



รายงานแผนงานวิจัย

วิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศสู่เกษตรกรดิจิทัล

Research and Development on Information Technology System
for Digital Agriculture

สุรพงษ์ ประสิทธิ์วัฒนเสรี

SURAPONG PRASITWATTANASEREE

ปี พ.ศ. 2564



รายงานแผนงานวิจัย

วิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศสู่เกษตรดิจิทัล

Research and Development on Information Technology System
for Digital Agriculture

สุรพงษ์ ประสิทธิ์วัฒนเสรี

SURAPONG PRASITWATTANASEREE

ปี พ.ศ. 2564

คำปรารภ (Foreword หรือ Preface)

แผนงานวิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศสู่เกษตรกรดิจิทัล ของกรมวิชาการเกษตร มุ่งเน้นการวิจัยเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขัน โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาครัฐ ได้แก่ กรมพัฒนาที่ดิน สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร กรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ข้อมูลภาคสนาม เช่น ข้อมูลการปลูก การจัดการพืช สภาพแวดล้อมในพื้นที่เกษตรกร ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยในการจัดการดูแลพืช พัฒนาระบบพยากรณ์ผลผลิต ระบบแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน และระบบวินิจฉัยอาการของโรคบนใบพืชสอดคล้องกับนโยบายวิจัยของกรมวิชาการเกษตรในการสร้างความสามารถในการแข่งขัน เพื่อเพิ่มมูลค่า สนับสนุนนโยบายและแผนการพัฒนาการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ในการดำเนินการจัดการพืช เพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนาข้อมูลสารสนเทศที่ภาครัฐและเกษตรกรใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการผลิตพืช พัฒนาคุณภาพผลผลิต ระบบให้บริการหน่วยงานภาครัฐ สนับสนุนสังคมและชุมชนเกษตรกรสามารถเข้าถึงข้อมูลสารสนเทศ และก้าวสู่ประเทศไทยดิจิทัล โดยการนำปัญญาประดิษฐ์มาเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์โดยใช้การเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning) และการวิเคราะห์เชิงลึก (Deep Learning) ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญญาประดิษฐ์มาช่วยในการตัดสินใจ ร่วมกับเทคโนโลยีดิจิทัล เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของไม้ผลเศรษฐกิจ วิเคราะห์และประเมินปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนในปาล์มน้ำมัน พัฒนาโมเดลในการตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง พร้อมจัดทำเป็นระบบและคำแนะนำที่เข้าใจง่ายและเข้าถึงผู้ใช้งานได้อย่างแพร่หลาย ช่วยในการวางแผนจัดการผลิต ตั้งแต่ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ ให้แก่เกษตรกร ผู้สนใจ ลดเวลา ลดขั้นตอน ลดช่องว่างในการเข้าถึงข้อมูลของภาครัฐ เพิ่มคุณภาพของผลผลิต ส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีให้แก่เกษตรกร

รายงานฉบับนี้ ประกอบด้วย 3 แผนงานวิจัยย่อย ได้แก่ แผนงานวิจัยย่อยที่ 1 วิจัยพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ แผนงานวิจัยย่อยที่ 2 วิจัยพัฒนาระบบสารสนเทศแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน และแผนงานวิจัยย่อยที่ 3 วิจัยพัฒนาระบบจำแนกโรคและศัตรูพืชบนใบมันสำปะหลัง โดยเทคนิคประมวลผลภาพ ดำเนินการวิจัยตั้งแต่เดือนตุลาคม 2558 - กันยายน 2564 ในไม้ผลเศรษฐกิจ ได้แก่ทุเรียน มังคุด มะม่วง สับปะรด ลำไย เงาะ พืชไร่ ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน และมันสำปะหลังในพื้นที่ปลูกที่สำคัญ

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงานฉบับนี้จะมีประโยชน์แก่นักวิจัย นักวิชาการเกษตร เกษตรกร ตลอดจนผู้สนใจในการนำไปเป็นข้อมูล แนวทางในการวางแผนการผลิต และพัฒนาต่อยอดโมเดลหรือระบบให้บริการในพืช หรือพื้นที่อื่นให้เกิดประโยชน์ต่อไป

(นายสุรพงษ์ ประสิทธิ์วัฒนเสรี)

ผู้อำนวยการแผนงานวิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศสู่เกษตรกรดิจิทัล

กุมภาพันธ์ 2565

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	5
ผู้วิจัย	6
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	7
บทนำ	8
บทคัดย่อ	11
แผนงานวิจัยย่อยที่ 1 วิจัยพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิตไม้ ผลเศรษฐกิจ	13
แผนงานวิจัยย่อยที่ 2 วิจัยพัฒนาระบบสารสนเทศแนะนำการใส่ปุ๋ยในปาล์ม น้ำมัน	58
แผนงานวิจัยย่อยที่ 3 วิจัยพัฒนาระบบจำแนกโรคและศัตรูพืชบนใบ มันสำปะหลัง โดยเทคนิคประมวลผลภาพ	79
บทสรุปและข้อเสนอแนะ	111
บรรณานุกรม	115
ภาคผนวก	121

กิตติกรรมประกาศ

แผนงานวิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศสู่เกษตรดิจิทัล ดำเนินการรวบรวมและทดสอบข้อมูลในพื้นที่ปลูกไม้ผลเศรษฐกิจ จำนวน 6 พืช 12 จังหวัด ในพืชไร่ จำนวน 2 พืช 4 จังหวัด โดยในการดำเนินงานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจากหลายภาคส่วนเป็นอย่างดี ผู้รับผิดชอบงานวิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ โดยขอขอบคุณกรมวิชาการเกษตรที่ให้โอกาสและทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ขอขอบคุณเกษตรกรทุกท่านที่อนุเคราะห์ให้คณะผู้วิจัยเก็บตัวอย่างพืช เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์คัมภีร์ ธีระเวช มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำการจัดทำเว็บไซต์แอปพลิเคชันระบบบริการภูมิสารสนเทศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชน ไหว้ยางกูร และนางสาวกุลนรี กรีติยตานนท์ ที่ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำเทคโนโลยีการวิเคราะห์ภาพถ่าย การพัฒนาโมเดลการประเมินธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันและคำแนะนำการใช้ปุ๋ย รวมทั้งการจัดทำเว็บไซต์ ระบบผู้บริหารศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 7 (สวพ.7) กรมวิชาการเกษตร ดร.อิสวิวัฒน์ บัณฑราภิวัดน์ ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีและระบบสารสนเทศ นายจรงค์ จารุเนตร ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรปราจีนบุรี ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรนครราชสีมา ที่ให้คำปรึกษา ให้การสนับสนุนเครื่องมือและบุคลากร อำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณ กรมพัฒนาที่ดิน สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร กรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ให้ข้อมูลในการดำเนินการ และขอขอบคุณทีมงานจากนักวิจัยเจ้าหน้าที่ ของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ ร่วมแรงร่วมใจในการดำเนินการวิจัยกันอย่างดียิ่ง สุดท้ายขอขอบคุณคณะกรรมการพิจารณาและติดตามงานวิจัยทุกคณะของกรมวิชาการเกษตร ที่ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์

ผู้วิจัย
(คณะผู้วิจัย)

- | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------------|
| 1. นายสุรพงษ์ ประสิทธิ์วัฒนเสรี | นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ | ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร |
| 2. นายสุรกิตติ ศรีกุล | นักวิชาการเกษตรทรงคุณวุฒิ | สำนักผู้เชี่ยวชาญ |
| 3. นางกฤษณา แสงดี | นักวิชาการเกษตรชำนาญการ | ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร |
| 4. นางสาวนครินทร์ทิพย์ พุทธสิทธิ์ | นักวิชาการเกษตรชำนาญการ | ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร |
| 5. นางสาวสุชาดา โภชาคม | นักวิชาการเกษตรชำนาญการ | สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 7 |
| 6. นายสมัญชัย ขวัญเกื้อ | นักวิชาการเกษตรชำนาญการ | สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 7 |
| 7. นายวีรศักดิ์ ขุนชำนาญ | นักวิชาการเกษตรชำนาญการ | ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร |
| 8. นางสาวนวลมณี พรหมนิล | นักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ | ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร |
| 9. อีรภัทร ธรรมไชยงกูร | นักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ | ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร |
| 10. นายวิระ ศรีมาลา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี |
| 11. นางสาวสุธีรา ถาวรรัตน์ | นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ | สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 7 |
| 12. นางจินตนาพร โคตรสมบัติ | นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ | สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 7 |
| 13. นางจิตติลักษณ์ เหมะ | นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ | สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 7 |
| 14. นายสมคิด ดำน้อย | นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ | ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรที่สูงเชียงราย |
| 15. นายอุดมพร เสือมาก | นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ | สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรชุมพร |
| 16. นางสาวสายชล แสงแก้ว | นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ | สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 1 |
| 17. นางสาววีร์ บำรุง | นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ | ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรชุมพร |
| 18. นางสาวอมรรักษ์ คัดใจเดียว | นักวิชาการโรคพืชชำนาญการ | สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 7 |
| 19. นางนงนุช ช่างสี | นักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ | ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรปราจีนบุรี |
| 20. นางสาวสุวิษา อ่อนเียบ | นักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ | สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 |
| 21. นายเกษมศักดิ์ ผลการ | นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ | ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร |
| 22. นายยรรยง พันธุ์พฤษ | นักวิชาการเกษตรชำนาญการ | สถาบันวิจัยพืชสวน |
| | | ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร |

23. นายสมิทร วิลัยพร	นักวิชาการเกษตรชำนาญการ	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเชียงใหม่ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 1
24. นางวลัยภรณ์ ชัยฤทธิไชย	นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5
25. นางสาวนริรัตน์ ชูช่วย	นักวิชาการเกษตรปฏิบัติการ	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรเพชรบุรี สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Geographic Information System: GIS	ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการนำเข้า จัดเก็บ จัดเตรียม ดัดแปลง แก้ไข จัดการ และวิเคราะห์ พร้อมทั้งแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่
Remote Sensing	การสำรวจระยะไกล เป็นบันทึกหรือการได้ข้อมูลมาซึ่งข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่เป้าหมายด้วยอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Sensor) โดยปราศจากการสัมผัสกับวัตถุนั้นๆ ซึ่งอาศัยสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะคือ ช่วงคลื่น (Spectral) รูปทรงสัมพันธ์ (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal) ของสิ่งต่างๆ บนพื้นผิวโลก
NIR	ช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด
RED	ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีแดง
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index เป็นโมเดลการคำนวณค่าดัชนีที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้จำแนกพืช และใช้ในการบ่งบอกถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของใบพืช ซึ่งทำให้นอกจากการจำแนกพืช (vegetation monitoring) ยังนำมาใช้ในการติดตามประเมินคุณภาพความสมบูรณ์ของพืชพรรณอีกด้วย

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของแผนงานวิจัย

ภาคการเกษตรของไทยมีส่วนมูลค่าเพียงร้อยละ 8.4 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ที่เหลือเป็นภาคอุตสาหกรรมและภาคบริการ แต่ภาคการเกษตรนั้นเกี่ยวพันกับเกษตรกรกว่า 16.7 ล้านคนของประชากรทั้งประเทศ การผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะด้านพืชตั้งแต่การปลูกถึงการขายสู่ตลาดและผู้บริโภค อาจกล่าวได้ว่าเทคโนโลยีดิจิทัลมีบทบาทสำคัญตลอดห่วงโซ่มูลค่าของการผลิต เพื่อยกระดับการผลิตทั้งด้านปริมาณและคุณภาพของผลิตผล ต้นน้ำของห่วงโซ่มูลค่าได้แก่ ชนิดพืช พันธุ์พืช วิธีการปลูกและการดูแลรักษาที่ถูกต้องเหมาะสม การบริหารจัดการศัตรูพืช ตลอดจนการใช้ปัจจัยการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ กลางน้ำของห่วงโซ่มูลค่าได้แก่ วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร การออกแบบบรรจุภัณฑ์หีบห่อ และปลายน้ำคือการขายสู่ตลาดและผู้บริโภค เหล่านี้ต้องการข้อมูลสารสนเทศประกอบการตัดสินใจที่มีความถูกต้อง ครบถ้วน แม่นยำ มีการปรับปรุงข้อมูลให้ตรงกับสถานการณ์และสภาพที่เป็นปัจจุบัน

