นแบบ (กลุ่มเกษตรกรนาแปลงใหญ่) ตั้งอยู่ในพื้นที่หมู่ที่ 2 ตำบลสันโค้ง อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา และแบ่งลุ่มน้ำย่อยออกเป็น 3 ส่วน (ส่วนที่หนึ่ง, ส่วนที่สอง และส่วนที่สาม)

2.คัดเลือกแปลงนาข้าวต้นแบบ (Parcel) จำนวน 6 แปลง (Paddy Field 1-6) โดยตำแหน่งของเสาจูลอตุณิยมหาวิทยาลัยตั้งอยู่ในแปลงทดสอบที่ 1 ซึ่งทั้ง 6 แปลงวางตัวกระจายอยู่ในลุ่มน้ำ ประกอบไปด้วยแปลงที่มีระบบการเพาะปลูกด้วยวิธีการปักดำจำนวน 3 แปลง (Paddy Field 1, 3 และ 5) และแปลงที่มีระบบการเพาะปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้ง จำนวน 3 แปลง (Paddy Field 2, 4 และ 6)

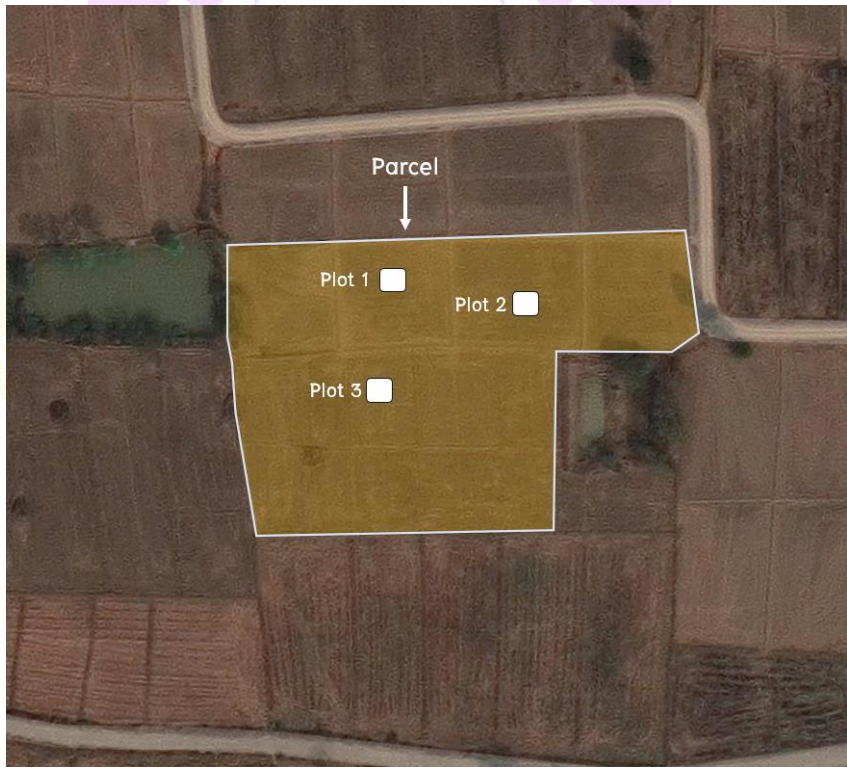
3.กำหนดแปลงสำรวจย่อย (Plot) เพื่อติดตามการเจริญเติบโตของต้นข้าวภายในแปลงทดสอบ จำนวน 3 ตำแหน่ง โดยแต่ละจะ Plot มีขนาดเท่ากับ 1 ตารางเมตร และวางตัวกระจายครอบคลุมบริเวณแปลงทดสอบแต่ละแปลง (ดังภาพ 8)

4.การลงพื้นที่สำรวจภาคสนามจะดำเนินการทุก ๆ 10 วัน แม้ว่าดาวเทียม Sentinel-2 มีรอบการวนซ้ำทุก ๆ 5 วัน แต่การเจริญเติบโตทางกายภาพของข้าวยังไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก การศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดช่วงเวลาในการสำรวจภาคสนามให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับรอบการวนซ้ำของดาวเทียม สำหรับการสำรวจแต่ละครั้งจะประกอบไปด้วยการสำรวจ 2 ชุดข้อมูลได้แก่ 1) ข้อมูลความสูงของต้นข้าวด้วยการวัดระดับความสูงจากผิวดินจนถึงปลายสุดของต้นข้าว และ 2) บันทึกภาพเพื่อใช้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของนาข้าว

5.สำรวจการใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ.2564 ด้วยการคำนวณหาจำนวนจุดสำรวจตามทฤษฎีของ Lins (1981) และใช้การวางตัวแบบสุ่ม (Random Sampling) สำหรับการสกัดพื้นที่ปลูกข้าว และพื้นที่ไม่ใช่นาข้าวเพื่อใช้เป็นข้อมูลประเมินความถูกต้องจากการจำแนก



ภาพ 7 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา และลุ่มน้ำย่อย



ภาพ 8 ตัวอย่างตำแหน่งของแปลงจุดสำรวจย่อย (Plot)

## วิธีการวิเคราะห์

ขั้นตอนการศึกษาจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ **ส่วนที่หนึ่ง** เป็นการผลิตปฏิทินระยะพัฒนาการของข้าวนาปีด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

### 1.การประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อสร้างกราฟชีพลักษณะพืชพรรณ

1.1 การเรียกใช้และคัดกรองภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2

1.2 การปรับเน้นข้อมูลด้วยวิธีคำนวณอัตราส่วนช่วงคลื่น

1.3 การคำนวณค่าสถิติ และนำเสนอข้อมูลชีพลักษณะพืชพรรณ

### 2.กราฟชีพลักษณะพืชพรรณ และการปรับปรุง

2.1 ลดขนาดของสัญญาณรบกวน และปรับเรียบข้อมูลด้วยกระบวนการ HANTS

2.2 ระบุตำแหน่งของ SOS/EOS ด้วย Modify Dynamic Threshold Method

2.3 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของชีพลักษณะกับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน

**ส่วนที่สอง** เป็นการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าว ประเมินความถูกต้องจากการจำแนก และการนำเสนอข้อมูลบนเว็บแอปพลิเคชัน ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้

### 1.ตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวโดยใช้เทคนิคผลต่างระหว่างภาพ

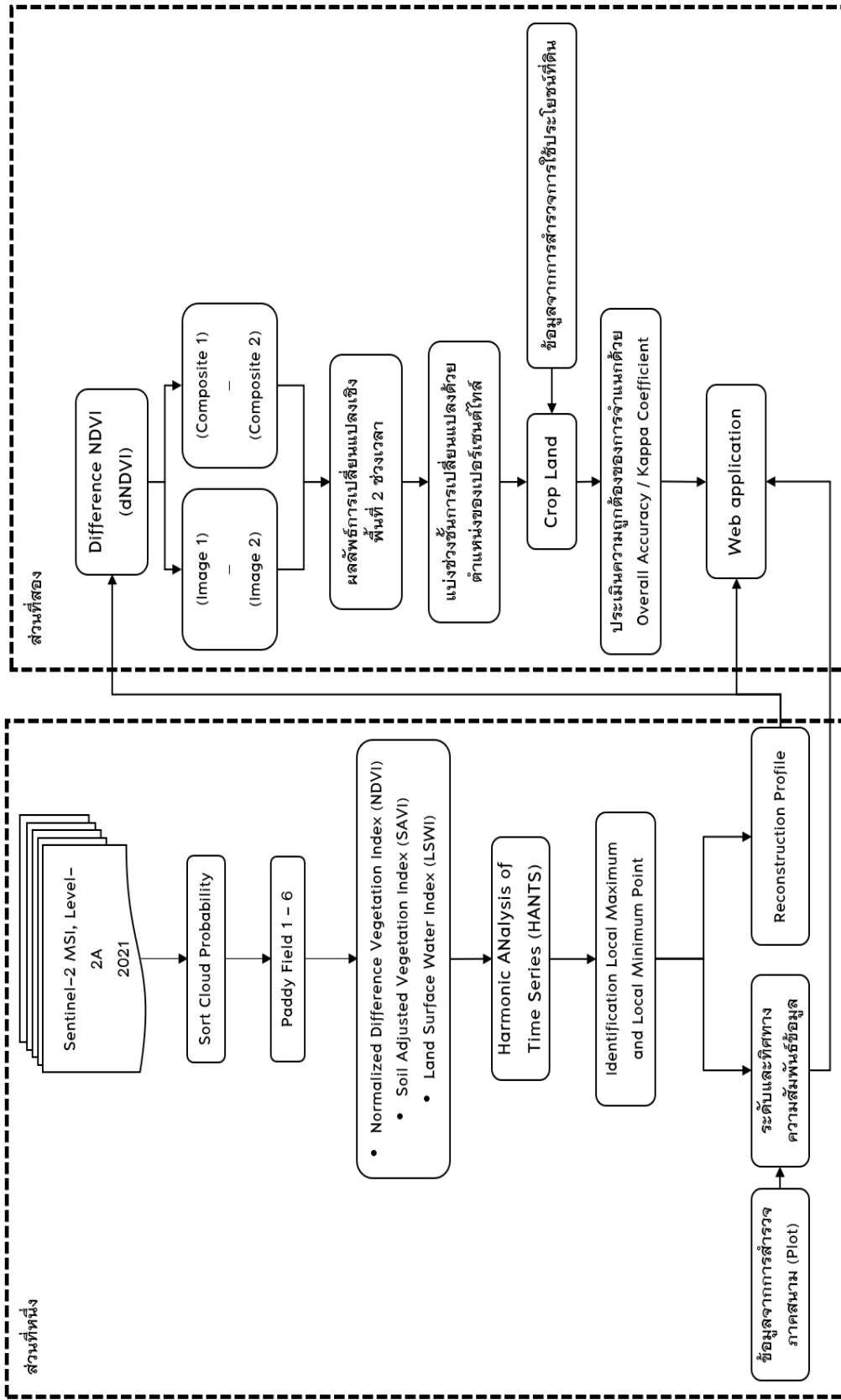
1.1 เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว (Single Image)

1.2 เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม (Composite)

1.3 การประมวลผลเพื่อระบุพื้นที่เพาะปลูกข้าว

### 2.การประเมินความถูกต้องจากการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าว

### 3.การให้บริการข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน



ภาพ 9 ขั้นตอนการศึกษา

ส่วนที่หนึ่งการผลิตปฏิทินระยะพัฒนาการของข้าวนาปีด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแบบอนุกรมเวลาประกอบไปด้วย

### 1. การประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อสร้างกราฟชีพลักษณะพืชพรรณ

#### 1.1 การเรียกใช้ และคัดกรองภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2

ประยุกต์ใช้ GEE โดยใช้ภาษาจาวาสคริปต์เรียกข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในคอลเลคชัน “COPERNICUS/S2\_SR” ระหว่างวันที่ 1 มกราคม – 31 ธันวาคม 2564 บริเวณพื้นที่ศึกษา และใช้แถบการประเมินคุณภาพเมฆ (QA60) เพื่อกำจัดข้อมูลที่ได้รับผลกระทบจากอุปสรรคด้านสภาพอากาศโดยเฉพาะเมฆ ซึ่งส่งผลให้เกิดการบกพรองของสัญญาณ (Noise)

#### 1.2 การปรับเน้นข้อมูลด้วยวิธีคำนวณอัตราส่วนช่วงคลื่น

เป็นการคำนวณดัชนีเพื่อประเมินความเป็นชีพลักษณะของต้นข้าวประกอบไปด้วย

1) ดัชนีผลต่างพืชพรรณแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) ซึ่งเป็นข้อมูลหลักที่นิยมใช้ติดตามพืชพรรณเนื่องจากข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับปริมาณคลอโรฟิลล์ และการเจริญเติบโตของพืช 2) ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ดิน (SAVI) เป็นดัชนีที่พัฒนาต่อยอดมาจาก NDVI เพื่อลดค่าการสะท้อนของพื้นดินที่ปนเปื้อนเข้ามาในจุดภาพ และเหมาะสมสำหรับการติดตามพืชไร่ที่มองเห็นความสว่างของดินในระยะแรกของการปลูก และ 3) ดัชนีน้ำผิวดิน (LSWI) เป็นดัชนีที่มีความอ่อนไหวต่อผิวน้ำ และความชื้นในดินมากจึงเหมาะสมในการตรวจสอบความสมบูรณ์ของพืชพรรณ แล้วสร้างเป็นข้อมูลดัชนีแบบอนุกรมเวลาใหม่

#### 1.3 การคำนวณค่าสถิติ และนำเสนอข้อมูลชีพลักษณะพืชพรรณ

คำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) ของภาพดัชนีด้วยขอบเขตของแปลงทดสอบ (Parcel) ทั้ง 6 แปลงทดสอบเพื่อเป็นตัวแทนชีพลักษณะของต้นข้าว ณ ช่วงเวลานั้น ๆ และนำเสนอข้อมูลชีพลักษณะด้วยการแสดงแบบแผนภูมิเส้นบนแกนเวลาที่ประกอบไปด้วยแกนตั้ง (Y) เป็นข้อมูลจากดัชนี และแกนนอน (X) เป็นข้อมูลวันที่แสดงผลแบบ DOY (ตัวเลขเรียงลำดับตั้งแต่ 1 มกราคม – 31 ธันวาคม) เพื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของชีพลักษณะต้นข้าวตลอดทั้งฤดูกาลเพาะปลูก

## 2. กราฟชีพลักษณะชีพพรรณ และการปรับปรุง

### 2.1 ลดขนาดของสัญญาณรบกวน และปรับเรียบข้อมูลด้วยกระบวนการ HANTS

กระบวนการ HANTS มีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์อนุกรมฟูเรียร์ และการแปลงฟูเรียร์อย่างง่าย แม้ว่าข้อมูลที่ไม่ผ่านการประเมินคุณภาพจะถูกกำจัดในขั้นตอนก่อนหน้า แต่ข้อจำกัดบางประการที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น กลุ่มเมฆที่มีลักษณะเบาบาง, เงามเมฆ และฝุ่นควัน อาจส่งผลให้เกิดความแปรปรวนไม่สม่ำเสมอของอนุกรมเวลา กระบวนการ HANTS จึงถูกนำมาคำนวณเพื่อให้ข้อมูลอนุกรมเวลา มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และสามารถนำมาใช้เพื่อผลิตปฏิทินระยะพัฒนาการของข้าวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

### 2.2 ระบุตำแหน่งของ SOS/EOS ด้วย Modify Dynamic Threshold Method

ประยุกต์ใช้เทคนิค Modify Dynamic Threshold Method ในการกำหนดตำแหน่งของ SOS/EOS บนกราฟชีพลักษณะทั้ง 3 ดัชนี โดยพิจารณาค่า Threshold เป็นขั้น ๆ ละ 5 ตั้งแต่ร้อยละ 0-35 คล้ายคลึงกับการศึกษาของ Huang, et al. (2019)

### 2.3 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของชีพลักษณะกับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน

ปฏิทินระยะพัฒนาการของข้าวรวมถึงการปรับปรุงข้อมูลดังที่ได้กล่าวมาในตอนต้น เป็นการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และนำเสนอในรูปของแผนภูมิเพื่อการติดตามลักษณะทางชีพลักษณะ เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของข้อมูลดังกล่าวจึงต้องมีการทดสอบด้วยข้อมูลจากการสำรวจภาคพื้นดินซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลความสูงของต้นข้าว และภาพถ่ายแปลงทดสอบที่ได้รับการบันทึกทุกๆ 10 วัน เพื่อให้ทันต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะของข้าว ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางชีพลักษณะ (ปฏิทินระยะพัฒนาการฯ) และข้อมูลจากการสำรวจภาคพื้นดินด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อบอกถึงทิศทาง และระดับความสัมพันธ์

## ส่วนที่สองการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าว ประเมินความถูกต้องจากการจำแนก และการนำเสนอข้อมูลบนเว็บแอปพลิเคชัน

### 1. การตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวโดยใช้เทคนิคผลต่างระหว่างภาพ

การวิเคราะห์เพื่อตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวอาศัยพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีระหว่างคู่ภาพ ประยุกต์ใช้จากวิธีการของ Volcani, Karnieli and Svoray (2005) ซึ่งเป็น

การนำข้อมูล NDVI มาทำผลต่างภาพ ในการศึกษาจะใช้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์คุณลักษณะของซีพลักษณะที่ผ่านการพัฒนาปฏิทินระยะพัฒนาการของข้าวจากพื้นที่ศึกษาในระดับตำบลสันโค้ง มาใช้กำหนดช่วงเวลาสำหรับเรียกใช้ข้อมูลเพื่อประมวลผลโดยพิจารณาระหว่างช่วงที่มีการเจริญเติบโตจนถึงจุดที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด (Greenness) กับช่วงที่ไม่มีการเจริญเติบโตหรือช่วงที่ไม่มีการเพาะปลูกในระดับอำเภอต่อค่าได้ (Training Area ในระดับตำบล และพัฒนาไปสู่การวิเคราะห์พื้นที่ใหญ่ขึ้นในระดับอำเภอ) ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นผลต่างของดัชนี มีแนวทางในการศึกษาดังนี้

#### 1.1 เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว (Single Image)

เป็นการใช้ตัวแทนภาพถ่ายจากดาวเทียมเพียงหนึ่งภาพต่อหนึ่งช่วงเวลา ที่ผ่านการคำนวณดัชนี และวิเคราะห์คุณลักษณะของซีพลักษณะแล้วมาทำสมการผลต่างภาพเขียนในรูปของสมการดังนี้

$$dImage = Image_1 - Image_2 \quad (25)$$

โดยที่

$dImage$  หมายถึง ผลต่างของดัชนีพืชพรรณ

$Image_1$  หมายถึง ภาพดัชนีพืชพรรณช่วงเวลาที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด (Cultivated)

$Image_2$  หมายถึง ภาพดัชนีพืชพรรณช่วงเวลาที่ไม่มีมีการเจริญเติบโต (Non-Cultivated)

#### 1.2 เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม (Composite)

เป็นการกำหนดช่วงเวลาเรียกข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในหนึ่งช่วงเวลาเพื่อสร้างเป็นข้อมูลภาพผสมหนึ่งภาพโดยใช้เทคนิค MVC (Holben, 1986) หรือการพิจารณาเฉพาะจุดภาพที่มีค่าสูงที่สุดมาสร้างเป็นภาพผสมหนึ่งภาพ ในการศึกษาจะใช้เทคนิคผสมภาพกับสองช่วงเวลาโดยอ้างอิงจากปฏิทินระยะพัฒนาการของข้าวได้แก่ช่วงเวลา 30 วันก่อนตำแหน่งที่มีการเจริญเติบโตสูงสุดของรอบการเพาะปลูกประจำปี (เป็นตัวแทนของช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด) กับช่วง 30 วันก่อนตำแหน่งวันเริ่มต้นการเพาะปลูก (เป็นตัวแทนของช่วงที่ไม่มีการเจริญเติบโต) สามารถเขียนในรูปของสมการดังนี้

$$dComposite = Composite_1 - Composite_2 \quad (26)$$

โดยที่

$dComposite$  หมายถึง ผลต่างของภาพผสมดัชนีพืชพรรณ

Composite<sub>1</sub> หมายถึง ภาพผสมดัชนีพืชพรรณช่วงเวลาที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด (Cultivated)

Composite<sub>2</sub> หมายถึง ภาพผสมดัชนีพืชพรรณช่วงเวลาที่ไม่มีการเจริญเติบโต (Non-Cultivated)

### 1.3 การประมวลผลเพื่อระบุพื้นที่เพาะปลูกข้าว

ในส่วนนี้เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาค่าขีดแบ่งพื้นที่เพาะปลูกข้าวจากข้อมูลผลต่างภาพ โดยอาศัยเทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลใหม่ (Reclassify) โดยใช้เทคนิคที่นิยมใช้ทั่วไปในการศึกษาได้แก่เทคนิค Quartile และ Natural Breaks (Jenks) โดยกำหนดให้มีช่วงชั้นของข้อมูลเท่ากับ 3 สอดคล้องกับการศึกษาของ (Hashim, Abd and Adnan, 2019; Ihinegbu and Ogunwumi, 2022) เช่นเดียวกันทั้งสองเทคนิค

## 2. การประเมินความถูกต้องจากการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าว

คำนวณจุดตรวจสอบ (Test Point) ที่เหมาะสมสำหรับการลงพื้นที่สำรวจภาคสนาม ตามทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบทวินามของ Lins (1981) จำนวน 256 จุด โดยใช้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยรวมที่ 80% และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ความเชื่อมั่น 95% นำมาตรวจสอบกับผลลัพธ์การตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวด้วยเทคนิคผลต่างภาพทั้งเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว และเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสมด้วยค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) และสัมประสิทธิ์แคปปาของโคเฮน (Kappa Coefficient)

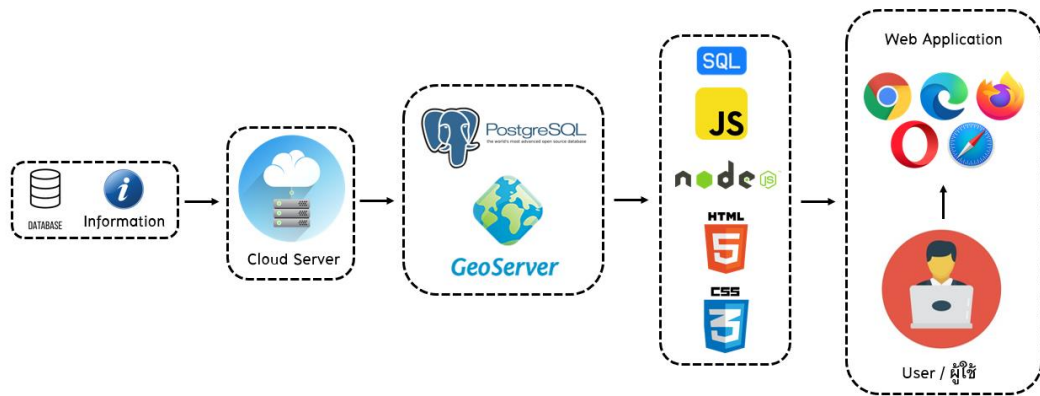
## 3. การให้บริการข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

นำเสนอข้อมูลและผลลัพธ์จากการศึกษาบนเว็บแอปพลิเคชันเพื่อให้ผู้ที่มีความสนใจสามารถเข้าถึง และศึกษาข้อมูลผ่านหลากหลายอุปกรณ์ (คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล, แล็ปท็อป และสมาร์ตโฟน ด้วยกระดานสรุปข้อมูลและแผนที่ โดยเนื้อหาที่จะนำเสนอมีดังนี้

1. ปฏิทินระยะพัฒนาการของข้าวตลอดฤดูการเพาะปลูกของแปลงทดสอบ ผ่านแผนภูมิโต้ตอบแบบไดนามิก

2. ผลลัพธ์ทิศทางการสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของซีพลักษณ์กับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน (Data Relationships)

3. ผลลัพธ์จากการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวด้วยเทคนิคผลต่างภาพในรูปแบบแผนที่



ภาพ 10 การให้บริการข้อมูลบนเว็บแอปพลิเคชัน



ภาพ 11 ตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน กระดานสรุปข้อมูลและแผนที่

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล/ผลการทดลอง/ผลการวิจัย

ผลการศึกษาเรื่อง “การวิเคราะห์ชีพลัษณ์พืชพรรณเพื่อศึกษาระยะพัฒนาการของข้าวนาปี และตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบอนุกรมเวลากรณีศึกษาอำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา” สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ข้อมูลพื้นฐานของแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 1-6

**ส่วนที่หนึ่ง** ผลการศึกษาการผลิตปฏิทินระยะพัฒนาการของข้าวนาปีด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา

- 1.ผลการศึกษาการประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อสร้างกราฟชีพลัษณ์พืชพรรณ
- 2.ผลการปรับปรุง การวิเคราะห์ และทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของชีพลัษณ์กับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน

**ส่วนที่สอง** ผลการศึกษาการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าว การประเมินความถูกต้องจากการจำแนก และการนำเสนอข้อมูลบนเว็บแอปพลิเคชัน

- 1.ผลการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวโดยใช้เทคนิคผลต่างระหว่างภาพ
- 2.ผลการประเมินความถูกต้องจากการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าว
- 3.การให้บริการข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 1 เป็นแปลงเพาะปลูกข้าวนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีการปักดำ มีขนาดพื้นที่ 8,932 ตารางเมตร (ตร.ม.) หรือ 5.58 ไร่ เป็นพื้นที่ราบตั้งอยู่ด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา และลุ่มน้ำย่อย ปักดำแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม 2564 และเก็บเกี่ยว 17 พฤศจิกายน 2564 (122 วัน)



ภาพ 12 แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 1

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 2 เป็นแปลงเพาะปลูกข้าวนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีการหว่านแห้ง มีขนาดพื้นที่ 5,286 ตร.ม. หรือ 3.30 ไร่ เป็นพื้นที่ราบตั้งอยู่ด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา และลุ่มน้ำย่อย หว่านเมล็ดพันธุ์แล้วเสร็จวันที่ 19 พฤษภาคม 2564 และเก็บเกี่ยว 17 พฤศจิกายน 2564 (182 วัน)



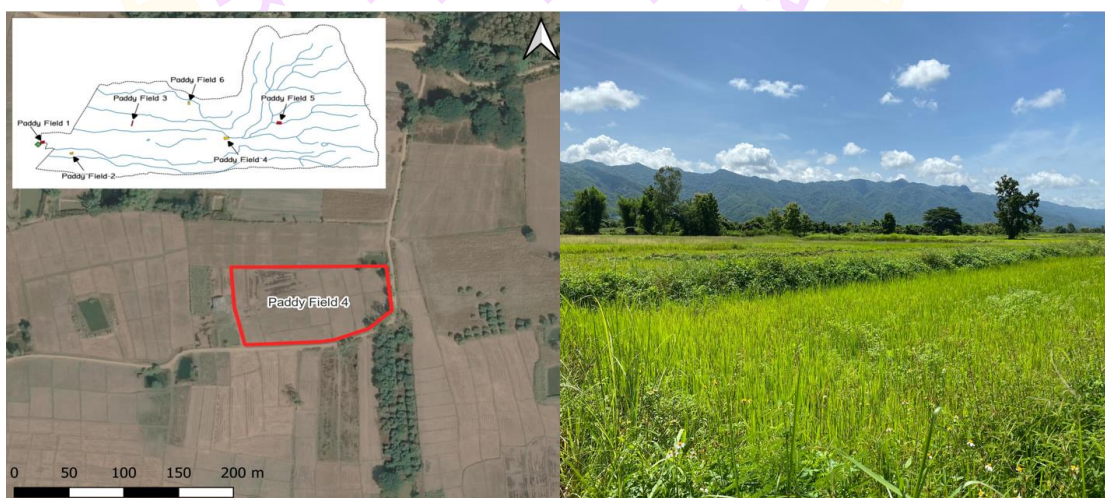
ภาพ 13 แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 2

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 3 เป็นแปลงเพาะปลูกข้าวนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีการปักดำ มีขนาดพื้นที่ 4,608 ตร.ม. หรือ 2.88 ไร่ เป็นพื้นที่ราบตั้งอยู่ด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา และลุ่มน้ำย่อย ปักดำแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 11 กรกฎาคม 2564 และเก็บเกี่ยว 23 พฤศจิกายน 2564 (135 วัน)



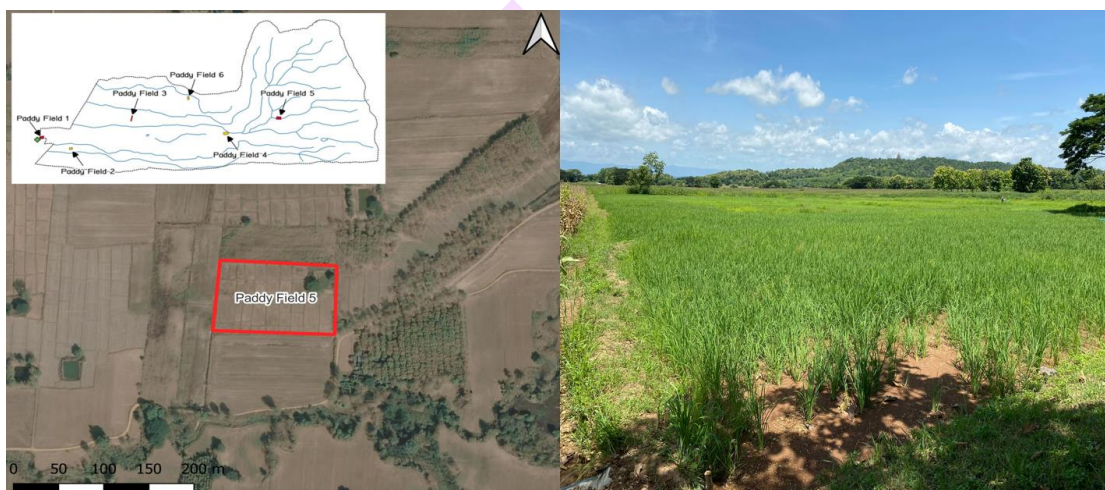
ภาพ 14 แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 3

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 4 เป็นแปลงเพาะปลูกข้าวนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีการหว่านแห้ง มีขนาดพื้นที่ 10,267 ตร.ม. หรือ 6.42 ไร่ เป็นพื้นที่ราบตั้งอยู่ตอนกลางของพื้นที่ศึกษา และลุ่มน้ำย่อย หว่านเมล็ดพันธุ์แล้วเสร็จวันที่ 16 พฤษภาคม 2564 และเก็บเกี่ยว 1 ตุลาคม 2564 (138 วัน)



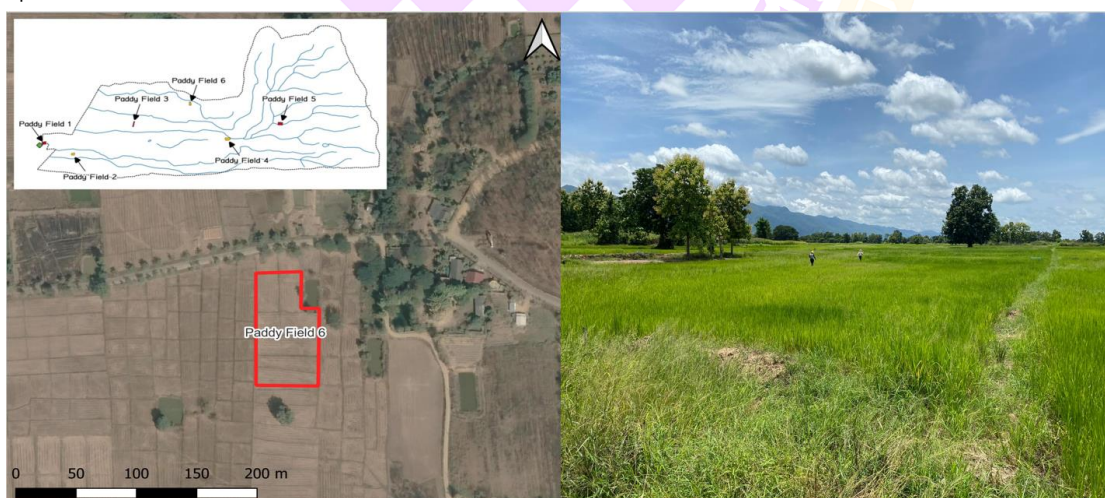
ภาพ 15 แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 4

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 5 เป็นแปลงเพาะปลูกข้าวนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีการปักดำ มีขนาดพื้นที่ 11,517 หรือ 7.20 ไร่ เป็นพื้นที่ราบตั้งอยู่ด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษา และลุ่มน้ำย่อย บักดำแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2564 และเก็บเกี่ยว 12 พฤศจิกายน 2564 (127 วัน)



ภาพ 16 แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 5

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 6 เป็นแปลงเพาะปลูกข้าวนาปีพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ด้วยวิธีการหว่านแห้ง มีขนาดพื้นที่ 5,011 หรือ 3.13 ไร่ เป็นพื้นที่ราบตั้งอยู่ตอนกลางของพื้นที่ศึกษา และลุ่มน้ำย่อย หว่านเมล็ดพันธุ์แล้วเสร็จวันที่ 3 มิถุนายน 2564 และเก็บเกี่ยว 3 ตุลาคม 2564 (122 วัน)

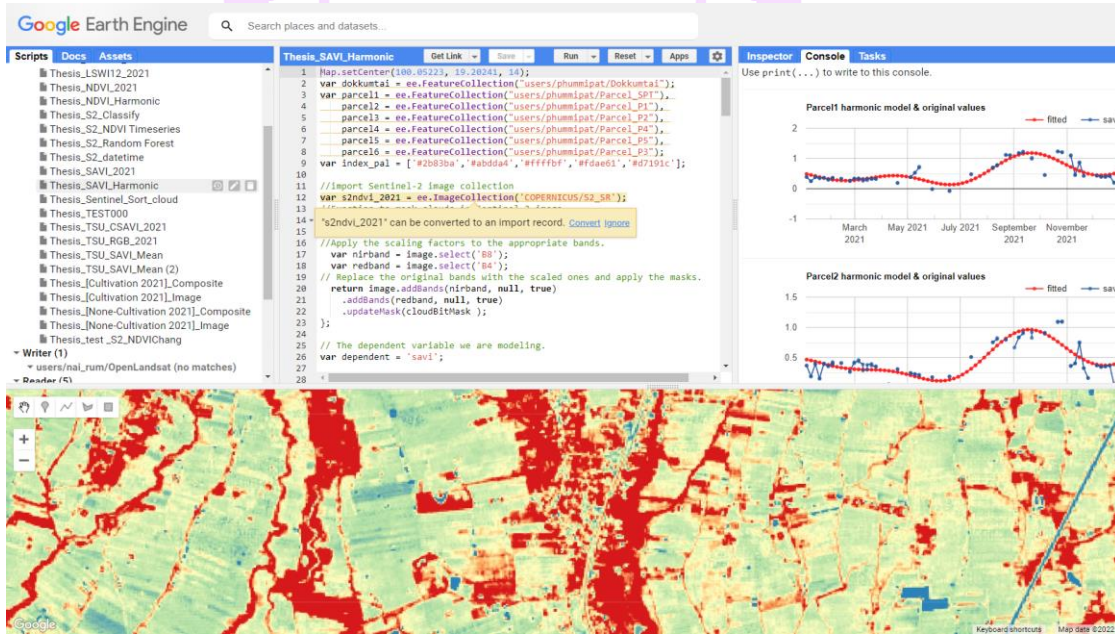


ภาพ 17 แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 6

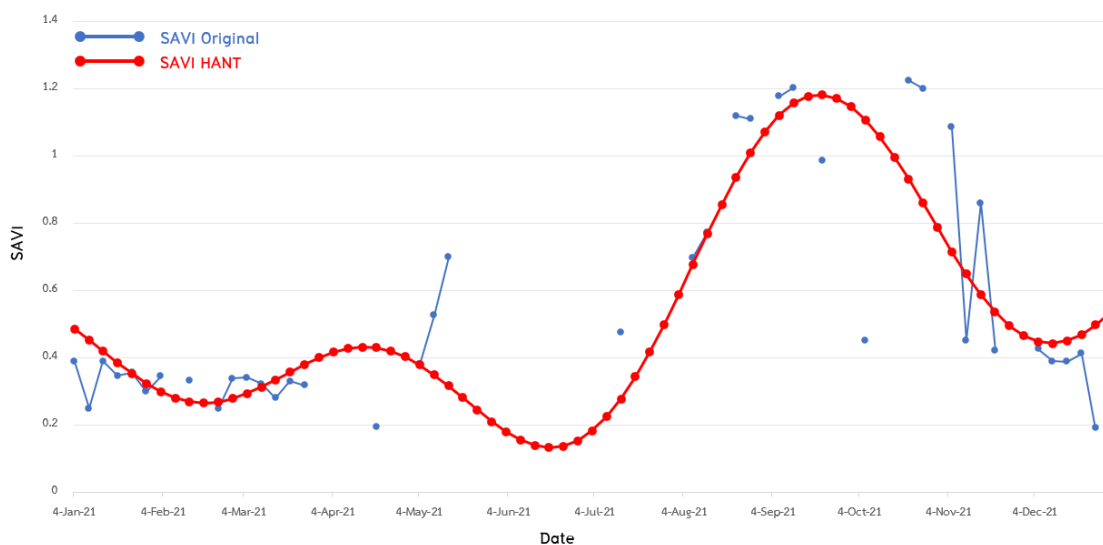
## ส่วนที่หนึ่งผลการศึกษาการผลิิตปฏิทินระยะพัฒนาการของข้าวนาปีด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา

### 1.ผลการศึกษาการประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อสร้างกราฟชีพลักษณะพืชพรรณ และระยะพัฒนาการของข้าว

จากการประยุกต์ใช้ GEE เพื่อสืบค้นและเรียกใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 คอลเลคชัน “COPERNICUS/S2\_SR” ร่วมกับ QA60 ระหว่างวันที่ 1 มกราคม - 31 ธันวาคม 2564 บริเวณพื้นที่ศึกษาตำบลสันโค้ง อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา (ดังภาพ 18) และปรับเน้นข้อมูลด้วยการสร้างดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ดัชนี ได้แก่ NDVI, SAVI และ LSWI แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยของภาพดัชนีด้วยขอบเขตแปลงทดสอบทั้ง 6 แปลง พร้อมกำหนดให้ประมวลผลปรับเรียบข้อมูลด้วยกระบวนการ HANTS แล้วนั้น ผลลัพธ์พบว่าข้อมูลที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรับเรียบ (Data) มีการขาดหายของข้อมูลเป็นช่วง ซึ่งเกิดจากการใช้ QA60 คัดกรองภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ไม่ผ่านการประเมินหรือมีเมฆปกคลุมเหนือในพื้นที่ศึกษาออกไป แล้วเติมเต็มความสมบูรณ์ให้กับกราฟด้วยกระบวนการ HANTS ทำให้ข้อมูลอนุกรมเวลามีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น (ดังภาพ 19)