เทคโนโลยีดิจิทัลที่ใช้สร้างข้อมูลสารสนเทศสนับสนุนการผลิตพืชให้มีประสิทธิภาพดังกล่าวข้างต้น ได้แก่ 1) เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เป็นอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้รวบรวม ค้นหา จัดเก็บ วิเคราะห์ข้อมูล ประมวลผล และใช้ในการคำนวณโมเดลที่สลับซับซ้อนได้รวดเร็วและแม่นยำ 2) เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ประกอบด้วยระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS : Global Positioning System) การรับรู้จากระยะไกล (RS : Remote Sensing) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS : Geographic Information System) 3) เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสมบัติทางกายภาพ สารเคมี หรือองค์ประกอบทางชีวภาพ โดยการแปลงสัญญาณไฟฟ้าหรือสัญญาณแสงให้เป็นค่าที่อ่านหรือวิเคราะห์ได้การประยุกต์ใช้ในด้านเกษตรจะใช้ในการตรวจวัดข้อมูลกายภาพของพืชปลูก เช่น มวลชีวภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์ ความสูงของต้น ความกว้างของทรงพุ่ม รวมทั้งการตรวจวัดดิน เช่น การขาดธาตุไนโตรเจน ความเค็มของน้ำ การนำไฟฟ้า เป็นต้น 4) เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ ดิจิทัล คือ กระบวนการให้ระบบคอมพิวเตอร์เกิดการเรียนรู้ รู้จำ และประมวลผลภาพเพื่อปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น จำแนกหรือจัดประเภทข้อมูลภาพ การวิเคราะห์เปรียบเทียบภาพ เป็นต้น เนื่องจากการใช้งานง่าย และค่าใช้จ่ายในการใช้งานไม่สูงมากนัก จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการการผลิตพืช เช่น จัดทำระบบการตรวจวัดการเกิดโรคในพืช และการระบาดของแมลง การประเมินการขาดธาตุอาหาร การประเมินคุณภาพของดิน เป็นต้น

การประเมินผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจเช่น ทูเรียน มังคุด มะม่วง สับปะรด ลำไย เงาะ สามารถใช้การแปลและวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม และแบบจำลองการผลิตพืช ทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพืช ทั้งปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ เช่น ธาตุอาหารพืช ปุ๋ย น้ำ และปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุม เช่น ดิน สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ รวมทั้งจัดทำแผนที่ระดับการให้ผลผลิตของไม้ผลเศรษฐกิจซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวางแผนพัฒนา แนะนำการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไม้ผล

ในการปลูกปาล์มน้ำมันมีต้นทุนการผลิตมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์มาจากค่าปุ๋ย การวิเคราะห์ธาตุอาหารจากใบปาล์มน้ำมัน และใช้ปุ๋ยเชิงเดี่ยวตามค่าวิเคราะห์ใบจะช่วยลดต้นทุนและผลผลิตเพิ่มขึ้นได้ แต่การวิเคราะห์

ตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันในห้องปฏิบัติการมีหลายขั้นตอนและใช้เวลานาน อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในการแปลผลค่าวิเคราะห์สำหรับคำแนะนำในการใช้ปุ๋ย ดังนั้น เพื่อลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ และง่ายต่อการการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ใบที่สะดวกและรวดเร็วขึ้น การนำเทคโนโลยีสารสนเทศและเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้จะช่วยลดขั้นตอนในการวิเคราะห์ใบในห้องปฏิบัติการและง่ายต่อการใช้งาน ช่วยให้การใช้ปุ๋ยของเกษตรกรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็วและแม่นยำขึ้น

การผลิตมันสำปะหลังให้ได้คุณภาพดีและผลผลิตสูง เกษตรกรต้องมีความรู้ในการเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ การใช้ท่อนพันธุ์ที่สะอาดปราศจากโรคและแมลงต่างๆ การรู้จักโรคและแมลงศัตรูพืชต่างๆ การวินิจฉัยอาการจากโรคแมลงได้เบื้องต้น การเลือกใช้วิธีการกำจัดศัตรูพืชที่เหมาะสมถูกที่ ถูกเวลา และการเลือกใช้สารเคมีที่ถูกต้องกับโรคในปริมาณที่เหมาะสม โดยเริ่มตั้งแต่การหมั่นตรวจแปลง และวินิจฉัยอาการของพืชที่พบเบื้องต้นว่าอาการนั้นเกิดจากการขาดธาตุอาหาร เกิดจากแมลง หรือเกิดจากโรค ซึ่งศัตรูพืชบางชนิดอาจจำแนกได้ยาก โดยเฉพาะโรคพืชซึ่งมีสาเหตุจากเชื้อโรค และส่งผลต่อโครงสร้างทางสรีรวิทยาของต้นพืช ส่วนใหญ่จะปรากฏอาการให้เห็นบนใบหรือต้นพืช โดยโรคสำคัญของมันสำปะหลังได้แก่ โรคใบไหม้ โรคแอนแทรคโนส โรครากปม โรคใบจุดสีน้ำตาล โรคใบจุดขาว โรคพุ่มแจ้ ในปัจจุบันเกษตรกรยังมีความเข้าใจผิดในการวินิจฉัยโรคเบื้องต้น ดังนั้น การตรวจวัดใบและต้นพืช เพื่อค้นหาโรคและลักษณะอาการที่ถูกโรคทำลาย จึงเป็นปัจจัยสำคัญทำให้การเพาะปลูกพืชประสบผลสำเร็จ

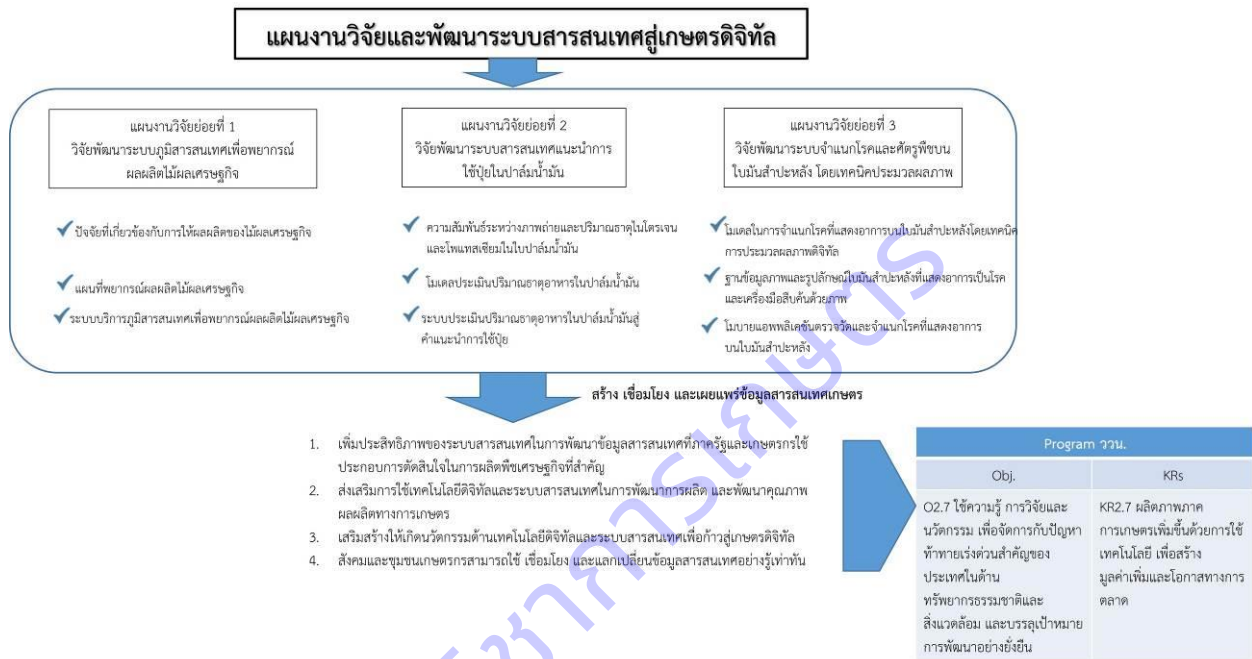
ปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการช่วยวินิจฉัยโรคเบื้องต้น ช่วยลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการดำเนินการ โดยใช้การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) ซึ่งเป็นการนำภาพมาประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ รวมถึงการใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ให้ดีขึ้นและเก็บไว้ในฐานความรู้ นำไปสู่การพัฒนาระบบอัตโนมัติในการตรวจวัดและจำแนกโรคบนใบพืช สามารถให้บริการที่รวดเร็ว เป็นธรรมชาติ แม่นยำ และประหยัด สามารถช่วยเหลือเกษตรกรทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับโรคพืชที่พบ สามารถป้องกันกำจัดในเบื้องต้น เพื่อลดการแพร่ระบาดและความรุนแรงของโรคได้ อีกทั้งยังช่วยลดช่องว่างระหว่างเกษตรกรกับเจ้าหน้าที่ในการให้คำปรึกษา ก่อให้เกิดประโยชน์ในการติดตามการปลูกพืชในระบบแปลงใหญ่ และเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นยังสามารถพัฒนาต่อยอดไปสู่เทคโนโลยีด้านอื่นๆ ได้

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษา วิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของไม้ผลเศรษฐกิจ รวมทั้งจัดทำแผนที่พยากรณ์ระดับการให้ผลผลิตของไม้ผลเศรษฐกิจ
- 2) เพื่อศึกษา วิเคราะห์ และประเมินปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน รวมทั้งจัดทำคำแนะนำการใช้ปุ๋ยจากดัชนีธาตุอาหารของใบปาล์มน้ำมัน
- 3) เพื่อศึกษา วิเคราะห์ และพัฒนาโมเดลในการตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง รวมทั้งจัดทำฐานข้อมูล เครื่องมือสืบค้นด้วยภาพ และโมบายแอปพลิเคชัน

3. วิธีการวิจัย

แผนงานวิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศสู่เกษตรกรดิจิทัล ประกอบด้วย 3 แผนงานวิจัยย่อย ได้แก่ แผนงานวิจัยย่อยที่ 1 วิจัยพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ แผนงานวิจัยย่อยที่ 2 วิจัยพัฒนาระบบสารสนเทศแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน และแผนงานวิจัยย่อยที่ 3 วิจัยพัฒนาระบบจำแนกโรคและศัตรูพืชบนใบมันสำปะหลัง โดยเทคนิคประมวลผลภาพ โดยมีความเชื่อมโยงกันแสดงดังแผนภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ความเชื่อมโยงการดำเนินงานวิจัยภายใต้แผนงานวิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศสู่เกษตรกรดิจิทัล

บทคัดย่อ

แผนงานวิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศสู่เกษตรกรดิจิทัล มุ่งเน้นการพัฒนาคุณภาพผลผลิต โดยการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยในการผลิตพืชเศรษฐกิจ ดำเนินการวิจัยในพืชเศรษฐกิจ จำนวน 8 พืช ได้แก่ ทุเรียน มังคุด มะม่วง สับปะรด ลำไย เงาะ ปาล์มน้ำมัน และมันสำปะหลัง ในพื้นที่ 15 จังหวัด ได้แก่จันทบุรี ระยอง ตราด ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี สระแก้ว เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน นครราชสีมา กระบี่ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ได้แก่ สภาพแวดล้อม การปฏิบัติดูแลรักษา ปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสม โรคและศัตรูพืชที่มีความสำคัญ โดยวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมได้ร่วมกับการใช้ปัญญาประดิษฐ์ หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตพืชต่างๆ ผลงานวิจัยที่ได้ คือ โมเดลพยากรณ์ผลผลิตพืชเศรษฐกิจที่วิจัย โมเดลทำนายธาตุไนโตรเจนและโมเดลทำนายธาตุโพแทสเซียมในปาล์มน้ำมัน และโมเดลในการวินิจฉัยอาการบนใบมันสำปะหลัง ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบสารสนเทศได้ 4 ระบบ คือ ระบบบริการภูมิสารสนเทศไม้ผลเศรษฐกิจ ระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน ระบบแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน และระบบจำแนกโรคบนใบมันสำปะหลัง นักวิชาการ เกษตรกร และผู้สนใจสามารถใช้งานระบบเหล่านี้ผ่านเว็บแอปพลิเคชันได้ อีกทั้งโมเดลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้เกิดประโยชน์ต่อไปได้

Abstracts

Research and development on information technology system for digital agriculture. Focus on product quality improvement by bringing information technology to help in the production of economic crops. Conducted research on 8 crops (durian, mangosteen, mango, pineapple, longan, rambutan, oil palm and cassava) in 15 provinces including Chanthaburi, Rayong, Trat, Chachoengsao, Prachinburi, Sa Kaeo, Phetchaburi, Prachuap Khiri Khan, Chiang Mai, Chiang Rai, Lamphun, Nakhon Ratchasima, Krabi, Chumphon and Surat Thani. The objectives of this study were to analyze and analyze factors related to plant growth and yield, such as environment, maintenance practices. The right amount of nutrients Important diseases and pests. Analyzing the data collected together with the use of artificial intelligence. Find the relationship between factors related to crop yields. The result of the research is the forecasting model of the economic crops researched. Nitrogen Prediction Model and Potassium Prediction Model in Oil Palm and a model for diagnosing symptoms on cassava leaves. Developed into 4 information systems, namely the geo-information system for economic fruit yield prediction; Nutrient Assessment System in Oil Palm Fertilizer recommendation system in oil palm and disease identification system on cassava leaves. Academics, farmers and interested parties can use these systems through web applications. Moreover, the model obtained from this research can be developed for further benefits.