ภาพ 18 Script การเรียกใช้ข้อมูลดาวเทียมด้วย GEE



ภาพ 19 ตัวอย่างผลลัพธ์เปรียบเทียบข้อมูลที่ยังไม่ผ่านและผ่านกระบวนการ HANTS

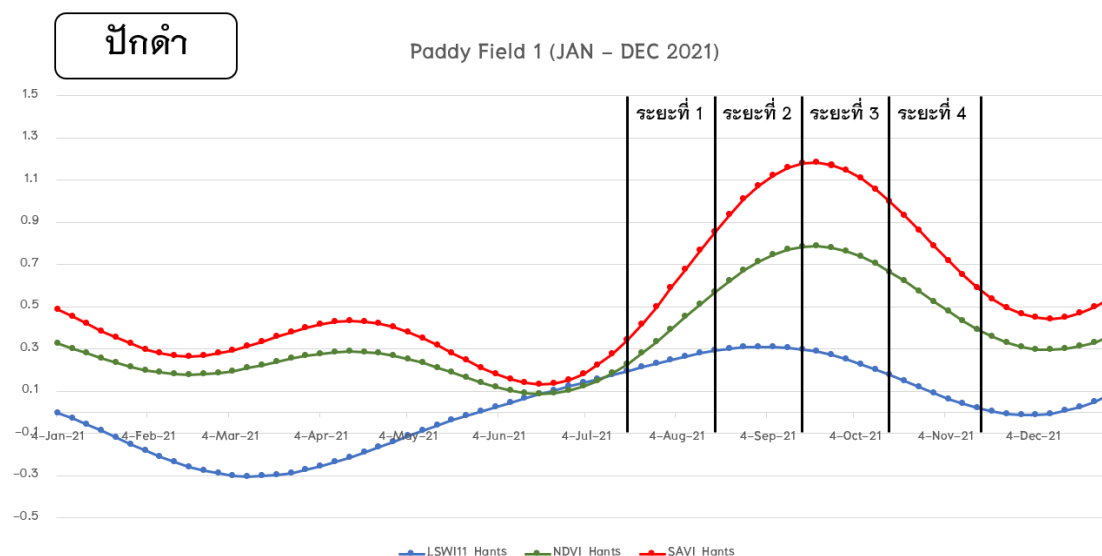
ข้อมูลแปลงทดสอบทั้ง 6 แปลง (Paddy Field 1-6) มีพื้นที่เฉลี่ย 7,604 ตารางเมตร หรือ 4.75 ไร่ ผลการศึกษาส่วนนี้จะแสดงให้เห็นถึงกราฟซีฟัลกซ์พีชพรรณของแปลงทดสอบทั้ง 6 แปลง ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม – 31 ธันวาคม 2564 และแสดงระยะพัฒนาการของข้าวโดยแบ่งออกเป็น 4 ระยะ ระยะละ 30 วัน ได้แก่ ระยะที่ 1 ระยะกล้า (Seedling stage), ระยะที่ 2 ระยะแตกกอ (Tillering stage), ระยะที่ 3 ระยะตั้งท้อง (Reproductive stage) และ ระยะที่ 4 ระยะนํ้านมและข้าวสุก (Ripening stage) สอดคล้องกับการศึกษาของ (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2550; วลดดา เดชะพงศ์ธนา และคณะ, 2559)

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 1 เป็นแปลงเพาะปลูกข้าวหอมมะลิด้วยวิธีการปักดำ ภายหลังจากการปรับเรียบข้อมูลด้วยกระบวนการ HANTS แล้วทั้ง 3 ดัชนี พบว่า SAVI และ NDVI มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องไปตามกัน แตกต่างจาก LSWI ที่มีความไวต่อผิวนํ้ามากและหากพิจารณา SAVI และ NDVI จะพบว่าตั้งแต่เดือนมกราคม-กุมภาพันธ์มีค่าลดต่ำลง จากการสอบถามเกษตรกรเจ้าของแปลงเพาะปลูกพบว่าช่วงเวลาดังกล่าวต้องผิวนํ้าเข้าแปลงนาเพื่อกำจัดวัชพืชและเตรียมปลูกต้นปอเทือง จึงเป็นสาเหตุทำให้ช่วงกลางเดือนเมษายนมีค่าดัชนี NDVI และ SAVI เพิ่มสูงขึ้น (ปอเทืองอายุ 60 วัน) จากนั้นจึงลดลงเมื่อเกษตรกรเตรียมหน้าดินและทิ้งไถกลบปอเทืองให้เป็นพืชปุ๋ยสดเพื่อเตรียมเพาะปลูกข้าว โดยแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 1 มีกำหนดปักดำวันที่ 18 กรกฎาคม หลังจากปักดำแล้วเสร็จกราฟมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ต้นข้าวในระยะที่ 1 (18 ก.ค. – 17 ส.ค.) มีค่าดัชนี LSWI, NDVI

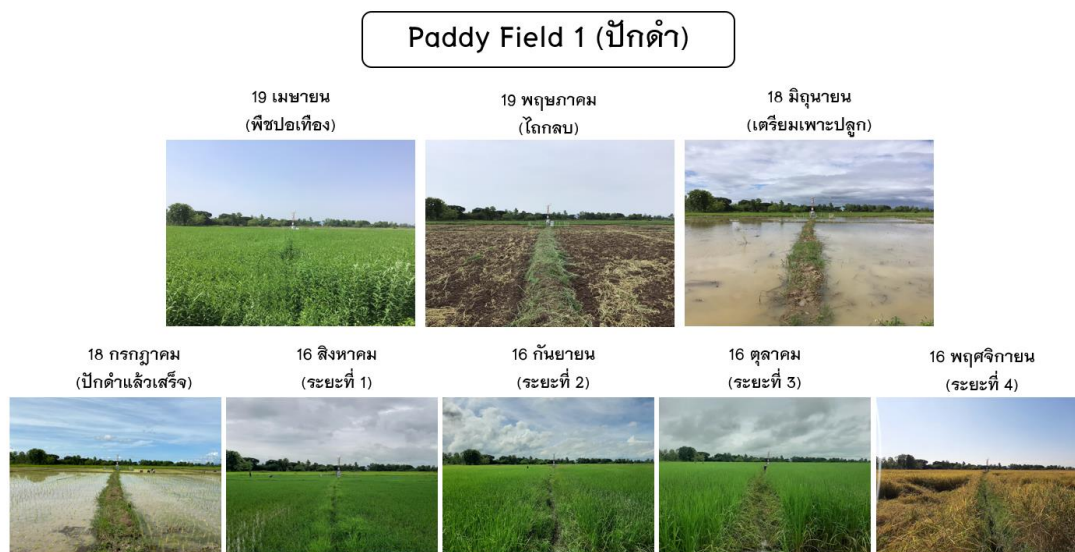
และ SAVI เท่ากับ 0.247, 0.395 และ 0.593 ตามลำดับ ระยะที่ 2 (18 ส.ค. – 17 ก.ย.) เท่ากับ 0.306, 0.719 และ 1.079 ตามลำดับ ระยะที่ 3 (18 ก.ย. – 18 ต.ค.) เท่ากับ 0.236, 0.747 และ 1.120 ตามลำดับ และระยะที่ 4 (19 ต.ค. – 17 พ.ย.) เท่ากับ 0.080, 0.504 และ 0.756 ตามลำดับ แปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 1 มีค่าสูงที่สุดของดัชนี NDVI และ SAVI ในวันที่ 21 กันยายน (ข้าวอายุ 65 วัน) เท่ากับ 0.788 และ 1.182 ตามลำดับ จากนั้นค่าดัชนีจะค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงวันเก็บเกี่ยว 17 พฤศจิกายน เนื่องจากความเขียวที่ลดลงและเรือนยอดเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองโดยใช้ระยะเวลาการเพาะปลูกทั้งหมด (ปักดำแล้วเสร็จถึงเก็บเกี่ยว) 122 วัน

ตาราง 4 ระยะการเจริญเติบโตแปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 1

| Growth Stages of Paddy Field   |                   |       |       |       |
|--------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|
| Stage                          | Date              | LSWI  | NDVI  | SAVI  |
| ระยะที่ 1 ระยะกล้า             | 18 ก.ค. – 17 ส.ค. | 0.247 | 0.395 | 0.593 |
| ระยะที่ 2 ระยะแตกกอ            | 18 ส.ค. – 17 ก.ย. | 0.306 | 0.719 | 1.079 |
| ระยะที่ 3 ระยะตั้งท้อง         | 18 ก.ย. – 18 ต.ค. | 0.236 | 0.747 | 1.120 |
| ระยะที่ 4 ระยะนํ้านมและข้าวสุก | 19 ต.ค. – 17 พ.ย. | 0.080 | 0.504 | 0.756 |



ภาพ 20 กราฟชี้พลักษณะแปลงเพาะปลูก Paddy Filed 1



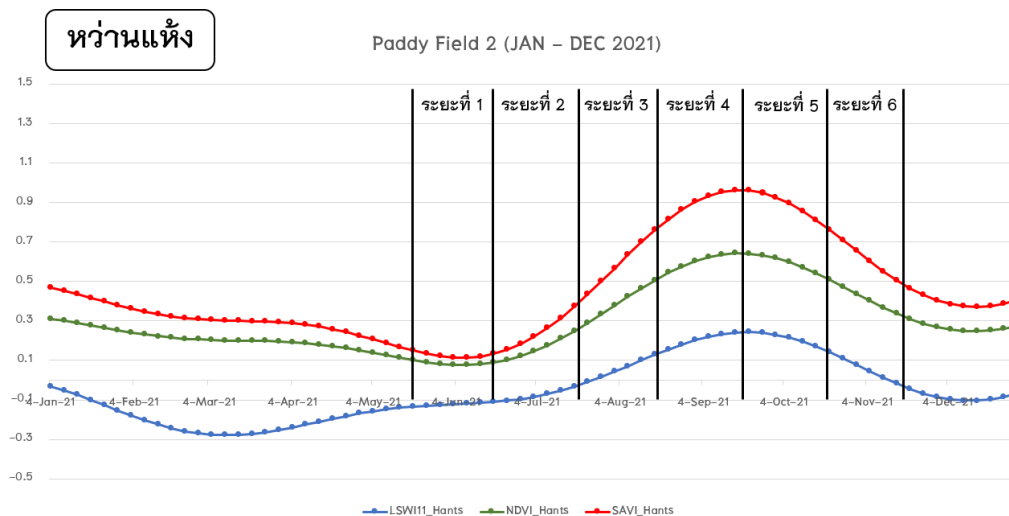
ภาพ 21 การพัฒนาของต้นข้าวแปลงทดลอง Paddy Field 1

แปลงทดลอง Paddy Field 2 เป็นแปลงเพาะปลูกข้าวหอมมะลิด้วยวิธีการหว่านแห้ง ปรับเรียบข้อมูลด้วยกระบวนการ HANTS ทั้ง 3 ดัชนี ผลลัพธ์คล้ายคลึงกับแปลงเพาะปลูกก่อนหน้า แต่หากพิจารณาตั้งแต่เดือนมกราคม-มิถุนายน SAVI และ NDVI มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันแตกต่างจาก LSWI ที่ช่วงดังกล่าวมีแนวโน้มลดต่ำลงและเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม จากการสอบถามเกษตรกรเจ้าของแปลงเพาะปลูกพบว่าช่วงดังกล่าวปล่อยพื้นที่ทิ้งร้างและเกิดวัชพืชขึ้นตามธรรมชาติและเริ่มมีการเตรียมดินกำจัดวัชพืชออกจากแปลงในช่วงเดือนเมษายนด้วยการไถกลบเพียงอย่างเดียว (ไม่มีการปลูกพืชคลุมดิน) เพื่อรอการหว่านเมล็ดพันธุ์ โดยแปลงทดลอง Paddy Field 2 หว่านเมล็ดข้าวสู่แปลงนาแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม อีกทั้งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเข้าสู่ฤดูฝนประกอบกับมีเมฆปกคลุมเหนือพื้นที่ศึกษาติดต่อกันหลายวันและมีน้ำขังในแปลงนาส่งผลให้ SAVI และ NDVI มีค่าต่ำที่สุดในวันที่ 8 มิถุนายน จากนั้นกราฟมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นลำดับ โดยต้นข้าวในระยะที่ 1 (19 พ.ค. - 18 มิ.ย.) มีค่าดัชนี LSWI, NDVI และ SAVI เท่ากับ  $-0.122$ ,  $0.085$  และ  $0.128$  ตามลำดับ ระยะที่ 2 (19 มิ.ย. - 19 ก.ค.) เท่ากับ  $-0.073$ ,  $0.167$  และ  $0.251$  ตามลำดับ ระยะที่ 3 (20 ก.ค. - 19 ส.ค.) เท่ากับ  $0.058$ ,  $0.400$  และ  $0.599$  ตามลำดับ และระยะที่ 4 (20 ส.ค. - 19 ก.ย.) เท่ากับ  $0.206$ ,  $0.604$  และ  $0.905$  ตามลำดับ นับตั้งแต่วันที่ 19 พ.ค. - 19 ก.ย. เมื่อข้าวอายุรวม 123 วัน พบว่ายังมีการเจริญเติบโตต่อไปเรื่อย ๆ และยังไม่ออกรวงมากนักและยังคงมีความเขียวมากเกษตรกรเจ้าของแปลงจึงยังไม่เก็บเกี่ยวโดยในระยะที่ 5 (20 ก.ย. - 20 ต.ค.) มีค่าดัชนีเท่ากับ  $0.216$ ,  $0.600$  และ  $0.900$  ตามลำดับ และระยะที่ 6

(21 ต.ค. – 17 ก.ย.) เท่ากับ 0.062, 0.421 และ 0.631 ตามลำดับ แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 2 มีค่าสูงที่สุดของดัชนี NDVI และ SAVI ในวันที่ 16 กันยายน (ข้าวอายุ 120 วัน) ซึ่งเป็นผลจากการเจริญเติบโต เรือนยอดและความเขียวของต้นข้าวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นสูงมากยิ่งขึ้น และเป็นตำแหน่งสูงสุดของทั้งสองดัชนีค่าอยู่ที่ 0.963 และ 0.642 ตามลำดับ จากนั้นกราฟค่อย ๆ ลดลงเป็นลำดับจนถึงวันเก็บเกี่ยว 17 พฤศจิกายน เนื่องจากความเขียวที่ลดลงและเรือนยอดเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง ใช้ระยะเวลาการเพาะปลูกทั้งหมด (หว่านเมล็ดพันธุ์แล้วเสร็จถึงเก็บเกี่ยว) 182 วัน อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตว่าหลังจากที่เข้าสู่ระยะการเจริญเติบโต LSWI มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับ SAVI และ NDVI จนถึงวันเก็บเกี่ยวซึ่งแตกต่างจากช่วงต้นปี สามารถอนุมานได้ว่า LSWI เป็นดัชนีที่สามารถบ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของพืชได้ในกรณีที่พืชพรรณปกคลุมหนาแน่นเพียงพอ และจะสามารถตรวจจับความเป็นดิน (Bare soil) ได้ชัดเจนมากกว่า NDVI และ SAVI ในกรณีที่ไม่มีพืชพรรณปกคลุมดิน

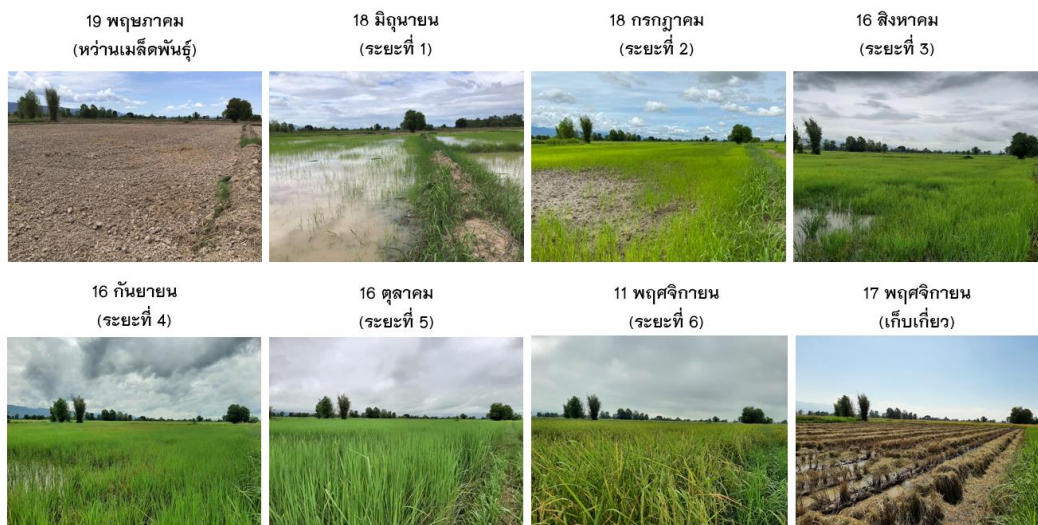
ตาราง 5 ระยะการเจริญเติบโตแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 2

| Growth Stages of Paddy Field   |                    |        |       |       |
|--------------------------------|--------------------|--------|-------|-------|
| Stage                          | Date               | LSWI   | NDVI  | SAVI  |
| ระยะที่ 1 ระยะกล้า             | 19 พ.ค. – 18 มิ.ย. | -0.122 | 0.085 | 0.128 |
| ระยะที่ 2 ระยะแตกกอ            | 19 มิ.ย. – 19 ก.ค. | -0.073 | 0.167 | 0.251 |
| ระยะที่ 3 ระยะตั้งท้อง         | 20 ก.ค. – 19 ส.ค.  | 0.058  | 0.400 | 0.599 |
| ระยะที่ 4 ระยะนํ้านมและข้าวสุก | 20 ส.ค. – 19 ก.ย.  | 0.206  | 0.604 | 0.905 |
| ระยะที่ 5                      | 20 ก.ย. – 20 ต.ค.  | 0.216  | 0.600 | 0.900 |
| ระยะที่ 6                      | 21 ต.ค. – 17 พ.ย.  | 0.062  | 0.421 | 0.631 |



ภาพ 22 กราฟชี้พลักษณ์แปลงทดสอบPaddy Filed 2

Paddy Field 2 (หว่านแห้ง)



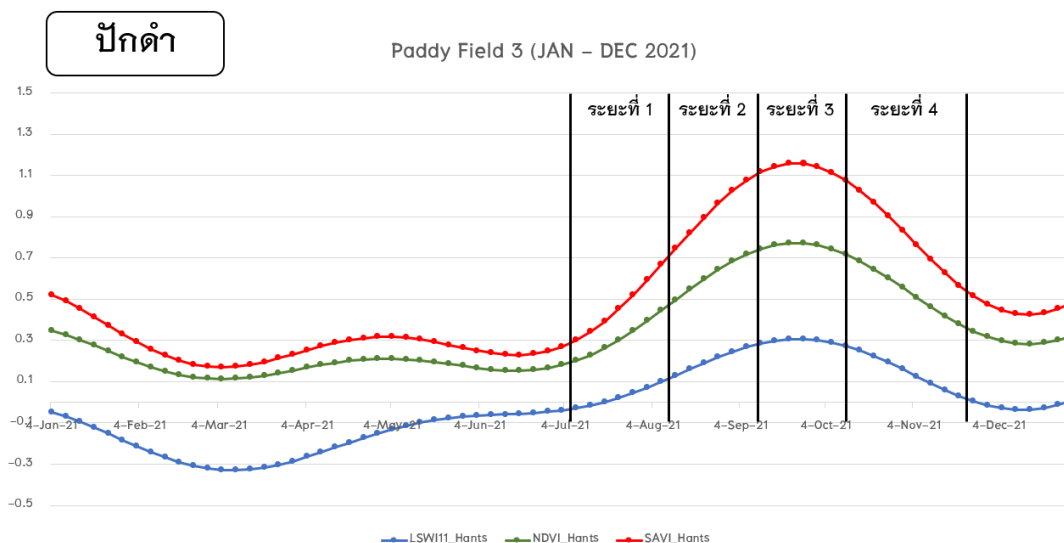
ภาพ 23 การพัฒนาของต้นข้าวแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 2

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 3 เป็นแปลงเพาะปลูกข้าวหอมมะลิด้วยวิธีการปักดำ ผ่านการปรับเรียบข้อมูลด้วยกระบวนการ HANTS ผลลัพธ์คล้ายคลึงกับแปลงเพาะปลูกก่อนหน้านี้คือ SAVI และ NDVI มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันตลอดทั้งปี แตกต่างจาก LSWI ที่มีค่าต่ำมากในช่วงต้นปี แต่จะเริ่มมีแนวโน้มสอดคล้องกับดัชนีอื่นหลังจากที่เข้าสู่ช่วงการเจริญเติบโตแล้ว สำหรับแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 3 ดัชนี SAVI และ NDVI ลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างเดือนมกราคม-มีนาคม จากการสอบถามเกษตรกรเจ้าของแปลงเพาะปลูกพบว่าช่วงดังกล่าวปล่อยพื้นที่รกร้างเนื่องจากเพิ่งผ่านพ้นฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิต

ของปีก่อนหน้า และยังคงมีต่อซึ่งในแปลงนา (รวมถึงเมล็ดข้าวเปลือกที่ตกหล่นจากการเก็บเกี่ยวและงอกใหม่เป็นต้นข้าวบ้างประปราย) จากนั้นไถกลบเพื่อให้เกิดกระบวนการย่อยสลายในดินกลายเป็นอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืชต่อไป หลังจากนั้น SAVI และ NDVI มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคมเนื่องจากปลูกพืชปอเทืองปรับสภาพดินอีกครั้งก่อนไถกลบให้เป็นพืชปุ๋ยสดและเตรียมเข้าสู่ฤดูการเพาะปลูกหลัก โดยแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 3 ปักดำแล้วเสร็จวันที่ 11 กรกฎาคม ต้นข้าวในระยะที่ 1 (11 ก.ค. – 10 ส.ค.) มีค่าดัชนี LSWI, NDVI และ SAVI เท่ากับ 0.038, 0.330 และ 0.495 ตามลำดับ ระยะที่ 2 (11 ส.ค. – 10 ก.ย.) เท่ากับ 0.202, 0.615 และ 0.922 ตามลำดับ ระยะที่ 3 (11 ก.ย. – 11 ต.ค.) เท่ากับ 0.295, 0.753 และ 1.130 ตามลำดับ และระยะที่ 4 (12 ต.ค. – 23 พ.ย.) เท่ากับ 0.142, 0.531 และ 0.797 ตามลำดับ กราฟซ์ฟลักซ์พืชพรรณทั้ง 3 ดัชนีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับจนถึงวันที่ 21 กันยายน (ข้าวอายุ 77 วัน) จากนั้นค่าค่อย ๆ ลดต่ำลงจนถึงวันเก็บเกี่ยว 23 พฤศจิกายน คล้ายคลึงกับแปลงเพาะปลูกอื่นเนื่องจากความเขียวที่ลดลงและเรือนยอดเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง ใช้ระยะเวลาการเพาะปลูกทั้งหมด (ปักดำแล้วเสร็จถึงเก็บเกี่ยว) 135 วัน

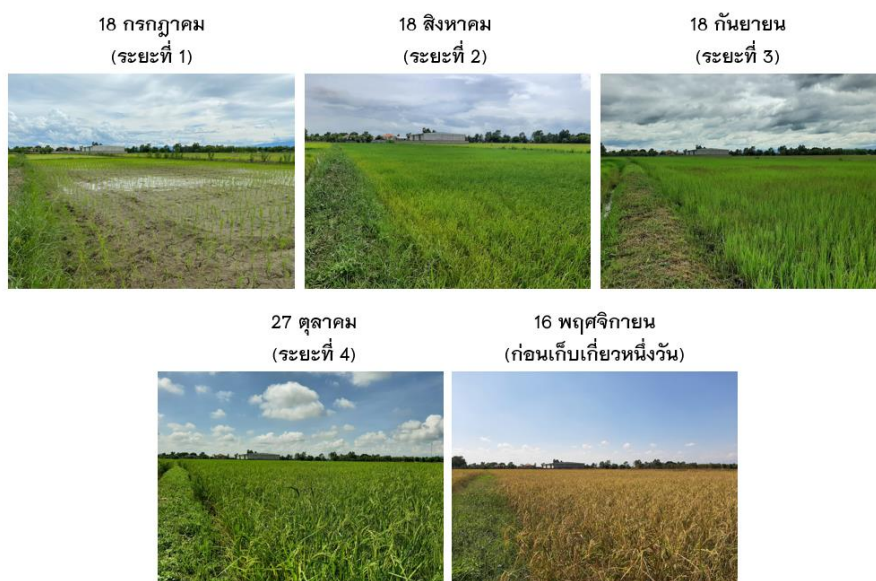
ตาราง 6 ระยะการเจริญเติบโตแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 3

| Growth Stages of Paddy Field   |                   |       |       |       |
|--------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|
| Stage                          | Date              | LSWI  | NDVI  | SAVI  |
| ระยะที่ 1 ระยะกล้า             | 11 ก.ค. – 10 ส.ค. | 0.038 | 0.330 | 0.495 |
| ระยะที่ 2 ระยะแตกกอ            | 11 ส.ค. – 10 ก.ย. | 0.202 | 0.615 | 0.922 |
| ระยะที่ 3 ระยะตั้งท้อง         | 11 ก.ย. – 11 ต.ค. | 0.295 | 0.753 | 1.130 |
| ระยะที่ 4 ระยะนํ้านมและข้าวสุก | 12 ต.ค. – 23 พ.ย. | 0.142 | 0.531 | 0.797 |



ภาพ 24 กราฟชี้พิกัดเปลี่ยนแปลงทดสอบ Paddy Filed 3

**Paddy Field 3 (ปักดำ)**



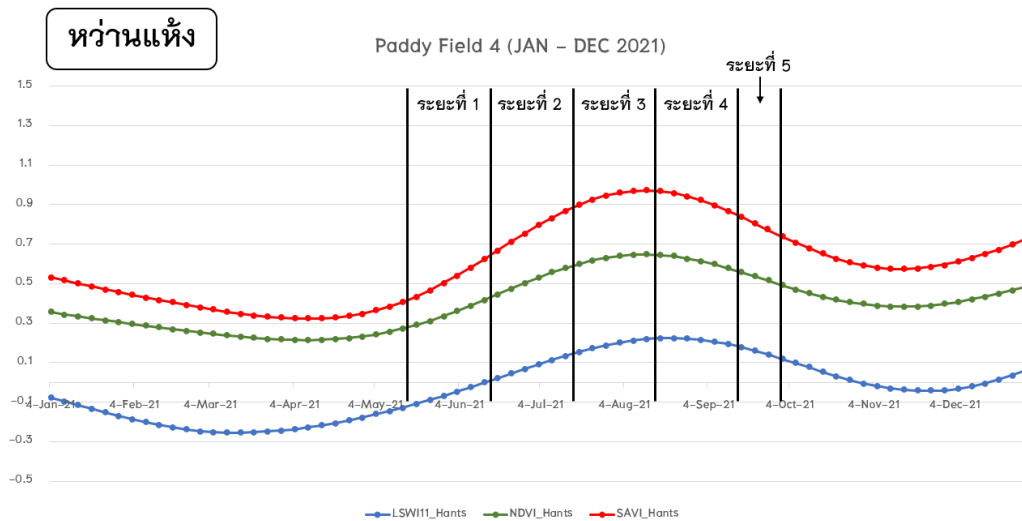
ภาพ 25 การพัฒนาของต้นข้าวแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 3

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 4 เป็นแปลงเพาะปลูกข้าวหอมมะลิด้วยวิธีการหว่านแห้ง และปรับเรียบข้อมูลด้วยกระบวนการ HANTS ทั้ง 3 ดัชนี ผลลัพธ์พบว่า SAVI และ NDVI มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันตลอดทั้งปี ส่วน LSWI มีแนวโน้มสอดคล้องกับดัชนีอื่นภายหลังจากที่เข้าสู่ช่วงการเจริญเติบโตแล้ว แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 4 ในช่วงต้นปี ระหว่างเดือนมกราคม-เดือนมีนาคมค่าของ LSWI, SAVI และ NDVI ลดต่ำเนื่องจากเกษตรกร

ปล่อยพื้นที่ทิ้งร้างไม่มีการทำกิจกรรมอื่น ประกอบกับการเตรียมดินเพื่อการหว่านเมล็ดข้าว โดยหว่านแล้วเสร็จในวันที่ 16 พฤษภาคม โดยต้นข้าวในระยะที่ 1 (16 พ.ค. – 15 มิ.ย.) มีค่าดัชนี LSWI, NDVI และ SAVI เท่ากับ -0.057, 0.350 และ 0.525 ตามลำดับ ระยะที่ 2 (16 มิ.ย. – 16 ก.ค.) เท่ากับ 0.078, 0.514 และ 0.771 ตามลำดับ ระยะที่ 3 (17 ก.ค. – 16 ส.ค.) เท่ากับ 0.190, 0.630 และ 0.945 ตามลำดับ ระยะที่ 4 (17 ส.ค. – 16 ก.ย.) เท่ากับ 0.209, 0.609 และ 0.913 ตามลำดับ เมื่อนับอายุต้นข้าวตั้งแต่วันที่ 16 พ.ค. – 16 ก.ย. อายุข้าวเท่ากับ 123 วัน ต้นข้าวออกรวงและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองแล้ว พร้อมเก็บเกี่ยว แต่เกษตรกรเจ้าของแปลงระบุว่าไม่สามารถเก็บเกี่ยวได้ทันทีเนื่องจากปัจจุบันไม่มีแรงงานที่รับจ้างเกี่ยวด้วยมือ จึงต้องจ้างรถเกี่ยวข้าว และรอคิวในการเก็บเกี่ยวของแปลงตนเองจึงทำให้ยืดระยะเวลาการปลูกออกไปอีกสองสัปดาห์ โดยเก็บเกี่ยวแล้วเสร็จในวันที่ 1 ตุลาคม อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตว่าแปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 4 เป็นแปลงเพาะปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้งแต่ต้นข้าวเจริญเติบโตรวดเร็ว หากสังเกตจากรูปภาพลักษณะพืชพรรณมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นรวดเร็วตั้งแต่ระยะที่ 1 จนมีค่าสูงที่สุดในวันที่ 12 สิงหาคม (ข้าวอายุ 88 วัน) ก่อนจะลดต่ำลงเป็นลำดับจนถึงวันเก็บเกี่ยวผลผลิตวันที่ 1 ตุลาคม คล้ายคลึงกับแปลงเพาะปลูกอื่นเนื่องจากความเขียวที่ลดลงและเรือนยอดเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองและใช้ระยะเวลาการเพาะปลูกทั้งหมด (หว่านเมล็ดพันธุ์แล้วเสร็จถึงเก็บเกี่ยว) 138 วัน

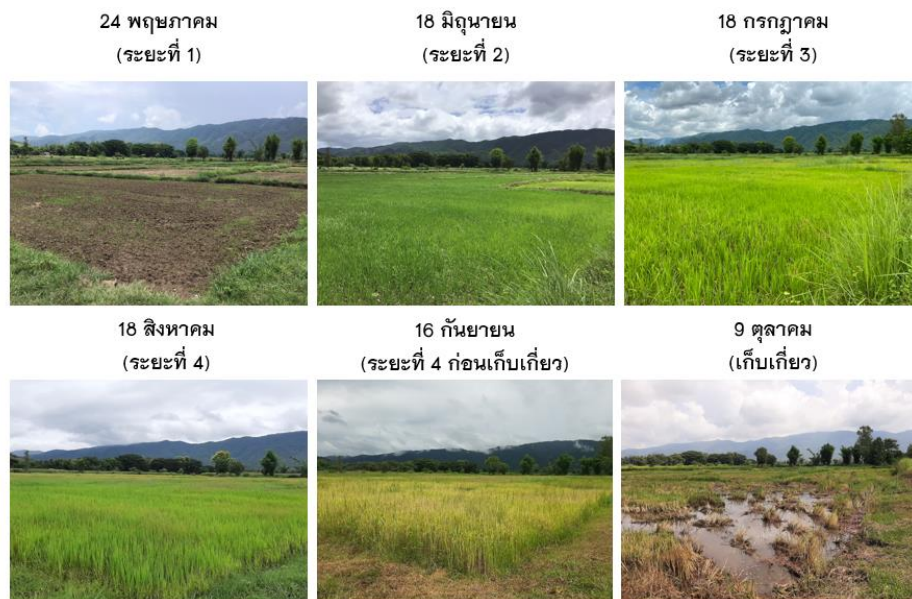
ตาราง 7 ระยะการเจริญเติบโตแปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 4

| Growth Stages of Paddy Field  |                    |        |       |       |
|-------------------------------|--------------------|--------|-------|-------|
| Stage                         | Date               | LSWI   | NDVI  | SAVI  |
| ระยะที่ 1 ระยะกล้า            | 16 พ.ค. – 15 มิ.ย. | -0.057 | 0.350 | 0.525 |
| ระยะที่ 2 ระยะแตกกอ           | 16 มิ.ย. – 16 ก.ค. | 0.078  | 0.514 | 0.771 |
| ระยะที่ 3 ระยะตั้งท้อง        | 17 ก.ค. – 16 ส.ค.  | 0.190  | 0.630 | 0.945 |
| ระยะที่ 4 ระยะน้ำนมและข้าวสุก | 17 ส.ค. – 16 ก.ย.  | 0.209  | 0.609 | 0.913 |
| ระยะที่ 5                     | 17 ก.ย. – 1 ต.ค.   | 0.141  | 0.515 | 0.772 |



ภาพ 26 กราฟชี้พลักษณะแปลงทดสอบ Paddy Filed 4

**Paddy Field 4 (หว่านแห้ง)**



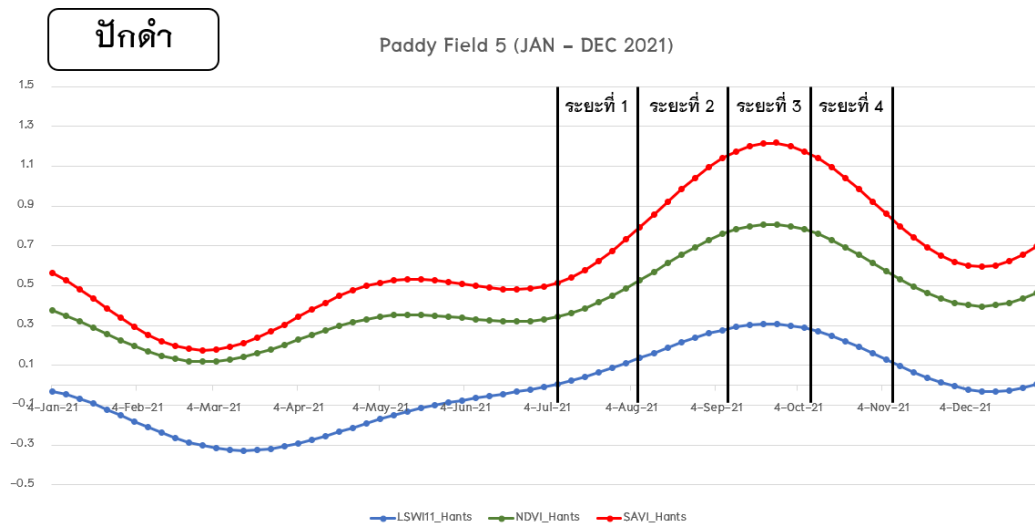
ภาพ 27 การพัฒนาของต้นข้าวแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 4

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 5 เป็นแปลงเพาะปลูกข้าวหอมมะลิด้วยวิธีการปักดำ ภายหลังจากการปรับเรียบข้อมูลด้วยกระบวนการ HANTS แล้วทั้ง 3 ดัชนี พบว่า SAVI และ NDVI มีค่าลดลงในช่วงเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์เนื่องจากเพิ่งผ่านพ้นฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิต และยังคงมีตอซังในพื้นที่ รวมทั้ง LSWI ที่มีค่าลดต่ำมากเช่นเดียวกับแปลงเพาะปลูกอื่น ๆ

จากนั้นแปลงนาข้าวจะถูกไถกลบวัชพืชและตอซังเพื่อใช้เป็นอินทรีย์วัตถุประกอบกับปลูกพืช  
 ปอเทืองปรับสภาพดินส่งผลให้ช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคมมีค่าดัชนีเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อย  
 เมื่อถึงช่วงปักดำโดยแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 5 ปักดำแล้วเสร็จวันที่ 8 กรกฎาคมและ  
 กราฟมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับโดยต้นข้าวในระยะที่ 1 (8 ก.ค. – 7 ส.ค.) มีค่าดัชนี LSWI,  
 NDVI และ SAVI เท่ากับ 0.067, 0.425 และ 0.637 ตามลำดับ ระยะที่ 2 (8 ส.ค. – 7 ก.ย.)  
 เท่ากับ 0.224, 0.671 และ 1.007 ตามลำดับ ระยะที่ 3 (8 ก.ย. – 8 ต.ค.) เท่ากับ 0.299,  
 0.798 และ 1.196 ตามลำดับ และระยะที่ 4 (9 ต.ค. – 8 พ.ย.) เท่ากับ 0.205, 0.672 และ  
 1.007 ตามลำดับ แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 5 มีค่าสูงที่สุดของดัชนี NDVI และ SAVI ใน  
 วันที่ 26 กันยายน (ข้าวอายุ 80 วัน) และค่อย ๆ ลดระดับลงแปรผันตามความเขียวและเรื่อ  
 ยอดที่เปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองของต้นข้าว เก็บเกี่ยวผลผลิตวันที่ 12 พฤศจิกายน ใช้ระยะเวลา  
 การเพาะปลูกทั้งหมด (ปักดำแล้วเสร็จถึงเก็บเกี่ยว) 127 วัน

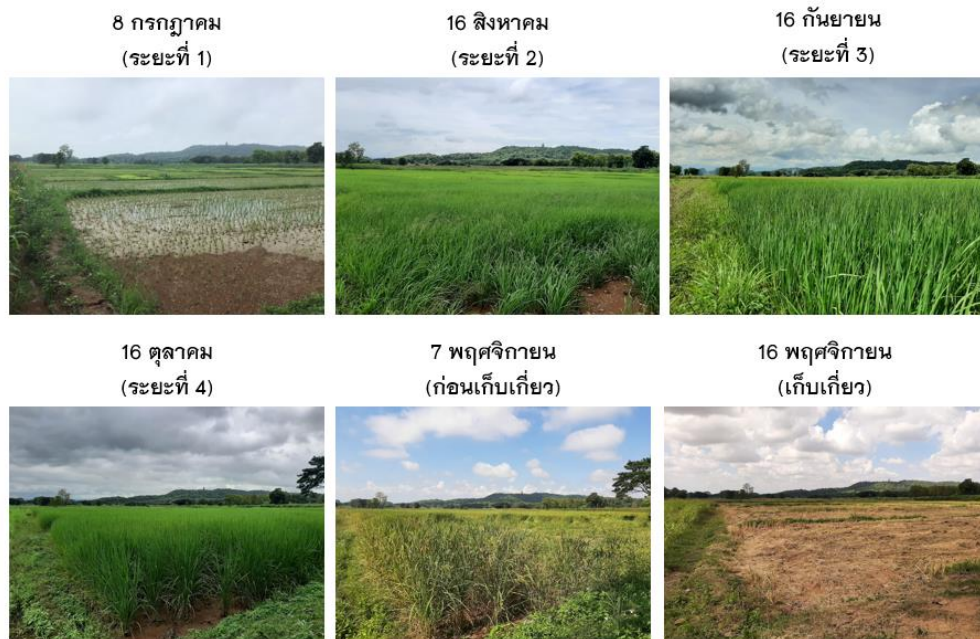
ตาราง 8 ระยะการเจริญเติบโตแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 5

| Growth Stages of Paddy Field   |                 |       |       |       |
|--------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|
| Stage                          | Date            | LSWI  | NDVI  | SAVI  |
| ระยะที่ 1 ระยะกล้า             | 8 ก.ค. – 7 ส.ค. | 0.067 | 0.425 | 0.637 |
| ระยะที่ 2 ระยะแตกกอ            | 8 ส.ค. – 7 ก.ย. | 0.224 | 0.671 | 1.007 |
| ระยะที่ 3 ระยะตั้งท้อง         | 8 ก.ย. – 8 ต.ค. | 0.299 | 0.798 | 1.196 |
| ระยะที่ 4 ระยะนํ้านมและข้าวสุก | 9 ต.ค. – 8 พ.ย. | 0.205 | 0.672 | 1.007 |



ภาพ 28 กราฟชี้พลักษณะแปลงทดสอบPaddy Filed 5

**Paddy Field 5 (ปักดำ)**



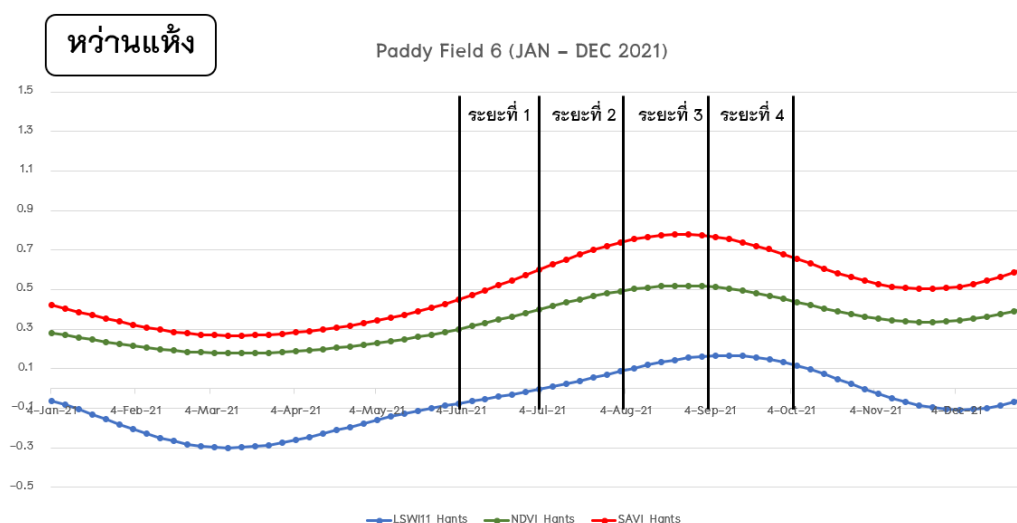
ภาพ 29 การพัฒนาของต้นข้าวแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 5

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 6 เป็นแปลงเพาะปลูกข้าวหอมมะลิด้วยวิธีการหว่านแห้ง ผ่านการปรับความเรียบข้อมูลด้วยกระบวนการ HANTS ทั้ง 3 ดัชนี ผลลัพธ์มีความคล้ายคลึงกับแปลงเพาะปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้งแปลงอื่น ๆ ดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้า ในช่วง

ต้นปีระหว่างเดือนมกราคม-มีนาคมค่าจากดัชนี SAVI และ NDVI ลดต่ำลงเนื่องจากไม่มีการปลูกพืชคลุมดินและปล่อยพื้นที่รกร้างไม่ได้ทำกิจกรรมทางการเกษตรส่งผลให้มีวัชพืชปกคลุมจำนวนมาก สำหรับแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 6 หว่านเมล็ดพันธุ์แล้วเสร็จเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน โดยในระยะที่ 1 (3 มิ.ย. – 3 ก.ค.) มีค่าดัชนี LSWI, NDVI และ SAVI เท่ากับ -0.041, 0.349 และ 0.524 ตามลำดับ ระยะที่ 2 (4 ก.ค. – 3 ส.ค.) เท่ากับ 0.047, 0.458 และ 0.687 ตามลำดับ ระยะที่ 3 (4 ส.ค. – 3 ก.ย.) เท่ากับ 0.136, 0.515 และ 0.772 ตามลำดับ และระยะที่ 4 (4 ก.ย. – 3 ต.ค.) เท่ากับ 0.156, 0.485 และ 0.727 ตามลำดับ โดยมีค่า NDVI และ SAVI สูงที่สุดวันที่ 27 สิงหาคม (ข้าวอายุ 85 วัน) จากนั้นค่าเริ่มลดต่ำลงจนถึงวันเก็บเกี่ยวผลผลิตวันที่ 3 ตุลาคม ใช้ระยะเวลาการเพาะปลูกทั้งหมด (หว่านเมล็ดพันธุ์แล้วเสร็จถึงเก็บเกี่ยว) 122 วัน เนื่องจากความชื้นที่ลดลงและเรือนยอดเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง

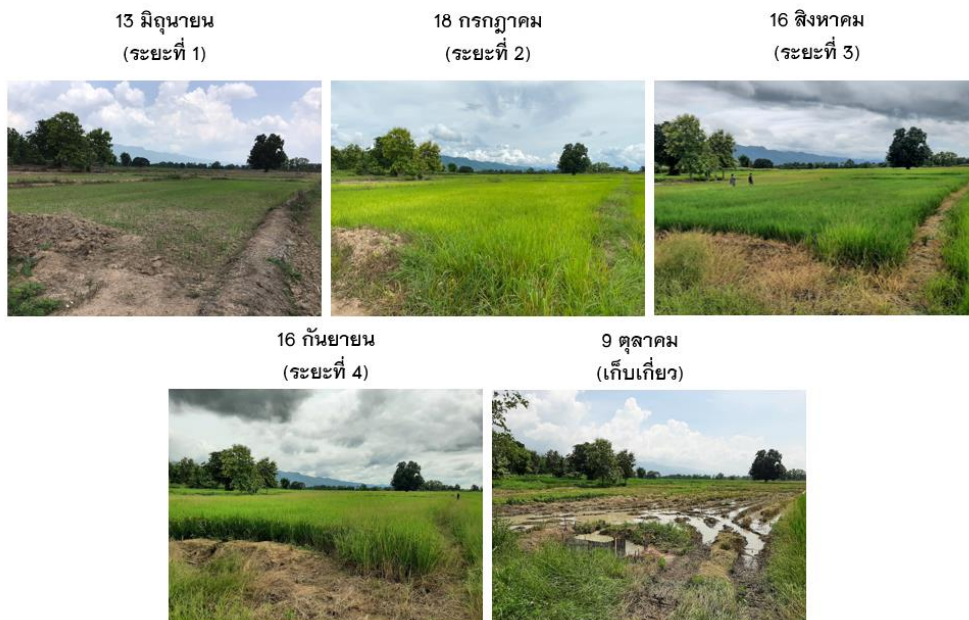
ตาราง 9 ระยะการเจริญเติบโตแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 6

| Growth Stages of Paddy Field   |                  |        |       |       |  |
|--------------------------------|------------------|--------|-------|-------|--|
| Stage                          | Date             | LSWI   | NDVI  | SAVI  |  |
| ระยะที่ 1 ระยะกล้า             | 3 มิ.ย. – 3 ก.ค. | -0.041 | 0.349 | 0.524 |  |
| ระยะที่ 2 ระยะแตกกอ            | 4 ก.ค. – 3 ส.ค.  | 0.047  | 0.458 | 0.687 |  |
| ระยะที่ 3 ระยะตั้งท้อง         | 4 ส.ค. – 3 ก.ย.  | 0.136  | 0.515 | 0.772 |  |
| ระยะที่ 4 ระยะนํ้านมและข้าวสุก | 4 ก.ย. – 3 ต.ค.  | 0.156  | 0.485 | 0.727 |  |



ภาพ 30 กราฟชี้พิกษณแปลงทดสอบรหัส Paddy Filed 6

### Paddy Field 6 (หว่านแห้ง)



ภาพ 31 การพัฒนาของต้นข้าวแปลงทดลอง Paddy Field 6

เมื่อพิจารณาจากกราฟชีพลักษณะพืชพรรณทั้ง 3 ดัชนี สังเกตว่าค่าเฉลี่ยแบบรายเดือนของค่าดัชนี LSWI มีแนวโน้มลดต่ำลงอย่างมากในช่วงต้นปีตั้งแต่เดือนมกราคม-มีนาคมซึ่งเป็นผลมาจาก ช่วงเวลานั้น ๆ ไม่มีพืชพรรณหรือมีพืชพรรณปริมาณปกคลุมพื้นผิวน้อย เนื่องจาก LSWI จะวัดจาก โมเลกุลของน้ำในทรงพุ่มและมีความไวต่อปริมาณน้ำในพืชพรรณด้วยเหตุนี้จึงทำให้ช่วงเวลาดังกล่าวมี ค่าต่ำมากไปจนถึงติดลบ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจนถึงช่วงเดือนสิงหาคม-กันยายนแล้วลด ต่ำลงเป็นลำดับจนถึงเดือนธันวาคม ซึ่งสอดคล้องกับกราฟชีพลักษณะพืชพรรณ NDVI และ SAVI ที่มี แนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับหลังจากเริ่มต้นฤดูกาลเพาะปลูก และมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคม- กันยายน ก่อนจะลดลงเป็นลำดับเมื่อพ้นช่วงการเจริญเติบโตสูงสุด และข้าวมีค่าความเขียวลดลง ทดแทนด้วยสีเหลืองทองและรวงข้าว มีข้อสังเกตว่าแปลงเพาะปลูกที่ปลูกด้วยวิธีการปักดำมักจะปัก ดำช้ากว่าแปลงเพาะปลูกที่ปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้งเนื่องจากการปักดำเกษตรกรต้องการความมั่นใจ ว่ามีปริมาณน้ำฝนเพียงพอต่อการเพาะปลูก ต่างจากวิธีการหว่านแห้งที่มักจะไถพรวนดินและหว่าน เมล็ดพันธุ์ลงสู่พื้นดินเพื่อรอให้น้ำฝนอีกทั้งยังใช้ระยะเวลาและต้นทุนน้อยกว่าวิธีการปักดำ

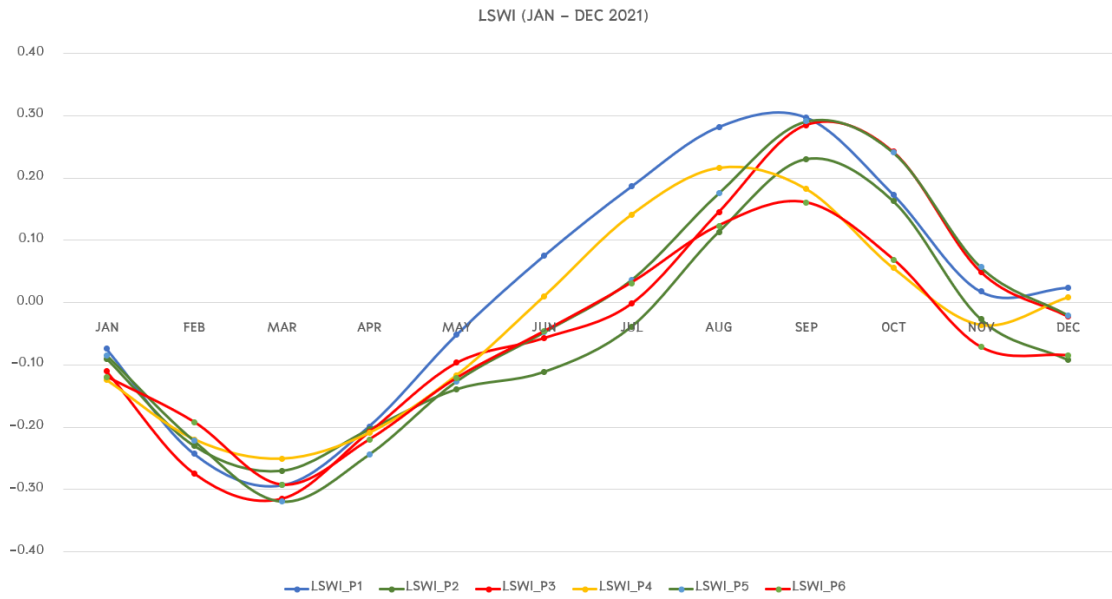
ตาราง 10 แสดงค่าดัชนีพืชพรรณเฉลี่ยรายเดือน ของแปลงทดสอบ

| Monthly<br>(2021) | Index | P-1   | P-2   | P-3   | P-4   | P-5   | P-6   |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| JAN               | LSWI  | -0.07 | -0.09 | -0.11 | -0.12 | -0.08 | -0.12 |
|                   | NDVI  | 0.27  | 0.28  | 0.29  | 0.33  | 0.3   | 0.25  |
|                   | SAVI  | 0.4   | 0.43  | 0.43  | 0.49  | 0.46  | 0.38  |
| FEB               | LSWI  | -0.24 | -0.23 | -0.27 | -0.22 | -0.22 | -0.19 |
|                   | NDVI  | 0.19  | 0.22  | 0.15  | 0.27  | 0.15  | 0.22  |
|                   | SAVI  | 0.28  | 0.33  | 0.22  | 0.41  | 0.22  | 0.33  |
| MAR               | LSWI  | -0.29 | -0.27 | -0.31 | -0.25 | -0.32 | -0.29 |
|                   | NDVI  | 0.23  | 0.2   | 0.13  | 0.23  | 0.16  | 0.18  |
|                   | SAVI  | 0.35  | 0.3   | 0.19  | 0.35  | 0.23  | 0.27  |
| APR               | LSWI  | -0.2  | -0.2  | -0.21 | -0.21 | -0.24 | -0.22 |
|                   | NDVI  | 0.28  | 0.17  | 0.19  | 0.22  | 0.28  | 0.2   |
|                   | SAVI  | 0.42  | 0.26  | 0.29  | 0.33  | 0.43  | 0.3   |
| MAY               | LSWI  | -0.05 | -0.14 | -0.1  | -0.12 | -0.13 | -0.12 |
|                   | NDVI  | 0.2   | 0.11  | 0.2   | 0.28  | 0.35  | 0.26  |
|                   | SAVI  | 0.3   | 0.16  | 0.29  | 0.43  | 0.53  | 0.38  |
| JUN               | LSWI  | 0.08  | -0.11 | -0.06 | 0.01  | -0.05 | -0.05 |
|                   | NDVI  | 0.1   | 0.09  | 0.16  | 0.43  | 0.33  | 0.34  |
|                   | SAVI  | 0.15  | 0.14  | 0.24  | 0.65  | 0.49  | 0.51  |
| JUL               | LSWI  | 0.19  | -0.04 | 0     | 0.14  | 0.04  | 0.03  |
|                   | NDVI  | 0.22  | 0.23  | 0.25  | 0.59  | 0.38  | 0.44  |
|                   | SAVI  | 0.32  | 0.35  | 0.38  | 0.88  | 0.57  | 0.66  |

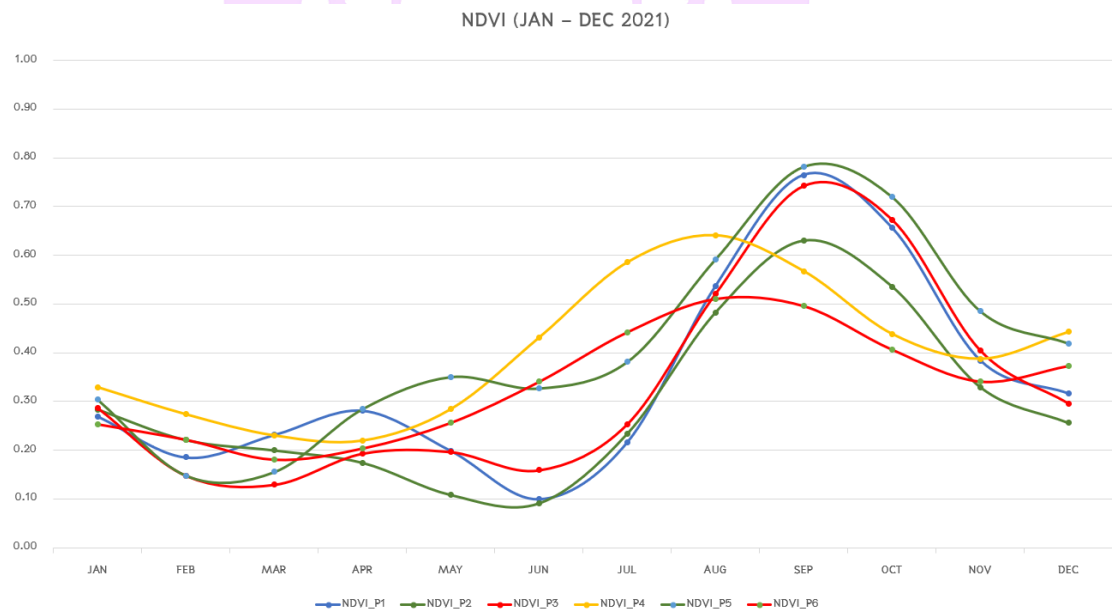
ตาราง 10 แสดงค่าดัชนีพืชพรรณเฉลี่ยรายเดือน ของแปลงทดสอบ (ต่อ)

| Monthly<br>(2021) | Index | P-1  | P-2   | P-3   | P-4   | P-5   | P-6   |
|-------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   | LSWI  | 0.28 | 0.11  | 0.15  | 0.22  | 0.18  | 0.12  |
| AUG               | NDVI  | 0.54 | 0.48  | 0.52  | 0.64  | 0.59  | 0.51  |
|                   | SAVI  | 0.81 | 0.72  | 0.78  | 0.96  | 0.89  | 0.77  |
|                   | LSWI  | 0.3  | 0.23  | 0.29  | 0.18  | 0.29  | 0.16  |
| SEP               | NDVI  | 0.76 | 0.63  | 0.74  | 0.57  | 0.78  | 0.5   |
|                   | SAVI  | 1.15 | 0.94  | 1.11  | 0.85  | 1.17  | 0.74  |
|                   | LSWI  | 0.17 | 0.16  | 0.24  | 0.06  | 0.24  | 0.07  |
| OCT               | NDVI  | 0.66 | 0.54  | 0.67  | 0.44  | 0.72  | 0.41  |
|                   | SAVI  | 0.98 | 0.8   | 1.01  | 0.66  | 1.08  | 0.61  |
|                   | LSWI  | 0.02 | -0.03 | 0.05  | -0.04 | 0.06  | -0.07 |
| NOV               | NDVI  | 0.38 | 0.33  | 0.4   | 0.39  | 0.49  | 0.34  |
|                   | SAVI  | 0.58 | 0.49  | 0.61  | 0.58  | 0.73  | 0.51  |
|                   | LSWI  | 0.02 | -0.09 | -0.02 | 0.01  | -0.02 | -0.08 |
| DEC               | NDVI  | 0.32 | 0.26  | 0.3   | 0.44  | 0.42  | 0.37  |
|                   | SAVI  | 0.47 | 0.38  | 0.44  | 0.66  | 0.63  | 0.56  |

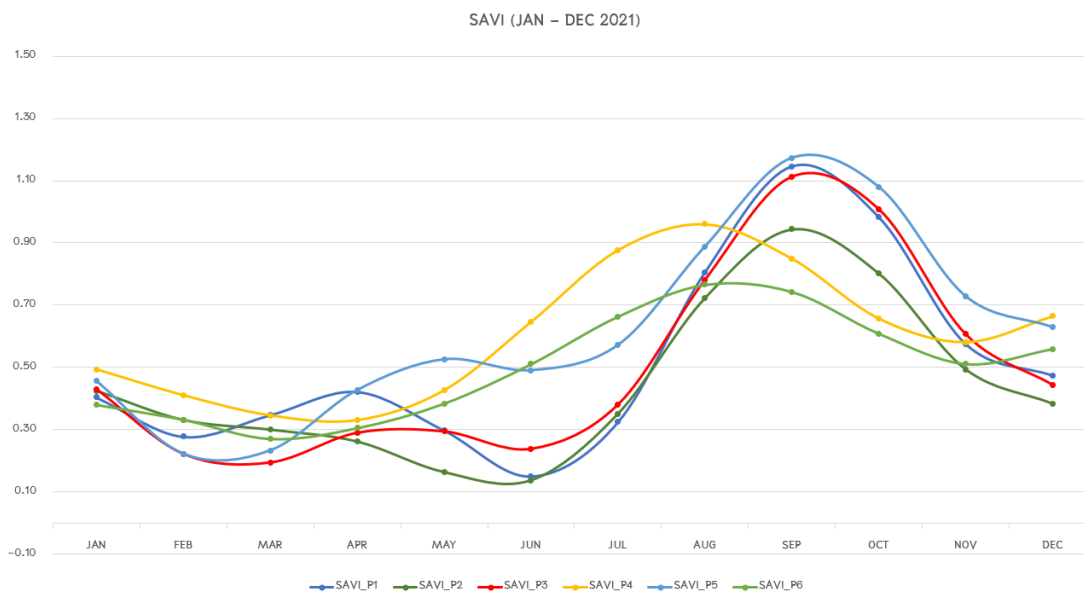
หมายเหตุ: แปลงทดสอบรหัส P-1, P-3 และ P-5 เป็นการเพาะปลูกแบบปักดำและ P-2, P-4 และ P-6 เป็นการเพาะปลูกแบบหว่านแห้ง



ภาพ 32 กราฟชี้พลักษณะแสดง LSWI 6 แปลงทดสอบ



ภาพ 33 กราฟชี้พลักษณะแสดง NDVI 6 แปลงทดสอบ



ภาพ 34 กราฟชีพลักษณ์แสดง SAVI 6 แปลงทดสอบ

## 2. ผลการวิเคราะห์ระบุตำแหน่ง SOS/EOS และการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของชีพลักษณ์กับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน

### 2.1 การระบุตำแหน่ง SOS/EOS ด้วย Modify Dynamic Threshold Method

เงื่อนไขของการระบุตำแหน่งของ SOS และ EOS ด้วย Modify Dynamic Threshold Method จะเป็นการคำนวณขนาดของ Amplitude จากค่าต่ำสุดทางด้านซ้าย ด้านขวา กับค่าสูงสุด ในการศึกษาครั้งนี้ทดลองโดยใช้เกณฑ์ที่เหมาะสมตั้งแต่ร้อยละ 0 - 35 จากค่าสูงสุด โดยเพิ่มเป็นขั้น ๆ ขั้นละ 5 จากนั้นจึงนำค่าดัชนีที่ได้รับจากสมการ 13 เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากกราฟชีพลักษณ์พีชพรรณโดยพิจารณาค่าของวันแรก (ทางด้านซ้าย) ที่มีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับค่าที่ได้รับจากสมการมากที่สุดกำหนดให้เป็นตำแหน่งของ SOS เช่นเดียวกันกับค่าดัชนีที่ได้รับจากสมการ 14 จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกราฟชีพลักษณ์พีชพรรณโดยพิจารณาค่าของวันแรก (ทางด้านขวา) ซึ่งตัวแปรดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตาราง 11 ตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ Paddy Field 1-6

| Parcel   | Variable | Local min |       | Local max |       | Local min |       | g     |       | Threshold |       |       |       |     |     |
|----------|----------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-----|-----|
|          |          | (a)       | (c)   | (b)       | (c)   | (1)       | (2)   | (1)   | (2)   | 5%        | 10%   | 15%   | 20%   | 25% | 30% |
| Parcel 1 | LSWI     | -0.303    | 0.311 | -0.013    | 0.614 | 0.324     | 0.016 | 0.031 | 0.047 | 0.062     | 0.078 | 0.093 | 0.109 |     |     |
|          | NDVI     | 0.089     | 0.788 | 0.296     | 0.699 | 0.492     | 0.039 | 0.079 | 0.118 | 0.158     | 0.197 | 0.236 | 0.276 |     |     |
|          | SAVI     | 0.133     | 1.182 | 0.443     | 1.049 | 0.739     | 0.059 | 0.118 | 0.177 | 0.236     | 0.296 | 0.355 | 0.414 |     |     |
| Parcel 2 | LSWI     | -0.279    | 0.244 | -0.010    | 0.523 | 0.254     | 0.012 | 0.024 | 0.037 | 0.049     | 0.061 | 0.073 | 0.085 |     |     |
|          | NDVI     | 0.077     | 0.642 | 0.247     | 0.565 | 0.395     | 0.032 | 0.064 | 0.096 | 0.128     | 0.161 | 0.193 | 0.225 |     |     |
|          | SAVI     | 0.115     | 0.963 | 0.374     | 0.848 | 0.589     | 0.048 | 0.096 | 0.144 | 0.193     | 0.241 | 0.289 | 0.337 |     |     |
| Parcel 3 | LSWI     | -0.329    | 0.307 | -0.036    | 0.636 | 0.343     | 0.015 | 0.031 | 0.046 | 0.061     | 0.077 | 0.092 | 0.107 |     |     |
|          | NDVI     | 0.113     | 0.772 | 0.282     | 0.659 | 0.490     | 0.039 | 0.077 | 0.116 | 0.154     | 0.193 | 0.232 | 0.270 |     |     |
|          | SAVI     | 0.170     | 1.157 | 0.424     | 0.987 | 0.733     | 0.058 | 0.116 | 0.174 | 0.231     | 0.289 | 0.347 | 0.405 |     |     |
| Parcel 4 | LSWI     | -0.254    | 0.224 | -0.043    | 0.478 | 0.267     | 0.011 | 0.022 | 0.034 | 0.045     | 0.056 | 0.067 | 0.078 |     |     |
|          | NDVI     | 0.214     | 0.647 | 0.383     | 0.433 | 0.264     | 0.032 | 0.065 | 0.097 | 0.129     | 0.162 | 0.194 | 0.226 |     |     |
|          | SAVI     | 0.322     | 0.971 | 0.574     | 0.649 | 0.397     | 0.049 | 0.097 | 0.146 | 0.194     | 0.243 | 0.291 | 0.340 |     |     |
| Parcel 5 | LSWI     | -0.327    | 0.307 | -0.032    | 0.634 | 0.339     | 0.015 | 0.031 | 0.046 | 0.061     | 0.077 | 0.092 | 0.107 |     |     |
|          | NDVI     | 0.118     | 0.809 | 0.397     | 0.691 | 0.412     | 0.040 | 0.081 | 0.121 | 0.162     | 0.202 | 0.243 | 0.283 |     |     |
|          | SAVI     | 0.177     | 1.213 | 0.596     | 1.036 | 0.617     | 0.061 | 0.121 | 0.182 | 0.243     | 0.303 | 0.364 | 0.425 |     |     |
| Parcel 6 | LSWI     | -0.301    | 0.167 | -0.108    | 0.468 | 0.275     | 0.008 | 0.017 | 0.025 | 0.033     | 0.042 | 0.050 | 0.058 |     |     |
|          | NDVI     | 0.178     | 0.520 | 0.336     | 0.342 | 0.184     | 0.026 | 0.052 | 0.078 | 0.104     | 0.130 | 0.156 | 0.182 |     |     |
|          | SAVI     | 0.267     | 0.779 | 0.503     | 0.512 | 0.276     | 0.039 | 0.078 | 0.117 | 0.156     | 0.195 | 0.234 | 0.273 |     |     |

จากนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้รับแล้วพิจารณาวันที่ของตำแหน่งนั้น ๆ และจัดทำเป็นตารางสรุปข้อมูลเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบผลต่างของวันที่ ที่ได้รับจากสมการ และวันที่เริ่มต้นการเพาะปลูกจริง (SOS) และเก็บเกี่ยวจริง (EOS) โดยที่ค่าเป็นบวก (ค่าบวกวงเล็บ) หมายถึงค่าที่ได้รับจากสมการเกิดขึ้นก่อนวันเพาะปลูกจริงหรือเก็บเกี่ยวจริง ตรงกันข้ามกับค่าเป็นลบ (ค่าในวงเล็บ) หมายถึงค่าที่ได้รับจากสมการเกิดขึ้นหลังจากวันเพาะปลูกจริงหรือเก็บเกี่ยวจริงโดยสามารถแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

**ตาราง 12 ผลต่างของวันจากสมการและวันเริ่มต้นการเพาะปลูกจริงจาก LSWI**

| LSWI SOS |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SOS/EOS  | 5%    | 10%   | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   | 35%   |
| Parcel 1 | (120) | (115) | (110) | (110) | (105) | (105) | (100) |
| Parcel 2 | (60)  | (40)  | (55)  | (50)  | (50)  | (45)  | (45)  |
| Parcel 3 | (113) | (108) | (108) | (103) | (103) | (98)  | (98)  |
| Parcel 4 | (52)  | (47)  | (42)  | (42)  | (37)  | (32)  | (32)  |
| Parcel 5 | (105) | (100) | (95)  | (95)  | (90)  | (90)  | (85)  |
| Parcel 6 | (80)  | (75)  | (70)  | (70)  | (70)  | (65)  | (65)  |
| SUM      | (530) | (485) | (480) | (470) | (455) | (435) | (425) |

**ตาราง 13 ผลต่างของวันจากสมการและวันเริ่มต้นการเพาะปลูกจริงจากดัชนี NDVI**

| NDVI SOS |       |       |       |      |      |      |      |
|----------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| SOS/EOS  | 5%    | 10%   | 15%   | 20%  | 25%  | 30%  | 35%  |
| Parcel 1 | (15)  | (10)  | (5)   | (5)  | -    | -    | 5    |
| Parcel 2 | 25    | 35    | 40    | 45   | 50   | 55   | 55   |
| Parcel 3 | (108) | (13)  | (8)   | 2    | 2    | 7    | 12   |
| Parcel 4 | (17)  | (12)  | (7)   | (2)  | 3    | 3    | 8    |
| Parcel 5 | (115) | (105) | (100) | (95) | (90) | (80) | (75) |
| Parcel 6 | (65)  | (50)  | (45)  | (40) | (35) | (30) | (25) |
| SUM      | (295) | (155) | (125) | (95) | (70) | (45) | (20) |

ตาราง 14 ผลต่างของวันจากสมการและวันเริ่มต้นการเพาะปลูกจริงจากดัชนี SAVI

| SAVI SOS |       |       |      |      |      |      |      |
|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| SOS/EOS  | 5%    | 10%   | 15%  | 20%  | 25%  | 30%  | 35%  |
| Parcel 1 | (15)  | (5)   | -    | -    | 5    | 10   | 15   |
| Parcel 2 | 35    | 40    | 45   | 50   | 55   | 60   | 60   |
| Parcel 3 | (23)  | (8)   | 2    | 7    | 12   | 17   | 22   |
| Parcel 4 | (17)  | (7)   | (2)  | 3    | 8    | 13   | 18   |
| Parcel 5 | (110) | (100) | (60) | (85) | (70) | 5    | 15   |
| Parcel 6 | (55)  | (45)  | (35) | (30) | (20) | (15) | (10) |
| SUM      | (185) | (125) | (50) | (55) | (10) | 90   | 120  |

ตาราง 15 ผลต่างของวันจากสมการและวันสิ้นสุดการเพาะปลูกจริงจากดัชนี LSWI

| LSWI EOS |     |     |     |     |     |     |     |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| SOS/EOS  | 5%  | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% | 35% |
| Parcel 1 | 8   | 8   | 3   | 3   | (2) | (2) | (2) |
| Parcel 2 | 13  | (7) | (7) | (2) | (7) | (7) | (7) |
| Parcel 3 | 12  | 12  | 7   | 7   | 7   | 2   | 2   |
| Parcel 4 | 45  | 45  | 40  | 40  | 40  | 35  | 35  |
| Parcel 5 | 28  | 23  | 23  | 18  | 18  | 18  | 18  |
| Parcel 6 | 63  | 58  | 53  | 53  | 53  | 53  | 53  |
| SUM      | 169 | 139 | 119 | 119 | 109 | 99  | 99  |

ตาราง 16 ผลต่างของวันจากสมการและวันสิ้นสุดการเพาะปลูกจริงจากดัชนี NDVI

| NDVI EOS |     |     |     |     |     |     |     |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| SOS/EOS  | 5%  | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% | 35% |
| Parcel 1 | 13  | 8   | 3   | 3   | (2) | (2) | (7) |
| Parcel 2 | 18  | 13  | 8   | 8   | 3   | 3   | (2) |
| Parcel 3 | 12  | 7   | 2   | 2   | (3) | (3) | (8) |
| Parcel 4 | 30  | 25  | 25  | 20  | 15  | 15  | 10  |
| Parcel 5 | 18  | 13  | 8   | 8   | 3   | 3   | 3   |
| Parcel 6 | 73  | 38  | 33  | 33  | 28  | 28  | 23  |
| SUM      | 164 | 104 | 79  | 74  | 44  | 44  | 19  |

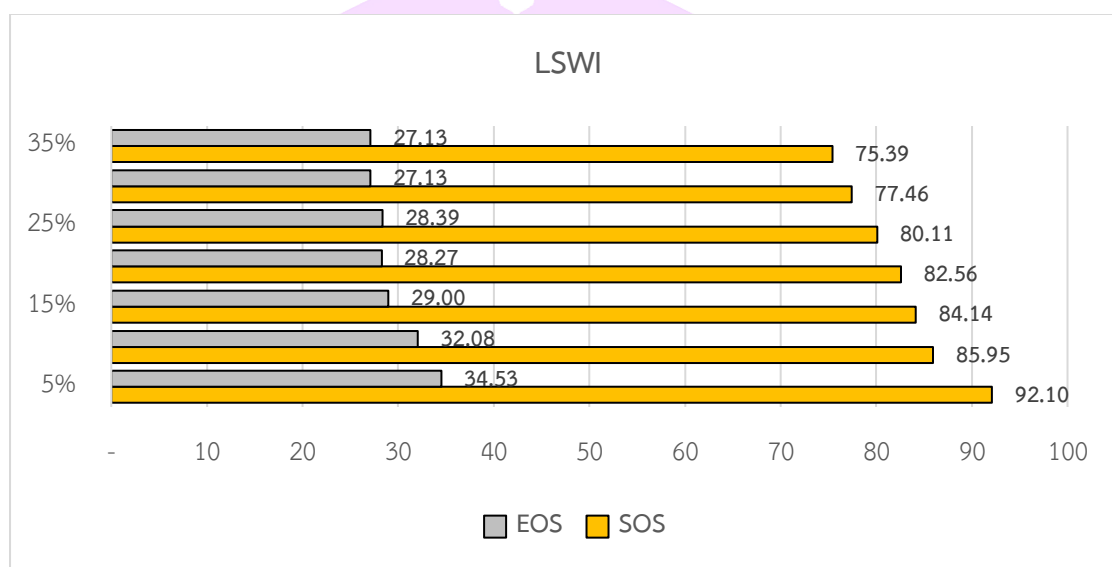
ตาราง 17 ผลต่างของวันจากสมการและวันสิ้นสุดการเพาะปลูกจริงจากดัชนี SAVI

| Error EOS |     |     |     |     |     |      |      |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| SOS/EOS   | 5%  | 10% | 15% | 20% | 25% | 30%  | 35%  |
| Parcel 1  | 8   | 3   | (2) | (2) | (7) | (12) | (12) |
| Parcel 2  | 13  | 8   | 3   | (2) | (2) | (7)  | (7)  |
| Parcel 3  | 7   | 2   | (3) | (3) | (8) | (13) | (13) |
| Parcel 4  | 30  | 25  | 20  | 15  | 10  | 10   | 5    |
| Parcel 5  | 18  | 13  | 8   | 3   | (2) | (2)  | (7)  |
| Parcel 6  | 38  | 33  | 33  | 28  | 23  | 23   | 18   |
| SUM       | 114 | 84  | 59  | 39  | 14  | (1)  | (16) |