แผนงานวิจัยย่อยที่ 1

วิจัยพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ

Developing Geo-information System for Economic Fruit

Yield Prediction

กฤษณา แสงดี สุรพงษ์ ประสิทธิ์วัฒนเสรี นครินทร์ทิพย์ พุทธิสิทธิ์ นวลมณี พรหมนิล วีรศักดิ์ ขุนชำนาญ
วิระ ศรีมาลา เกษมศักดิ์ ผลากร อธิภัทร ธรรมไชยวงูร สุวิชา อ่อนเฉียบ ยรรยง พันธุ์พุกษั สุมิตร วิสัยพร
วลัยภรณ์ ชัยฤทธิไชย นริรัตน์ ชูช่วย

คำสำคัญ

ไม้ผล จักรกลการเรียนรู้ โมเดลการทำนาย สมการถดถอยโลจิสติก

Key words

Fruit, Machine Learning, Model, Logistic Regression

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลผลิตทุเรียน มังคุด มะม่วง สับปะรด ลำไย และเงาะ วิเคราะห์ผลผลิต โดยการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียม จำแนกระดับการให้ผลผลิต จัดทำแผนที่พยากรณ์ และระบบบริการภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี ระยอง ตราด ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี สระแก้ว เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน และสุราษฎร์ธานี ระหว่างปี 2559 – 2564 เลือกใช้โมเดลการเรียนรู้ของเครื่องแบบแมชชีนการฝึก (Supervised Machine Learning) ดำเนินการประเมินปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับการให้ผลผลิต 3 ระดับ (น้อย ปานกลาง และมาก) โดยวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเพื่อทำนายความน่าจะเป็นในการให้ผลผลิตอยู่ในระดับใด จำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ทั้งหมด จำนวน 1,470 ชุดข้อมูล พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตทุเรียน อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01 คือ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ปริมาณฝน และอุณหภูมิสูงสุด ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตมังคุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ความชื้นใต้ทรงพุ่ม ความสูงต้น และปริมาณฝน ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตมะม่วงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ ลักษณะเนื้อดิน การระบายน้ำของดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ระดับความเป็นกรดต่างของดิน ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิต สับปะรดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ ลักษณะดิน การระบายน้ำของดิน และดัชนีความเข้มของสีใบ ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตลำไยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01 คือ อุณหภูมิดิน และ ดัชนีความเข้มของสีใบ และปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตเงาะอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.01 คือ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน อุณหภูมิดิน และดัชนีความเข้มของสีใบ นำโมเดลที่ได้มาพัฒนาเป็นระบบที่เข้าถึงได้ง่าย โดยการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับปริมาณผลผลิตในพื้นที่มีซึ่งพบว่าความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำ และประเมินผลผลิตด้วยค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ และลำพูน พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย เมื่อนำผลผลิตที่คาดการณ์ได้จากสมการกับผลผลิตจริงมีความคลาดเคลื่อนไป 15.93, 7.07 และ 8.62 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ ส่วนการประเมินผลผลิตเงาะด้วยค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย เมื่อนำผลผลิตที่คาดการณ์ได้จากสมการกับผลผลิตจริงมีความคลาดเคลื่อนไป 17.08 กิโลกรัม/ไร่ นำข้อมูลมาพัฒนาร่วมกับโมเดลได้เป็นระบบบริการภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจให้แก่เกษตรกร ผู้สนใจ และผู้บริหารในการวางแผนการจัดการผลิตและผลผลิตพืชผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

Abstracts

The study on analyzing factors of durian, mangosteen, mango, pineapple, longan and rambutan production aims to create model of production level prediction. Translating satellite images classify the yield level. Make a forecast map and a geospatial service system to forecast economic fruit production. Data were collected from the famers in Chanthaburi, Rayong, Trat, Chachoengsao, Prachinburi, Sa Kaeo, Phetchaburi, Prachuap Khiri Khan, Chiang Mai, Chiang Rai, Lamphun and Surat Thani province between 2016 - 2021. Fruits production were labelled as 3 levels (low, moderate, and high), then used logistic regression model to predict production level. There was 1,470 data set. Factors found to affect Durian production level were tree temperature, rainfall per day, and maximum temperature ($P < 0.01$). Factors found to affect mangosteen production level were tree temperature, tree humidity, tree height, and rainfall per day ($P < 0.05$). Factors found to affect mango production level were soil texture, drainage, soil fertility, pH of soil, humidity, tree height, width of canopy tree, maximum temperature and minimum temperature ($P < 0.05$). Factors found to affect pineapple production level were soil texture, drainage and Dark Green Color Index :DGCI ($P < 0.05$). Factors found to affect longan production level were soil temperature and DGCI ($P < 0.01$). And factors found to affect rambutan production level were soil fertility, soil temperature, and DGCI ($P < 0.01$). The resulting model was developed into an easily accessible system. By studying the relationship between vegetation index and productivity in the area, it was found that the relationship was low. The yield was assessed by plant index (NDVI) in the study area in Chiang Rai, Chiang Mai and Lamphun province. It was found that the mean absolute error percentage When applying the predicted yield from the equation with the actual yield, there were errors of 15.93, 7.07 and 8.62 kg/rai, respectively. Assessment of rambutan production by Plant Index (NDVI) in Surat Thani Province. It was found that the mean absolute error percentage when the predicted yield from the equation and actual yield has an error of 17.08 kg/rai. Data can be developed together with model to become a geospatial service system for forecasting economic fruit yields for farmers, interested parties and executives in the study. Plan production and crop yield management via web application.

บทนำ (Introduction)

1. ความสำคัญและที่มาของแผนงานวิจัยย่อย

ปัญหาการพัฒนาการเกษตรของประเทศไทยตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ผลผลิตทางการเกษตรได้ขยายตัวในอัตราที่สูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การผลิตพืชเศรษฐกิจที่มีมูลค่าเกินหนึ่งพันล้านบาทต่อปีมีมากกว่า 10 ชนิด ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ถั่วเหลือง ทูเรียน สับปะรด เป็นต้น ทั้งนี้ ส่วนใหญ่อาศัยการขยายพื้นที่เพาะปลูกโดยการบุกเบิกที่ดินใหม่ โดยไม่คำนึงว่าที่ดินเหล่านั้นจะเหมาะสมกับการผลิตพืชชนิดๆ หรือไม่ ทำให้ประสบปัญหาในระยะยาว และส่งผลกระทบต่อตลาดและราคาสินค้าการเกษตร ตลอดจนเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ จะเห็นได้ว่า การวางแผนและนโยบายภาครัฐด้านการส่งเสริมและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพืช ย่อมต้องการข้อมูลสารสนเทศประกอบการตัดสินใจ ข้อมูลสารสนเทศดังกล่าวควรถูกต้อง ครบถ้วน ปรับปรุงข้อมูลให้ตรงกับสถานการณ์และสภาพที่เป็นปัจจุบัน

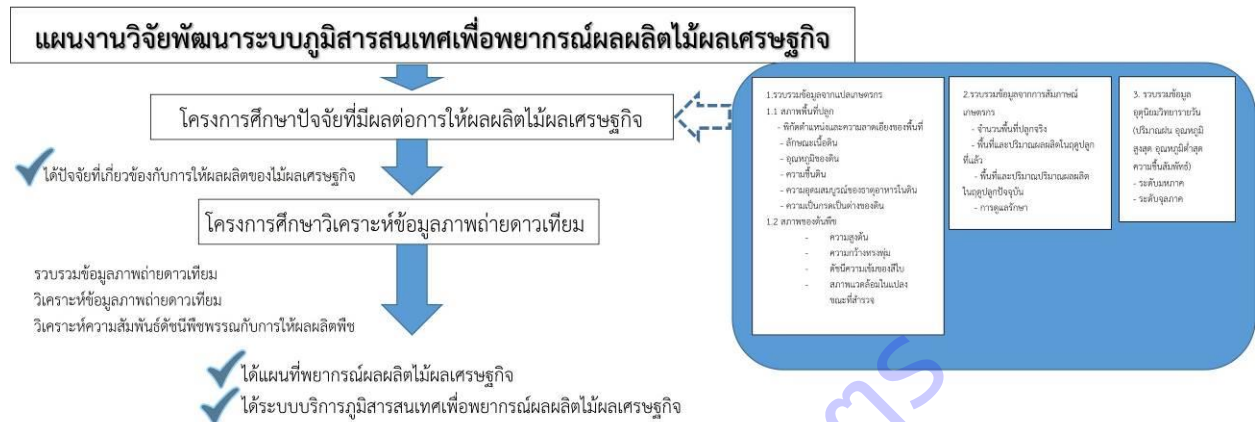
ระบบภูมิสารสนเทศ (Geo information system) สามารถสนองความต้องการดังกล่าว เนื่องจากระบบภูมิสารสนเทศเป็นเทคโนโลยีที่เน้นการบูรณาการระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS : Global Positioning System) การสำรวจและรับรู้จากระยะไกล (RS : Remote Sensing) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS : Geographic Information System) นอกจากนี้ การวิเคราะห์และประเมินผลผลิตไม่ผลจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม สามารถใช้ประกอบการตัดสินใจวางแผนการผลิตได้เป็นอย่างดี และเมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองการผลิตพืช ทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพืช ทั้งปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ เช่น ธาตุอาหารพืช ปุ๋ย น้ำ และปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุม เช่น สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ เพื่อวิเคราะห์และวางแผนระบบการผลิตพืชที่เหมาะสมและสอดคล้องกับความต้องการของตลาด แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ทันกับเหตุการณ์และวางแผนล่วงหน้าได้

การใช้ประโยชน์จากระบบภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิต สามารถนำไปใช้ในการวางแผนพัฒนาและส่งเสริม แนะนำการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม เกษตรกรได้มีแนวทางเลือกเพาะปลูกพืช และเลือกใช้เทคโนโลยีและการบริหารจัดการการผลิตพืชที่เหมาะสมกับเศรษฐกิจและสังคมท้องถิ่นของเกษตรกร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้ผลผลิตต่อไป

ระเบียบวิธีการวิจัย

แผนงานวิจัยพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิตไม่ผลเศรษฐกิจ ประกอบด้วย 2 โครงการ 8 การทดลอง คือ โครงการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการให้ผลผลิตไม่ผลเศรษฐกิจ จำนวน 6 การทดลอง และ โครงการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม จำนวน 2 การทดลอง ดำเนินการในพืชเศรษฐกิจ 6 พืช บนพื้นที่ปลูกสำคัญ 12 จังหวัด ได้แก่ ทูเรียน (จังหวัดจันทบุรี ระยอง ตราด) มังคุด (จังหวัดจันทบุรี ระยอง ตราด) มะม่วง (จังหวัดฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี สระแก้ว) สับปะรด (จังหวัดเพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ลำไย (จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน) และเงาะ (จังหวัดสุราษฎร์ธานี) เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาครัฐ ได้แก่ กรมพัฒนาที่ดิน สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร กรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) และข้อมูลภาคสนาม เช่น ข้อมูลการปลูก การ

จัดการพืช สภาพแวดล้อมในพื้นที่เกษตรกร ร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ผลผลิต ทำนายผลผลิต และพัฒนาเป็นระบบบริการภูมิสารสนเทศ แสดงความเชื่อมโยงของโครงการภายในแผนงานดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความเชื่อมโยงการดำเนินงานวิจัยภายใต้แผนงานวิจัยพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการให้ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ

1.1 กำหนดตัวแปรทำนาย

1) เก็บรวบรวมข้อมูลจากแปลงของเกษตรกรระหว่างเดือนตุลาคม 2558 – กันยายน 2564 ใช้วิธีคัดเลือกแปลงโดยการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) เดินทางไปเก็บข้อมูล 3 ช่วง คือ ระยะเวลาก่อนการให้ผลผลิต ระยะเวลาการให้ผลผลิต และระยะหลังการให้ผลผลิต โดยใช้ข้อมูลตัวแปรทำนาย

2) เก็บรวบรวมข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ใกล้กับแปลงเกษตร ในช่วงวันที่เดินทางไปเก็บข้อมูล โดยได้ข้อมูลตัวแปรทำนาย

3) กำหนดระดับการวัดของตัวแปรทำนาย และความหมาย

1.2 กำหนดตัวแปรเกณฑ์

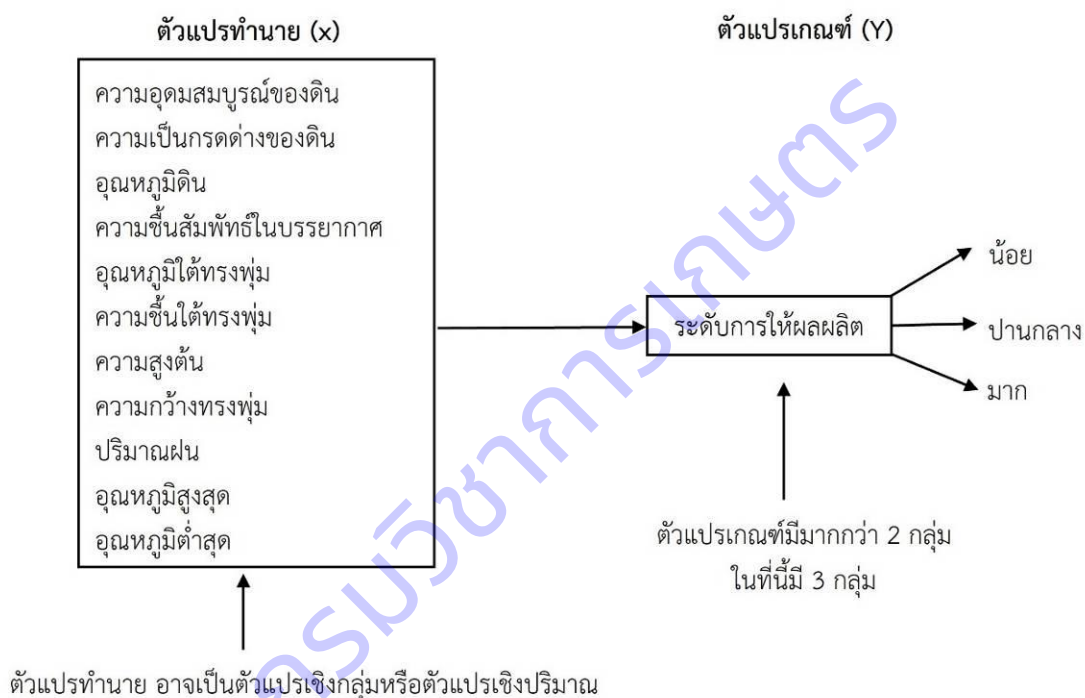
รวบรวมข้อมูลข้อมูลสถิติผลผลิตทุเรียนของจังหวัดจันทบุรี ระยอง ตราด ผลผลิตมังคุดของจังหวัดจันทบุรี ระยอง ตราด ผลผลิตมะม่วงของจังหวัดฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี สระแก้ว ผลผลิตสับปะรดของจังหวัดเพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ผลผลิตลำไยของจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน และผลผลิตเงาะของจังหวัดสุราษฎร์ธานี ระหว่างปี 2554 – 2561 ดำเนินการกำหนดตัวแปรเกณฑ์เป็นระดับการให้ผลผลิต แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ให้ผลผลิตน้อย ปานกลาง และมาก (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การกำหนดตัวแปรเกณฑ์ของระดับการให้ผลผลิตทุเรียน มังคุด มะม่วง สับปะรด ลำไย และเงาะ

ระดับการให้ผลผลิต (Y)	ความหมาย	ช่วงผลผลิต (กก./ไร่)					
		ทุเรียน	มังคุด	มะม่วง	สับปะรด	ลำไย	เงาะ
1	ให้ผลผลิตน้อย	≤ 1,300	≤ 700	≤ 1,400	≤ 3,500	≤ 700	≤ 900
2	ให้ผลผลิตปานกลาง	1,301 – 1,700	701 – 900	1,400 – 1,800	3,501 – 4,600	701 – 900	901 – 1,200
3	ให้ผลผลิตมาก	>1,700	> 900	> 1,800	>4,600	>900	>1,200

1.3 การวิเคราะห์โมเดล

วิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ระหว่างตัวแปรเกณฑ์กับตัวแปรทำนาย (ข้อมูลจากแปลงเกษตรกรและข้อมูลอุตุวิทยามหาวิทยาลัย) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ระหว่างตัวแปรเกณฑ์กับตัวแปรทำนาย

1.4 การคำนวณความถูกต้องของการทำนาย

ความถูกต้อง (Accuracy) หมายถึง ค่าที่ได้จากการทำนายในแต่ละครั้งเข้าใกล้ค่าที่แท้จริงมากน้อยเพียงใด

$$\% \text{ ความถูกต้อง} = 100 - \% \text{ ความคลาดเคลื่อน}$$

$$\text{โดยที่ } \% \text{ ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{\text{ค่าที่แท้จริง} - \text{ค่าที่ทำนายได้}}{\text{ค่าที่ทำนายได้}} \right| \times 100$$

2. ศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ใช้ข้อมูลปฐมภูมิร่วมกับภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลผลิตดาวเทียม จำแนกระดับการให้ผลผลิต จัดทำแผนที่และระบบสารสนเทศพยากรณ์ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ

2.1 การศึกษา วิเคราะห์ และแปลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากข้อมูล LANDSAT 8 ดาวเทียมโพลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำพูน และสุราษฎร์ธานี ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2562 - สิงหาคม 2564 จากเว็บไซต์ <https://earthexplorer.usgs.gov> ซึ่งเป็นข้อมูลเผยแพร่ของสำนักธรณีวิทยา สหรัฐอเมริกา โดยมีรายละเอียดของภาพถ่ายจุดภาพ 30 เมตร

1) การปรับแก้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction)

มีการปรับแก้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิตก่อนนำไปวิเคราะห์ โดยกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs) โดยเลือกให้ครอบคลุมทั้งสองภาพ มีภูมิประเทศที่เห็นได้ชัดเจนและเปลี่ยนแปลงได้ยากทั้งแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 และข้อมูลจากดาวเทียม และเลือกจุดบังคับภาคพื้นดินให้ตรงกันโดยเลือกตำแหน่งให้ชัดเจน พยายามเลือกจุดควบคุมให้กระจายทั่วภาพ จากนั้นแปลงข้อมูล (Transformation) เพื่อปรับแก้ข้อมูลจากดาวเทียมที่ไม่มีพิกัดทางภูมิศาสตร์ให้เป็นข้อมูลที่มีพิกัดทางภูมิศาสตร์โดยใช้แผนที่ฐานมาตราส่วน 1 : 50,000 ที่มีค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ UTM แล้วเป็นภาพอ้างอิง (Reference Map) มาปรับแก้ข้อมูลจากดาวเทียมกับแผนที่ (Map to Image) เมื่อได้ข้อมูลจากดาวเทียมที่มีพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ถูกต้องแล้ว จึงนำมาใช้เป็นภาพต้นแบบ และใช้วิธีการปรับแก้แบบข้อมูลภาพดาวเทียมกับดาวเทียม (Image to Image) เพื่อให้ข้อมูลจากดาวเทียมมีพิกัดตรงกันที่ละแบนด์จนครบทุกแบนด์ จากนั้นแปลงข้อมูลแล้วหรือข้อมูลจากดาวเทียมจะปรับตำแหน่งให้ตรงกับแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 ดังนั้น ข้อมูลจากดาวเทียมตำแหน่งจะผิดไปจากเดิม โปรแกรมจะคำนวณหาค่าสะท้อนแสงให้ใหม่ (Digital Number : DN)

2) การทำภาพผสมสี (Color Composition)

เป็นวิธีการทำให้เกิดภาพสี ด้วยการนำข้อมูลครั้งละ 3 ช่วงคลื่นมาผสมสีในแม่สีหลัก 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ทำให้เกิดเป็นภาพต่างๆ โดยใช้แบนด์ 5-4-3 กับแม่สีหลัก สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

3) ตรวจสอบความถูกต้องการจำแนกพื้นที่ปลูกพืช

ตรวจสอบความถูกต้องพื้นที่ที่ได้จากการจำแนกจากภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยลงพื้นที่สำรวจด้วยเครื่อง GPS และการประเมินความถูกต้อง (Accuracy Assessment) โดยกำหนดจุดตัวอย่าง (Sampling Point) กับพื้นที่จริง นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบค่าความถูกต้องจากภาคสนามมาทำการปรับแก้แผนที่ที่ได้จากการแปลภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อให้มีความถูกต้องมากที่สุด สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ความถูกต้องทั้งหมด} = (\text{ผลรวมของจุดภาพที่ถูกต้องทั้งหมด} / \text{ผลรวมของจุดภาพทั้งหมด}) \times 100$$

$$\text{ความถูกต้องประเภทข้อมูล} = (\text{จุดภาพที่ถูกต้อง} / \text{จุดภาพที่ถูกต้อง} + \text{Omission} + \text{Commission}) \times 100$$

4) จัดทำระบบบริการภูมิสารสนเทศ ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน โดยนำข้อมูลแบบจำลองการจำแนกระดับการให้ผลผลิต มาใช้ในการพัฒนาระบบที่สามารถแสดงผลแผนที่ระดับการให้ผลผลิตโดยใช้โปรแกรม Opensource

2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดัชนีพืชพรรณกับการให้ผลผลิตพืช

1) การรวบรวมและเตรียมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ปริมาณผลผลิต และการจัดการพื้นที่ปลูกพืชจากการสำรวจภาคสนามโดยตรง และข้อมูลทุติยภูมิ คือ ดาวเทียมภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำพูน และสุราษฎร์ธานี ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2563 - สิงหาคม 2564 จากเว็บไซต์ <https://earthexplorer.usgs.gov> ซึ่งเป็นข้อมูลเผยแพร่ของสำนักธรณีวิทยา สหรัฐอเมริกา โดยมีรายละเอียดของภาพถ่ายจุดภาพ 30 เมตร จากนั้นนำภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 มาผสมสีเท็จ ช่วงคลื่น R:5 G:6 B:3 และตัดภาพถ่ายดาวเทียมเฉพาะบริเวณพื้นที่ศึกษา

2) การวิเคราะห์ข้อมูล

- การคำนวณดัชนีพืชพรรณ (NDVI) จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat-8 ใช้ค่าการสะท้อนแบนด์ 4 (RED) และแบนด์ 5 (NIR) โดยคำนวณจากสูตรของ Geospatial (Geospatial, 2016) ดังสมการ

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED})$$

$$\text{แทนค่าสูตรเป็น NDVI} = (\text{band 5} - \text{band 4}) / (\text{band 5} + \text{band 4})$$

โดยที่ ρ_{NIR} = ค่าการสะท้อน (spectral reflectance) ของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (band5) ของดาวเทียม Landsat 8

ρ_{RED} = ค่าการสะท้อน (spectral reflectance) ของช่วงคลื่นสีแดง (band4) ของดาวเทียม Landsat 8

ค่าของ NDVI อยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง +1 บริเวณที่ค่า NDVI เป็นลบพื้นที่จะเป็นพื้นที่น้ำ ในขณะที่พื้นที่ที่ค่า NDVI เข้าใกล้ค่า 0 แสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณสีเขียวอ่อน และพื้นที่ที่มีพืชสีเขียวปกคลุมมากขึ้น จะยังมีค่าเข้าใกล้ +1 มากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากคุณสมบัตินี้ NDVI จึงเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และทำนายการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณที่มีผลจากการกระทบจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ ได้ (Singh, Roy, & Kogan, 2003; Wang, Price, & Rich, 2003) สามารถแสดงให้เห็นรูปแบบของพืชพรรณที่แตกต่างกันไปในแต่ละสภาพภูมิประเทศ ซึ่งใช้ในการจำแนกชนิดของพืชพรรณและวางแผนการเพาะปลูกได้ (Jing et al., 2005)

จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณและผลผลิตที่ได้จากการสำรวจมาหาความสัมพันธ์โดยใช้การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple linear regression and correlation) หาค่าสมการที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร (X และ Y) ที่มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นตรง เพื่อนำมาใช้ในการประเมินปริมาณผลผลิต

- การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) คือ ผลผลิตรายแปลง และตัวแปรต้น (X) คือ ดัชนีพืชพรรณที่เฉลี่ยในขอบเขตพื้นที่ของแต่ละแปลง การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple linear regression and correlation) หาค่าสมการที่มีความสัมพันธ์

ระหว่าง 2 ตัวแปร (X และ Y) ที่มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นตรงในรูป $y = a + bx$ เพื่อใช้ในการทำนายหรือ คาดการณ์ต่อไป

การประเมินว่าสมการถดถอยที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวแปรได้ดีเพียงใด นั่นคือ การประเมินจากค่า R-Squared (R^2) หรือที่รู้จักกันว่าเป็นค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) ซึ่งค่า R-Squared จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งสามารถแปลตีความในรูปของ 0% - 100% โดยค่าเปอร์เซ็นต์ยิ่งมีค่ามากหมายความว่าตัวแบบสามารถคำนวณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าสังเกตมาก ในทางทฤษฎีถ้าตัวแบบสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 100% หมายความว่า ค่าที่คำนวณได้จะมีค่าเท่ากับค่าที่สังเกตได้ ดังนั้น ค่าข้อมูลที่สังเกตได้จะอยู่บนเส้นตรงของตัวแบบคณิตศาสตร์ทุกจุด (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี, 2559) หรืออาจกล่าวได้ว่ายิ่งค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R^2) ยิ่งเข้าใกล้ 1 แสดงว่าค่า X และ Y ยิ่งมีความสัมพันธ์กันมาก

- การตรวจสอบความถูกต้องในการประเมินผลผลิต สามารถประเมินได้เมื่อผลผลิตมีความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากสมการ โดยนำผลผลิตที่ได้จากการประเมินมาคำนวณกับผลผลิตจริงจากการสัมภาษณ์ โดยคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (percentage error) และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สัมบูรณ์ (mean absolute percent error, MAPE) ดังนี้

$$PE = \frac{X_i - F_i}{X_i} \times 100$$

$$MAPE = \sum_{i=1}^n |PE_i|$$

เมื่อ PE = เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (percentage error)

PE = ค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

F_i = ค่าคาดการณ์ของช่วงเวลา i

X_i = ค่าที่ได้จากการสำรวจ ณ ช่วงเวลาที่ i เมื่อ $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$

N = จำนวนตัวอย่าง

ผลการวิจัย (Results)

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการให้ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ

1.1 ลักษณะข้อมูลตัวแปรที่รวบรวมได้

1) ผลการสำรวจและรวบรวมข้อมูลตัวแปรทำนาย พบว่าตัวแปรทำนายหรือปัจจัยต่างๆที่คาดว่าจะมีผลต่อระดับการให้ผลผลิต (ตารางที่ 2 - 8) มีดังนี้

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของข้อมูลตัวแปรทำนายระดับการให้ผลผลิตทุเรียนที่รวบรวมได้ (N = 270)

ตัวแปรทำนาย	จันทบุรี		ระยอง		ตราด		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
X₁ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน								
ต่ำมาก	12	13.3	20	22.2	27	30.0	59	21.9
ต่ำ	22	24.4	29	32.2	22	24.4	73	27.0
ปานกลาง	13	14.4	12	13.4	12	13.4	37	13.7
สูง	33	36.7	20	22.2	26	28.9	79	29.3
สูงมาก	10	11.1	9	10.0	3	3.3	22	8.1
X₂ ความเป็นกรดต่างของดิน (pH)								
น้อยกว่า 6.1	21	23.3	17	18.9	17	18.9	55	20.4
6.1 – 7.0	24	26.7	13	14.4	25	27.8	62	23.0
มากกว่า 7.0	45	50.0	60	66	48	53.3	153	56.6
X₃ อุณหภูมิดิน (องศาเซลเซียส)								
น้อยกว่า 21	4	4.4	-	-	5	5.6	9	3.3
21 – 25	34	37.8	19	21.1	38	42.2	91	33.7
26 – 30	50	55.6	68	75.6	45	50.0	163	60.4
มากกว่า 30	2	2.2	3	3.3	2	2.2	7	2.6
X₄ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ (เปอร์เซ็นต์)								
น้อยกว่า 71	10	11.1	11	12.2	6	6.7	27	10.0
71 - 80	10	11.1	43	47.8	34	37.8	87	32.2
มากกว่า 80	70	77.8	36	40.0	50	55.5	153	57.8
X₅ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม (องศาเซลเซียส)								
น้อยกว่า 26	14	15.6	1	1.1	17	18.9	32	11.9
26 – 30	18	20.0	24	26.6	17	18.9	59	21.8
31 – 35	55	61.1	57	63.4	18.9	54.4	161	59.6
มากกว่า 35	3	3.3	8	8.9	7	7.8	18	6.7
X₆ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม (เปอร์เซ็นต์)								

ตัวแปรทำนาย	จันทบุรี		ระยอง		ตราด		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
น้อยกว่า 36	7	7.8	-	-	-	-	7	2.5
36 – 55	20	22.2	24	26.7	28	31.1	72	26.7
56 – 75	44	48.9	59	65.5	47	52.2	150	55.6
มากกว่า 75	19	21.1	7	7.8	15	16.7	41	15.2
X₇ ความสูงต้น (เซนติเมตร)								
น้อยกว่า 501	-	-	-	-	2	2.2	2	0.7
501 - 800	26	28.9	24	26.7	5.2	57.8	102	37.8
801 -1,100	56	62.2	65	72.2	35	38.9	156	57.8
มากกว่า 1,100	8	8.9	1	1.1	1	1.1	10	3.7
X₈ ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)								
น้อยกว่า 501	1	1.1	-	1.2	3	3.3	4	1.5
501 - 800	23	25.6	13.3	13.3	45	50.0	80	29.6
801 -1,100	60	66.6	78	86.7	41	45.6	179	66.3
มากกว่า 1,100	6	6.7	-	-	1	1.1	7	2.6
X₉ ปริมาณฝนต่อวัน (มิลลิเมตร)								
น้อยกว่า 1.01	56	62.3	67	74.5	41	45.6	164	60.8
1.01 – 5.00	4	4.4	1	14.4	19	21.1	36	13.3
5.01 – 10.00	20	22.2	16	11.1	10	11.1	40	14.8
10.01 – 15.00	10	11.1	-	-	1	1.1	11	4.1
มากกว่า 15.00	-	-	-	-	19	21.1	19	7.0
X₁₀ อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)								
น้อยกว่า 31	18	20.0	18	20.0	35	38.9	71	26.3
31 - 33	38	42.2	41	45.6	22	24.4	1.1	37.4
มากกว่า 33	34	37.8	31	34.4	33	36.7	98	36.3
X₁₁ อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)								
น้อยกว่า 21	20	22.2	10	11.1	16	17.8	46	17.0
21 – 23	17	18.9	-	-	14	15.6	31	11.5
24 – 26	43	47.8	26	28.9	60	66.6	129	47.8
มากกว่า 26	10	11.1	54	60.0	-	-	64	23.7

ตารางที่ 3 จำนวนและร้อยละของข้อมูลตัวแปรทำนายระดับการให้ผลผลิตมังคุดที่รวบรวมได้ (N = 270)

ตัวแปรทำนาย	จันทบุรี		ระยอง		ตราด		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
X ₁ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน								
ต่ำมาก	17	18.89	14	15.55	18	20.00	49	18.15
ต่ำ	19	21.11	22	24.44	24	26.67	65	24.08
ปานกลาง	24	26.67	15	16.67	23	25.56	62	22.96
สูง	20	22.22	23	25.56	14	15.56	57	21.11
สูงมาก	10	11.11	16	17.78	11	12.22	37	13.70
X ₂ ความเป็นกรดต่างของดิน (pH)								
น้อยกว่า 6.1	17	18.89	20	22.22	17	18.89	54	20.00
6.1 – 7.0	31	34.44	32	35.56	23	25.55	86	31.85
มากกว่า 7.0	42	46.67	38	42.22	50	55.56	130	48.15
X ₃ อุณหภูมิดิน (องศาเซลเซียส)								
น้อยกว่า 21	8	8.89	1	1.11	7	7.78	16	5.92
21 – 25	62	68.89	44	48.89	73	81.11	179	66.30
26 – 30	20	22.22	42	46.67	10	11.11	72	26.67
มากกว่า 30	-	-	3	3.33	-	-	3	1.11
X ₄ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ (เปอร์เซ็นต์)								
น้อยกว่า 71	10	11.11	11	12.22	6	6.67	27	10.00
71 - 80	10	11.11	43	47.78	24	26.66	77	28.52
มากกว่า 80	70	77.78	36	40.00	60	66.67	166	61.48
X ₅ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม (องศาเซลเซียส)								
น้อยกว่า 26	15	16.67	1	1.11	18	20.00	34	12.59
26 – 30	33	36.67	29	32.22	29	32.22	91	33.70
31 – 35	41	45.55	59	65.56	42	46.67	142	52.60
มากกว่า 35	1	1.11	1	1.11	1	1.11	3	1.11
X ₆ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม (เปอร์เซ็นต์)								
น้อยกว่า 36	7	7.78	3	3.33	-	-	10	3.70
36 – 55	21	23.33	28	31.11	27	30.00	76	28.15
56 – 75	39	43.33	52	57.78	39	43.33	130	48.15
มากกว่า 75	23	25.55	7	7.78	24	26.67	54	20.00

ตัวแปรทำนาย	จันทบุรี		ระยอง		ตราด		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
X ₇ ความสูงต้น (เซนติเมตร)								
น้อยกว่า 501	-	-	5	5.56	2	2.22	7	2.59
501 - 800	71	78.89	67	74.44	75	83.33	213	78.89
801 -1,100	17	18.89	17	18.89	13	14.45	47	17.41
มากกว่า 1,100	2	2.22	1	1.11	-	-	3	1.11
X ₈ ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)								
น้อยกว่า 501	1	1.11	-	-	3	3.33	4	1.48
501 - 800	61	67.78	62	68.89	66	73.34	189	70.00
801 -1,100	28	31.11	28	31.11	20	22.22	76	28.15
มากกว่า 1,100	-	-	-	-	1	1.11	1	0.37
X ₉ ปริมาณฝนต่อวัน (มิลลิเมตร)								
น้อยกว่า 1.01	40	44.44	67	74.45	41	45.56	148	54.81
1.01 – 5.00	14	15.56	13	14.44	20	22.22	47	17.41
5.01 – 10.00	10	11.11	10	11.11	10	11.11	30	11.11
10.01 – 15.00	16	17.78	-	-	-	-	16	5.93
มากกว่า 15.00	10	11.11	-	-	19	21.11	29	10.74
X ₁₀ อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)								
น้อยกว่า 31	18	20.00	19	21.11	15	16.67	52	19.26
31 - 33	48	53.33	50	55.56	52	57.78	150	55.56
มากกว่า 33	24	26.67	21	23.33	23	25.55	68	25.18
X ₁₁ อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)								
น้อยกว่า 21	10	11.11	-	-	6	6.67	16	5.93
21 – 23	25	27.78	-	-	24	26.67	49	18.15
24 – 26	55	61.11	47	52.22	60	66.60	162	60.00
มากกว่า 26	-	-	43	47.78	-	-	43	15.92

ตารางที่ 4 จำนวนและร้อยละของข้อมูลตัวแปรทำนายระดับการให้ผลผลิตมะม่วงจังหวัดฉะเชิงเทรา ที่รวบรวมได้

(N = 90)

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
X ₁ ลักษณะเนื้อดิน		
ดินทราย	37	41.1
ดินร่วนปนทราย	25	27.8
ดินร่วน	19	21.1
ดินเหนียว	9	10.0
X ₂ การระบายน้ำของดิน		
ไม่ดี	15	16.7
ปานกลาง	33	36.7
ดี	39	46.6
X ₃ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน		
ต่ำมาก	19	21.1
ต่ำ	9	10.0
ปานกลาง	19	21.1
สูง	25	27.8
สูงมาก	18	20.0
X ₄ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน		
น้อยกว่า 6.0	19	21.1
6.1 – 7.0	24	26.7
มากกว่า 7.0	47	52.2
X ₅ อุณหภูมิดิน (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 25	20	22.2
25 – 30	57	63.3
30 – 35	8	8.9
มากกว่า 35	5	5.6
X ₆ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ (%)		
น้อยกว่า 70	10	11.1
70 – 80	32	35.6
มากกว่า 80	48	53.3
X ₇ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม (%)		
น้อยกว่า 50	23	25.5

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
50 – 60	37	41.1
60 – 70	23	25.6
70 – 80	1	1.1
มากกว่า 80	6	6.7
<hr/>		
X ₈ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 25	10	11.1
25 – 30	12	13.3
30 – 35	57	63.4
มากกว่า 35	11	12.2
<hr/>		
X ₉ ความสูงต้น (เซนติเมตร)		
น้อยกว่า 300	7	7.8
301 – 399	16	17.8
400 – 499	29	32.2
500 – 600	27	30.0
มากกว่า 600	11	12.2
<hr/>		
X ₁₀ ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)		
น้อยกว่า 500	30	33.3
500 – 599	14	15.6
600 – 699	22	24.4
700 – 800	14	15.6
มากกว่า 800	10	11.1
<hr/>		
X ₁₁ ดัชนีความเข้มของสีใบ (%)		
น้อยกว่า 41	6	6.7
41 – 50	51	56.7
51 – 60	32	35.5
มากกว่า 60	1	1.1
<hr/>		
X ₁₂ ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)		
0 – 9	71	78.9
11 – 19	9	10.0
20 - 30	10	11.1
<hr/>		
X ₁₃ อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 32	10	11.1

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
32 – 34	35	38.9
34 – 36	35	38.9
มากกว่า 36	10	11.1
X ₁₄ อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 23	32	35.5
23 – 24	24	26.7
24 – 25	18	20.0
มากกว่า 25	16	17.8

ตารางที่ 5 จำนวนและร้อยละของข้อมูลตัวแปรทำนายระดับการให้ผลผลิตมะม่วงจังหวัดปราจีนบุรี
ที่รวบรวมได้ (N = 90)

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
X ₁ ลักษณะเนื้อดิน		
ดินทราย	36	40.0
ดินร่วนปนทราย	41	45.6
ดินร่วน	12	13.3
ดินเหนียว	1	1.1
X ₂ การระบายน้ำของดิน		
ไม่ดี	15	16.6
ปานกลาง	33	36.7
ดี	42	46.7
X ₃ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน		
ต่ำมาก	28	31.2
ต่ำ	20	22.2
ปานกลาง	22	24.4
สูง	19	21.1
สูงมาก	1	1.1
X ₄ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน		
น้อยกว่า 6.0	9	10.0
6.1 – 7.0	21	23.3
มากกว่า 7.0	60	66.7
X ₅ อุณหภูมิดิน (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 20	3	3.3

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
20 – 25	32	35.5
25 – 30	41	45.6
มากกว่า 30	14	15.6
<hr/>		
X ₆ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ (%)		
น้อยกว่า 70	25	27.7
70 – 80	45	50.0
มากกว่า 80	20	22.3
<hr/>		
X ₇ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม (%)		
น้อยกว่า 50	38	42.2
50 – 60	25	27.8
60 – 70	14	15.6
70 - 80	9	10.0
มากกว่า 80	4	4.4
<hr/>		
X ₈ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 25	10	11.1
25 – 30	18	20.0
30 – 35	49	54.4
มากกว่า 35	13	14.4
<hr/>		
X ₉ ความสูงต้น (เซนติเมตร)		
น้อยกว่า 300	1	1.1
300 – 399	7	7.8
400 – 499	35	38.9
500 – 600	42	46.6
มากกว่า 600	5	5.6
<hr/>		
X ₁₀ ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)		
น้อยกว่า 500	1	1.1
500 – 599	2	2.2
600 – 699	33	36.7
700 – 800	44	48.9
มากกว่า 800	10	11.1
<hr/>		
X ₁₁ ดัชนีความเข้มของสีใบ (%)		
น้อยกว่า 41	4	4.4

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
41 – 51	52	57.8
51 – 61	32	35.6
มากกว่า 61	2	2.2
X₁₂ ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)		
0 – 19	80	88.9
20 – 39	6	6.7
> 40	4	4.4
X₁₃ อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 32	9	10.0
32 – 33	26	28.9
34 - 35	43	47.8
มากกว่า 36	12	13.3
X₁₄ อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 23	26	28.9
23 – 24	20	22.2
24 – 25	6	6.7
มากกว่า 25	38	42.2

ตารางที่ 6 จำนวนและร้อยละของข้อมูลตัวแปรทำนายระดับการให้ผลผลิตมะม่วงจังหวัดสระแก้วที่รวบรวมได้ (N = 90)

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
X₁ ลักษณะเนื้อดิน		
ดินทราย	22	24.4
ดินร่วนปนทราย	49	54.4
ดินร่วน	5	5.6
ดินเหนียว	14	15.6
X₂ การระบายน้ำของดิน		
ไม่ดี	9	10.0
ปานกลาง	36	40.0
ดี	45	50.0
X₃ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน		
ต่ำมาก	36	40.0
ต่ำ	11	12.2

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
ปานกลาง	12	13.3
สูง	20	22.2
สูงมาก	11	12.2
X ₄ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน		
น้อยกว่า 6.0	25	27.8
6.1 – 7.0	64	71.1
มากกว่า 7.0	1	1.1
X ₅ อุณหภูมิดิน (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 25	23	25.6
25 – 20	48	53.3
30 – 35	15	16.7
มากกว่า 35	4	4.4
X ₆ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ (%)		
น้อยกว่า 70	17	18.9
70 – 80	31	34.4
มากกว่า 80	42	46.7
X ₇ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม (%)		
น้อยกว่า 50	36	40.0
50 – 60	33	36.7
60 – 70	11	12.2
70 - 80	6	6.7
มากกว่า 80	4	4.4
X ₈ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 25	13	14.4
25 – 30	13	14.4
30 – 35	58	64.4
มากกว่า 35	6	6.8
X ₉ ความสูงต้น (เซนติเมตร)		
306 – 405	12	13.4
406 – 505	30	33.3
506 – 605	40	44.4

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
มากกว่า 606	8	8.9
X₁₀ ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)		
น้อยกว่า 500	8	8.9
500 – 599	19	21.1
600 – 699	25	27.8
700 – 800	27	30.0
มากกว่า 800	11	12.2
X₁₁ ดัชนีความเข้มของสีใบ (%)		
น้อยกว่า 41	5	5.6
41 – 51	47	52.2
51 – 61	38	42.2
X₁₂ ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)		
0 – 19	80	88.9
20 – 39	6	6.7
> 40	4	4.4
X₁₃ อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 32	10	11.1
32 – 33	24	26.7
34 - 35	46	51.1
มากกว่า 36	10	11.1
X₁₄ อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 23	38	42.2
23 – 24	14	15.5
24 – 25	15	16.7
มากกว่า 25	23	25.6

ตารางที่ 7 จำนวนและร้อยละของข้อมูลตัวแปรทำนายระดับการให้ผลผลิตสับปะรด จังหวัดเพชรบุรีที่รวบรวมได้ (N = 60)

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
X₁ ลักษณะเนื้อดิน		
ดินทราย	12	20.0
ดินร่วนปนทราย	48	80.0
ดินร่วน	-	-

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
ดินเหนียว	-	-
X ₂ การระบายน้ำของดิน		
ไม่ดี	-	-
ปานกลาง	54	90.0
ดี	6	10.0
X ₃ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน		
ต่ำมาก	12	20.0
ต่ำ	20	33.3
ปานกลาง	17	28.3
สูง	10	16.7
สูงมาก	1	1.7
X ₄ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน		
น้อยกว่า 6.0	12	20.0
6.1 – 7.0	44	73.3
มากกว่า 7.0	4	6.7
X ₅ อุณหภูมิดิน (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 25	11	18.3
25 – 30	30	50.0
30 – 35	14	23.4
มากกว่า 35	5	8.3
X ₆ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ (%)		
น้อยกว่า 71	10	16.7
71 – 81	20	33.3
มากกว่า 81	30	50.0
X ₇ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม (%)		
น้อยกว่า 35	4	6.7
35 – 55	39	65.0
55 – 75	14	23.3
มากกว่า 75	3	5.0
X ₈ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 25	1	1.7
25 – 30	8	13.3

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
30 – 35	40	66.7
มากกว่า 35	11	18.3
<hr/>		
X ₉ ความสูงต้น (เซนติเมตร)		
น้อยกว่า 50	2	3.3
50 – 70	24	40.0
70 – 90	32	53.4
มากกว่า 90	2	3.3
<hr/>		
X ₁₀ ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)		
น้อยกว่า 50	2	3.3
60 – 70	1	1.7
70 – 80	17	28.3
80 – 90	14	23.3
มากกว่า 90	26	43.4
<hr/>		
X ₁₁ ดัชนีความเข้มของสีใบ (%)		
น้อยกว่า 30	2	3.3
30 – 40	21	35.0
40 – 50	28	46.7
มากกว่า 50	9	15.0
<hr/>		
X ₁₂ ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)		
0 – 1	30	50.0
1 – 2	10	16.7
2 – 3	10	16.7
> 5	10	16.6
<hr/>		
X ₁₃ อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)		
31 – 32	20	33.3
32 – 33	17	28.4
34 – 35	23	38.3
<hr/>		
X ₁₄ อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 23	3	5.0
23 – 25	17	28.3
25 – 27	30	50.0

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
มากกว่า 27	10	16.7

ตารางที่ 8 จำนวนและร้อยละของข้อมูลตัวแปรทำนายระดับการให้ผลผลิตสับปะรด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่รวบรวมได้ (N = 60)

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
X₁ ลักษณะเนื้อดิน		
ดินทราย	12	20.0
ดินร่วนปนทราย	48	80.0
ดินร่วน	-	-
ดินเหนียว	-	-
X₂ การระบายน้ำของดิน		
ไม่ดี	-	-
ปานกลาง	54	90.0
ดี	6	10.0
X₃ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน		
ต่ำมาก	12	20.0
ต่ำ	20	33.3
ปานกลาง	17	28.3
สูง	10	16.7
สูงมาก	1	1.7
X₄ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน		
น้อยกว่า 6.0	12	20.0
6.1 – 7.0	44	73.3
มากกว่า 7.0	4	6.7
X₅ อุณหภูมิดิน (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 25	11	18.3
25 – 30	30	50.0
30 – 35	14	23.4
มากกว่า 35	5	8.3
X₆ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ (%)		
น้อยกว่า 70	10	16.7
70 – 80	30	50.0
มากกว่า 80	20	33.3

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
X ₇ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม (%)		
น้อยกว่า 35	4	6.7
35 – 55	39	65.0
55 – 75	14	23.3
มากกว่า 75	3	5.0
X ₈ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 25	1	1.7
25 – 30	8	13.3
30 – 35	40	66.7
มากกว่า 35	11	18.3
X ₉ ความสูงต้น (เซนติเมตร)		
น้อยกว่า 50	2	3.3
50 – 70	24	40.0
70 – 90	32	53.4
มากกว่า 90	2	3.3
X ₁₀ ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)		
น้อยกว่า 50	2	3.3
60 – 70	1	1.7
70 – 80	17	28.3
80 – 90	14	23.4
มากกว่า 90	26	43.3
X ₁₁ ดัชนีความเข้มของสีใบ (%)		
น้อยกว่า 30	2	3.3
30 – 40	21	35.0
40 – 50	28	46.7
มากกว่า 50	9	15.0
X ₁₂ ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)		
0 – 1	30	50.0
1 – 2	10	16.7
2 – 3	10	16.7
> 5	10	16.7
X ₁₃ อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)		

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
31 - 32	20	33.3
32 - 33	17	28.4
34 - 35	23	38.3
X ₁₄ อุณหภูมิต่ำสุด (องศาเซลเซียส)		
น้อยกว่า 23	3	5.0
23 - 25	17	28.4
25 - 27	30	50.0
มากกว่า 27	10	16.7

2) ผลการสำรวจและรวบรวมข้อมูลตัวแปรเกณฑ์ (Y) ดังตารางที่ 9 - 14

ตารางที่ 9 จำนวนและร้อยละของข้อมูลตัวแปรเกณฑ์ที่รวบรวมได้ของทุเรียน (N = 270)