การประเมินความสอดคล้องกันของข้อมูลที่ได้รับจากสมการและข้อมูลวันเริ่มต้นการเพาะปลูกหรือการเก็บเกี่ยวจริง จะถูกประเมินด้วยค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) โดยที่ค่าของ RMSE ยิ่งน้อยหมายถึงมีค่าความถูกต้องมาก โดยตารางต่อไปนี้จะพิจารณาเฉลี่ยทั้ง 6 แปลงทดสอบ

ตาราง 18 การประเมินความสอดคล้องด้วย Root Mean Square Error ของ LSWI

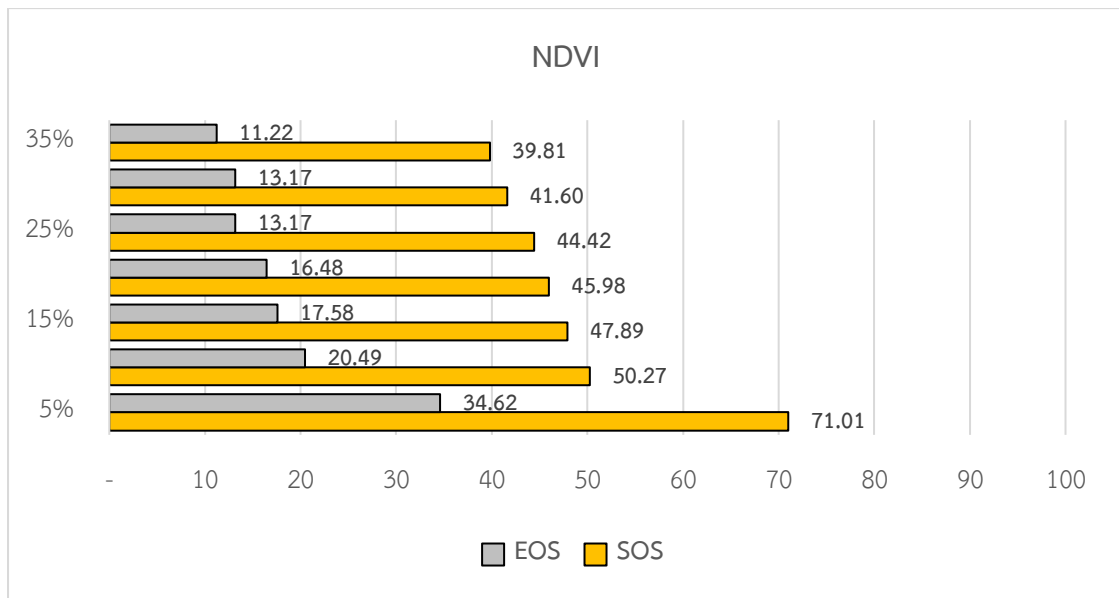
| Root Mean Square Error (RMSE) |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SOS/EOS                       | 5%    | 10%   | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   | 35%   |
| SOS                           | 92.10 | 85.95 | 84.14 | 82.56 | 80.11 | 77.46 | 75.39 |
| EOS                           | 34.53 | 32.08 | 29.00 | 28.27 | 28.39 | 27.13 | 27.13 |



ภาพ 35 การประเมินความสอดคล้องด้วย Root Mean Square Error ของ LSWI

ตาราง 19 การประเมินความสอดคล้องด้วย Root Mean Square Error ของ NDVI

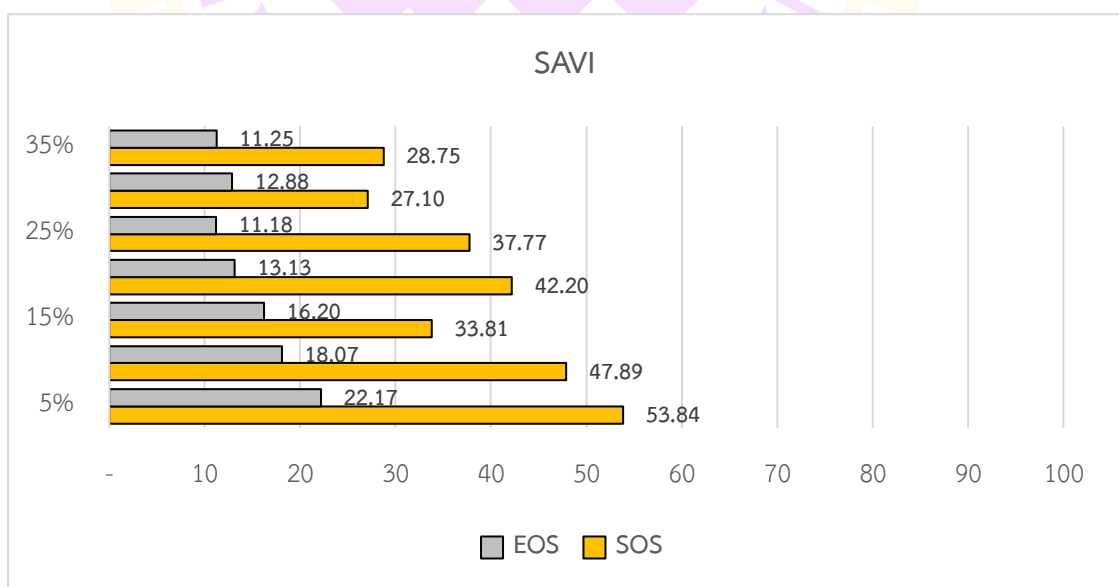
| Root Mean Square Error (RMSE) |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SOS/EOS                       | 5%    | 10%   | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   | 35%   |
| SOS                           | 71.01 | 50.27 | 47.89 | 45.98 | 44.42 | 41.60 | 39.81 |
| EOS                           | 34.62 | 20.49 | 17.58 | 16.48 | 13.17 | 13.17 | 11.22 |



ภาพ 36 การประเมินความสอดคล้องด้วย Root Mean Square Error ของ NDVI

ตาราง 20 การประเมินความสอดคล้องด้วย Root Mean Square Error ของ SAVI

| Root Mean Square Error (RMSE) |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SOS/EOS                       | 5%    | 10%   | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   | 35%   |
| SOS                           | 53.84 | 47.89 | 33.81 | 42.20 | 37.77 | 27.10 | 28.75 |
| EOS                           | 22.17 | 18.07 | 16.20 | 13.13 | 11.18 | 12.88 | 11.25 |

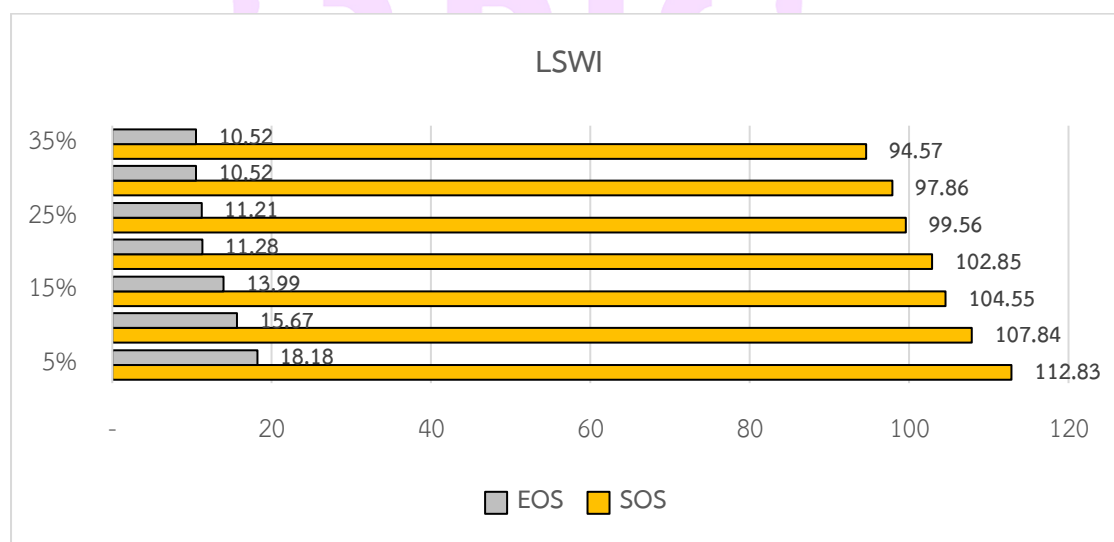


ภาพ 37 การประเมินความสอดคล้องด้วย Root Mean Square Error ของ SAVI

หากพิจารณาแยกด้วยวิธีการเพาะปลูก (ปักดำ และหว่านแห้ง) การเพาะปลูกด้วยวิธีการปักดำพบว่าระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมตั้งแต่ร้อยละ 5-35 ของดัชนี LSWI มีค่า RMSE ของ SOS อยู่ระหว่าง 97.57 ถึง 112.83 และ EOS มีค่าอยู่ระหว่าง 10.52 ถึง 18.18 ในขณะที่ดัชนี NDVI มีค่า RMSE ของ SOS อยู่ระหว่าง 43.95 ถึง 91.49 และ EOS มีค่าอยู่ระหว่าง 3.11 ถึง 14.57 และดัชนี SAVI มีค่า RMSE ของ SOS อยู่ระหว่าง 11.75 ถึง 65.46 และ EOS มีค่าอยู่ระหว่าง 2.71 ถึง 12.07 สังเกตว่าระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมของดัชนี SAVI ของ SOS มีค่าต่ำที่สุดในระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 30 และ EOS เกณฑ์ที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 20 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตาราง 21 การประเมินความสอดคล้องด้วย LSWI (ปักดำ แปลงทดสอบ 1, 3 และ 5)

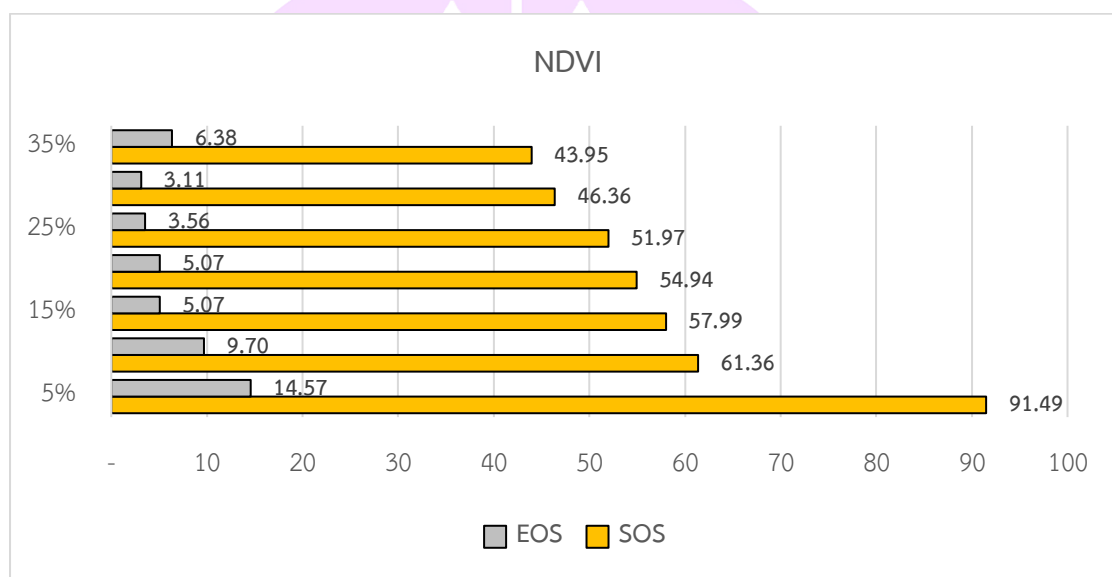
| LSWI                          |        |        |        |        |       |       |       |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| Root Mean Square Error (RMSE) |        |        |        |        |       |       |       |
| SOS/EOS                       | 5%     | 10%    | 15%    | 20%    | 25%   | 30%   | 35%   |
| SOS                           | 112.83 | 107.84 | 104.55 | 102.85 | 99.56 | 97.86 | 94.57 |
| EOS                           | 18.18  | 15.67  | 13.99  | 11.28  | 11.21 | 10.52 | 10.52 |



ภาพ 38 การประเมินความสอดคล้องด้วย LSWI (ปักดำ แปลงทดสอบ 1, 3 และ 5)

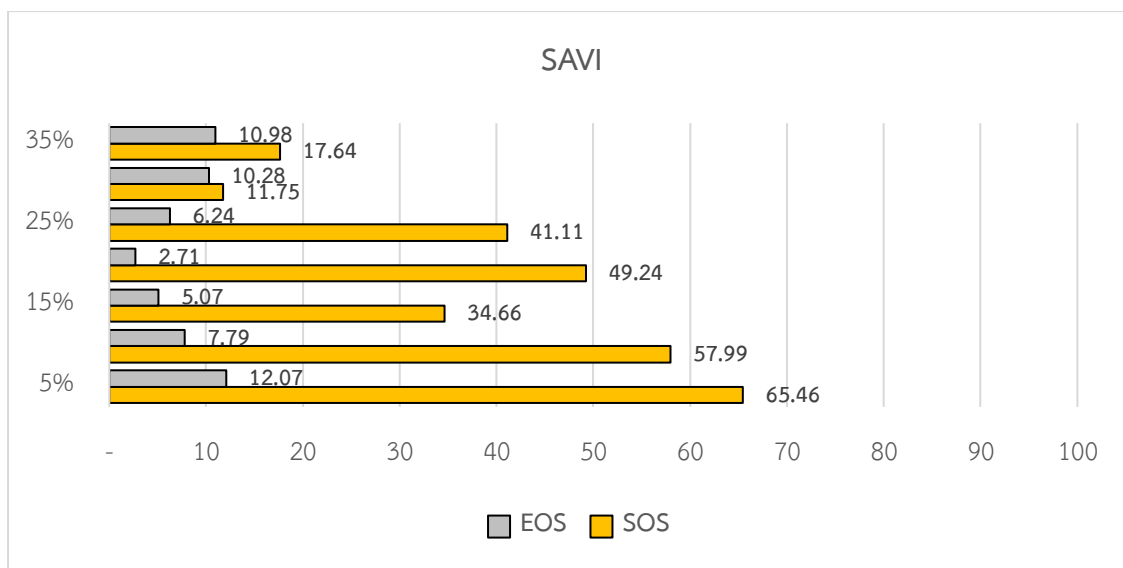
ตาราง 22 การประเมินความสอดคล้องด้วย NDVI (ปักดำ แปลงทดสอบ 1, 3 และ 5)

| NDVI                          |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Root Mean Square Error (RMSE) |       |       |       |       |       |       |       |
| SOS/EOS                       | 5%    | 10%   | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   | 35%   |
| SOS                           | 91.49 | 61.36 | 57.99 | 54.94 | 51.97 | 46.36 | 43.95 |
| EOS                           | 14.57 | 9.70  | 5.07  | 5.07  | 3.56  | 3.11  | 6.38  |



ภาพ 39 การประเมินความสอดคล้องด้วย NDVI (ปักดำ แปลงทดสอบ 1, 3 และ 5)  
 ตาราง 23 การประเมินความสอดคล้องด้วย SAVI (ปักดำ แปลงทดสอบ 1, 3 และ 5)

| SAVI                          |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Root Mean Square Error (RMSE) |       |       |       |       |       |       |       |
| SOS/EOS                       | 5%    | 10%   | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   | 35%   |
| SOS                           | 65.46 | 57.99 | 34.66 | 49.24 | 41.11 | 11.75 | 17.64 |
| EOS                           | 12.07 | 7.79  | 5.07  | 2.71  | 6.24  | 10.28 | 10.98 |

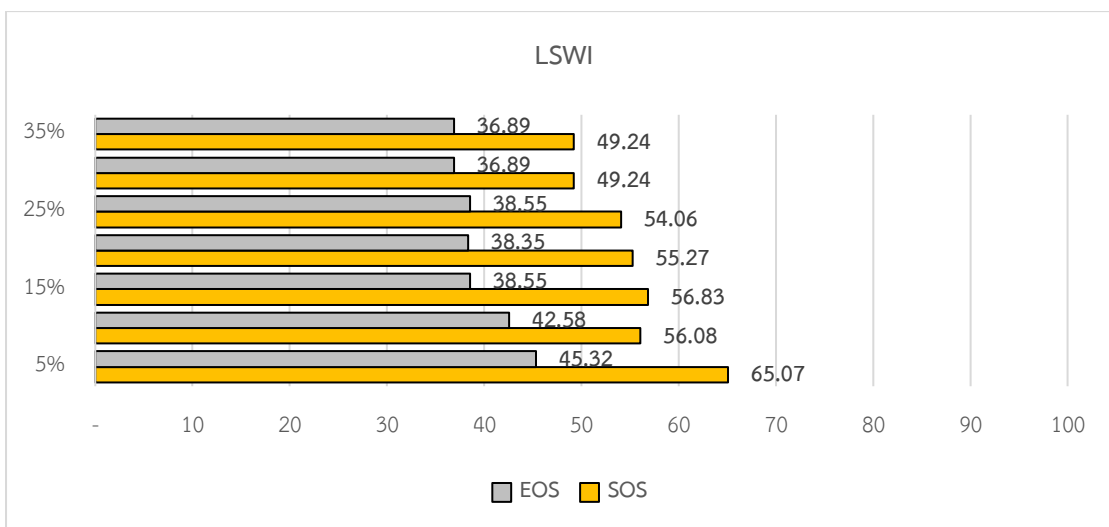


ภาพ 40 การประเมินความสอดคล้องด้วย SAVI (ปักดำ แปลงทดสอบ 1, 3 และ 5)

หากพิจารณาการเพาะปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้งพบว่าระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมตั้งแต่ร้อยละ 5-35 เช่นเดียวกับกับวิธีการปักดำ ดัชนี LSWI มีค่า RMSE ของ SOS อยู่ระหว่าง 49.24 ถึง 65.07 และ EOS มีค่าอยู่ระหว่าง 36.89 ถึง 45.32 ในส่วนของดัชนี NDVI มีค่า RMSE ของ SOS เท่ากับ 35.00 ถึง 41.39 และ EOS เท่ากับ 14.53 ถึง 46.74 ในขณะที่ดัชนี SAVI มีค่า RMSE ของ SOS เท่ากับ 32.93 ถึง 38.90 และ EOS 11.52 ถึง 28.94 สังเกตว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมของดัชนี SAVI มีค่าต่ำที่สุดเช่นเดียวกับการเพาะปลูกด้วยวิธีการปักดำ แตกต่างกันที่เกณฑ์เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 15 สำหรับ SOS และร้อยละ 35 สำหรับ EOS

ตาราง 24 การประเมินความสอดคล้องด้วย LSWI (หว่านแห้ง แปลงทดสอบ 2, 4 และ 6)

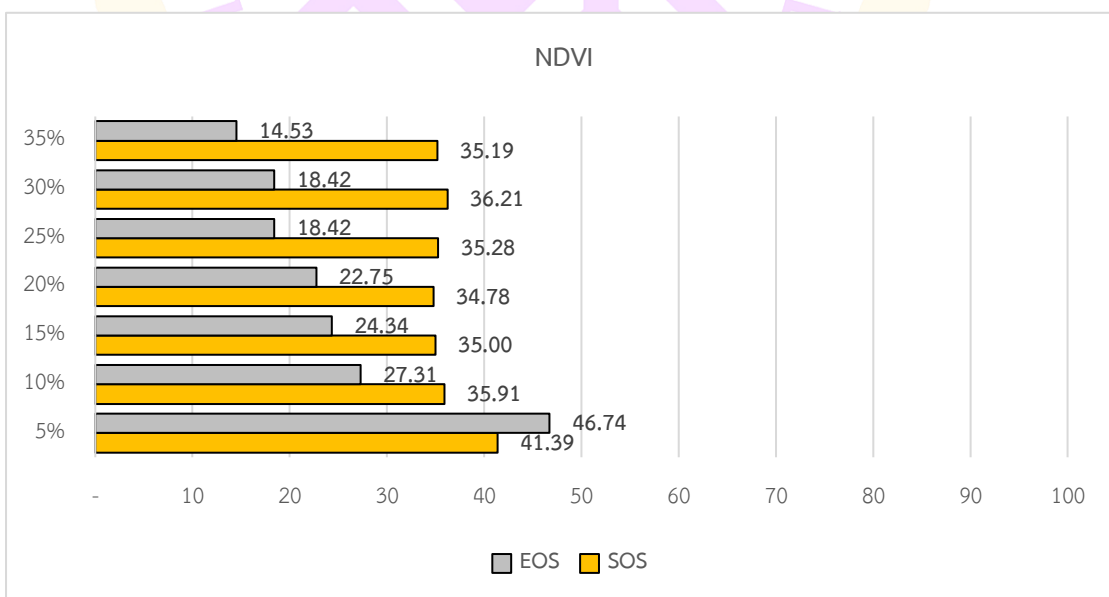
| LSWI                          |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Root Mean Square Error (RMSE) |       |       |       |       |       |       |       |
| SOS/EOS                       | 5%    | 10%   | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   | 35%   |
| SOS                           | 65.07 | 56.08 | 56.83 | 55.27 | 54.06 | 49.24 | 49.24 |
| EOS                           | 45.32 | 42.58 | 38.55 | 38.35 | 38.55 | 36.89 | 36.89 |



ภาพ 41 การประเมินความสอดคล้องด้วย LSWI (หวานแห่ง แปลงทดสอบ 2, 4 และ 6)

ตาราง 25 การประเมินความสอดคล้องด้วย NDVI (หวานแห่ง แปลงทดสอบ 2, 4 และ 6)

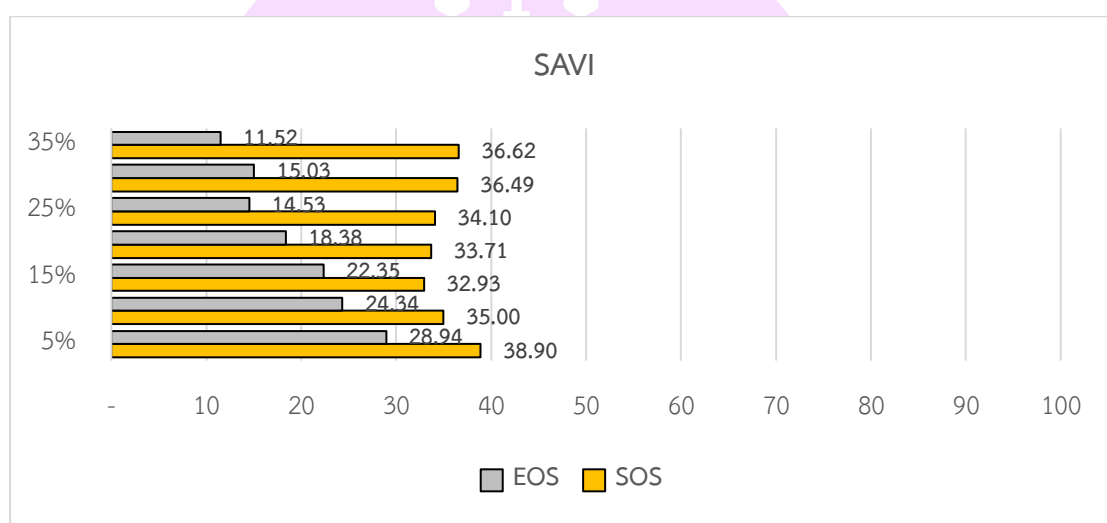
| NDVI                          |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Root Mean Square Error (RMSE) |       |       |       |       |       |       |       |
| SOS/EOS                       | 5%    | 10%   | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   | 35%   |
| SOS                           | 41.39 | 35.91 | 35.00 | 34.78 | 35.28 | 36.21 | 35.19 |
| EOS                           | 46.74 | 27.31 | 24.34 | 22.75 | 18.42 | 18.42 | 14.53 |



ภาพ 42 การประเมินความสอดคล้องด้วย NDVI (หวานแห่ง แปลงทดสอบ 2, 4 และ 6)

ตาราง 26 การประเมินความสอดคล้องด้วย SAVI (หวานแห้ง แปลงทดสอบ 2, 4 และ 6)

| SAVI                          |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Root Mean Square Error (RMSE) |       |       |       |       |       |       |       |
| SOS/EOS                       | 5%    | 10%   | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   | 35%   |
| SOS                           | 38.90 | 35.00 | 32.93 | 33.71 | 34.10 | 36.49 | 36.62 |
| EOS                           | 28.94 | 24.34 | 22.35 | 18.38 | 14.53 | 15.03 | 11.52 |



ภาพ 43 การประเมินความสอดคล้องด้วย SAVI (หวานแห้ง แปลงทดสอบ 2, 4 และ 6)

ตาราง 27 สรุปการประเมินความสอดคล้องทั้ง 3 ดัชนี

| แบบรวมทุกแปลง |         |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Index         | SOS/EOS | 5%    | 10%   | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   | 35%   |
| LSWI          | SOS     | 92.10 | 85.95 | 84.14 | 82.56 | 80.11 | 77.46 | 75.39 |
|               | EOS     | 34.53 | 32.08 | 29.00 | 28.27 | 28.39 | 27.13 | 27.13 |
| NDVI          | SOS     | 71.01 | 50.27 | 47.89 | 45.98 | 44.42 | 41.60 | 39.81 |
|               | EOS     | 34.62 | 20.49 | 17.58 | 16.48 | 13.17 | 13.17 | 11.22 |
| SAVI          | SOS     | 53.84 | 47.89 | 33.81 | 42.20 | 37.77 | 27.10 | 28.75 |
|               | EOS     | 22.17 | 18.07 | 16.20 | 13.13 | 11.18 | 12.88 | 11.25 |

| เฉพาะวิธีปักดำ |         |    |     |     |     |     |     |     |
|----------------|---------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Index          | SOS/EOS | 5% | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% | 35% |

|      |     |        |        |        |        |       |       |       |
|------|-----|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| LSWI | SOS | 112.83 | 107.84 | 104.55 | 102.85 | 99.56 | 97.86 | 94.57 |
|      | EOS | 18.18  | 15.67  | 13.99  | 11.28  | 11.21 | 10.52 | 10.52 |
| NDVI | SOS | 91.49  | 61.36  | 57.99  | 54.94  | 51.97 | 46.36 | 43.95 |
|      | EOS | 14.57  | 9.70   | 5.07   | 5.07   | 3.56  | 3.11  | 6.38  |
| SAVI | SOS | 65.46  | 57.99  | 34.66  | 49.24  | 41.11 | 11.75 | 17.64 |
|      | EOS | 12.07  | 7.79   | 5.07   | 2.71   | 6.24  | 10.28 | 10.98 |

## เฉพาะวิธีหวนแห้ง

| Index | SOS/EOS | 5%    | 10%   | 15%   | 20%   | 25%   | 30%   | 35%   |
|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LSWI  | SOS     | 65.07 | 56.08 | 56.83 | 55.27 | 54.06 | 49.24 | 49.24 |
|       | EOS     | 45.32 | 42.58 | 38.55 | 38.35 | 38.55 | 36.89 | 36.89 |
| NDVI  | SOS     | 41.39 | 35.91 | 35.00 | 34.78 | 35.28 | 36.21 | 35.19 |
|       | EOS     | 46.74 | 27.31 | 24.34 | 22.75 | 18.42 | 18.42 | 14.53 |
| SAVI  | SOS     | 38.90 | 35.00 | 32.93 | 33.71 | 34.10 | 36.49 | 36.62 |
|       | EOS     | 28.94 | 24.34 | 22.35 | 18.38 | 14.53 | 15.03 | 11.52 |

จากผลการประเมินด้วยค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองหรือ RMSE ทั้ง 3 ดัชนี (LSWI, NDVI และ SAVI) และจากเกณฑ์ที่เหมาะสมตั้งแต่ร้อยละ 0 – 35 พบว่า ดัชนีที่ให้ค่า RMSE ต่ำใกล้เคียงกับ SOS และ EOS จริงมากที่สุดคือดัชนี SAVI ดังนั้น กระบวนการวิเคราะห์จากนี้ จะพิจารณาเฉพาะดัชนี SAVI เท่านั้น เมื่อพิจารณาทั้ง 6 แปลง ทดสอบโดยไม่แยกวิธีการปลูกพบว่า SOS ควรใช้ระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 30 และ EOS เท่ากับร้อยละ 25 คล้ายคลึงกับการพิจารณาแบบแยกวิธีการปลูกโดยการปลูก ด้วยวิธีการปักดำควรใช้ระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมของ SOS เท่ากับร้อยละ 30 และ EOS เท่ากับ ร้อยละ 20 และการปลูกด้วยวิธีการหวนแห้งควรใช้ระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมของ SOS เท่ากับ ร้อยละ 15 และ EOS เท่ากับร้อยละ 35 ซึ่งผลลัพธ์นี้จะถูกนำไปพิจารณาต่อเป็นช่วงเวลาที่มีการเพาะปลูกและไม่มีการเพาะปลูก และใช้สำหรับกำหนดช่วงเวลาการทำผลต่างภาพใน ขั้นตอนถัดไป

ตาราง 28 สรุปดัชนีและระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมของดัชนี SAVI

| สรุปดัชนีและระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมของดัชนี SAVI |       |         |
|---|-------|---------|
| แบบรวมทุกแปลง                                 |       |         |
| SOS/EOS                                       | Index | Percent |
| SOS   | SAVI  | 30      |
| EOS   | SAVI  | 25      |
| เฉพาะนาปักดำแปลงทดสอบ 1, 3 และ 5              |       |         |
| SOS/EOS                                       | Index | Percent |
| SOS   | SAVI  | 30      |
| EOS   | SAVI  | 20      |
| เฉพาะนาหว่านแห้งแปลงทดสอบ 2, 4 และ 6          |       |         |
| SOS/EOS                                       | Index | Percent |
| SOS   | SAVI  | 15      |
| EOS   | SAVI  | 35      |

## 2.2 พิจารณาช่วงการเพาะปลูกจากดัชนี SAVI

จากผลของการวิเคราะห์ในขั้นตอนก่อนหน้าทำให้ทราบถึงดัชนีและระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับกำหนดวัน SOS และ EOS ของแปลงทดสอบ ในส่วนนี้จะเป็นการพิจารณาผลลัพธ์ดังกล่าวโดยพิจารณาช่วงการเพาะปลูกของทั้ง 6 แปลงทดสอบ และแบบแยกวิธีการเพาะปลูก (แบบปักดำ และ แบบหว่านแห้ง) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

พิจารณาช่วงการเพาะปลูกของทั้ง 6 แปลงทดสอบโดยไม่แยกวิธีการเพาะปลูก ใช้ดัชนี SAVI และระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมของ SOS เท่ากับร้อยละ 30 พบว่ามี SOS อยู่ระหว่างวันที่ 19 พฤษภาคม – 28 กรกฎาคม และ EOS เท่ากับร้อยละ 25 พบว่ามี EOS อยู่ระหว่างวันที่ 11 ตุลาคม – 15 พฤศจิกายน สาเหตุที่ทำให้ความกว้างอันตรภาคชั้นของ SOS มากเนื่องจากแปลงทดสอบทั้ง 6 แปลงมีระบบวิธีการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน โดยแปลงทดสอบที่มีการเพาะปลูกแบบปักดำมักจะรอช่วงเข้าฤดูฝนเพื่อให้แน่ใจว่ามีน้ำเพียงพอสำหรับการเพาะปลูกเนื่องจากในพื้นที่ศึกษาอยู่นอกเขตการให้บริการชลประทาน ส่วนวิธีการปลูกแบบหว่านแห้ง มักจะหว่านเมล็ดพันธุ์ให้แล้วเสร็จก่อนฤดูฝนหรือช่วงเดือนพฤษภาคมเป็นต้น

ในขณะที่ EOS มักมีความใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงฤดูกาลเก็บเกี่ยวเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย SOS และ EOS จากทุกแปลงทดสอบพบว่าสามารถกำหนดช่วงเวลาการเพาะปลูกข้าวนาปีได้ตั้งแต่วันที่ 2 กรกฎาคม – 4 พฤศจิกายน รายละเอียดดังตาราง

**ตาราง 29 พิจารณาช่วงการเพาะปลูกแบบรวมทุกแปลง**

| แบบรวมทุกแปลง  |                 |         |                 |         |
|----------------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| Parcel         | SOS 30%         | SOS_DOY | EOS 25%         | EOS_DOY |
| Parcel 1       | 28-Jul-21       | 209     | 10-Nov-21       | 314     |
| Parcel 2       | 18-Jul-21       | 199     | 15-Nov-21       | 319     |
| Parcel 3       | 28-Jul-21       | 209     | 15-Nov-21       | 319     |
| Parcel 4       | 29-May-21       | 149     | 11-Oct-21       | 284     |
| Parcel 5       | 13-Jul-21       | 194     | 10-Nov-21       | 314     |
| Parcel 6       | 19-May-21       | 139     | 26-Oct-21       | 299     |
| <b>Average</b> | <b>183.17</b>   |         | <b>308.17</b>   |         |
| <b>Date</b>    | <b>2-Jul-21</b> |         | <b>4-Nov-21</b> |         |

พิจารณาช่วงการเพาะปลูกเฉพาะแปลงทดสอบที่มีวิธีการเพาะปลูกแบบปักดำ (1 3 5) โดยใช้ดัชนี SAVI และระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมของ SOS เท่ากับร้อยละ 30 พบว่ามี SOS อยู่ระหว่างวันที่ 13 – 28 กรกฎาคม และ EOS เท่ากับร้อยละ 20 พบว่ามี EOS อยู่ระหว่างวันที่ 15 – 20 พฤศจิกายน สันนิษฐานว่าระบบวิธีการเพาะปลูกที่มีรูปแบบเดียวกันมักจะมี ความใกล้เคียงกันทั้ง SOS และ EOS เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย SOS และ EOS จากทั้งสามแปลงทดสอบพบว่าสามารถกำหนดช่วงเวลาการเพาะปลูกข้าวนาปีได้ตั้งแต่วันที่ 23 กรกฎาคม – 16 พฤศจิกายน รายละเอียดดังตาราง

**ตาราง 30 พิจารณาช่วงการเพาะปลูกแบบแยกวิธีการเพาะปลูกแบบปักดำ**

| เฉพาะนาปักดำแปลงทดสอบ 1, 3 และ 5 |           |         |           |         |
|----------------------------------|-----------|---------|-----------|---------|
| Parcel                           | SOS 30%   | SOS_DOY | EOS 20%   | EOS_DOY |
| Parcel 1                         | 28-Jul-21 | 209     | 15-Nov-21 | 319     |

| เฉพาะนาปักดำแปลงทดสอบ 1, 3 และ 5 |           |                  |           |                  |
|----------------------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|
| Parcel                           | SOS 30%   | SOS_DOY          | EOS 20%   | EOS_DOY          |
| Parcel 3                         | 28-Jul-21 | 209              | 20-Nov-21 | 324              |
| Parcel 5                         | 13-Jul-21 | 194              | 15-Nov-21 | 319              |
| <b>Average</b>                   |           | <b>204.00</b>    |           | <b>320.67</b>    |
| <b>Date</b>                      |           | <b>23-Jul-21</b> |           | <b>16-Nov-21</b> |

พิจารณาช่วงการเพาะปลูกเฉพาะแปลงทดสอบที่มีวิธีการเพาะปลูกแบบหว่านแห้ง (2 4 5) โดยใช้ดัชนี SAVI และระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมของ SOS เท่ากับร้อยละ 15 พบว่ามี SOS อยู่ระหว่างวันที่ 29 เมษายน – 3 กรกฎาคม และ EOS อยู่ระหว่างวันที่ 6 ตุลาคม – 10 พฤศจิกายน หากพิจารณาจากตารางจะพบว่าแปลงทดสอบที่ 4 และ 6 มีค่าของ SOS ใกล้เคียงกัน (ต่างกันเพียง 15 วัน) แตกต่างจากแปลงทดสอบที่ 2 ซึ่งมีความแตกต่างจากแปลงทดสอบที่ 4 ถึง 50 วัน จากการตรวจสอบภาคสนามพบว่าแปลงทดสอบที่ 2 หว่านแห้งแล้วเสร็จวันที่ 19 พฤษภาคม แต่สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นคาดว่าเกิดจากจำนวนของวัชพืชในนาข้าว (ต้นหญ้าค่อนข้างเยอะ) ที่ไม่ได้ถูกกำจัดออกเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย SOS และ EOS จากทุกแปลงทดสอบพบว่าสามารถกำหนดช่วงเวลาการเพาะปลูกข้าวนาปีได้ตั้งแต่วันที่ 25 พฤษภาคม – 22 ตุลาคม รายละเอียดดังตาราง

#### ตาราง 31 พิจารณารูปแบบการเพาะปลูกแบบแยกวิธีการเพาะปลูกแบบหว่านแห้ง

| เฉพาะนาหว่านแห้งแปลงทดสอบ 2, 4 และ 6 |           |                  |           |                  |
|--------------------------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|
| Parcel                               | SOS 15%   | SOS_DOY          | EOS 35%   | EOS_DOY          |
| Parcel 2                             | 3-Jul-21  | 184              | 10-Nov-21 | 314              |
| Parcel 4                             | 14-May-21 | 134              | 6-Oct-21  | 279              |
| Parcel 6                             | 29-Apr-21 | 119              | 21-Oct-21 | 294              |
| <b>Average</b>                       |           | <b>145.67</b>    |           | <b>295.67</b>    |
| <b>Date</b>                          |           | <b>25-May-21</b> |           | <b>22-Oct-21</b> |