ตัวแปรเกณฑ์	จันทบุรี		ระยอง		ตราด		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ระดับการให้ผลผลิต								
น้อย	22	24.4	20	22.2	21	23.3	63	23.3
ปานกลาง	13	14.4	27	30.0	29	32.3	69	25.6
มาก	55	61.2	43	47.8	40	44.4	138	51.1

ตารางที่ 10 จำนวนและร้อยละของข้อมูลตัวแปรเกณฑ์ที่รวบรวมได้ของมังคุด (N = 270)

ตัวแปรเกณฑ์	จันทบุรี		ระยอง		ตราด		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ระดับการให้ผลผลิต								
น้อย	26	28.89	27	30.00	27	30.00	84	29.63
ปานกลาง	25	27.78	22	24.44	29	32.22	76	28.15
มาก	39	43.33	41	45.56	34	37.78	114	42.22

ตารางที่ 11 จำนวนและร้อยละของข้อมูลตัวแปรเกณฑ์ที่รวบรวมได้ของมะม่วง (N = 270)

ตัวแปรเกณฑ์	ฉะเชิงเทรา		ปราจีนบุรี		สระแก้ว		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ระดับการให้ผลผลิต								
น้อย	49	54.4	55	61.1	42	46.7	146	54.07
ปานกลาง	24	26.7	26	28.9	38	42.2	88	32.60
มาก	17	18.9	9	10.0	10	11.1	36	13.33

ตารางที่ 12 จำนวนและร้อยละของข้อมูลตัวแปรเกณฑ์ที่รวบรวมได้ของสับปะรด (N = 120)

ตัวแปรเกณฑ์	เพชรบุรี		ประจวบคีรีขันธ์		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ระดับการให้ผลผลิต						
น้อย	12	20.0	12	20.0		
ปานกลาง	19	31.7	19	31.7		
มาก	29	48.3	29	48.3		

ตารางที่ 13 จำนวนและร้อยละของข้อมูลตัวแปรเกณฑ์ที่รวบรวมได้ของลำไย (N = 405)

ตัวแปร ทำนาย	เชียงใหม่		เชียงราย		ลำพูน		รวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ระดับการให้ผลผลิต								
น้อย	90	34.6	80	30.8	90	34.6	260	33.3
ปานกลาง	19	33.3	26	45.6	12	37.5	57	38.8
มาก	26	29.5	29	33.3	33	33.3	88	32.03

ตารางที่ 14 จำนวนและร้อยละของข้อมูลตัวแปรเกณฑ์ที่รวบรวมได้ของเงาะ (N = 135)

ตัวแปรทำนาย	จำนวน	ร้อยละ
ระดับการให้ผลผลิต		
น้อย	91	67.4
ปานกลาง	16	11.9
มาก	28	20.7

1.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติก

ผลการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกระหว่างตัวแปรทำนาย (ข้อมูลจากแปลงเกษตรกรและข้อมูล
 อดุณิยมวิทยา) กับตัวแปรเกณฑ์ (ระดับการให้ผลผลิต) เป็นดังนี้

1) ทูเรียน

พบว่าตัวแปรทำนายที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตทูเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ
 0.01 คือ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ปริมาณฝน และอุณหภูมิสูงสุด ส่วนตัวแปรอื่น ได้แก่ ความอุดมสมบูรณ์ดิน ความ
 เป็นกรดต่างของดิน อุณหภูมิดิน ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม ความสูงต้น ความกว้างทรง
 พุ่ม และอุณหภูมิต่ำสุด ไม่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตทูเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกระหว่างตัวแปรทำนายต่างๆ กับตัวแปรเกณฑ์ (ระดับการให้ผลผลิตทุเรียน)

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์	อัตราส่วน Odds	Z	นัยสำคัญของ Z	ช่วงความเชื่อมั่น 95%
ค่าคงที่ (1)	5.76		1.02	0.310	
ค่าคงที่ (2)	7.49		1.32	0.188	
X ₁ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	0.33	1.39	2.38	0.017	1.06-1.82
X ₂ ความเป็นกรดต่างของดิน	-0.55	0.58	-1.84	0.066	0.32-1.04
X ₃ อุณหภูมิดิน	-0.08	0.93	-1.12	0.262	0.81-1.06
X ₄ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ	-0.05	0.95	-1.43	0.152	0.89-1.02
X ₅ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม	0.35	1.42	5.21	0.000*	1.24-1.62
X ₆ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม	0.01	1.01	0.45	0.655	0.97-1.05
X ₇ ความสูงต้น	-0.00	1.00	-0.12	0.908	1.00-1.00
X ₈ ความกว้างทรงพุ่ม	-0.00	1.00	-1.58	0.113	1.00-1.00
X ₉ ปริมาณฝน	0.13	1.13	4.57	0.000*	1.07-1.20
X ₁₀ อุณหภูมิสูงสุด	-0.40	0.67	-3.41	0.001*	0.53-0.84
X ₁₁ อุณหภูมิต่ำสุด	0.16	1.17	1.97	0.048	1.00-1.37

* นัยสำคัญเชิงทางสถิติที่ระดับ 0.01

2) มังคุด

พบว่าตัวแปรทำนายที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตมังคุดอย่างมีนัยสำคัญเชิงทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ความชื้นใต้ทรงพุ่ม ความสูงต้น และปริมาณฝน ส่วนตัวแปรอื่น ได้แก่ ความอุดมสมบูรณ์ดิน ความเป็นกรดต่างของดิน อุณหภูมิดิน ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ความกว้างทรงพุ่ม อุณหภูมิสูงสุด และ อุณหภูมิต่ำสุด ไม่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตมังคุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกระหว่างตัวแปรทำนายต่างๆ กับตัวแปรเกณฑ์ (ระดับการให้ผลผลิตมังคุด)

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์	อัตราส่วน Odds	Z	นัยสำคัญของ Z	ช่วงความเชื่อมั่น 95%
ค่าคงที่(1)	-3.57		-0.85	0.40	
ค่าคงที่(2)	-1.50		-0.36	0.72	
X ₁ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	-0.05	0.95	-0.26	0.80	0.67-1.36
X ₂ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน	-0.40	0.67	-1.49	0.14	0.40-1.14

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์	อัตราส่วน Odds	Z	นัยสำคัญของ Z	ช่วงความเชื่อมั่น 95%
X ₃ อุณหภูมิดิน	-0.19	0.83	-2.59	0.01*	0.72-0.95
X ₄ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ	0.05	1.05	1.57	0.12	0.99-1.13
X ₅ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม	0.35	1.42	4.48	0.00*	1.22-1.65
X ₆ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม	-0.05	0.95	-2.60	0.01*	0.92-0.99
X ₇ ความสูงต้น	-0.01	0.99	-4.05	0.00*	0.99-1.00
X ₈ ความกว้างทรงพุ่ม	-0.00	1.00	1.20	0.23	1.00-1.01
X ₉ ปริมาณฝน	0.17	1.18	6.20	0.00*	1.12-1.24
X ₁₀ อุณหภูมิสูงสุด	-0.00	1.00	-0.02	0.98	0.79-1.26
X ₁₁ อุณหภูมิต่ำสุด	-0.04	0.96	-0.59	0.56	0.82-1.11

* นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3) มะม่วง

จังหวัดฉะเชิงเทรา

พบว่าตัวแปรทำนายที่มีผลต่อการให้ผลผลิตมะม่วงจังหวัดฉะเชิงเทราอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ ลักษณะเนื้อดิน การระบายน้ำของดิน ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน และความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ส่วนตัวแปรอื่นได้แก่ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน อุณหภูมิดิน ความชื้นใต้ทรงพุ่ม อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ดัชนีความชื้นของสีใบ ปริมาณฝน อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ไม่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตมะม่วงจังหวัดฉะเชิงเทราอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกระหว่างตัวแปรทำนายต่างๆ กับระดับการให้ผลผลิตมะม่วง จังหวัดฉะเชิงเทรา

ตัวแปรทำนาย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₁ ลักษณะเนื้อดิน	1.94	0.013*	1.15	3.28
X ₂ การระบายน้ำของดิน	2.18	0.049*	1.00	4.72
X ₃ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	0.97	0.923	0.56	1.69
X ₄ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน	3.00	0.006*	1.36	6.61
X ₅ อุณหภูมิดิน	1.08	0.538	0.84	1.40
X ₆ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ	1.18	0.018*	1.03	1.35

ตัวแปรทำนาย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₇ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม	0.96	0.501	0.85	1.08
X ₈ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม	0.85	0.394	0.60	1.23
X ₉ ความสูงต้น	1.01	0.055	1.00	1.02
X ₁₀ ความกว้างทรงพุ่ม	0.99	0.097	0.99	1.00
X ₁₁ ดัชนีความชื้นของสีใบ	1.10	0.187	0.95	1.27
X ₁₂ ปริมาณฝน	0.98	0.606	0.91	1.06
X ₁₃ อุณหภูมิสูงสุด	1.22	0.395	0.77	1.92
X ₁₄ อุณหภูมิต่ำสุด	1.10	0.544	0.81	1.48

* ระดับนัยสำคัญ 0.05

จังหวัดปราจีนบุรี

ตัวแปรทำนายที่มีผลต่อการให้ผลผลิตมะม่วงจังหวัดปราจีนบุรีอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ส่วนตัวแปรอื่นได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน การระบายน้ำของดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน อุณหภูมิดิน ความชื้นใต้ทรงพุ่ม อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ดัชนีความชื้นของสีใบ และปริมาณฝน ไม่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตมะม่วงจังหวัดปราจีนบุรีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 18)

ตารางที่ 18 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกระหว่างตัวแปรทำนายต่างๆ กับระดับการให้ผลผลิตมะม่วง จังหวัดปราจีนบุรี

ตัวแปรทำนาย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₁ ลักษณะเนื้อดิน	0.76	0.653	0.22	2.56
X ₂ การระบายน้ำของดิน	0.81	0.767	0.20	3.34
X ₃ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	0.69	0.441	0.26	1.79
X ₄ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน	2.05	0.221	0.65	6.49
X ₅ อุณหภูมิดิน	0.89	0.368	0.68	1.15
X ₆ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ	1.25	0.022*	1.03	1.51
X ₇ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม	0.95	0.300	0.87	1.04
X ₈ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม	0.98	0.777	0.85	1.13

ตัวแปรทำนาย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₉ ความสูงต้น	1.02	0.005*	1.01	1.04
X ₁₀ ความกว้างทรงพุ่ม	0.99	0.053*	0.98	1.00
X ₁₁ ดัชนีความเข้มของสีใบ	1.17	0.164	0.94	1.46
X ₁₂ ปริมาณฝน	1.21	0.430	0.75	1.95
X ₁₃ อุณหภูมิสูงสุด	2.76	0.002*	1.45	5.25
X ₁₄ อุณหภูมิต่ำสุด	0.34	0.002*	0.17	0.69

* ระดับนัยสำคัญ 0.05

จังหวัดสระแก้ว

ตัวแปรทำนายที่มีผลต่อการให้ผลผลิตมะม่วงจังหวัดสระแก้วอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ การระบายน้ำของดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน ส่วนตัวแปรอื่นได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน อุณหภูมิดิน ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ดัชนีความเข้มของสีใบ ปริมาณฝน อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ไม่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตมะม่วงจังหวัดสระแก้วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 19 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติคระหว่างตัวแปรทำนายต่างๆ กับระดับการให้ผลผลิตมะม่วง จังหวัดสระแก้ว

ตัวแปรทำนาย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₁ ลักษณะเนื้อดิน	1.37	0.388	0.67	2.78
X ₂ การระบายน้ำของดิน	4.97	0.002*	1.78	13.86
X ₃ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	2.98	0.000*	1.75	5.08
X ₄ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน	1.07	0.895	0.37	3.13
X ₅ อุณหภูมิดิน	1.06	0.618	0.83	1.36
X ₆ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ	0.89	0.174	0.75	1.05
X ₇ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม	1.05	0.409	0.93	1.18
X ₈ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม	0.95	0.737	0.72	1.26
X ₉ ความสูงต้น	1.00	0.946	0.99	1.01
X ₁₀ ความกว้างทรงพุ่ม	1.00	0.531	1.00	1.01
X ₁₁ ดัชนีความเข้มของสีใบ	1.02	0.783	0.88	1.19

ตัวแปรทำนาย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₁₂ ปริมาณฝน	1.13	0.174	0.95	1.33
X ₁₃ อุณหภูมิสูงสุด	0.70	0.128	0.44	1.11
X ₁₄ อุณหภูมิต่ำสุด	1.09	0.646	0.76	1.56