### 2.3 พิจารณาช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด และช่วงที่ไม่มีการเจริญเติบโต

การพิจารณาช่วงการเพาะปลูกจะทำให้ทราบถึงช่วงเวลาของการเพาะปลูกซ้ำวนในปีในพื้นที่ศึกษาและสิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้ต่อยอดคือการพิจารณาช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด (Peak Greenness) และต่ำที่สุดซึ่งพิจารณาจากกราฟชีพลักษณะพืชพรรณของทั้ง 6 แปลงทดสอบ พบว่าช่วงการเจริญเติบโตสูงที่สุดของแปลงทดสอบที่เพาะปลูกด้วยวิธีการปักดำอยู่ระหว่างวันที่ 21-26 กันยายน หรือช่วงที่ข้าวมีอายุประมาณ 90 วันนับจากวันปักดำแล้วเสร็จ ในด้านของแปลงทดสอบที่เพาะปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้งช่วงการเจริญเติบโตสูงที่สุดอยู่ระหว่างวันที่ 12 สิงหาคม - 16 กันยายน สาเหตุที่ทำให้แปลงที่เพาะปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้งมีช่วงการเจริญเติบโตสูงที่สุดไม่พร้อมกันคาดว่าเกิดจากการบำรุงดูแลรักษา, การให้น้ำ, วัชพืชในแปลงนา และปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ

ตาราง 32 ช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด-ต่ำที่สุด เฉลี่ย

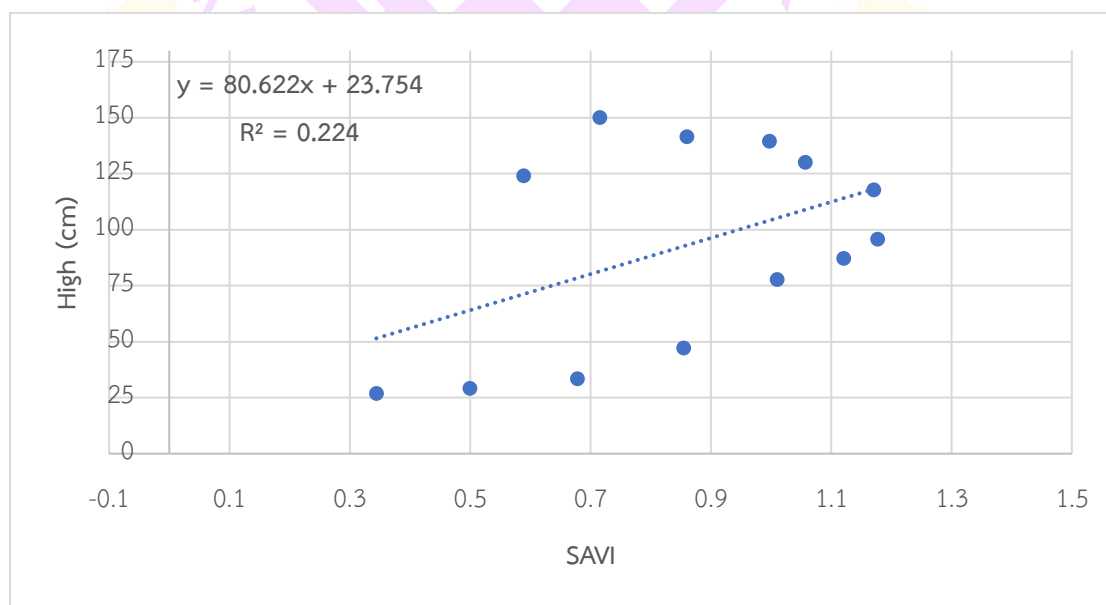
| พิจารณาช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด-ต่ำที่สุด เฉลี่ย |                 |         |                  |         |
|--|-----------------|---------|------------------|---------|
| Parcel   | Max             | Max_DOY | Min              | Min_DOY |
| Parcel 1   | 21-Sep-21       | 264     | 23-Jun-21        | 174     |
| Parcel 2   | 16-Sep-21       | 259     | 8-Jun-21         | 159     |
| Parcel 3   | 21-Sep-21       | 264     | 5-Mar-21         | 64      |
| Parcel 4   | 12-Aug-21       | 224     | 9-Apr-21         | 99      |
| Parcel 5   | 26-Sep-21       | 269     | 28-Feb-21        | 59      |
| Parcel 6   | 22-Aug-21       | 234     | 15-Mar-21        | 74      |
| <b>Average</b>   | <b>252.33</b>   |         | <b>104.83</b>    |         |
| <b>Date</b>  | <b>9-Sep-21</b> |         | <b>14-Apr-21</b> |         |

### 2.4 ผลทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของชีพลักษณะกับข้อมูลการสำรวจภาคพื้นดิน

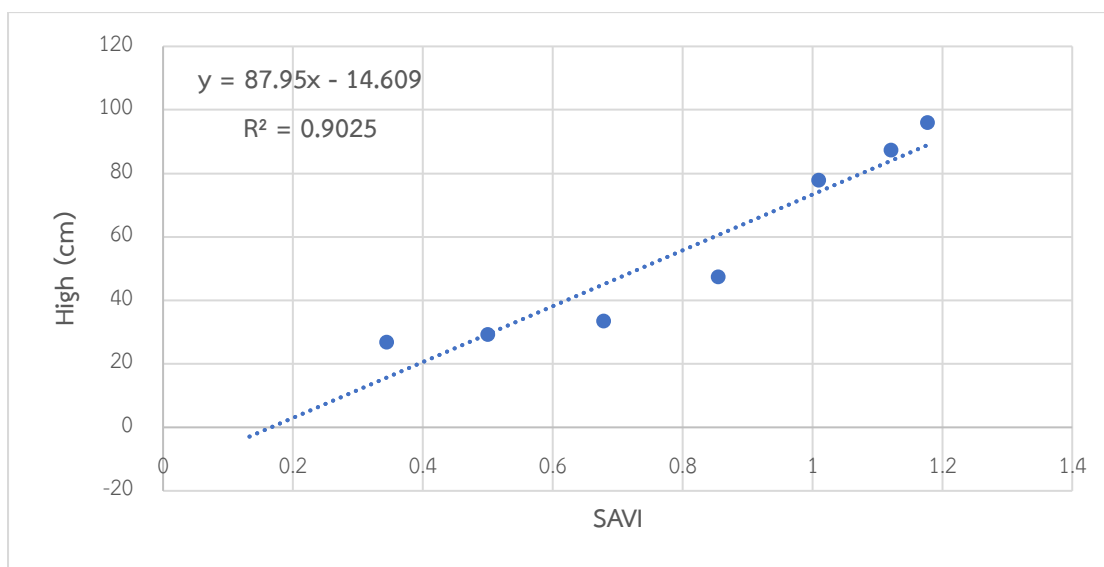
เพิ่มความเชื่อมั่นของปฏิทินระยะพัฒนาการของข้าว และข้อมูลคุณลักษณะทางชีพลักษณะที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ข้างต้น โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่บอกถึงทิศทาง และระดับความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยข้อมูลจากการสำรวจภาคพื้นดินประกอบไปด้วย ข้อมูลความสูงของต้นข้าวด้วยการวัดระดับความสูงจากผิวดิน

จนถึงปลายสุดของต้นข้าวบันทึกทุก ๆ 10 วัน ตำแหน่งเดิมในแปลงสำรวจจะย่อขนาด 1 ตารางเมตร จำนวน 3 ตำแหน่ง และถูกนำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเพื่อติดตามการเจริญเติบโตของต้นข้าวภายในแปลงทดสอบ และบันทึกภาพเพื่อใช้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของนาข้าว มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 1 มีการเพาะปลูกด้วยวิธีการปักดำ ซึ่งปักดำแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม ต้นข้าวมีความสูงเท่ากับ 26.87 เซนติเมตร และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับจนถึงวันที่ 5 พฤศจิกายน (ข้าวอายุ 110 วัน) ที่ความสูง 150.27 เซนติเมตร จากนั้นเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน ความสูงของข้าวลดต่ำลงด้วยน้ำหนักรวงมีความสูงเท่ากับ 124.20 เซนติเมตร จากนั้นถูกเก็บเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวข้าว ใช้ระยะเวลาการปลูกเท่ากับ 122 วัน เมื่อพิจารณาระหว่างค่าดัชนี SAVI และความสูงของข้าวตลอดฤดูกาลเพาะปลูก (ปักดำแล้วเสร็จถึงวันเก็บเกี่ยว) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.22 เนื่องจากการรบกวนของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไป ในช่วงแรกของการเพาะปลูก (ระยะต้นอ่อน) เมื่อต้นข้าวถูกปักดำแล้วเสร็จเริ่มมีการพัฒนาทรงพุ่มและเรื้อนยอด ส่งผลให้ค่าดัชนี SAVI มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นควบคู่กันไปตามลำดับจนถึงจุดที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดและเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ระยะสร้างรวง ความเขียวของต้นข้าวจะเริ่มลดลงแต่ความสูงของต้นข้าวยังคงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยก่อนที่จะลดต่ำลงเนื่องจากน้ำหนักของรวง แต่ไม่มากจนใกล้พื้นดินเหมือนระยะต้นอ่อน ด้วยเหตุนี้หากพิจารณาจากวันปักดำแล้วเสร็จจนถึงวันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด (พิจารณาจากคุณลักษณะทางซีพลักซ์) พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.90

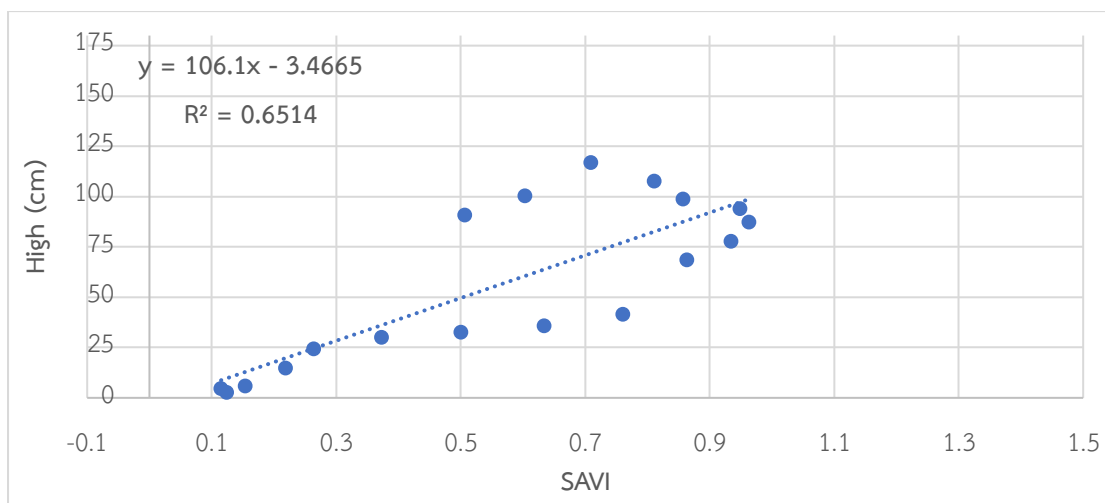


ภาพ 44 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 1 (ตลอดฤดูกาล)

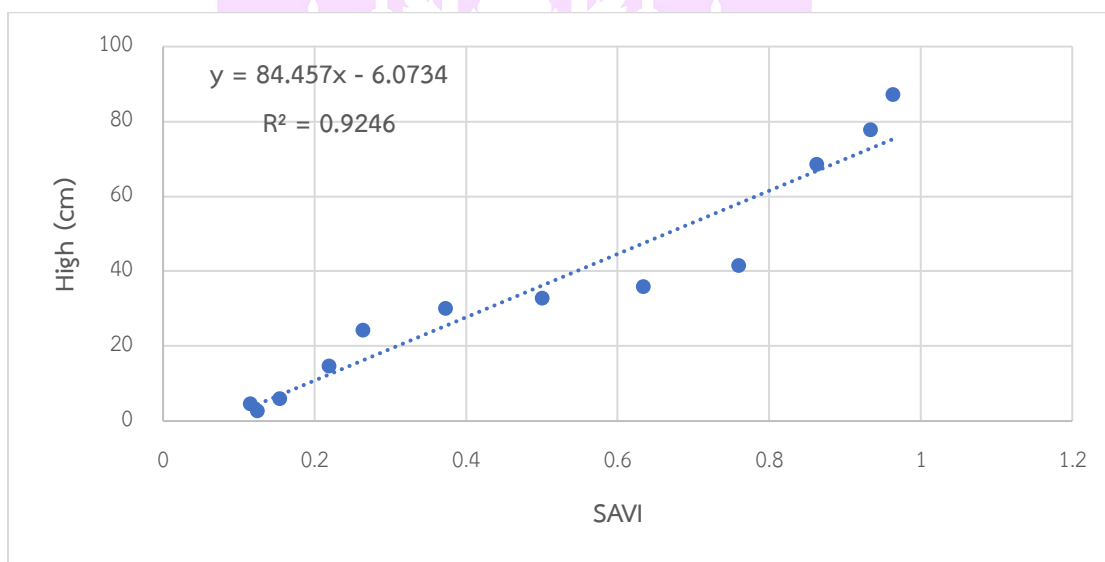


ภาพ 45 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 1  
(วันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด)

แปลงทดสอบบรหส์ Paddy Field 2 เป็นแปลงเพาะปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้งในสภาพดินแล้ง (หว่านเมล็ดพันธุ์คอยฝน) หว่านแล้วเสร็จวันที่ 19 พฤษภาคม หลังจากหว่านแล้ว 10 วันเริ่มเห็นต้นข้าวงอกออกมาจากพื้นดินและมีความสูงเท่ากับ 2.67 เซนติเมตร และมีความสูงเพิ่มขึ้นตามลำดับแต่ไม่เร็วมากเหมือนการปลูกด้วยวิธีปักดำเมื่อข้าวอายุได้ 35 วันพบว่ามี ความสูงเพียง 5.93 เซนติเมตร หลังจากนั้นเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อข้าวมีอายุ 60 วันพบว่ามี ความสูงถึง 30 เซนติเมตร และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับจนถึงวันที่ 5 พฤศจิกายน (ข้าว อายุ 170 วัน) ที่ความสูง 100.47 เซนติเมตร จากนั้นจึงลดต่ำลงเหลือเพียง 90.85 เซนติเมตร ในวันที่ 15 พฤศจิกายน และถูกเก็บเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวข้าว ใช้ระยะเวลาการปลูกเท่ากับ 182 วัน พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี SAVI และความสูงของข้าวตลอดฤดูกาลเพาะปลูกพบว่ามีความเท่ากับ 0.65 เนื่องจากการรบกวนของข้อมูลในช่วงปลายฤดูกาลเพาะปลูก และพิจารณาจากวันหว่านแห้งแล้วเสร็จจนถึงวันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดพบว่ามีความสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.92



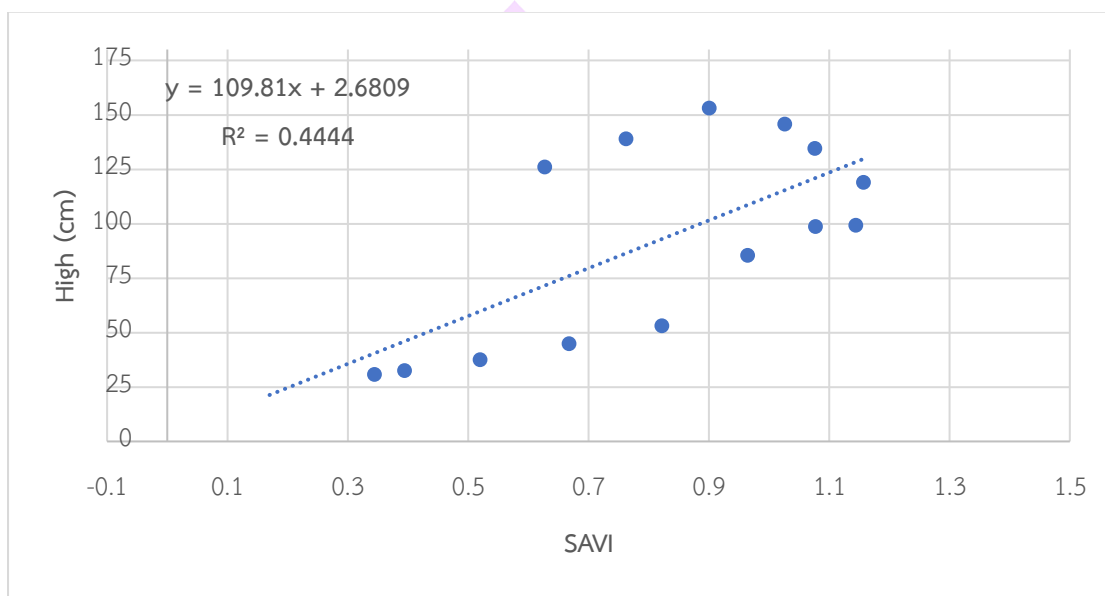
ภาพ 46 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงแปลงทดสอบ Paddy Field 2 (ตลอดฤดูการ)



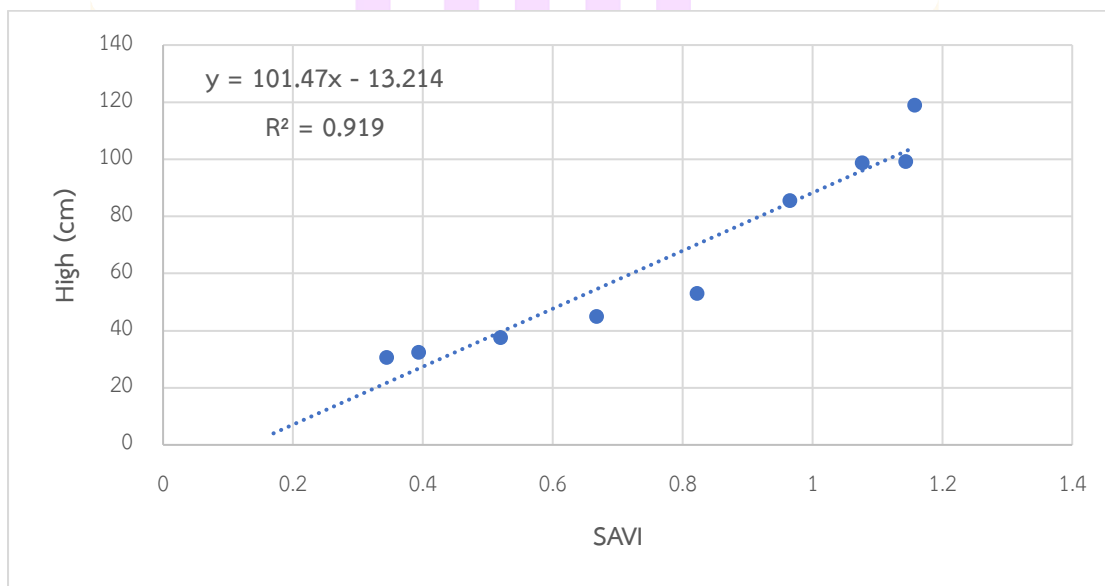
ภาพ 47 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 2  
(วันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด)

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 3 มีการเพาะปลูกด้วยวิธีการปักดำ ซึ่งปักดำแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 11 กรกฎาคม หลังปักดำแล้วเสร็จต้นข้าวมีความสูงเท่ากับ 30.57 เซนติเมตรและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงวันที่ 26 ตุลาคม (ข้าวอายุ 107 วัน) ต้นข้าวมีความสูงเท่ากับ 152.93 เซนติเมตร และลดลงตามลำดับเนื่องจากความเขียวของข้าวที่ลดลง และน้ำหนักของรวงข้าวมีความสูงก่อนเก็บเกี่ยวเท่ากับ 126 เซนติเมตร ในวันที่ 15 พฤศจิกายน จากนั้นถูกเก็บเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวข้าววันที่ 17 พฤศจิกายน ใช้ระยะเวลาการปลูกเท่ากับ 129 วัน เมื่อพิจารณาระหว่าง

ค่าดัชนี SAVI และความสูงของข้าวตลอดฤดูการเพาะปลูกพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.44 เนื่องจากการรบกวนของข้อมูลในช่วงปลายฤดูการเพาะปลูกเช่นเดียวกับแปลงเพาะปลูกก่อนหน้า แต่เมื่อพิจารณาจากวันปักดำแล้วเสร็จจนถึงวันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.91

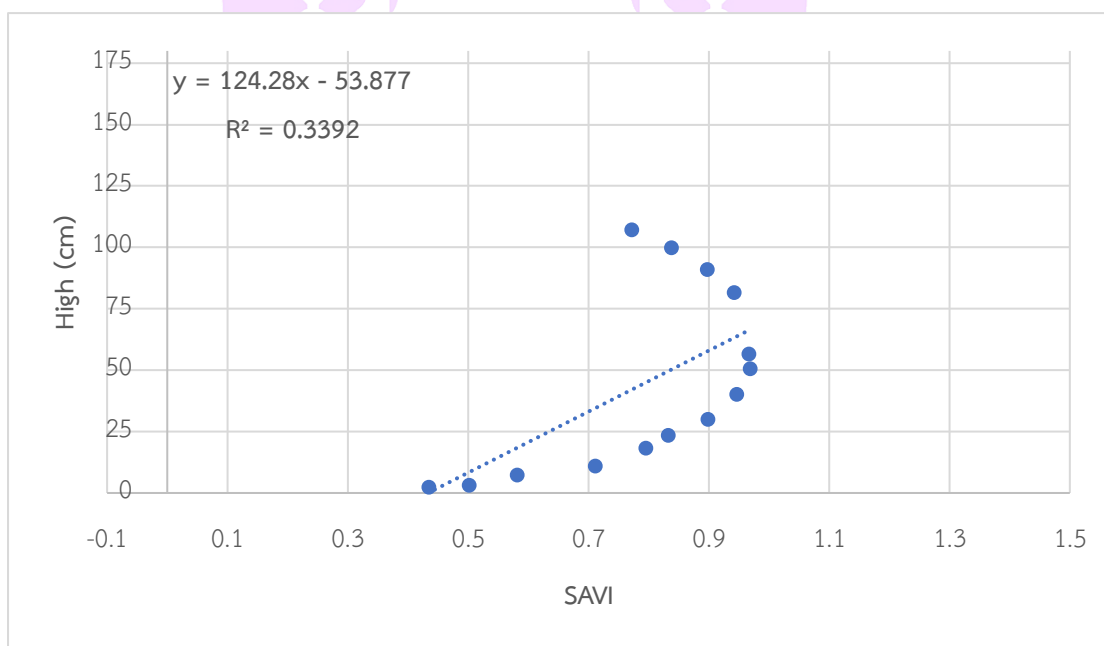


ภาพ 48 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบPaddy Field 3 (ตลอดฤดูการ)

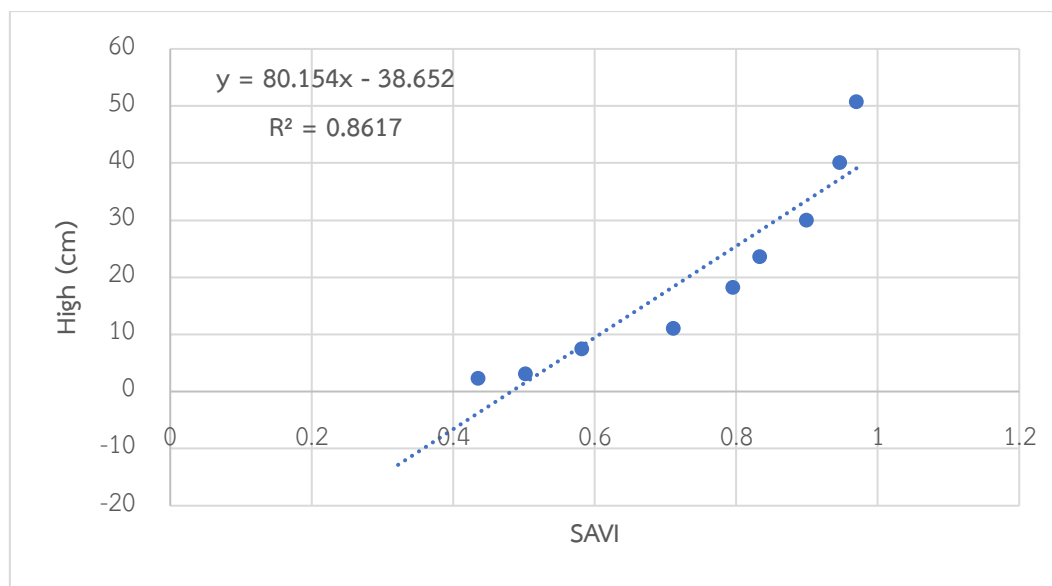


ภาพ 49 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 3  
(วันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด)

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 4 เป็นแปลงเพาะปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้งในสภาพดินแล้งหว่านแล้วเสร็จวันที่ 16 พฤษภาคม บันทึกข้อมูลครั้งแรกหลังจากหว่านแล้วเสร็จ 2 วัน พบว่าต้นข้าวมีความสูง 2.37 เซนติเมตร และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับและไม่เร็วมาก เช่นเดียวกับกับแปลงเพาะปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้งแปลงอื่น ๆ จนมีการเจริญเติบโตสูงที่สุดในวันที่ 26 กันยายน (ข้าวอายุ 133 วัน) มีความสูงเท่ากับ 107.33 เซนติเมตร ก่อนจะถูกเก็บเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวข้าววันที่ 1 ตุลาคม ใช้ระยะเวลาการปลูกเท่ากับ 138 วัน เมื่อพิจารณาความสอดคล้องกันของข้อมูลคุณลักษณะชีพลักษณ์จากค่าดัชนี SAVI และความสูงของข้าวตลอดฤดูกาลเพาะปลูกพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.33 และพิจารณาจากวันหว่านแห้งแล้วเสร็จจนถึงวันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.86 ในแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 4 นั้นจากการสำรวจข้อมูลภาคสนามอย่างเป็นประจำและสอบถามเกษตรกรเจ้าของแปลงเพาะปลูกพบว่าไม่มีการควบคุม และกำจัดวัชพืช (หญ้า) ในแปลงนาทั้งก่อนการหว่านเมล็ดพันธุ์ และระหว่างการเจริญเติบโต จึงทำให้มีวัชพืชในแปลงนามาก

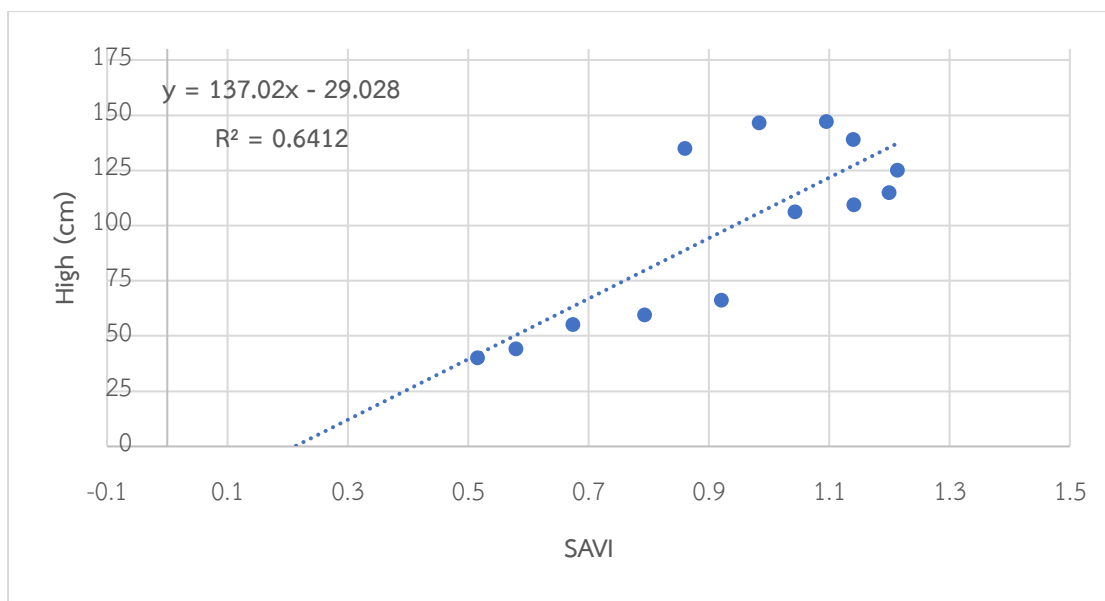


ภาพ 50 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 4 (ตลอดฤดูกาล)

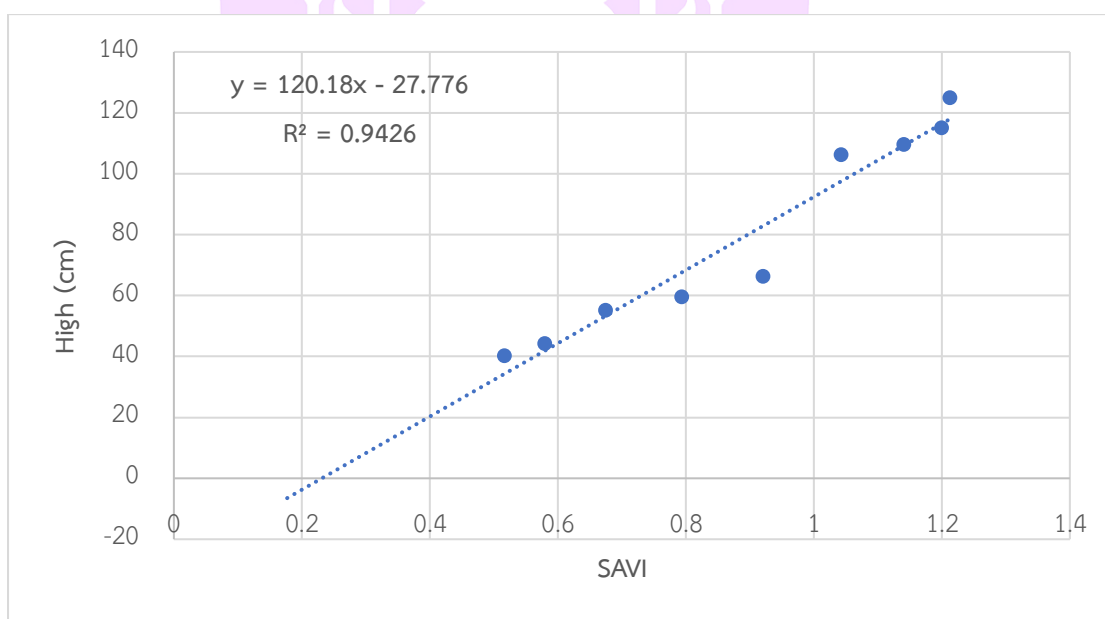


ภาพ 51 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 4  
(วันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด)

แปลงทดสอบรหัส Paddy Field 5 มีการเพาะปลูกด้วยวิธีการปักดำ ปักดำแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม พบว่าต้นข้าวมีความสูงมากถึง 40.27 เซนติเมตรและมีการเจริญเติบโตขึ้นรวดเร็วแบบก้าวกระโดดเมื่อข้าวอายุได้ 30 วัน และ 60 วัน มีความสูงถึง 59.53 และ 106.20 เซนติเมตรตามลำดับ จนถึงวันที่ 5 พฤศจิกายน (ข้าวอายุ 120 วัน) ต้นข้าวมีความสูงถึง 135 เซนติเมตรและลดลงเนื่องจากน้ำหนักของรวงจากนั้นถูกเก็บเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวข้าววันที่ 12 พฤศจิกายน พิจารณาระหว่างค่าดัชนี SAVI และความสูงของข้าวตลอดฤดูกาลเพาะปลูกพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.64 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.94 เมื่อพิจารณาจากวันปักดำแล้วเสร็จจนถึงวันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด



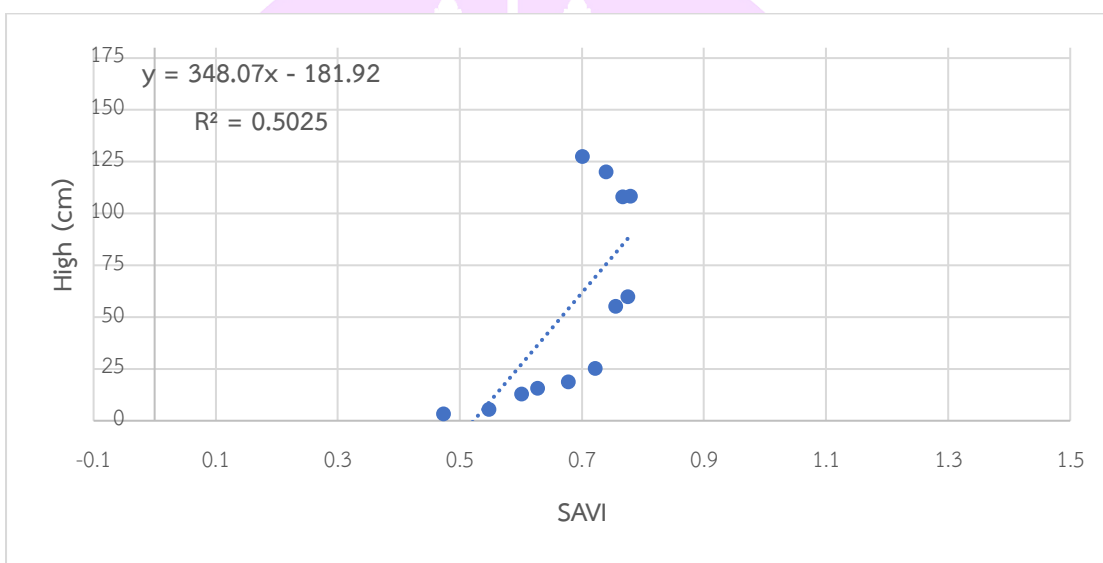
ภาพ 52 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 5 (ตลอดฤดูการ)



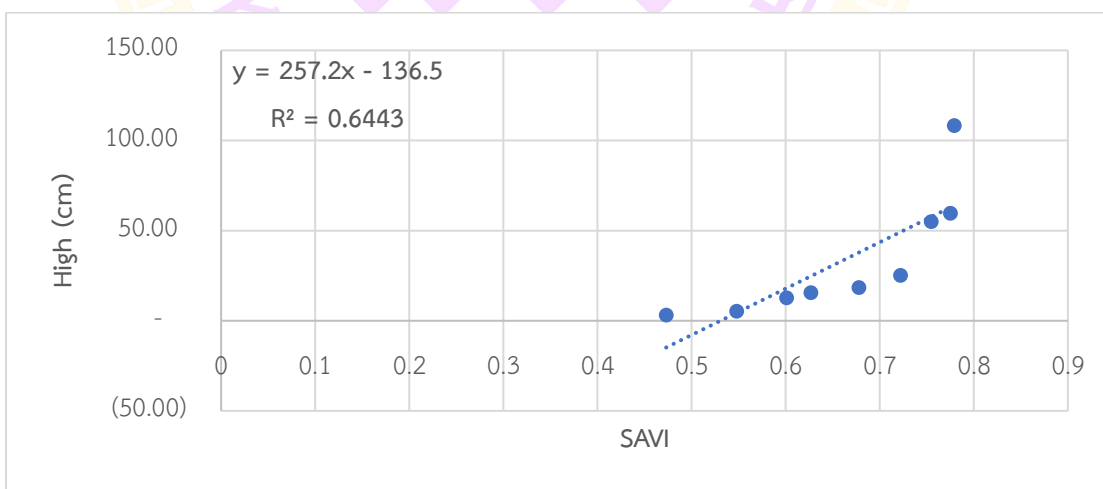
ภาพ 53 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 5  
(วันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด)

แปลงทดสอบบรหัท Paddy Field 6 เป็นแปลงเพาะปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้งในสภาพดินแล้งหว่านแล้วเสร็จวันที่ 3 มิถุนายน บันทึกข้อมูลครั้งแรกหลังจากหว่านแล้วเสร็จ 5 วัน จากการบันทึกข้อมูลภาคสนามพบว่าต้นข้าวมีความสูง 3.30 เซนติเมตรและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับเช่นเดียวกันกับแปลงเพาะปลูกด้วยวิธีการหว่านแห้งแปลงอื่น ๆ ระยะเวลาที่มีการ

สำรวจภาคสนามอย่างเป็นประจำพบว่าแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 6 มีวัชพืชขึ้นในแปลงมากกว่าแปลงอื่น ๆ จากการสอบถามเกษตรกรเจ้าของแปลงพบว่าไม่มีการควบคุม และกำจัดวัชพืชในแปลงนาทั้งก่อนการหว่านเมล็ดพันธุ์ และระหว่างการเจริญเติบโตเช่นเดียวกับแปลงทดสอบรหัส Paddy Field 4 เมื่อพิจารณาความสอดคล้องกันของข้อมูลคุณลักษณะชีพลักษณะ จากค่าดัชนี SAVI และความสูงของข้าวตลอดฤดูกาลเพาะปลูกพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.50 และพิจารณาจากวันหว่านแห้งแล้วเสร็จจนถึงวันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.64



ภาพ 54 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 6 (ตลอดฤดูกาล)



ภาพ 55 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แปลงทดสอบ Paddy Field 6  
(วันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด)

ผลลัพธ์ของการระบุตำแหน่ง SOS/EOS ด้วยเทคนิค Modify Dynamic Threshold Method ซึ่งการศึกษานี้ได้ทดลองใช้เกณฑ์ที่เหมาะสมตั้งแต่ร้อยละ 0 – 35 จากค่าสูงสุดและเทียบกับตำแหน่งของวันที่มีค่าดัชนีสอดคล้องกับค่าที่ได้รับจากสมการ 14 และ 15 ทั้ง SOS และ EOS เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จัดเรียงและพิจารณาผลต่างของวันที่ กับวันเริ่มต้นการเพาะปลูกจริง และเก็บเกี่ยวจริง ต่อจากนั้นประเมินด้วย RMSE จะพบว่าดัชนี SAVI ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุดไม่ว่าจะพิจารณาแบบรวมทั้ง 6 แปลงทดสอบ หรือแยกด้วยวิธีการเพาะปลูกทั้งแบบปักดำและแบบหว่านแห้ง จากการลงพื้นที่สำรวจภาคสนามร่วมกับข้อมูลที่ได้รับจากดาวเทียมที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่าพฤติกรรมกรเพาะปลูกของเกษตรกรในพื้นที่มีทั้งเลือกใช้วิธีการปลูกแบบปักดำ และหว่านแห้งซึ่งต้องใช้อาศัยน้ำฝนเพื่อเพาะปลูก (ฝนตกตามฤดูกาล) ทำให้ฤดูกาลเพาะปลูกของข้าวนาปีในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่างเดือนพฤษภาคม-พฤศจิกายนของทุกปี

จากผลลัพธ์ดังกล่าวนำไปสู่การพิจารณาช่วงการเพาะปลูกทำให้ทราบถึงฤดูกาลเพาะปลูกข้าวนาปีในพื้นที่ศึกษา และสามารถพิจารณาช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดของฤดูกาลเพาะปลูกข้าวนาปีได้อีกด้วย อีกทั้งผลลัพธ์ของช่วงเวลาข้างต้นสามารถประยุกต์ต่อยอดสำหรับการใช้เทคนิคผลต่างภาพเพื่อตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีในส่วนการวิเคราะห์ถัดไป

| JAN              | FEB | MAR | APR | MAY                   | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC              |
|------------------|-----|-----|-----|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|
| ไม่มีการเพาะปลูก |     |     |     | มีการเพาะปลูกข้าวนาปี |     |     |     |     |     |     | ไม่มีการเพาะปลูก |

ภาพ 56 ปฏิทินการเพาะปลูกข้าวนาปีในพื้นที่ศึกษา

เมื่อพิจารณาความสอดคล้องกันระหว่างคุณลักษณะทางซีพัลักษณ์และข้อมูลความสูงของต้นข้าวด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่าวิธีการเพาะปลูกแบบปักดำและหว่านแห้งเมื่อพิจารณาดูตลอดทั้งฤดูกาลเพาะปลูกจะมีค่าความสอดคล้องของข้อมูลระดับต่ำ เนื่องจากการรบกวนของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือในช่วงระยะแรกของการเพาะปลูกต้นข้าวมีระดับความสูงไม่มากนักยังไม่มีเรือนยอดและทรงพุ่มที่ชัดเจน ทำให้ค่าดัชนี SAVI ที่ได้รับจากภาพถ่ายดาวเทียมมีค่าต่ำซึ่งสอดคล้องกับความสูงของต้นข้าว เมื่อเข้าสู่ระยะเจริญเติบโต พัฒนาการของต้นข้าวทั้งระดับความสูงและเรือนยอดเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับค่าดัชนี SAVI ที่เพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดของต้นข้าว จึงจะมีค่าความเขี้ยวลดน้อยลงและใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทอง ส่งผลให้ค่าดัชนี SAVI ลดน้อยลงตามลำดับ แต่ไม่สอดคล้องกับระดับความสูงของต้นข้าวที่ไม่ลดน้อยลง (หรือลดน้อยลงเพราะน้ำหนักของรวงแต่ไม่มากจนใกล้พื้นดินเหมือนระยะต้นอ่อน) ส่งผลให้ช่วงปลายฤดูกาลเพาะปลูกเกิดการรบกวนของข้อมูล

และค่าความสอดคล้องของข้อมูลระดับต่ำ ทั้งนี้หากพิจารณาจากวันที่เริ่มการเพาะปลูก (ปักดำหรือหว่านแห้งแล้วเสร็จ) จนถึงวันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดพบว่าการเจริญเติบโตของต้นข้าวมีความสอดคล้องกันมากกับค่าดัชนี SAVI และเกือบเป็นเส้นตรง

## ส่วนที่สองผลการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าว ประเมินความถูกต้องจากการจำแนก และการนำเสนอข้อมูลบนเว็บแอปพลิเคชัน

### 1. ผลการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวโดยใช้เทคนิคผลต่างระหว่างภาพ

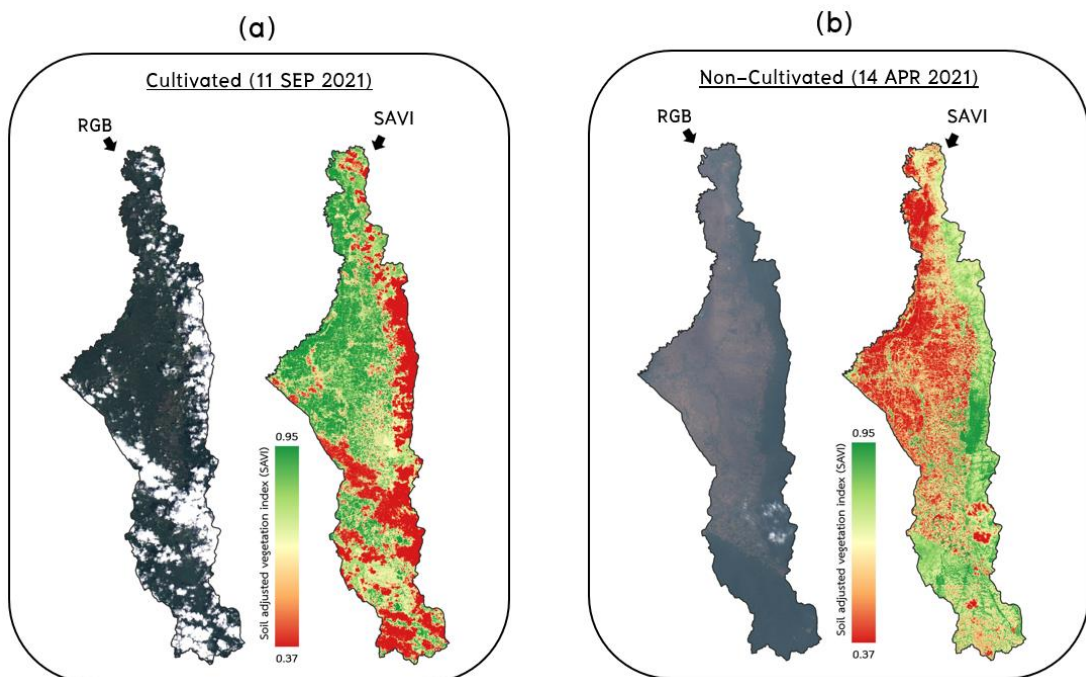
ในส่วนนี้เป็นผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้เทคนิคผลต่างระหว่างภาพซึ่งอาศัยการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีระหว่างคู่ภาพ โดยใช้ผลลัพธ์จากการพิจารณาช่วงการเพาะปลูกด้วยดัชนี SAVI และผลลัพธ์จากการพิจารณาช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดของพื้นที่ปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นผลต่างของดัชนี แบ่งออกเป็นสองวิธีได้แก่การใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว และการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม และจัดกลุ่มข้อมูลใหม่ด้วยเทคนิค Quartile และ Natural Breaks (Jenks) โดยกำหนดให้มีช่วงชั้นของข้อมูลเท่ากับ 3 เช่นเดียวกันทั้งสองเทคนิค จากนั้นนำไปประเมินความถูกต้องด้วยข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม มีรายละเอียดดังนี้

#### 1.1 ผลการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว (Single Image)

การใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว เป็นการเลือกใช้ตัวแทนภาพถ่ายจากดาวเทียมเพียงหนึ่งภาพต่อหนึ่งช่วงเวลาในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลผลลัพธ์จากการพิจารณาช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด และช่วงที่ไม่มีมีการเจริญเติบโต (หัวข้อ 2.3) ซึ่งจากการพิจารณาค่าเฉลี่ยแล้วช่วงเวลาที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดตรงกับวันที่ 9 กันยายน แต่เนื่องจากวันดังกล่าวไม่ตรงกับรอบการวนซ้ำของดาวเทียม Sentinel-2 จึงมีความจำเป็นต้องใช้วันที่ใกล้เคียงที่สุดกับวันดังกล่าวคือวันที่ 11 กันยายน เป็นตัวแทนของภาพดัชนีพืชพรรณช่วงเวลาที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด และช่วงที่ไม่มีมีการเจริญเติบโตโดยพิจารณาจากผลลัพธ์ใน (หัวข้อ 2.3) ตรงกับวันที่ 14 เมษายน ซึ่งตรงกับรอบการวนซ้ำของดาวเทียมเป็นตัวแทนภาพดัชนีพืชพรรณช่วงเวลาที่ไม่มีมีการเจริญเติบโต

ผลลัพธ์พบว่าการใช้ตัวแทนภาพถ่ายจากดาวเทียมเพียงหนึ่งภาพต่อหนึ่งช่วงเวลาพบอุปสรรคที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้คือ “เมฆ” จะพบมากในช่วงต้นฤดูการเพาะปลูกซึ่งเป็นฤดูฝน และจุดภาพดังกล่าวไม่ใช่ค่าที่แท้จริงของพืชพรรณ ภาพ 51 (a) เป็นผลลัพธ์ของภาพถ่ายแบบสีผสมจริง (True Color) และดัชนีพืชพรรณช่วงเวลาที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด (Cultivated)

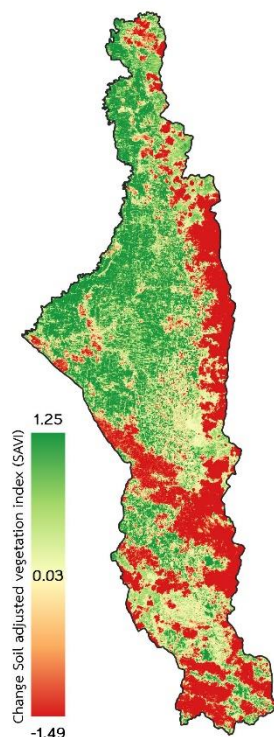
พบว่าพื้นที่เพาะปลูกข้าวส่วนใหญ่มีค่า SAVI เข้าใกล้ 1 เนื่องจากเป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดของข้าวในพื้นที่ศึกษา แต่พบเมฆปกคลุมเหนือพื้นที่ศึกษาอยู่บ้างโดยเฉพาะบริเวณสันเขา และพื้นที่ป่าไม้ ภาพที่ 51 (b) เป็นผลลัพธ์ของภาพถ่ายแบบสีผสมจริง และดัชนีพืชพรรณ ช่วงเวลาที่ไม่มีการเจริญเติบโต (Non-Cultivated) พื้นที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่มีค่า SAVI ต่ำและเข้าใกล้ -1 เนื่องจากมีปริมาณของพืชพรรณน้อย หรือไม่มีเลยแตกต่างกับบริเวณพื้นที่ป่าไม้ที่ยังคงมีค่า SAVI สูงเนื่องจากความเขียวของใบไม้



ภาพ 57 ตัวอย่างภาพถ่ายจากดาวเทียมสำหรับเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์สมการผลต่างของดัชนีพืชพรรณโดยใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพพบว่าค่าอยู่ระหว่าง  $-1.49$  ถึง  $1.25$  และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.03$  โดยที่ค่าของจุดภาพใดเข้าใกล้ค่าสูงสุด แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณสูงไปในทิศทางบวก จุดภาพใดที่มีค่าเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยแสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณต่ำหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง และจุดภาพใดที่มีค่าเข้าใกล้ค่าต่ำสุด แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณสูงไปในทิศทางลบ สังเกตว่าบริเวณพื้นที่ปลูกข้าวมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงไปในทิศทางบวก ซึ่งจะแตกต่างกับบริเวณของเมืองและชุมชนที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (เข้าใกล้ค่าเฉลี่ย) คล้ายคลึงกับบริเวณพื้นที่ป่าไม้ที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักแต่ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย แตกต่างจากบริเวณที่มีเมฆปกคลุม

เหนือพื้นที่ศึกษาเนื่องจากการสะท้อนของจุดภาพที่ได้จากดัชนี SAVI บริเวณที่มีเมฆปกคลุมมีค่าต่ำมากจนถึงติดลบจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของบริเวณดังกล่าวมีค่าสูงไปในทิศทางลบ



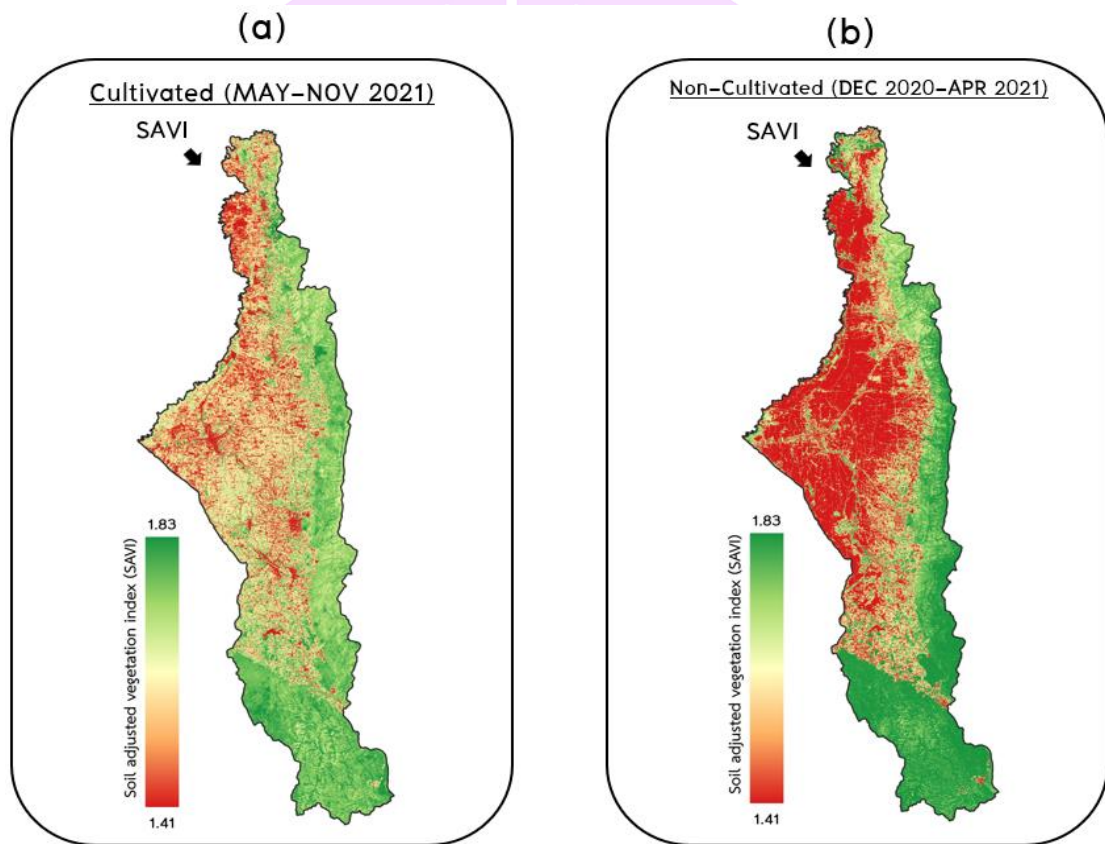
ภาพ 58 ผลลัพธ์ผลต่างของดัชนีพืชพรรณโดยใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว

### 1.2 ผลการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม (Composite)

การใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม เป็นการเลือกใช้ตัวแทนภาพถ่ายจากดาวเทียมโดยใช้เทคนิค MVC ซึ่งเป็นการพิจารณาเฉพาะจุดภาพที่มีค่าสูงสุดจากดัชนี SAVI จากทุกภาพในช่วงเวลาที่กำหนด ที่ได้จากการพิจารณาช่วงการเพาะปลูกจากดัชนี SAVI (หัวข้อ 2.2) ซึ่งช่วงเวลาที่มีการเพาะปลูกของข้าวนาปีในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่างวันที่ 1 พฤษภาคม - 30 พฤศจิกายน จึงถูกกำหนดให้เป็นตัวแทนของภาพดัชนีพืชพรรณช่วงเวลาที่มีการเพาะปลูก ส่วนช่วงที่ไม่มีมีการเพาะปลูกหรือผ่านพ้นฤดูการเพาะปลูกไปแล้ว จะเริ่มในช่วงเดือนธันวาคม - เดือนเมษายนของปีถัดไป ในการศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดให้ระหว่างวันที่ 1 ธันวาคม 2563 - 30 เมษายน 2564 เป็นตัวแทนของภาพดัชนีพืชพรรณช่วงเวลาที่ไม่มีมีการเพาะปลูก

จากผลลัพธ์พบว่า การใช้ตัวแทนภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยเทคนิค MVC ช่วยลดอุปสรรคและคาร์บอนวที่เกิดจากเมฆปกคลุมเหนือพื้นที่ศึกษาได้ทำให้ได้ค่าที่แท้จริงของพืช

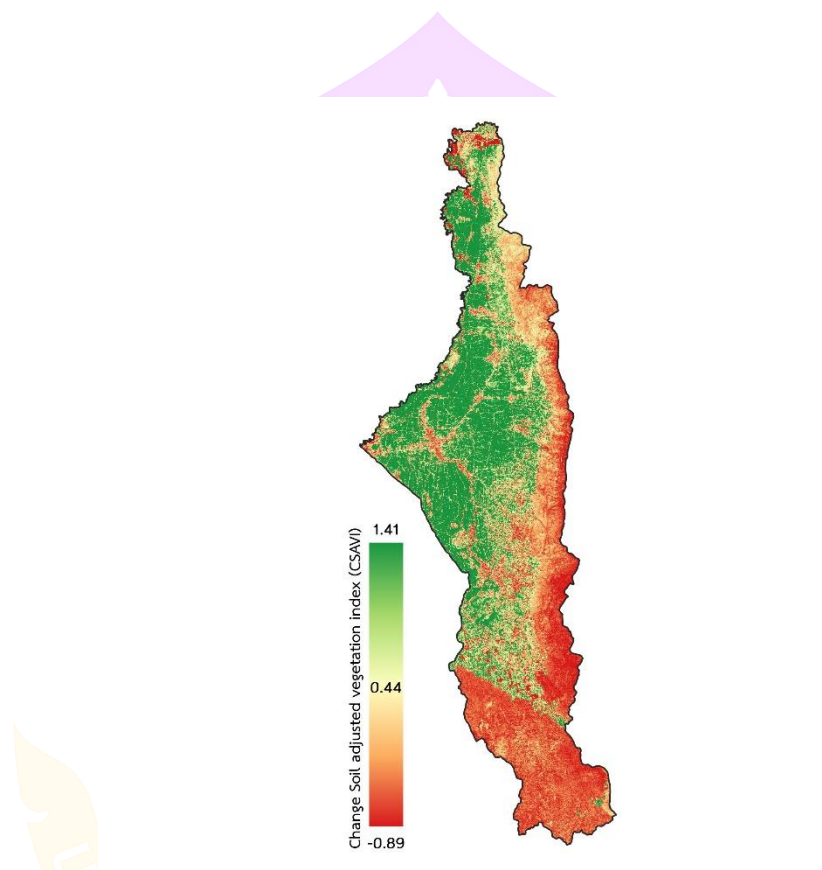
พรรณในช่วงเวลาที่กำหนด หากพิจารณาจากภาพ ภาพ 53 (a) ภาพดัชนีพืชพรรณของช่วงที่มีการเพาะปลูก พบว่าบริเวณพื้นที่ปลูกข้าว รวมถึงเมืองและชุมชนถูกแทรกด้วยสีแดงจำนวนมากซึ่งหมายถึงมีค่าต่ำ แตกต่างจากบริเวณสันเขาและพื้นที่ป่าไม้ที่มีค่าสูง และมีความเป็นสีเขียวเด่นชัด ขณะที่ ภาพ 53 (b) ภาพดัชนีพืชพรรณของช่วงที่ไม่มีการเพาะปลูกบริเวณพื้นที่ปลูกข้าวมีค่าต่ำมากและกระจายเป็นวงกว้างสื่อถึงบริเวณดังกล่าวในขณะนั้นมีพืชพรรณปกคลุมพื้นผิวอยู่น้อยมาก หรือไม่มีเลย แตกต่างจากบริเวณสันเขาและพื้นที่ป่าไม้ที่ยังคงมีค่าสูงเช่นเดิม



ภาพ 59 ตัวแทนภาพถ่ายจากดาวเทียมสำหรับเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์สมการผลต่างของดัชนีพืชพรรณโดยใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสมพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง  $-0.89$  ถึง  $1.41$  และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.44$  โดยที่ค่าของจุดภาพใดเข้าใกล้ค่าสูงสุด แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณสูงไปในทิศทางบวก จุดภาพใดที่มีค่าเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยแสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณต่ำหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง และจุดภาพใดที่มีค่าเข้าใกล้ค่าต่ำสุด แสดงให้เห็นถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณสูงไปในทิศทางลบ จากการตรวจสอบด้วยสายตา

พบว่าพื้นที่เพาะปลูกข้าวส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงสูงไปในทิศทางบวกซึ่งสังเกตเห็นได้ชัดเจนแตกต่างจากเมืองและชุมชนที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงไม่มากหรือแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมักไม่มีการเพาะปลูกพืช และบริเวณพื้นที่ป่าไม้ที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงไปในทิศทางลบเนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีความเขียวตลอดทั้งปี



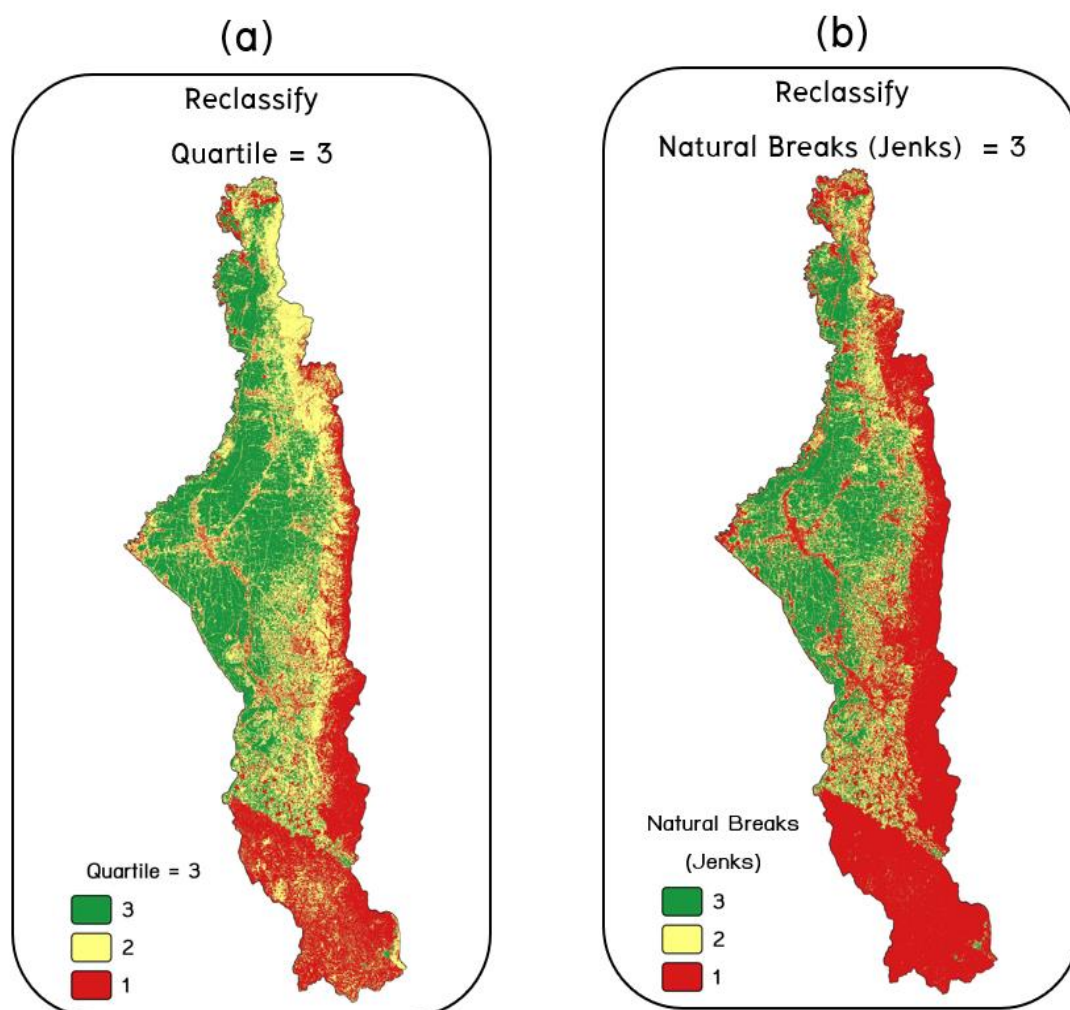
ภาพ 60 ผลลัพธ์ผลต่างของดัชนีพืชพรรณโดยใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม

### 1.3 ผลการประมวลผลเพื่อระบุพื้นที่เพาะปลูกข้าว

จากการวิเคราะห์ผลต่างของดัชนีพืชพรรณโดยใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว และเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสมถูกวิเคราะห์เพื่อหาค่าขีดแบ่งด้วยเทคนิค Reclassify และใช้เทคนิคที่นิยมใช้ทั่วไปได้แก่ Quartile และ Natural Breaks (Jenks) โดยที่กำหนดให้มีช่วงชั้นของข้อมูลเท่ากับ 3 เช่นเดียวกันทั้งสองเทคนิค

### 1.3.1 การจัดกลุ่มข้อมูลของเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว (Single Image)

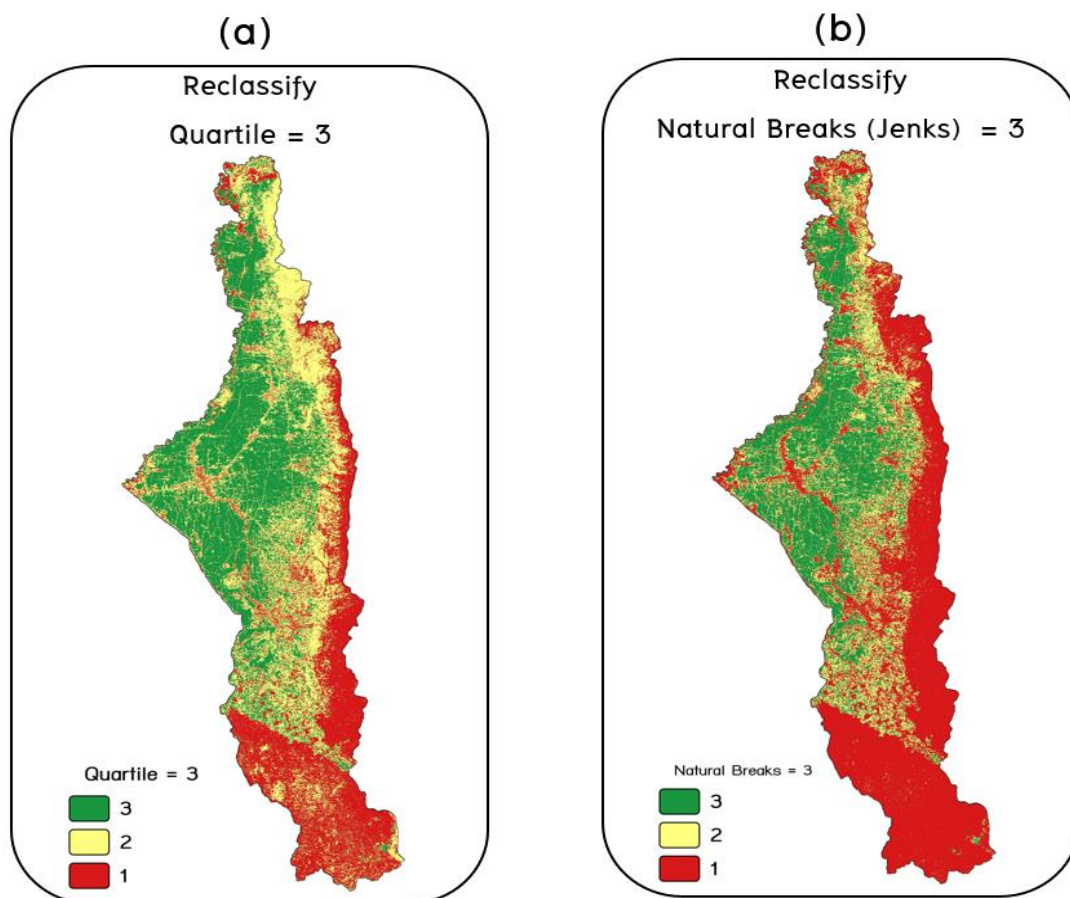
พิจารณาผลลัพธ์การจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Quartile และ Natural Breaks (Jenks) ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยวพบว่าผลลัพธ์มีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก โดยพื้นที่ป่าไม้ส่วนใหญ่ถูกจัดให้อยู่ในช่วงชั้นที่ 1 ซึ่งหมายถึงบริเวณที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางลบ และยังคงมีการปะปนกันกับบริเวณสวนผลไม้และไม้ยืนต้น เมือง และชุมชนบางส่วน ช่วงชั้นที่ 2 หมายถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงในระดับที่ไม่สูงมากหรือไม่เปลี่ยนแปลงเลยพบว่ากระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่ศึกษา ปะปนในบริเวณพื้นที่ปลูกข้าว เมือง และชุมชนรวมถึงเส้นทางคมนาคม และช่วงชั้นที่ 3 หมายถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางบวกส่วนใหญ่พบว่าเป็นพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปี แต่ยังคงพบการปะปนกันของข้อมูลในบริเวณเมืองและชุมชน



ภาพ 61 ผลลัพธ์การจัดกลุ่มข้อมูลของเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว

### 1.3.2 การจัดกลุ่มข้อมูลของเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม (Composite)

พิจารณาผลลัพธ์การจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Quartile และ Natural Breaks (Jenks) ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลต่างภาพแบบภาพผสมพบว่าผลลัพธ์ของจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Quartile ช่วงชั้นที่ 1 และ 2 มีการปะปนกันพอสมควรทั้งบริเวณพื้นที่ป่าไม้ เมืองและชุมชน และพื้นที่เพาะปลูกข้าวบางส่วนทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา (ริมแม่น้ำอิง) นอกจากนี้ช่วงชั้นที่ 2 ยังคงแสดงให้เห็นชัดเจนถึงเส้นทางคมนาคมและบริเวณเมืองและชุมชนซึ่งบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงในระดับที่ไม่สูงมากหรือไม่เปลี่ยนแปลง และช่วงชั้นที่ 3 บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางบวกแสดงให้เห็นถึงพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งแตกต่างกับการจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Natural Breaks (Jenks) บริเวณพื้นที่ป่าไม้ เมืองและชุมชน และเส้นทางคมนาคมมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางลบและพื้นที่ส่วนใหญ่ถูกจัดอยู่ในช่วงชั้นที่ 1 และยังคงมีการปะปนกันกับช่วงชั้นที่ 2 อยู่บ้างแต่แสดงให้เห็นลักษณะเป็นกลุ่มก้อนชัดเจน ช่วงชั้นที่ 2 มีการปะปนกันกับช่วงชั้นที่ 1 กระจายอยู่ทั่วพื้นที่ศึกษารวมถึงพื้นที่เพาะปลูกข้าวและบริเวณเมืองและชุมชนบางส่วน แต่ยังคงแสดงให้เห็นชัดเจนถึงเส้นทางคมนาคม และช่วงชั้นที่ 3 ส่วนใหญ่เป็นบริเวณพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีมีการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางบวกแต่ทั้งนี้ยังพบว่ามี การปะปนกันของข้อมูลช่วงชั้นที่ 1 บางส่วนทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาเช่นเดียวกับการจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Quartile



ภาพ 62 ผลลัพธ์การจัดกลุ่มข้อมูลของเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม

การตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวโดยใช้เทคนิคผลต่างระหว่างภาพทั้งเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว และเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม ซึ่งทั้งสองเทคนิคใช้วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Quartile และ Natural Breaks (Jenks) โดยกำหนดให้มีช่วงชั้นของข้อมูลเท่ากับ 3 เช่นเดียวกัน พบว่าการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยวจะต้องพิจารณาจากช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด และช่วงที่ไม่มีการเจริญเติบโตเพื่อสืบค้นตัวแทนภาพถ่ายจากดาวเทียมของทั้งสองช่วงเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ผลต่างระหว่างภาพ และมักพบอุปสรรคด้านสภาพอากาศโดยเฉพาะเมฆที่ปกคลุมเหนือพื้นที่ศึกษาในช่วงเริ่มต้นฤดูฝน (ฤดูกลางเพาะปลูกข้าวนาปี) ซึ่งค่าจากจุดภาพดังกล่าวไม่ใช่ค่าที่แท้จริงของพืชพรรณ และมีผลทำให้การตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวเกิดข้อผิดพลาดมากยิ่งขึ้น ในขณะที่เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสมจะพิจารณาจากช่วงการเพาะปลูกข้าวตลอดทั้งปี โดยที่กำหนดให้สืบค้นช่วงการเพาะปลูกข้าวให้เป็นตัวแทนของภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วงเวลาที่มีการเพาะปลูก และช่วงที่ไม่มีการเพาะปลูกหรือผ่านพ้นฤดูกาลเพาะปลูกไปแล้วเป็นตัวแทนของภาพถ่ายจากดาวเทียม

ช่วงเวลาที่ไม่มีภาวะปะปลุกมาสร้างดัชนี SAVI และเลือกพิจารณาเฉพาะจุดภาพที่มีค่าสูงที่สุดด้วยเทคนิค MVC (เพื่อให้มั่นใจว่าจุดภาพดังกล่าวเป็นที่พรรณที่ปกคลุมดิน) ผลลัพธ์พบว่าภาพดัชนี SAVI ที่ได้รับ ช่วยลดอุปสรรคและคาร์บอนที่เกิดจากเมฆปกคลุมเหนือพื้นที่ศึกษาได้ดี

เมื่อนำผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยวพบว่าผลลัพธ์มีความคล้ายคลึงกันมากระหว่างเทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Quartile และ Natural Breaks (Jenks) และพื้นที่ส่วนใหญ่ถูกจัดอยู่ในช่วงชั้นที่ 3 หรือหมายถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางบวกแต่ยังคงพบการปะปนกันของข้อมูลในบริเวณเมืองและชุมชน ในด้านของการจัดกลุ่มข้อมูลของเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสมการจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Quartile มีการปะปนกันบริเวณพื้นที่ป่าไม้ เมืองและชุมชน รวมถึงพื้นที่เพาะปลูกข้าวด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา หรือบริเวณริมแม่น้ำอิง แต่พื้นที่เพาะปลูกข้าวส่วนใหญ่ยังคงแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางบวก และการจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Natural Breaks (Jenks) พื้นที่ป่าไม้เมืองและชุมชน รวมถึงเส้นทางคมนาคมมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางลบ มีการปะปนกันของข้อมูลอยู่บ้างในช่วงชั้นที่ 1-2 และพื้นที่เพาะปลูกข้าวส่วนใหญ่ยังคงแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางบวกเช่นเดียวกันการจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Quartile

## 2. การประเมินความถูกต้อง

การประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกข้าวจากเทคนิคผลต่างภาพถูกพิจารณาด้วยตารางความคลาดเคลื่อน (Error Matrix) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องกันของข้อมูลจากการจำแนกกับข้อมูลความเป็นจริงภาคสนาม (Reference) จำนวน 256 จุด (ตามทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบทวินาม และการกระจายตัวแบบแบ่งชั้น) โดยประเมินข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยวและเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสมที่ผ่านการจัดกลุ่มข้อมูลใหม่ด้วย Quartile และ Natural Breaks (Jenks) ดังที่แสดงข้างต้น ซึ่งสามารถใช้อธิบายความแม่นยำได้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.1 การประเมินความถูกต้องจากการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว

จากการจัดกลุ่มข้อมูลใหม่ด้วยเทคนิค Quartile และ Natural Breaks (Jenks) ร่วมกับประเมินความถูกต้องด้วยข้อมูลการสำรวจภาคสนามโดยพิจารณาเฉพาะพื้นที่ที่เป็นข้าว และไม่ใช้ข้าวพบว่าจัดกลุ่มข้อมูลด้วยเทคนิค Quartile มีค่าความถูกต้องโดยรวมและสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 78.13 และ 53.38 ตามลำดับ ด้านเทคนิค Natural Breaks (Jenks) มีค่าความถูกต้องโดยรวมและสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 76.56 และ 51.98 ตามลำดับ

ตาราง 33 การประเมินความถูกต้องจากการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว

| Quartile     |                   |               |           |
|--------------|-------------------|---------------|-----------|
| binary       | ไม่ใช่ข้าว        | ข้าว          | row total |
| ไม่ใช่ข้าว   | 132               | 24            | 156       |
| ข้าว         | 32                | 68            | 100       |
| column total | 164               | 92            | 256       |
| Overall      | 78.13             |               |           |
| Khat         | 53.38             |               |           |
|              | producer accuracy | user accuracy |           |
| ไม่ใช่ข้าว   | 0.80              | 0.85          |           |
| ข้าว         | 0.74              | 0.68          |           |

ตาราง 34 การประเมินความถูกต้องจากการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว

| Natural Breaks (Jenks) |                   |               |           |
|------------------------|-------------------|---------------|-----------|
| binary                 | ไม่ใช่ข้าว        | ข้าว          | row total |
| ไม่ใช่ข้าว             | 119               | 37            | 156       |
| ข้าว                   | 23                | 77            | 100       |
| column total           | 142               | 114           | 256       |
| Overall                | 76.56             |               |           |
| Khat                   | 51.98             |               |           |
|                        | producer accuracy | user accuracy |           |
| ไม่ใช่ข้าว             | 0.84              | 0.76          |           |
| ข้าว                   | 0.68              | 0.77          |           |

## 2.2 การประเมินความถูกต้องจากการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม

ผลลัพธ์จากการจัดกลุ่มข้อมูลใหม่ด้วยเทคนิค Quartile และ Natural Breaks (Jenks) และประเมินความถูกต้องด้วยข้อมูลการสำรวจภาคสนาม เฉพาะพื้นที่ที่เป็นข้าว และไม่ใช่อข้าว พบว่าจัดกลุ่มข้อมูลด้วยเทคนิค Quartile มีค่าความถูกต้องโดยรวมและสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 81.64 และ 61.09 ตามลำดับ ในด้านเทคนิค Natural Breaks (Jenks) มีค่าความถูกต้องโดยรวมและสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 83.20 และ 63.47 ตามลำดับ

ตาราง 35 การประเมินความถูกต้องจากการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม

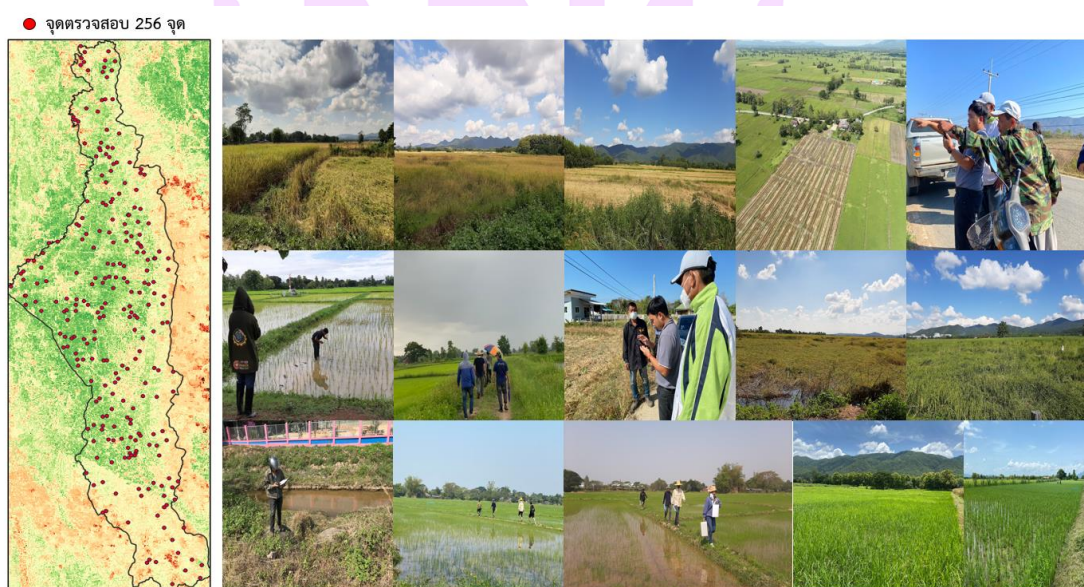
| Quartile     |                   |               |           |
|--------------|-------------------|---------------|-----------|
| binary       | ไม่ใช่ข้าว        | ข้าว          | row total |
| ไม่ใช่ข้าว   | 135               | 21            | 156       |
| ข้าว         | 26                | 74            | 100       |
| column total | 161               | 95            | 256       |
| Overall      | 81.64             |               |           |
| Khat         | 61.09             |               |           |
|              | producer accuracy | user accuracy |           |
| ไม่ใช่ข้าว   | 0.84              | 0.87          |           |
| ข้าว         | 0.78              | 0.74          |           |

ตาราง 36 การประเมินความถูกต้องจากการใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม

| Natural Breaks (Jenks) |            |      |           |
|------------------------|------------|------|-----------|
| binary                 | ไม่ใช่ข้าว | ข้าว | row total |
| ไม่ใช่ข้าว             | 144        | 12   | 156       |
| ข้าว                   | 31         | 69   | 100       |
| column total           | 175        | 81   | 256       |
| Overall                | 83.20      |      |           |
| Khat                   | 63.47      |      |           |

| Natural Breaks (Jenks) |                   |      |               |
|------------------------|-------------------|------|---------------|
| binary                 | ไม่ใช่ข้าว        | ข้าว | row total     |
|                        | producer accuracy |      | user accuracy |
| ไม่ใช่ข้าว             | 0.82              |      | 0.92          |
| ข้าว                   | 0.85              |      | 0.69          |

การประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลด้วยตารางความคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลที่ได้รับจากการจำแนก (พื้นที่เพาะปลูกข้าวจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคผลต่างภาพ) กับข้อมูลความเป็นจริงภาคสนามจำนวน 256 จุด พบว่าข้อมูลที่ได้จากเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสมด้วยการจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Quartile และ Natural Breaks (Jenks) นั้น มีค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา มากกว่าข้อมูลที่ได้จากเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว ทั้งนี้หากพิจารณาจากตารางข้างต้นจะพบว่ามีความถูกต้องแตกต่างกันไม่มากนัก สาเหตุที่ทำให้ข้อมูลที่ได้จากเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยวมีค่าความถูกต้องโดยรวมและค่าสัมประสิทธิ์แคปปาน้อยกว่า มีความเป็นไปได้ว่าเกิดจากอุปสรรคด้านสภาพอากาศหรือเมฆปกคลุมเหนือพื้นที่ศึกษาที่ทำให้จุดภาพนั้น ๆ ไม่ใช่ค่าแท้จริงของพืชพรรณที่ปกคลุมดิน



ภาพ 63 จุดตรวจสอบและการสำรวจการใช้ประโยชน์ที่ดิน

### 3. การให้บริการข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

ข้อมูลผลลัพธ์ดังกล่าวจะถูกนำเสนอผ่านเว็บแอปพลิเคชันซึ่งสามารถเข้าถึงได้จากหลากหลายอุปกรณ์เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษา และเป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้ต่อยอดโดยประกอบไปด้วยแผนภูมิระยะพัฒนาการของข้าวรายเดือน ที่แสดงผลของค่าเฉลี่ยจุดภาพภายในรูปแปลงของเดือนนั้นๆ (ข้อมูลที่ผ่านมากระบวนการ HANTS) ซึ่งสามารถอธิบายได้ถึงช่วงเวลาที่แปลงทดสอบมีพืชพรรณสีเขียวปกคลุมมาก-น้อย และยังสามารถถึงกราฟชีพลักษณะพืชพรรณแบบรายเดือน โดยข้อมูลจะสอดคล้องกับแผนภูมิแท่งทิศทางความสูงต้นข้าวรายเดือน ทั้งนี้ยังสามารถพิจารณาควบคู่กับปฏิทินการเพาะปลูกข้าวนาปี (Calendar Heatmap) ซึ่งเป็นภาพรวมในระดับพื้นที่ นอกจากนี้ยังแสดงผลลัพธ์ (รูปแบบ WMS) จากการใช้เทคนิคผลต่างภาพ และผลลัพธ์การสร้างดัชนีพืชพรรณในชั้นข้อมูลแผนที่อีกด้วย สามารถเข้าถึงได้จากลิงค์ต่อไปนี้ <http://phenology-timeseries.th.app.ruk-com.cloud/>



ภาพ 64 เว็บแอปพลิเคชัน กระดานสรุปข้อมูลและแผนที่

## บทที่ 5

### บทสรุป

การศึกษาการวิเคราะห์ซีพีลักษณะพืชพรรณเพื่อศึกษาระยะพัฒนาการของข้าวนาปี และตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา กรณีศึกษาอำเภอ ดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาระยะพัฒนาการของข้าวนาปีโดยอาศัย ลักษณะซีพีลักษณะพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา และตรวจหาพื้นที่ เพาะปลูกนาปีข้าวภายในอำเภอดอกคำใต้ ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการรับรู้ระยะไกล ร่วมกับศาสตร์เชิงพื้นที่ และเสนอให้เป็นอีกมุมมองหนึ่งเพื่อแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อน และ ทำหาย ในด้านการเกษตรอันจะนำไปสู่ระบบข้อมูลขนาดใหญ่ และแพลตฟอร์มสำหรับติดตาม สถานการณ์ข้าว ทั้งนี้เพื่อเพิ่มศักยภาพการปฏิบัติงาน สนับสนุนการตัดสินใจระดับนโยบาย และก่อให้เกิดแนวทางการแก้ปัญหาอย่างยั่งยืน

### สรุปผลการวิจัย

การศึกษาคั้งนี้สืบค้นข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนทิเนล-2 คอลเลคชัน “COPERNICUS/S2\_SR” ซึ่งเป็นภาพถ่ายแบบหลายช่วงคลื่นและเป็นข้อมูลระดับ 2 ที่ผ่านการ ปรับแก้ค่าการสะท้อนจากพื้นผิวและบรรยากาศโดย ESA แล้ว พร้อมกับแถบประเมินคุณภาพ QA60 (Cloud mask) โดยสืบค้นและเรียกใช้ตลอดทั้งปี 2563 (มกราคม-ธันวาคม) บริเวณ พื้นที่ศึกษาแปลงทดสอบจำนวน 6 แปลง ในตำบลสันโค้ง อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา ด้วย ภาษาจาวาสคริปต์ผ่านแพลตฟอร์มกูเกิ้ล เอิร์ธ เอนจิน แล้วจึงปรับเน้นข้อมูลด้วยดัชนีพืช พรรณจำนวน 3 ดัชนีได้แก่ NDVI, SAVI และ LSWI จากนั้นประมวลผลค่าเฉลี่ยของจุดภาพ ภายในแปลงทดสอบทั้ง 6 แปลงเพื่อใช้เป็นตัวแทนของการเจริญเติบโต ณ เวลานั้น ๆ มาจัด แสดงในรูปของแผนภูมิเส้นเพื่อใช้วิเคราะห์คุณลักษณะความเป็นซีพีลักษณะพืชพรรณ ผลลัพธ์ พบว่ามีการขาดหายของข้อมูลเป็นช่วง ๆ โดยเฉพาะช่วงต้นฤดูการเพาะปลูกหรือช่วงเดือน มิถุนายน-สิงหาคมเนื่องจากการใช้ QA60 คัดกรองภาพถ่ายที่มีเมฆปกคลุมเหนือพื้นที่ศึกษา ออกเนื่องจากค่าของจุดภาพดังกล่าวเป็นค่ารบกวนของชั้นบรรยากาศและไม่ใช้ค่าที่แท้จริงของ พืชพรรณจึงไม่มีความจำเป็นสำหรับการประมวลผลครั้งนี้และส่งผลให้ข้อมูลขาดหายใน ช่วงเวลาดังกล่าว ด้วยเหตุนี้จึงประยุกต์ใช้กระบวนการ HANTS ซึ่งมีพื้นฐานมาจากอนุกรมฟู เรียร์และการแปลงฟูเรียร์มาวิเคราะห์ เพื่อเติมเต็มความสมบูรณ์ให้กับแผนภูมิด้วย

แผนภูมิเส้นที่ใช้แสดงคุณลักษณะความเป็นซีพลักซ์พีชพรรณของทั้ง 3 ดัชนีจะบ่งบอกถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพีชพรรณที่ปกคลุมเหนือพื้นที่ศึกษา และจะพิจารณาได้ง่ายยิ่งขึ้นหากคำนวณแบบค่าเฉลี่ยรายเดือนตลอดทั้งปี ซึ่งผลลัพธ์พบว่าค่าของดัชนี LSWI มีความผันผวนมากในช่วงต้นปีและลดลงแบบเป็นลำดับโดยเฉพาะระหว่างเดือนมกราคม-มีนาคม จากการสำรวจภาคสนามเป็นประจำพบว่าช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่เกษตรกรในพื้นที่มักจะปล่อยพื้นที่นาทิ้งร้างและไม่มีการจัดการเกษตรอื่น อีกทั้งในแปลงเพาะปลูกยังหลงเหลือตอซังของต้นข้าวที่ถูกเก็บเกี่ยวในฤดูกาลก่อนหน้า รวมถึงมีวัชพืชขึ้นปกคลุมพื้นผิวบ้างเล็กน้อย และเนื่องจาก LSWI เป็นการตรวจวัดจากโมเลกุลของน้ำในทรงพุ่มและมีความไวต่อปริมาณน้ำในพีชพรรณ จึงเป็นสาเหตุให้ช่วงเวลาดังกล่าวค่าของ LSWI มีค่าต่ำมากไปจนถึงติดลบ แต่จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นลำดับเมื่อมีปริมาณของพีชพรรณปกคลุมพื้นผิวมากยิ่งขึ้น และมีความสอดคล้องกับอีกสองดัชนีคือ NDVI และ SAVI ที่จะเพิ่มสูงขึ้นหลังจากเริ่มต้นฤดูกาลเพาะปลูกเนื่องจากความเป็นพีชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิวมากขึ้น (การพัฒนาของเรือนยอด ทรงพุ่ม และความสูงของต้นข้าว) และมีค่าสูงที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคม-กันยายนซึ่งเป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดของต้นข้าวในพื้นที่ศึกษา จากนั้นค่าความเป็นพีชพรรณจะเริ่มลดต่ำลงเป็นลำดับเนื่องจากใบข้าวและรวงข้าวที่เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองทองจนถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิต แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถดำเนินการตรวจสอบข้อมูลความเป็นจริงภาคสนามและทราบกำหนดการเพาะปลูกหรือเก็บเกี่ยวที่แท้จริงของเกษตรกรในทุกพื้นที่ จึงมีการพัฒนาและประยุกต์ใช้ศักยภาพของข้อมูลดาวเทียมเพื่ออธิบายถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณพีชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิวและระบุวันเริ่มต้นการเพาะปลูกหรือวันสิ้นสุดการเพาะปลูกด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์

การประยุกต์ใช้สมการ Modify Dynamic Threshold Method ที่เป็นการคำนวณขนาดของ Amplitude ระหว่างค่าต่ำสุดทางด้านซ้าย ด้านขวา กับค่าสูงสุดที่พิจารณาได้จากแผนภูมิคุณลักษณะความเป็นซีพลักซ์พีชพรรณ ในการศึกษาคั้งนี้ทดลองใช้เกณฑ์ที่เหมาะสมตั้งแต่วัดละ 0 - 35 จากค่าสูงสุดโดยเพิ่มเป็นขั้น ๆ ขั้นละ 5 แล้วจึงนำค่าที่ได้จากคำนวณสมการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแผนภูมิเพื่อกำหนดตำแหน่งของวันเริ่มต้นการเพาะปลูกซึ่งจะพิจารณาจากค่าของวันแรกที่สอดคล้องกันทางด้านซ้ายของค่าสูงสุดบนแผนภูมิ ในทาง

กลับกันให้พิจารณาค่าที่ได้จากสมการเปรียบเทียบกับค่าจากแผนภูมิโดยพิจารณาจากค่าของวันแรกที่สอดคล้องกันทางด้านขวาของค่าสูงสุดบนแผนภูมิ ดังนั้นผลลัพธ์จะหมายถึงวันที่เริ่มต้นการเพาะปลูก และวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิต (ที่ได้รับจากสมการ) จากนั้นนำไปเปรียบเทียบผลต่างของวันที่เริ่มต้นการเพาะปลูก และวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิตจริง (ที่ได้รับจากการสำรวจภาคสนามและสอบถามเกษตรกรเจ้าของแปลง) ประเมินด้วย RMSE ด้วยวิธีการประเมินแบบรวมทั้ง 6 แปลง, แบบแยกวิธีการเพาะปลูกด้วยวิธีปักดำ และแบบแยกวิธีการเพาะปลูกด้วยวิธีหว่านแห้ง ผลลัพธ์พบว่าดัชนี SAVI ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุดหมายถึงมีความสอดคล้องกับข้อมูลของวันที่เริ่มต้นการเพาะปลูก และวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิตจริงมากที่สุด ทำให้สามารถสรุปได้ว่าฤดูกาลเพาะปลูกข้าวนาปีของเกษตรกรในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่างเดือนพฤษภาคม-พฤศจิกายน และพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดคือวันที่ 9 กันยายน และช่วงที่ไม่มีการเจริญเติบโตคือวันที่ 14 เมษายน ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวจะนำไปสู่การกำหนดช่วงเวลาสำหรับสืบค้นเรียกใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อประมวลผลด้วยเทคนิคผลต่างภาพต่อไป

เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลฤดูกาลเพาะปลูกข้าวนาปี ช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุดและช่วงที่ไม่มีการเจริญเติบโต การศึกษาครั้งนี้ได้นำข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามได้แก่ข้อมูลความสูงของต้นข้าวมาพิจารณาร่วมกับค่าดัชนี SAVI ประเมินด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อใช้อธิบายถึงทิศทางและระดับความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองชุด ผลลัพธ์พบว่าเมื่อพิจารณาตลอดฤดูกาลเพาะปลูก (ตั้งแต่เมล็ดพันธุ์ลงดินจนถึงเก็บเกี่ยว) ข้อมูลทั้งสองชุดมีความสอดคล้องกันในระยะแรกของการเพาะปลูก เนื่องจากพัฒนาการของต้นข้าวที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกันกับค่าดัชนี SAVI แต่ภายหลังระยะการเจริญเติบโตสูงที่สุดของต้นข้าว ค่าความสอดคล้องเกิดการวกกลับของข้อมูลอันเนื่องมาจากค่าความเขียวของต้นข้าวที่ลดลงส่งผลให้ค่าดัชนี SAVI ลดลงเป็นลำดับ แตกต่างจากระดับความสูงของต้นข้าวที่ยังคงสูงขึ้นเล็กน้อยก่อนจะลดลงด้วยน้ำหนักของรวงข้าวแล้วส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีระดับความสอดคล้องของข้อมูลต่ำ ทั้งนี้หากพิจารณาจากวันที่เมล็ดพันธุ์ลงดินจนถึงวันที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด (พิจารณาจากแผนภูมิคุณลักษณะชีพลักษณะพืชพรรณ) พบว่าการเจริญเติบโตของต้นข้าวมีความสอดคล้องกันมากกับค่าดัชนี SAVI จนเกือบเป็นเส้นตรง

การใช้เทคนิคผลต่างระหว่างภาพเพื่อตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าว เป็นการวิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณ SAVI ของสองคู่ภาพ เงื่อนไขในการคัดเลือกภาพถ่ายจาก ดาวเทียมที่ใช้วิเคราะห์ จะพิจารณาจากฤดูกาลเพาะปลูกข้าวนาปีของเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา, ช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด และสุดท้ายช่วงที่ไม่มีการเจริญเติบโต ในกระบวนการวิเคราะห์ ส่วนนี้จำแนกออกเป็นสองวิธีได้แก่ 1) วิธีผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยว ซึ่งเป็นการสืบค้นและ เรียกใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด (9 กันยายน) แต่เนื่องจากวัน ดังกล่าวไม่ตรงกับรอบการวนซ้ำของดาวเทียมจึงเรียกใช้วันที่ใกล้เคียงที่สุดคือวันที่ 11 กันยายนเป็นตัวแทนภาพถ่ายของช่วงเวลาดังกล่าว ส่วนช่วงที่ไม่มีการเจริญเติบโต (14 เมษายน) ซึ่งตรงกับรอบการวนซ้ำของดาวเทียมจึงสามารถใช้เป็นตัวแทนภาพถ่ายช่วงเวลา ดังกล่าวได้ทันที และวิธีที่ 2) วิธีผลต่างภาพแบบภาพผสม เป็นการสืบค้นและเรียกใช้ภาพถ่าย จากดาวเทียมช่วงฤดูกาลเพาะปลูกข้าวนาปีในพื้นที่ศึกษา (พฤษภาคม-พฤศจิกายน) เป็น ตัวแทนภาพถ่ายจากดาวเทียมของช่วงดังกล่าว และช่วงที่ไม่มีการเพาะปลูก (ธันวาคมของปี ก่อนหน้า-เมษายนของปีปัจจุบัน) เป็นตัวแทนภาพถ่ายของช่วงเวลาดังกล่าว

ผลลัพธ์ของวิเคราะห์ผลต่างระหว่างภาพด้วยเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยวพบเจอ อุปสรรคด้านสภาพอากาศที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้คือ “เมฆ” ที่ปกคลุมเหนือพื้นที่ศึกษา ในช่วงเริ่มต้นฤดูฝน (ฤดูกาลเพาะปลูกข้าวนาปี) กระจายตัวทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษา และส่งผล เกิดข้อผิดพลาดของผลลัพธ์มากยิ่งขึ้นเนื่องจากจุดภาพบริเวณดังกล่าวไม่ใช่ค่าที่แท้จริงของพืช พรรณ ในขณะที่เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสมจะเป็นการพิจารณาจากค่าดัชนี SAVI ที่มีค่า สูงที่สุดด้วยเทคนิค MVC (เนื่องจากจุดภาพที่เป็นเมฆจะมีค่า SAVI ต่ำมากจนถึงติดลบ) เพื่อให้ มั่นใจว่าจุดภาพดังกล่าวเป็นพืชพรรณที่ปกคลุมดิน และผลลัพธ์พบว่าวิธีการดังกล่าวช่วยลด ค่ารบกวนที่เกิดจากอุปสรรคด้านสภาพอากาศได้ดี

จากนั้นนำผลลัพธ์ของเทคนิคผลต่างระหว่างภาพจัดกลุ่มข้อมูลใหม่ด้วยเทคนิค Quartile และ Natural Breaks (Jenks) โดยการกำหนดช่วงชั้นของข้อมูลให้เท่ากับ 3 เช่นเดียวกัน ผลลัพธ์พบว่าวิธีผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยวและการจัดกลุ่มข้อมูลใหม่ทั้งสอง เทคนิคให้ผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกันมากโดยที่พื้นที่เพาะปลูกข้าวส่วนใหญ่ถูกจัดอยู่ในช่วงชั้นที่ 3 หรือช่วงชั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางบวก เช่นเดียวกับวิธีผลต่างภาพแบบภาพผสมด้วย

เทคนิค Quartile พื้นที่เพาะปลูกข้าวส่วนใหญ่แล้วยังคงแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางบวก แต่ยังคงมีการปะปนกันของข้อมูลบริเวณพื้นที่ป่าไม้ เมืองและชุมชน รวมถึงพื้นที่เพาะปลูกข้าวด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษา หรือบริเวณริมแม่น้ำอิง และสุดท้ายเทคนิค Natural Breaks (Jenks) พบการปะปนกันของข้อมูลในช่วงชั้นที่ 1 และ 2 พื้นที่ป่าไม้ เมืองและชุมชน รวมถึงเส้นทางคมนาคมมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางลบ แต่พื้นที่เพาะปลูกข้าวส่วนใหญ่แล้วยังคงมีการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางบวกเช่นเดียวกัน จากการประเมินด้วยสายตาพบว่าผลลัพธ์ทั้งสองวิธีสามารถระบุพื้นที่เพาะปลูกข้าวได้โดยพิจารณาจากค่าการเปลี่ยนแปลงของผลต่างระหว่างภาพและการจัดกลุ่มให้กับข้อมูลใหม่ และผลลัพธ์นี้จะถูกประเมินอีกครั้งด้วยข้อมูลความเป็นจริงภาคสนาม

การประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ผ่านมาการจำแนกด้วยกระบวนการข้างต้นจะถูกวิเคราะห์ด้วยตารางความคลาดเคลื่อนโดยใช้ข้อมูลความเป็นจริงภาคสนามจำนวน 256 จุด (ตามทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบทวินาม และการกระจายตัวแบบแบ่งชั้น) ผลลัพธ์พบว่าวิธีการจำแนกด้วยผลต่างภาพแบบภาพผสมด้วยการจัดกลุ่มข้อมูลแบบ Quartile ให้ค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา มากกว่าข้อมูลที่ได้จากการจำแนกด้วยวิธีผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยวเพียง 5.08 และ 9.11 ตามลำดับ ขณะที่ Natural Breaks (Jenks) ให้ค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสัมประสิทธิ์แคปปา มากกว่าข้อมูลที่ได้จากการจำแนกด้วยวิธีผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยวเพียง 5.07 และ 10.09 ตามลำดับ ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลที่ได้จากเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเดี่ยวมีค่าความถูกต้องโดยรวมและค่าสัมประสิทธิ์แคปปาน้อยกว่าเกิดจากอุปสรรคด้านสภาพอากาศและเมฆที่ปกคลุมเหนือพื้นที่ศึกษาจึงส่งผลให้ค่าการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดข้อผิดพลาด อย่างไรก็ตามกระบวนการจำแนกข้อมูลด้วยวิธีการจำแนกด้วยผลต่างภาพแบบภาพผสมสามารถลดการบวกรวมจากอุปสรรคด้านสภาพอากาศและเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับข้อมูลได้ดีเนื่องจากจุดภาพดังกล่าวเป็นค่าที่แท้จริงของพืชพรรณ และไม่ทำให้ข้อมูลขาดหาย ประกอบกับปัจจุบันสามารถใช้เทคโนโลยีช่วยลดการทำงานซ้ำซ้อนได้มากกว่าในอดีตด้วยแพลตฟอร์มกูเกิ้ล เอิร์ธ เอนจิน

นอกจากนี้ข้อมูลจากการประมวลผลที่อาจเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ ได้ถูกนำเสนอในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งสามารถเข้าถึงได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายเพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ

ศึกษาต่อยอด ผู้มีหน้าที่ปฏิบัติงานด้านการติดตามพื้นที่ปลูกข้าวและพื้นที่การเกษตร รวมถึงผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องทำให้สามารถเตรียมความพร้อม และพัฒนาข้อมูลเข้าสู่ระบบข้อมูลขนาดใหญ่ และอาจก่อให้เกิดการพัฒนาต่อยอด แนวทางใหม่ที่จะตอบโจทย์ความซับซ้อน และท้าทายของงานด้านการเกษตรในอนาคตได้อีกมาก

### อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาระยะพัฒนาการของข้าวนาปี และสร้างปฏิทินการเพาะปลูกข้าว ตลอดจนตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา โดยพื้นที่ศึกษาที่มีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากเป็นอำเภอที่มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวมากที่สุดในจังหวัดพะเยา (ข้าวมอมมะลิพะเยาได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์) และยังมีแม่น้ำอิงไหลผ่าน ซึ่งเป็นหนึ่งในแม่น้ำสายสำคัญของลุ่มน้ำโขงเหนือ และเป็นเพียงแม่น้ำไม่กี่สายที่ไหลย้อนขึ้นทางทิศเหนือก่อนจะออกสู่แม่น้ำโขงที่บ้านปากอิง อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย นอกจากนี้พื้นที่เพาะปลูกข้าวในอำเภอดอกคำใต้ส่วนใหญ่อยู่นอกเขตการให้บริการชลประทานและคลองส่งน้ำ หมายความว่าเกษตรกรผู้ปลูกข้าวต้องอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก และส่งผลให้สามารถปลูกข้าวได้เพียงหนึ่งฤดูภายในรอบปี (ข้าวนาปี หรือ ข้าวนาน้ำฝน) ซึ่งสอดคล้องกับ Soontranon, Srestasathien and Rakwatin (2015) ที่กล่าวว่าพื้นที่นอกเขตการให้บริการชลประทานมักจะมีการเพาะปลูกข้าวเพียงครั้งเดียวรวมถึงบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

#### 1. ผลการผลิตปฏิทินการเพาะปลูกข้าวนาปีโดยอาศัยลักษณะชีพลักษณะพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา

ภายหลังจากการปรับเน้นข้อมูลด้วยดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ดัชนี (NDVI, SAVI และ LSWI) เพื่อผลิตเป็นกราฟชีพลักษณะพืชพรรณพบว่าการขาดหายของข้อมูลซึ่งเกิดจากค่ารวบรวมนจากสภาพอากาศ เมฆ และฝน ที่บดบังพื้นเหนือที่ศึกษา และก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนบนกราฟชีพลักษณะพืชพรรณเช่นเดียวกับการศึกษาของ (Guo, et al., 2021; Soontranon, et al., n.d.) ดังนั้นข้อมูลที่ขาดหายไปทำให้เกิดช่องว่างระหว่างรอบการวนซ้ำของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม จึงต้องประมวลผลด้วยกระบวนการวิเคราะห์แบบฮาร์มอนิก หรือ HANTS เพื่อปรับเรียบ และเติมเต็มความสมบูรณ์ให้กับกราฟชีพลักษณะพืชพรรณให้ได้มากที่สุด HANTS มีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์อนุกรมฟูเรียร์ และการแปลงฟูเรียร์อย่างง่ายทำหน้าที่กำจัดข้อมูลในตำแหน่งที่มีค่าสูงหรือต่ำจนผิดปกติออกจากชุดข้อมูลเดิมแล้วสร้างชุดข้อมูลใหม่โดย

การทำซ้ำจนกว่าจะได้พารามิเตอร์ที่มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดและเข้ากับข้อมูลได้ดีที่สุดคล้ายคลึงกับการศึกษาของ ชัยณรงค์ โอภาไพบูลย์ (2564) ที่ประยุกต์ใช้เพื่อปรับแก้ข้อผิดพลาดและลดความแปรปรวนจากภาพดัชนี NDVI โดยใช้โฟตอน แตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้ที่อาศัยภาษาจาวาสคริปต์ประมวลผลกระบวนการดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นบนแพลตฟอร์ม GEE และมีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่บนคลาวด์ ลดขั้นตอนการทำงานซ้ำซ้อน และเพิ่มศักยภาพของผู้ใช้งานโดยเฉพาะการประยุกต์ใช้ต่อยอดวิจัยด้านเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลสอดคล้องกับ Gorelick และคณะ (2017) กล่าวว่าแพลตฟอร์มนี้มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวเนื่องจากการบูรณาการและถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มความสามารถของนักวิทยาศาสตร์ด้านเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลแบบเดิม

จากการพิจารณารกราฟชีพลักษณะพืชพรรณทั้ง 3 ดัชนีพบว่า LSWI มีความผันผวนมากที่สุดในช่วงสามเดือนแรกของปีหรือช่วงที่ไม่มีการเพาะปลูก และมีแนวโน้มลดลงแบบเป็นลำดับก่อนสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อมีการเจริญเติบโตของพืชพรรณสอดคล้องกับการศึกษาของ Guo, et al., (2021) ที่ค่า LSWI มักจะต่ำก่อนปลูก และหลังเก็บเกี่ยว แต่ในกรณีการศึกษาครั้งนี้ช่วงปลายฤดูการเพาะปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวค่าไม่มีแนวโน้มลดลงมากนักแต่กลับผันผวนบางแปลงสาเหตุเกิดจากบริบทของพื้นที่ศึกษาที่แตกต่างกัน อีกทั้งในแปลงเพาะปลูกยังหลงเหลือตอซังของต้นข้าวรวมถึงมีการงอกใหม่อยู่ประปราย แตกต่างจากดัชนีพืชพรรณ NDVI และ SAVI ที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกันตลอดฤดูกาลเพาะปลูกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นหลังจากการปักดำหรือหว่านแห้งแล้วเสร็จหรือจากระยะแรกของการเจริญเติบโต (Green-Up Stage) จนถึงระยะการเจริญเติบโตสูงที่สุด (Peak Growth Stage) และหลังจากระยะโตเต็มวัย (Mature Stage) ค่าจะค่อยๆ ลดลงจนถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยว (Harvest Stage) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Guo, et al., (2021) ดังนั้นกราฟชีพลักษณะพืชพรรณสามารถนำมาใช้เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสถานะของแปลงเพาะปลูกได้ นอกจากนี้การศึกษานี้ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์กันระหว่างข้อมูลความสูงของต้นข้าวและคุณลักษณะทางชีพลักษณะด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่าข้อมูลมีความสอดคล้องกันสูงเฉพาะระยะแรกของการเจริญเติบโตจนถึงระยะการเจริญเติบโตสูงที่สุด ซึ่งมีสาเหตุมาจากในระยะนั้นแรกต้นข้าวยังมีความสูงไม่มาก และเรือนยอดยังไม่ปกคลุมพื้นผิวทั้งหมด สอดคล้องกับค่า SAVI ที่มีค่าต่ำ จากนั้นเพิ่มสูงขึ้นควบคู่กันไปเป็นลำดับจนถึงระยะการเจริญเติบโตสูงที่สุด ส่งผลให้ในช่วงระยะเวลาดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงในทิศทางบวก แต่ภายหลังจากระยะการเจริญเติบโตสูงที่สุด ต้นข้าวจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทองและทำให้ค่า SAVI ลดน้อยลงแตกต่างจากความสูงของต้นข้าวจะคงอยู่ที่ประมาณ 90-100 เซนติเมตร ส่งผลจากการพิจารณา

ตลอดทั้งฤดูกาลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตามผู้เขียนมีความเห็นว่ากราฟชีพลักษณ์พืชพรรณยังสามารถใช้แสดงลักษณะการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงของต้นข้าวโดยสังเกตจากค่าการสะท้อนและดัชนี SAVI ได้และนำไปสู่ขั้นตอนที่สำคัญคือการผลิตปฏิทินการเพาะปลูกข้าวนาปี

จากการพิจารณาการระบุตำแหน่ง SOS/EOS ด้วย Modify Dynamic Threshold Method พบว่าผลลัพธ์ผลต่างระหว่างค่าที่ได้รับจากสมการและวัน SOS/EOS ความเป็นจริงนั้น ดัชนี SAVI ให้ค่า RMSE ที่ต่ำที่สุด (ใกล้เคียงกับความเป็นจริง) ทั้งวิธีพิจารณาทั้ง 6 แปลงทดสอบโดยไม่แยกวิธีการปลูก และพิจารณาแบบแยกวิธีการปลูก เมื่อพิจารณาจากข้อมูลแล้วพบว่าดัชนี SAVI เป็นดัชนีที่พยายามจะลดอิทธิพลจากความสว่างของดินที่สะท้อนเข้ามายังจุดภาพของภาพถ่ายจากดาวเทียมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของการเพาะปลูกจึงทำให้เหมาะสมต่อการติดตามพื้นที่เพาะปลูกข้าว ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระดับเกณฑ์ที่เหมาะสมของ SOS และ EOS ของแปลงเพาะปลูกแต่ละวิธีไม่เท่ากัน และยิ่งไปกว่านั้นไม่ควรใช้ระดับเกณฑ์เดียวกันสำหรับ SOS และ EOS อีกด้วย มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Huang, et al., (2019) ที่ได้สรุปไว้ว่าไม่เหมาะสมที่จะใช้เกณฑ์เหมือนกันเพื่อระบุตำแหน่งของ SOS และ EOS โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกณฑ์ที่นิยมใช้กันทั่วไปเช่น ร้อยละ 20 หรือ 50 นั้นไม่เหมาะสมสำหรับนำมาพิจารณาพืชทุกชนิด จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีความสำคัญ และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบ SOS/EOS ของต้นข้าวในพื้นที่ศึกษาเพื่อพัฒนาต่อเป็นผลลัพธ์ปฏิทินการเพาะปลูกข้าวนาปี และทำให้ทราบถึงฤดูกาลเพาะปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษาอีกด้วย

สำหรับปฏิทินการเพาะปลูกข้าวนาปีในพื้นที่อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา (ภาพ 56) จะมีฤดูกาลเพาะปลูกเป็นระยะเวลา 6 เดือน ระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง พฤศจิกายน แตกต่างกับปฏิทินการเพาะปลูกข้าวนาปีในการศึกษาของ Soontranon, Srestasathien and Rakwatin (2015) ที่เริ่มต้นฤดูกาลในช่วงเดือนสิงหาคม ถึง พฤศจิกายน (3 เดือน) สาเหตุที่ทำให้ฤดูกาลเพาะปลูกแตกต่างกัน เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้คัดเลือกแปลงทดสอบมากถึง 6 แปลง และมีวิธีการเพาะปลูกทั้งแบบปักดำ และวิธีการเพาะปลูกแบบหว่านแห้ง (ซึ่งเป็นพฤติกรรมการเพาะปลูกของเกษตรกรในพื้นที่) โดยวิธีการปักดำเกษตรกรมักจะรอให้เข้าสู่ฤดูฝนก่อน (ช่วงเดือนกรกฎาคม) จึงจะปักดำเพื่อให้อุ่นใจได้ว่าจะมีน้ำเพียงพอสำหรับเพาะปลูกตลอดฤดูกาล วิธีการปักดำใช้ระยะเวลาเพาะปลูกประมาณ 120 วัน และวิธีการเช่นนี้ทำให้ต้นข้าวเกิดการพัฒนาลำต้น และเรื้อนยอดอย่างรวดเร็วส่งผลให้ค่าดัชนีพืชพรรณที่สังเกตจากกราฟชีพลักษณ์พืชพรรณมีความสอดคล้องกับข้อมูลความเป็นจริงภาคสนามมาก แตกต่างจากวิธีการหว่านแห้งเกษตรกรมักจะเริ่มไถพรวน เตรียมดิน และหว่านเมล็ดพันธุ์ให้

แล้วเสร็จก่อนเข้าฤดูฝน (ช่วงเดือนพฤษภาคม) เนื่องจากใช้ต้นทุนน้อยกว่า ใช้แรงงานไม่มาก และรวดเร็ว วิธีการเช่นนี้จะทำให้ต้นข้าวค่อย ๆ งอกขึ้นมาจากพื้นดินเมื่อได้รับน้ำฝนแต่จะไม่มี การเจริญเติบโตที่รวดเร็วเหมือนวิธีการปักดำ วิธีการหว่านแห้งใช้ระยะเวลาเพาะปลูก ประมาณ 130-180 วัน คล้ายคลึงกับผลการศึกษาแปลงข้าวนาปีของ พันธุ์ดี ตั้งพัฒนากุล และคณะ (2557) ประกอบกับข้อจำกัดของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิง จุดภาพเท่ากับ 10 เมตร ทำให้ไม่สามารถมองเห็นเรือนยอด และต้นข้าวในระยะแรกของการ เพาะปลูกเนื่องจากมีขนาดเล็กมาก (2-3 เซนติเมตร) และเริ่มสังเกตค่าจากกราฟซีพลักษณ์ พีชพรรณได้หลังจากที่เจริญเติบโตไปแล้วสักระยะ และอีกหนึ่งปัจจัยความท้าทายของ การศึกษาคครั้งนี้ เนื่องจากพื้นที่อำเภอดอกคำใต้ส่วนใหญ่อยู่นอกเขตการให้บริการชลประทาน และคลองส่งน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเพาะปลูกข้าวในเขตนาน้ำฝน ส่งผลให้ เกษตรกรไม่สามารถควบคุมปริมาณผลผลิตหรือดูแลต้นข้าวได้เต็มที่ แตกต่างจากบริเวณที่มี น้ำเพียงพอตลอดทั้งปีที่สามารถควบคุมปริมาณน้ำหรือจัดการน้ำในแปลงนาได้เป็นอย่างดี โดย ส่วนมากบริเวณที่มีการจัดสรรน้ำหรือควบคุมปริมาณน้ำให้เพียงพอตลอดทั้งปี มักจะมีการ ปลูกข้าวนอกฤดูกลาง (ข้าวนาปรัง) และบริเวณดังกล่าวมักจะมีการเพาะปลูกข้าวนาปีด้วย เช่นกัน นอกจากนี้มีข้อสังเกตว่าช่วงสิ้นสุดฤดูกลางเพาะปลูกข้าวนาปีของการศึกษาคครั้งนี้ และ อีกสองการศึกษา (Soontranon, Srestasathien and Rakwatin, 2015; พันธุ์ดี ตั้งพัฒนากุล และคณะ, 2557) อยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนเช่นเดียวกันดังนั้นสามารถอนุมานได้ว่ามีฤดูกาล เก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือนธันวาคมเช่นเดียวกัน ส่วนช่วงต้นปีระหว่างเดือนมกราคม ถึง เมษายน ในอำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา จะไม่มีการเพาะปลูกข้าวนาปี โดยมากจะปล่อยให้ ไร่ร้างและเกิดวัชพืชขึ้นตามธรรมชาติ หรือปลูกพืชคลุมดินเพื่อปรับสภาพหน้าดินก่อนไถกลบ เป็นพืชปุ๋ยสดเพื่อเตรียมเพาะปลูกในฤดูกาลถัดไป ข้อมูลข้างต้นสามารถทำให้ทราบถึงช่วงที่ต้น ข้าวมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด และต่ำที่สุดของฤดูกาล ผลลัพธ์ดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ต่อ สำหรับการวิเคราะห์เทคนิคผลต่างระหว่างภาพเพื่อตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าว

## 2. ผลการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกนาปีข้าวภายในอำเภอดอกคำใต้ ด้วยข้อมูล ภาพถ่ายจากดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา

การศึกษาคครั้งนี้ตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวในพื้นที่อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยาโดย อาศัยเทคนิคผลต่างระหว่างภาพโดยแบ่งเป็นสองวิธีได้แก่ 1. การใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพ เดี่ยว ผลลัพธ์พบว่าดัชนี SAVI จากภาพถ่ายดาวเทียมที่เป็นตัวแทนของช่วงที่มีการเจริญเติบโต สูงที่สุด (11 กันยายน) พบเจออุปสรรคด้านสภาพอากาศ (เมฆบดบังเหนือพื้นที่ศึกษา) และพบ

มากในช่วงเข้าสู่ฤดูฝน บริเวณดังกล่าวมีค่า SAVI ต่ำมากจนไปถึงติดลบซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ แคสเสด มงคลสวัสดิ์ และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์ (2552) ที่กล่าวว่าบริเวณพื้นที่ที่มีเมฆ-หมอกจะทำให้ข้อมูลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนและมีค่าน้อยกว่าปกติ เมื่อนำตัวแทนภาพดังกล่าวทำสมการผลต่างกับตัวแทนภาพถ่ายช่วงที่ไม่มีการเพาะปลูก (14 เมษายน) ทำให้ข้อมูลผลต่างระหว่างภาพในบริเวณที่มีเมฆปกคลุมมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงไปในทิศทางลบ แตกต่างจากบริเวณที่เป็นพื้นที่ปลูกข้าวที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางบวก และ 2. การใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม โดยการพิจารณาจากปฏิทินการเพาะปลูกข้าวนาปีมากำหนดเป็นช่วงเวลาสำหรับการประมวลผลข้อมูลแบบ MVC ซึ่งจะคัดเลือกเฉพาะจุดภาพที่มีค่าสูงสุด (ค่าที่เป็นพีชพรรณจากดัชนี SAVI) สร้างเป็นภาพดัชนี SAVI ใหม่หนึ่งภาพ ผลลัพธ์พบว่าวิธีการดังกล่าวช่วยลดค่ารบกวนที่เกิดจากอุปสรรคด้านสภาพอากาศได้เป็นอย่างดีและได้ค่าที่แท้จริงของพีชพรรณในช่วงเวลาที่กำหนดแตกต่างจากการศึกษาของ สรวิต สุภเวทย์ (2562) ที่เลือกใช้ Minimum Value Composite สร้างภาพผสมสำหรับการตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าผลลัพธ์จากการวิเคราะห์สมการผลต่างของดัชนีพีชพรรณโดยใช้เทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสมพื้นที่ปลูกข้าวมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางบวก เช่นเดียวกับวิธีการก่อนหน้านี้ ซึ่งแตกต่างจากเมืองและชุมชนที่มีค่าการเปลี่ยนแปลงไม่มากหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง (บริเวณดังกล่าวไม่มีการเพาะปลูกพืช) และบริเวณพื้นที่ป่าไม่มีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงในทิศทางลบเนื่องจากป่ามีความเขียวตลอดทั้งปี ภายหลังจากการจัดกลุ่มข้อมูลใหม่แบบ Quartile และ Natural Breaks (Jenks) และตรวจสอบด้วยค่าความถูกต้องโดยรวม และสัมประสิทธิ์แคปปา ผลลัพธ์พบว่าเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพเต็มมีค่าความถูกต้องโดยรวมและค่าสัมประสิทธิ์แคปปาน้อยกว่าการวิเคราะห์ผลต่างระหว่างภาพด้วยเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสม อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ของค่าความถูกต้องทั้ง 2 วิธีมีผลต่างกันไม่มากนัก ซึ่งเป็นผลมาจากจุดภาพที่ได้รับการปะปนของเมฆ แต่วิธีการประมวลผลด้วยเทคนิคผลต่างภาพแบบภาพผสมสามารถผลิตผลลัพธ์ที่มีค่ารบกวนน้อยกว่า อีกทั้งใช้เทคโนโลยีช่วยลดการทำงานซ้ำซ้อนด้วยแพลตฟอร์มกูเกิ้ล เอิร์ธ เอนจิน เพื่อเป็นประโยชน์และต่อยอดสำหรับผู้สนใจศึกษาผลลัพธ์จากการศึกษาด้วยกระบวนการข้างต้นถูกนำเสนอแสดงบนเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถเข้าถึงได้หลากหลายอุปกรณ์ในรูปแบบกระดานสรุปข้อมูลประกอบไปด้วยแผนภูมิระยะพัฒนาการของข้าวราย (รายเดือน) สามารถแสดงให้เห็นถึงการเจริญเติบโตของข้าวผ่านกราฟชีพลักษณะและดัชนีพีชพรรณตลอดทั้งปี และแผนภูมิแท่งที่แสดง

ทิศทางความสูงต้นข้าว ปฏิทินการเพาะปลูกข้าวนาปี รวมถึงผลลัพธ์ของตัวแทนภาพถ่ายจาก ดัชนี SAVI และผลต่างระหว่างภาพอีกด้วย สำหรับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง สามารถใช้ประโยชน์ในการพิจารณาการกระจุก-กระจายตัวของบริเวณพื้นที่ปลูกข้าว วางแผนการดำเนินงาน สนับสนุนเกษตรกร ต่อยอดสู่การคำนวณปริมาณการใช้น้ำในนาข้าวรายลุ่มตำบลพร้อมกับค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าวหรือการคำนวณปริมาณผลผลิต ใช้สนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายของภาครัฐในพื้นที่ระดับตำบล และระดับอำเภอโดยใช้พื้นที่เป็นตัวตั้งในการกำหนดกลยุทธ์และแผนงาน โดยสามารถเข้าถึงได้จาก <http://phenology-timeseries.th.app.ruk-com.cloud/>

การศึกษาครั้งนี้มุ่งหวังที่จะเสนอมุมมองใหม่โดยใช้ศักยภาพของแพลตฟอร์ม GEE ที่สามารถลดกระบวนการทำงานซ้ำ ๆ ได้เป็นอย่างดี ร่วมกับเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล ศึกษาลักษณะชีพลักษณะพืชพรรณโดยเฉพาะพื้นที่เพาะปลูกข้าวนอกเขตการให้บริการชลประทาน และต่อยอดสู่การตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าว มุ่งหวังให้ผลลัพธ์จากการศึกษาครั้งนี้เป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ พัฒนาต่อยอด และนำไปสู่การแก้ไขปัญหาด้านการเกษตรที่มีความซับซ้อน และท้าทายมากยิ่งขึ้น

### ข้อเสนอแนะ

สำหรับผู้สนใจศึกษาและพัฒนาต่อยอดในอนาคตผู้เขียนมีข้อเสนอแนะว่าควรคำนึงถึงกลุ่มตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (แปลงทดสอบ) ให้มีการกระจายมากขึ้น และมีรูปแบบวิธีการเพาะปลูกที่หลากหลายอาจทำได้ด้วยการคัดเลือกแปลงทดสอบที่มีการเพาะปลูกพืชไร่ชนิดอื่นหรือไม่ยืนต้น ทดลองใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในระบบอื่น ๆ เช่น Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) หรือ Synthetic Aperture Radar (SAR) และประยุกต์ใช้สมการคณิตศาสตร์ที่แตกต่างออกไปเพื่อปรับความเรียบ-เติมเต็มความสมบูรณ์ของกราฟชีพลักษณะพืชพรรณ เช่น Savitzky-Golay Filter (SGF), Asymmetric Gaussian Fitting (AGF), Linear Interpolate และ Cubic Convolution interpolation เป็นต้น หรือทดลองใช้การปรับเน้นข้อมูล ด้วยดัชนีพืชพรรณอื่น ๆ (รวมทั้ง LSWI และ NDVI) โดยนำมาวิเคราะห์ตลอดทั้งกระบวนการจนได้ค่าความถูกต้องหรือผลลัพธ์สุดท้าย นอกจากนี้ยังสามารถทดลองใช้ข้อมูลทางกายภาพอื่น ๆ ของต้นข้าวทดสอบความสัมพันธ์กับข้อมูลคุณลักษณะของกราฟชีพลักษณะพืชพรรณเช่น ขนาดของทรงพุ่ม, ดัชนีพื้นที่ใบ, จำนวนใบ และ จำนวนกอ เป็นต้น สำหรับการพัฒนาระบบฐานข้อมูลขนาดใหญ่ควรทดลองวิเคราะห์และพิจารณาข้อมูลด้วยกระบวนการเดิมซ้ำ ๆ เพื่อหาจุดบกพร่องและแก้ไขต่อไปจนเกิดเป็นระบบอัตโนมัติ

### บรรณานุกรม

- Amir, M. R. ,Davoud, A. ,Hamid, S. S. และ Hamed, N. (2019). Developing an Automatic Phenology–Based Algorithm for Rice Detection Using Sentinel–2 Time–Series Data. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, 12(5), 1471–1481. doi:10.1109/JSTARS.2019.2906684.
- Burns, B. W. ,Green, V. S. ,Hashem, A. A. ,Massey, J. H. ,Shew, A. M. ,Adviento–Borbe, M. A. A. และคณะ. (2022). Determining nitrogen deficiencies for maize using various remote sensing indices. **Precision Agriculture**, 23(3), 791–811. doi:10.1007/s11119–021–09861–4. จาก [https://doi.org/10.1007/s11119–021–09861–4](https://doi.org/10.1007/s11119-021-09861-4)
- Chandrasekar, K. ,Sesha Sai, M. V. R. ,Roy, P. S. และDwevedi, R. S. (2010). Land Surface Water Index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS Vegetation Index product. **International Journal of Remote Sensing**, 31(15), 3987–4005. doi:10.1080/01431160802575653. จาก <https://doi.org/10.1080/01431160802575653>
- Chandrasekar, K. ,Sesha, S. M. V. R. และBehera, G. (2011). ASSESSMENT OF EARLY SEASON AGRICULTURAL DROUGHT THROUGH LAND SURFACE WATER INDEX (LSWI) AND SOIL WATER BALANCE MODEL. **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci**, XXXVIII–8(W20), 50–55.
- Chen, B. ,Jin, Y. และBrown, P. (2019). Automatic mapping of planting year for tree crops with Landsat satellite time series stacks. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 151, 176–188. doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.03.012>. จาก <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271619300802>
- Chen, J. ,Jönsson, P. ,Tamura, M. ,Gu, Z. ,Matsushita, B. และEklundh, L. (2004). A simple method for reconstructing a high–quality NDVI time–series data set based on the Savitzky–Golay filter. **Remote Sensing of Environment**, 91(3), 332–344. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.03.014>. จาก <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442570400080X>
- Chen, Z. ,Elvidge, C. D. และGroeneveld, D. P. (1998). Monitoring Seasonal Dynamics of Arid Land Vegetation Using AVIRIS Data. **Remote Sensing of Environment**, 65(3), 255–

266. doi:[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00036-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00036-4). จ ำ ก
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425798000364>
- Clélia, M. C. T. และ Pedro, A. M. (2006). **Análise de Séries Temporais** (พิมพ์ครั้งที่).  
 Dousset, B. และ Gourmelon, F. (2003). Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 58(1), 43-54. doi:[https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(03\)00016-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(03)00016-9). จ ำ ก  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271603000169>
- Drake, J. และ Worsley, J. (2002). **Practical PostgreSQL** (พิมพ์ครั้งที่): " O'Reilly Media, Inc.".
- Drusch, M. ,Del Bello, U. ,Carlier, S. ,Colin, O. ,Fernandez, V. ,Gascon, F. และคณะ. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. **Remote Sensing of Environment**, 120, 25-36. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>. จ ำ ก  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712000636>
- Gang, Y. ,Huanfeng, S. ,Liangpei, Z. ,Zongyi, H. และ Xinghua, L. (2015). A Moving Weighted Harmonic Analysis Method for Reconstructing High-Quality SPOT VEGETATION NDVI Time-Series Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 53(11), 6008-6021. doi:10.1109/TGRS.2015.2431315.
- Geoserver. (n.d.). What is Geoserver? <https://geoserver.org/about/>
- Gitelson, A. ,Viña, A. ,Ciganda, V. ,Rundquist, D. และ Arkebauer, T. (2005). Remote estimation of canopy chlorophyll in crops. **Geophysical Research Letters – GEOPHYS RES LETT**, 32. doi:10.1029/2005GL022688.
- Gitelson, A. A. ,Gritz, Y. และ Merzlyak, M. N. (2003). Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. **Journal of Plant Physiology**, 160(3), 271-282. doi:<https://doi.org/10.1078/0176-1617-00887>. จ ำ ก  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161704704034>
- Gorelick, N. ,Hancher, M. ,Dixon, M. ,Ilyushchenko, S. ,Thau, D. และ Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, 202, 18-27. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. จ ำ ก  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900>

- Guo, Y. ,Xia, H. ,Pan, L. ,Zhao, X. ,Li, R. ,Bian, X. และคณะ. (2021). Development of a New Phenology Algorithm for Fine Mapping of Cropping Intensity in Complex Planting Areas Using Sentinel-2 and Google Earth Engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(9). Retrieved from doi:10.3390/ijgi10090587
- Hashim, H. ,Abd, L. Z. และAdnan, N. (2019). URBAN VEGETATION CLASSIFICATION WITH NDVI THRESHOLD VALUE METHOD WITH VERY HIGH RESOLUTION (VHR) PLEIADES IMAGERY. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4 / W16 , 237-240 . doi:10.5194/isprs-archives-XLII-4-W16-237-2019.
- Hatfield, J. L. และ Prueger, J. H. (2010). Value of Using Different Vegetative Indices to Quantify Agricultural Crop Characteristics at Different Growth Stages under Varying Management Practices. *Remote Sensing*, 2 (2) , 562-578 . Retrieved from doi:10.3390/rs2020562
- Heim, R. R. (2002). A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1149-1166. doi:10.1175/1520-0477-83.8.1149 . จาก [https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/83/8/1520-0477-83\\_8\\_1149.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/83/8/1520-0477-83_8_1149.xml)
- Holben, B. N. (1986). Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11), 1417-1434. doi:10.1080/01431168608948945. จาก <https://doi.org/10.1080/01431168608948945>
- Huang, X. ,Liu, J. ,Zhu, W. ,Atzberger, C. และLiu, Q. (2019). The Optimal Threshold and Vegetation Index Time Series for Retrieving Crop Phenology Based on a Modified Dynamic Threshold Method. *Remote Sensing*, 11 (23) . Retrieved from doi:10.3390/rs11232725
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295-309. doi:[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X). จาก <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442578890106X>
- Ibrahim, A. W. ,Shafik, M. B. ,Ding, M. ,Sarhan, M. A. ,Fang, Z. ,Alareqi, A. G. และคณะ. (2020). PV maximum power-point tracking using modified particle swarm optimization under partial shading conditions. *Chinese Journal of Electrical Engineering*, 6(4),

- 106–121. doi:10.23919/CJEE.2020.000035.
- Ihinegbu, C. และ Ogunwumi, T. (2022). Multi-criteria modelling of drought: a study of Brandenburg Federal State, Germany. **Modeling Earth Systems and Environment**, 8, 3. doi:10.1007/s40808-021-01197-2.
- Jensen, J. R. (2005). **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective** (พิมพ์ครั้งที่). Prentice Hall: Upper Saddle River.
- Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K. และ Miura, T. (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, 112(10), 3833–3845. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.006>. จ ฎ ก <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425708001971>
- John, W. R., Robert, H. H., D., D., John, A. S. และ J., C. H. (1973). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. Retrieved from
- Jordan, C. F. (1969). Derivation of Leaf–Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. **Ecology**, 50.
- Khare, S., Deslauriers, A., Morin, H., Latifi, H. และ Rossi, S. (2022). Comparing Time–Lapse PhenoCams with Satellite Observations across the Boreal Forest of Quebec, Canada. *Remote Sensing*, 14(1). Retrieved from doi:10.3390/rs14010100
- Li, L., Hao, D., Li, X., Chen, M., Zhou, Y., Jurgens, D. และคณะ. (2022). Satellite-based phenology products and in-situ pollen dynamics: A comparative assessment. **Environmental Research**, 204, 1–11937. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111937>. จ ฎ ก <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935121012329>
- Lillesand, T. และ Kiefer, W. R. (1987). **Remote sensing and image interpretation. Second edition**. United States: United States.
- Lins, F. K. (1981). Comparison of Sampling Procedures and Data Analysis for a Land–Use and Land–Cover Map. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 47(3), 343–351.
- Mas, J. F. (1999). Monitoring land–cover changes: A comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, 20(1), 139–152.

- doi:10.1080/014311699213659. จาก <https://doi.org/10.1080/014311699213659>
- Matsushita, B. ,Wei, Y. ,Jin, C. ,Yuyichi, O. และGuoyu, Q. (2007). Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density Cypress Forest. *Sensors*, 7(11), 2636–2651. Retrieved from doi:10.3390/s7112636
- McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: the kappa statistic. **Biochem Med (Zagreb)**, 22(3), 276–282.
- Nelson, R. (1983). Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 49.
- Pablo, M. O. ,Luis, G. G. M. และNicole, S. (2020). Temporal Patterns in Illumination Conditions and Its Effect on Vegetation Indices Using Landsat on Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(2). Retrieved from doi:10.3390/rs12020211
- Pan, L. ,Xia, H. ,Zhao, X. ,Guo, Y. และ Qin, Y. (2021). Mapping Winter Crops Using a Phenology Algorithm, Time-Series Sentinel-2 and Landsat-7/8 Images, and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(13). Retrieved from doi:10.3390/rs13132510
- Paul, G. และClare, P. (2000). **Introductory Remote Sensing Digital Image Processing and Applications** (พิมพ์ครั้งที่: Taylor and Francis.
- Payam, S. ,Yan, F. S. ,Mehdi, G. ,Stefania, B. ,Luca, B. ,Biswajee, t. และคณะ. (2021). Performance Evaluation of Long NDVI Timeseries from AVHRR, MODIS and Landsat Sensors over Landslide-Prone Locations in Qinghai-Tibetan Plateau. *Remote Sensing*, 13(16). Retrieved from doi:10.3390/rs13163172
- Pennsylvania, U. o. (n.d.). Quantum GIS: What is GIS? <https://guides.library.upenn.edu/c.php?g=475976&p=3255387>
- Piazzì, G. ,Tanis, C. ,Kuter, S. ,Simsek, B. ,Puca, S. ,Toniazzi, A. และคณะ. (2019). Cross-Country Assessment of H-SAF Snow Products by Sentinel-2 Imagery Validated against In-Situ Observations and Webcam Photography. *Geosciences*, 9(3). Retrieved from doi:10.3390/geosciences9030129
- Riggs, S. ,Ciolli, G. ,Krosing, H. และ Bartolini, G. (2015). **PostgreSQL 9 administration cookbook** (พิมพ์ครั้งที่: Packt Publishing Ltd.
- Roerink, G. J. ,Menenti, M. และVerhoef, W. (2000). Reconstructing cloudfree NDVI composites

- using Fourier analysis of time series. **International Journal of Remote Sensing**, 21(9), 1911–1917. doi:10.1080/014311600209814. จาก <https://doi.org/10.1080/014311600209814>
- Sakamoto, T., Van, N. N., Ohno, H., Ishitsuka, N. และ Yokozawa, M. (2006). Spatio-temporal distribution of rice phenology and cropping systems in the Mekong Delta with special reference to the seasonal water flow of the Mekong and Bassac rivers. **Remote Sensing of Environment**, 100(1), 1–16. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.09.007>. จาก <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425705002920>
- Savitzky, A. และ Golay, M. J. E. (1964). Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. **Analytical Chemistry**, 36(8), 1627–1639. doi:10.1021/ac60214a047. จาก <https://doi.org/10.1021/ac60214a047>
- Sisheber, B., Marshall, M., Mengistu, D. และ Nelson, A. (2022). Tracking crop phenology in a highly dynamic landscape with knowledge-based Landsat–MODIS data fusion. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 106, 102670. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102670>. จาก <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243421003779>
- Soontranon, N., Lawawirojwong, S., Jitkajornwanich, K., Srestasathien, P. และ Rakwatin, P. (n.d.). A COMPARISON OF GROUND AND SATELLITE BASED PHENOLOGIES FOR MONITORING RICE FIELD.
- Soontranon, N., Srestasathien, P. และ Rakwatin, P. (2015). Rice crop calendar based on phenology analysis from time-series images. 1–5.
- Supavetch, S. (2019). **Sentinel-2 based Remote Evaluation System for a Harvest Monitoring of Sugarcane Area in the Northeast Thailand Contract Farming** (พิมพ์ครั้งที่).
- Terrill, W. R. (1994). **A FAQ on Vegetation in Remote Sensing**.
- Volcani, A., Karnieli, A. และ Svoray, T. (2005). The use of remote sensing and GIS for spatio-temporal analysis of the physiological state of a semi-arid forest with respect to drought years. **Forest Ecology and Management**, 215, 239–250. doi:10.1016/j.foreco.2005.05.063.
- Waring, R. H., Coops, N. C., Fan, W. และ Nightingale, J. M. (2006). MODIS enhanced

vegetation index predicts tree species richness across forested ecoregions in the contiguous U.S.A. **Remote Sensing of Environment**, 103(2), 218–226. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.05.007>. จาก <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442570600191X>

Author. (Year). **Title**. Degree Thesis Type, University, Place Published. Retrieved Access Date, จาก URL

Xia, H. ,Zhao, W. ,Li, A. ,Bian, J. และZhang, Z. (2017). Subpixel Inundation Mapping Using Landsat-8 OLI and UAV Data for a Wetland Region on the Zoige Plateau, China. *Remote Sensing*, 9(1). Retrieved from doi:10.3390/rs9010031

Yonglin, S. ,Guoling, S. ,Han, Z. ,Chao, Y. และKunlun, Q. (2021). A Gaussian Kernel-Based Spatiotemporal Fusion Model for Agricultural Remote Sensing Monitoring. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, 14, 3533–3545. doi:10.1109/JSTARS.2021.3066055.

Zhang, X. ,Friedl, M. A. ,Schaaf, C. B. ,Strahler, A. H. ,Hodges, J. C. F. ,Gao, F., , และคณะ. (2003). Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, 84(3), 471–475. doi:[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00135-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00135-9). จาก <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425702001359>

Zheng, Y. ,Wu, B. ,Zhang, M. และZeng, H. (2016). Crop Phenology Detection Using High Spatio-Temporal Resolution Data Fused from SPOT5 and MODIS Products. **Sensors**, 16(12). doi:10.3390/s16122099.

Zhu, W. ,Pan, Y. ,He, H. ,Wang, L. ,Mou, M. และLiu, J. (2012). A Changing-Weight Filter Method for Reconstructing a High-Quality NDVI Time Series to Preserve the Integrity of Vegetation Phenology. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing – IEEE TRANS GEOSCI REMOT SEN**, 50, 1085–1094. doi:10.1109/TGRS.2011.2166965.

กรมการข้าว. (2564). โครงการภายใต้ยุทธศาสตร์ข้าวไทยด้านการผลิต ปี 2563–2567.

กรมทรัพยากรดินทางปัญญา. (2563). ประกาศโฆษณาการรับขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์.

กรมพัฒนาที่ดิน. (มปป.). การพัฒนาระบบจัดเก็บ สืบค้น และระบบบริการแผนที่และข้อมูลทางแผนที่ของกรม

พัฒนาที่ดิน สืบค้นเมื่อ Access Date, จาก <http://e-library.ldd.go.th/library/flip/bib10158f/bib10158f.html>

- กระทรวงการอุดมศึกษาวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม. (2562). นโยบายและยุทธศาสตร์การอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม พ.ศ.2563-2570 และแผนด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม พ.ศ.2563-2565. <https://www.mhesi.go.th/index.php/stg-policy/930-2563-2570.html>
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2562). สูดยอดข้าวไทย สืบค้นเมื่อ Access Date, กองทัพอากาศ. (2560). คู่มือการปฏิบัติงานให้บริการแผนที่เดินเรือด้วยระบบ Web Map Service สืบค้นเมื่อ Access Date, จาก <http://www.hydro.navy.mi.th/webkm61/pdf/webmapservice.pdf>
- กิตติศักดิ์ เรื่องกระโทก. (2560). การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนโดยใช้การสำรวจระยะไกล แบบไฮเปอร์สเปกตรัล. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- แก้ว นวลฉวี. (2562). การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง การจัดทำคำอธิบายข้อมูล (Metadata) ตามมาตรฐาน ภูมิสารสนเทศ. from คณะกรรมการภูมิสารสนเทศแห่งชาติ [https://ngis.go.th/wp-content/uploads/2018/07/11\\_Geographic-Information-System-Development-Guidelines.pdf](https://ngis.go.th/wp-content/uploads/2018/07/11_Geographic-Information-System-Development-Guidelines.pdf)
- ขนิษฐา สุทธิบริบาล ,สมนิมิตร พุกงาม และปิยพงษ์ ทองดินนอก. (2554). การประเมินค่าความชื้นในดินโดยใช้ ดัชนีพืชพรรณบริเวณไร่มันสำปะหลัง อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา. วารสารวนศาสตร์, 30(3).
- ขวัญใจ นายชัยภูมิ. (2551). การใช้ตัวกรองสวาทซกี-โกเลียร์และวีเนอร์เพื่อปรับเรียบการแสดงผลข้อมูลสำหรับ เครื่องกำเนิดแสงสยาม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- คณิต สุขรัตน์ และดุสิต อธิวุฒัน. (2019). การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด และการบริโภคสินค้าอินทรีย์. **Thai Journal of Science and Technology**, 8(6), 609-619. doi:10.14456/tjst.2019.64. สืบค้นเมื่อ 2022/10/17, จาก <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tjst/article/view/227763>
- คมกฤษณ์ ศีริรมย์. (2554). การศึกษาอัตราการแพร่กระจายก๊าซมีเทนในนาข้าว จากดัชนีพืชพรรณโดยประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม **LANDSAT-5 TM**
- กรณีศึกษา อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สถาบัน บัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- แคสสาด มงคลสวัสดิ์ และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. (2552). แนวทางการใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูล ดาวเทียมหลายช่วงเวลาเพื่อติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งจากสภาวะด้านชีพลักษณะของป่ามรสุม เขตร้อน. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย, 10(2).
- ชัยณรงค์ โอภาไพบูลย์. (2564). การจำแนกการใช้ที่ดินของลุ่มน้ำชีและลุ่มน้ำมูลโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- ณัทย์ ราตรี. (2554). สถิติเบื้องต้น : แนวคิดและทฤษฎี (พิมพ์ครั้งที่). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย: กรุงเทพมหานคร.

- ทัศนีย์ อัดตะนันท์. (2550). ดินที่ใช้ปลูกข้าว (พิมพ์ครั้งที่). คลังความรู้ดิจิทัล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นครินทร์ ชัยแก้ว. (2560). ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่).
- นราธิป เฟ่งพิศ ,วรรณนันท์ ใจสะอาด และไชยา อุชนะภัย. (2562). การประยุกต์การรับรู้จากระยะไกลเพื่อศึกษาอิทธิพลของพื้นที่สีเขียวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิว กรณีศึกษา เทศบาลนครนครสวรรค์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28(8).
- พันธ์วดี ตั้งพัฒนากุล ,นรุตม์ สุนทรานนท์ ,ภาณุ เศรษฐ์เสถียร ,ปริสสาร รักวาทีน และเกริก ปั่นหน่งเพชร. (2557). การประเมินความผันแปรระยะพัฒนาการของข้าวจากภาพถ่ายในระบบ Field server.
- รัตติกา ลศรี อ่ำ ไพ . ( 2 5 6 4 ) . ขั ว .  
<http://legacy.orst.go.th/?knowledges=%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7>
- รัตนา มั่นประสิทธิ์. (2560). การประยุกต์ใช้โปรแกรม QGIS เพื่อการบริหารจัดการประมงเชิงพื้นที่ สืบค้นเมื่อ Access Date, จ ก  
[https://www4.fisheries.go.th/local/file\\_document/20170719133732\\_file.pdf](https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20170719133732_file.pdf)
- วรรณภรณ์ ศรีชูเปี่ยม. (2561). การวิเคราะห์กราฟชีพลักษณะข้าวเพื่อประมาณการช่วงเวลาเพาะปลูก จังหวัดสระแก้ว. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร.
- วลดา เดชะพงค์ธนา ,สุพรรณ กาญจนธรรม ,แก้ว นวลฉวี และนฤมล อินทริเชียร. (2559). ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีความแตกต่างพืชพรรณของพื้นที่นาข้าวในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต จากข้อมูลดาวเทียม. วารสารเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา, 1(2).
- วิภาพ แพงวังทอง และวันฉัตร เทพวงศ์ (ผู้บรรยาย). (6-7 พฤษภาคม พ.ศ.2564). ดัชนีภาพของดัชนีความแตกต่างความชื้นแบบนอร์แมลไลซ์จากดาวเทียมเซนติเนล 2 เพื่อการกำหนดความเสี่ยงไฟป่าด้านความชื้นในอุทยานแห่งชาติแจ้ซ้อน. ใน การประชุมวิชาการ "ทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 5" (หน้า 435-445). ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- วิโรจน์ รัตนพรเจริญ และสมหมาย นามสวาท. (2546). ความผันแปรชีพลักษณะของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสในแปลงทดสอบสายพันธุ์/ถิ่นกำเนิด ที่อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี (พิมพ์ครั้งที่). ห้องสมุดกรมป่าไม้.
- คันสนีย์ มณีโชติ และตุลา คมกฤต มโนรัตน์. (2564). การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซทหลายช่วงเวลาเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลง การปกคลุมของป่าไม้บริเวณอุทยานแห่งชาติทับลาน. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, 19.
- ศิริพร อ่วมมีเพียร และวัลย์นุช สกุลนุ้ย. (2552). ความพึงพอใจของนักศึกษาวิทยาลัยราชพฤกษ์ ในการใช้บริการเครือข่ายคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยราชพฤกษ์. วิทยาลัยราชพฤกษ์,
- สมจิตร วัฒนาชยากุล. (2532). สถิติวิเคราะห์เบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่). ประกายพริก: กรุงเทพมหานคร.
- สรวิศ สุภเวชย์. (2562). การพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบกัดพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม

เซนทิเนลตามอนุกรมเวลา. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย.

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. (2563). ประกาศสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร เรื่อง การรับข้อเสนอแผนงานวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2564.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2550). รายงานการศึกษา มาตรฐานหลักการคุณภาพข้อมูล (ISO 19113 Geographic Information – Quality principles). [https://ngis.go.th/wp-content/uploads/2018/06/04\\_ISO-19113-Quality-principles.pdf](https://ngis.go.th/wp-content/uploads/2018/06/04_ISO-19113-Quality-principles.pdf)



## ประวัติผู้วิจัย

|                   |  |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล         | ภูมิพัฒน์ อุ๋นบ้าน   |
| วัน เดือน ปี เกิด | 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2539   |
| สถานที่เกิด       | จังหวัดเชียงราย  |
| วุฒิการศึกษา      | วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ภูมิสารสนเทศศาสตร์) มหาวิทยาลัยพะเยา  |
| ที่อยู่ปัจจุบัน   | 505/17 ม.5 ต.ริมกก อ.เมืองเชียงราย จ.เชียงราย  |
| ผลงานตีพิมพ์      | <p>พ.ศ.2565 ภูมิพัฒน์ อุ๋นบ้าน และนิตี เอี่ยมชื่น. แนวทางการใช้เทคนิคผลต่างภาพเพื่อตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา. งานประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 5. 19 สิงหาคม 2565 ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร</p> <p>พ.ศ.2565 Niti lamchuen, Kanyanat Soontornprasit, Korntip Kannika, Dutrudi Panprommin, Wannutch Thepwong, Phummipat Oonban, Sitthisak Pinmongkhonku. Integrated remote sensing and GIS approach for water quality analysis of Kwan Phayao Lake Thailand. Journal of Positive School Psychology. 2022, Vol.6, No.5,8485–8502</p> <p>พ.ศ.2564 วิภาพ แพงวังทอง และ ภูมิพัฒน์ อุ๋นบ้าน. ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์แมลไลซ์และอุณหภูมิพื้นผิวแผ่นดินในทุ่งข้าวนาปีโดยใช้กูเกิ้ลเอิร์ธเอนจินกรณีศึกษาจังหวัดพะเยา. การประชุมวิชาการทรัพยากรธรรมชาติและสารสนเทศศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 5. 6-7 พฤษภาคม 2564 ณ ภาควิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม</p> <p>พ.ศ.2562 ภูมิพัฒน์ อุ๋นบ้าน และ นคร ใจเจริญ. การประยุกต์กูเกิ้ลเอิร์ธเอนจินเพื่อจำแนกพื้นที่น้ำท่วมด้วยซอฟต์แวร์เวกเตอร์แมชชีน. การ</p> |

ประชุมวิชาการทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และ  
สิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 4. 12-13 ธันวาคม 2562

ณ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

พ.ศ.2562      นิติ เอี่ยมชื่น และ ภูมิพัฒน์ อุ๋นบ้าน. กระบวนการ  
จัดทำฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศเกษตรกรรมระดับครัวเรือนของจังหวัด  
พะเยา. การประชุมวิชาการระดับชาติเครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษา  
ทั่วประเทศ ครั้งที่ 13 (RANC2019). 20-22 พฤศจิกายน 2562 ณ  
โรงแรมเชียงใหม่แกรนด์วิว จังหวัดเชียงใหม่. 373-383.

พ.ศ.2562      นิติ เอี่ยมชื่น นครินทร์ ชัยแก้ว วิภพ แพงวังทอง สว  
รินทร์ ฤกษ์อยู่สุข บุญศิริ สุขพร้อมสรรพ รังสรรค์ เกตุออด สุดาร์ตัน  
อาจหาญ และ ภูมิพัฒน์ อุ๋นบ้าน. ภูมิสารสนเทศแบบมีส่วนร่วมเพื่อ  
การอนุรักษ์และจัดการป่าชุมชน กรณีศึกษารองบ่อ อำเภอภูกาม  
ยาว จังหวัดพะเยา ระยะที่ 2. พะเยาวิจัย ครั้งที่ 8. 24-25 มกราคม  
2562 มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา. 1179-1192.

#### รางวัลที่ได้รับ

การนำเสนอผลงานวิจัยยอดเยี่ยม หัวข้อ "แนวทางการใช้เทคนิคผลต่าง  
ภาพเพื่อตรวจหาพื้นที่เพาะปลูกข้าวด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบอนุกรม  
เวลา" ในงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์  
เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 5 ในวันที่ 19 สิงหาคม 2565 ณ คณะ  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

รางวัลศิษย์เก่าดีเด่นรุ่นใหม่ “ด้านความสำเร็จในอาชีพ” ประจำปี 2564