* ระดับนัยสำคัญ 0.05

4) สับประรด

พบว่าตัวแปรทำนายที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตสับประรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 คือ ลักษณะเนื้อดิน การระบายน้ำของดิน และดัชนีความชื้นของสปีไบ ส่วนตัวแปรอื่น ได้แก่ ความอุดมสมบูรณ์ดิน ความเป็นกรดต่างของดิน อุณหภูมิดิน ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ปริมาณฝน อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ไม่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตสับประรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จังหวัดเพชรบุรี

ตัวแปรทำนายที่มีผลต่อการให้ผลผลิตสับประรดจังหวัดเพชรบุรีอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ การระบายน้ำของดิน และดัชนีความชื้นของสปีไบ ส่วนตัวแปรอื่น ได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน ความอุดมสมบูรณ์ดิน ความเป็นกรดต่างของดิน อุณหภูมิดิน ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ปริมาณฝน อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ไม่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตสับประรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติคระหว่างตัวแปรทำนายต่างๆ กับระดับการให้ผลผลิตสับประรด จังหวัดเพชรบุรี

ปัจจัย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₁ ลักษณะเนื้อดิน	1.69	0.518	0.35	8.26
X ₂ การระบายน้ำของดิน	13.40	0.036*	1.19	151.09
X ₃ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	2.06	0.077	0.92	4.60
X ₄ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน	0.39	0.125	0.12	1.30
X ₅ อุณหภูมิดิน	0.91	0.417	0.73	1.14
X ₆ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ	1.01	0.922	0.76	1.34
X ₇ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม	0.97	0.542	0.87	1.07
X ₈ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม	0.95	0.793	0.67	1.37
X ₉ ความสูงต้น	0.94	0.102	0.88	1.01

ปัจจัย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₁₀ ความกว้างทรงพุ่ม	1.00	0.909	0.93	1.08
X ₁₁ ดัชนีความเข้มของสีใบ	1.30	0.001*	1.11	1.52
X ₁₂ ปริมาณฝน	0.97	0.702	0.85	1.11
X ₁₃ อุณหภูมิสูงสุด	0.99	0.991	0.38	2.57
X ₁₄ อุณหภูมิต่ำสุด	1.17	0.688	0.54	2.52

* ระดับนัยสำคัญ 0.05

จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ตัวแปรทำนายที่มีผลต่อการให้ผลผลิตสับปะรดจังหวัดประจวบคีรีขันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 คือ ลักษณะเนื้อดิน การระบายน้ำของดิน และดัชนีความเข้มของสีใบ ส่วนตัวแปรอื่น ได้แก่ ความอุดมสมบูรณ์ดิน ความเป็นกรดต่างของดิน อุณหภูมิดิน ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ปริมาณฝน อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ไม่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตสับปะรดจังหวัดประจวบคีรีขันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกระหว่างตัวแปรทำนายต่างๆ กับระดับการให้ผลผลิตสับปะรดจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ตัวแปรทำนาย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₁ ลักษณะเนื้อดิน	15.73	0.003*	2.62	94.49
X ₂ การระบายน้ำของดิน	37.84	0.037*	1.25	1142.60
X ₃ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	2.66	0.105	0.82	8.67
X ₄ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน	3.61	0.097	0.79	16.44
X ₅ อุณหภูมิดิน	0.96	0.727	0.77	1.20
X ₆ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ	0.73	0.204	0.45	1.19
X ₇ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม	1.05	0.518	0.90	1.23
X ₈ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม	1.26	0.354	0.77	2.04
X ₉ ความสูงต้น	0.96	0.415	0.87	1.06
X ₁₀ ความกว้างทรงพุ่ม	0.98	0.586	0.92	1.05

ตัวแปรทำนาย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₁₁ ดัชนีความเข้มของสีใบ	0.75	0.029*	0.58	0.97
X ₁₂ ปริมาณฝน	1.03	0.562	0.93	1.15
X ₁₃ อุณหภูมิสูงสุด	0.62	0.531	0.14	2.78
X ₁₄ อุณหภูมิต่ำสุด	0.45	0.475	0.05	4.01

* ระดับนัยสำคัญ 0.05

5) **ลำไย** พบว่าตัวแปรทำนายที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตลำไยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 คือ อุณหภูมิดิน และดัชนีความเข้มของสีใบ ส่วนตัวแปรอื่น ได้แก่ ความอุดมสมบูรณ์ดิน ความเป็นกรดต่างของดิน อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ความสูงต้น และความกว้างทรงพุ่ม ไม่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตลำไยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกระหว่างตัวแปรทำนายต่างๆ กับตัวแปรเกณฑ์ (ระดับการให้ผลผลิตลำไย)

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์	อัตราส่วน Odds	Z	นัยสำคัญของ Z	ช่วงความเชื่อมั่น 95%
ค่าคงที่ (1)	-5.08	3.63	-1.40	0.161	
ค่าคงที่ (2)	-4.28	3.62	-1.18	0.238	
X ₁ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	-0.20	0.11	-1.74	0.082	0.64-1.03
X ₂ ความเป็นกรดต่างของดิน	-0.46	0.33	-1.38	0.166	0.32-1.21
X ₃ อุณหภูมิดิน	0.11	0.02	3.91	0.000*	1.06-1.18
X ₄ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม	-0.00	0.04	-0.23	0.817	0.91-1.08
X ₅ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม	0.01	0.00	2.04	0.042	1.24-1.62
X ₆ ความสูงต้น	-0.00	0.00	-1.32	0.186	0.90-1.00
X ₇ ความกว้างทรงพุ่ม	0.00	0.00	0.35	0.728	1.00-1.00
X ₈ ดัชนีความเข้มของสีใบ	0.01	0.02	6.33	0.000*	1.12-1.25

* นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

6) **เงาะ** พบว่าตัวแปรทำนายที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตเงาะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 คือ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน อุณหภูมิดิน และดัชนีความเข้มของสีใบ ส่วนตัวแปรอื่น ได้แก่ ความเป็นกรดต่างของดิน อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ความชื้นใต้ทรงพุ่ม ความสูงต้น และความกว้างทรงพุ่ม ไม่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตเงาะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (ตารางที่ 23)

ตารางที่ 23 การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกระหว่างตัวแปรเกณฑ์ต่างๆ กับตัวแปรเกณฑ์ (ระดับการให้ผลผลิตเงาะ)

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์	อัตราส่วน Odds	Z	นัยสำคัญของ Z	ช่วงความเชื่อมั่น 95%
ค่าคงที่ (1)	-20.34		-2.20	0.028	
ค่าคงที่ (2)	-18.36		-2.00	0.045	
X ₁ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	2.29	9.89	4.83	0.000*	3.90-25.05
X ₂ ความเป็นกรดต่างของดิน	0.73	2.07	0.92	0.359	0.44-9.77
X ₃ อุณหภูมิดิน	-0.07	0.93	-2.93	0.003*	0.89-0.98
X ₅ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม	0.14	1.16	0.78	0.435	0.80-1.66
X ₆ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม	0.05	1.05	1.55	0.121	0.99-1.12
X ₇ ความสูงต้น	0.00	1.00	0.19	0.846	1.00-1.01
X ₈ ความกว้างทรงพุ่ม	-0.01	0.99	-2.23	0.026	0.99-1.00
X ₁₂ ดัชนีความเข้มของสีใบ	0.30	1.34	4.13	0.000*	1.17-1.55

* นัยสำคัญเชิงทางสถิติที่ระดับ 0.01

1.3 โมเดลทำนายระดับการให้ผลผลิต

1) **ทุเรียน** จากตารางที่ 15 ได้สมการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก คือ

$$\text{Logit} = 0.35 \text{อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม} + 0.13 \text{ปริมาณฝน} - 0.4 \text{อุณหภูมิสูงสุด}$$

โดยที่ ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตน้อย = $P(Y \leq 5.76)$

ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตปานกลาง = $P(7.49 < Y \leq 5.76)$

ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตมาก = $P(7.49 < Y)$

2) **มังคุด** จากตารางที่ 16 ได้สมการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก คือ

$$\text{Logit} = -0.19 \text{อุณหภูมิดิน} + 0.35 \text{อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม} - 0.05 \text{ความชื้นใต้ทรงพุ่ม} - 0.01 \text{ความสูงต้น} + 0.17 \text{ปริมาณฝน}$$

โดยที่ ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตน้อย = $P(y \leq -3.57)$

ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตปานกลาง = $P(-1.50 < y \leq -3.57)$

ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตมาก = $P(-1.50 < y)$

3) **มะม่วง** จากตารางที่ 17 - 19 ได้สมการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก คือ

$$\text{Logit} = 0.66 \text{เนื้อดิน} + 0.78 \text{ระบายน้ำของดิน} + 1.10 \text{ระดับความเป็นกรดต่างของดิน} + 0.16 \text{ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ}$$

โมเดลทำนายระดับการให้ผลผลิตมะม่วง จังหวัดฉะเชิงเทรา

โดยที่	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตน้อย	= $P(y \leq -28.43)$
	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตปานกลาง	= $P(-28.43 < y \leq -26.27)$
	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตมาก	= $P(-26.27 < y)$

โมเดลทำนายระดับการให้ผลผลิตมะม่วง จังหวัดปราจีนบุรี

$$\text{Logit} = 0.22 \text{ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ} + 0.02 \text{ ความสูงต้น} - 0.01 \text{ ความกว้างทรงพุ่ม} + 1.01 \text{ อุณหภูมิสูงสุด} - 1.07 \text{ อุณหภูมิต่ำสุด}$$

โดยที่	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตน้อย	= $P(y \leq -30.05)$
	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตปานกลาง	= $P(-30.05 < y \leq -26.13)$
	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตมาก	= $P(-26.13 < y)$

โมเดลทำนายระดับการให้ผลผลิตมะม่วง จังหวัดสระแก้ว

$$\text{Logit} = 1.60 \text{ การระบายน้ำของดิน} + 1.09 \text{ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน}$$

โดยที่	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตน้อย	= $P(y \leq 6.02)$
	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตปานกลาง	= $P(6.02 < y \leq 9.50)$
	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตมาก	= $P(9.50 < y)$

4) สัมประรด จากตารางที่ 20 และ 21 ได้สมการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก คือ

โมเดลทำนายระดับการให้ผลผลิตส้มแประด จังหวัดเพชรบุรี

$$\text{Logit} = 2.60 \text{ ระบายน้ำดิน} + 0.26 \text{ ดัชนีสีใบ}$$

โดยที่	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตน้อย	= $P(y \leq -17.39)$
	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตปานกลาง	= $P(-17.38 < y \leq -15.18)$
	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตมาก	= $P(-15.18 < y)$

โมเดลทำนายระดับการให้ผลผลิตส้มแประด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

$$\text{Logit} = 2.76 \text{ เนื้อดิน} + 3.63 \text{ ระบายน้ำดิน} - 0.29 \text{ ดัชนีสีใบ}$$

โดยที่	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตน้อย	= $P(y \leq 41.20)$
	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตปานกลาง	= $P(41.21 < y \leq 44.19)$
	ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตมาก	= $P(44.19 < y)$

5) ลำไย จากตารางที่ 22 ได้สมการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก คือ

$$\text{Logit} = 0.03 \text{ อุณหภูมิดิน} + 0.03 \text{ ดัชนีความเข้มของสีใบ}$$

โดยที่

ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตน้อย	=	$P(Y \leq 4.28)$
ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตปานกลาง	=	$P(4.28 < Y \leq 5.08)$
ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตมาก	=	$P(5.08 < Y)$

6) เเงาะ จากตารางที่ 23 ได้สมการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก คือ

$$\text{Logit} = 2.29 \text{ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน} - 0.07 \text{ อุณหภูมิดิน} + 0.30 \text{ ดัชนีความเข้มของสีใบ}$$

โดยที่

ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตน้อย	=	$P(Y \leq 18.36)$
ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตปานกลาง	=	$P(18.36 < Y < 20.33)$
ความน่าจะเป็นที่ให้ผลผลิตมาก	=	$P(20.33 < Y)$

1.4 การทดสอบความถูกต้องของโมเดล

นำค่าเฉลี่ยข้อมูลจากแปลงของเกษตรกรตัวอย่างในการทดสอบความถูกต้องของโมเดลในแต่ละพืช พบว่า

โมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตทุเรียน ร้อยละ 71

โมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตมังคุด ร้อยละ 77.11

โมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตมะม่วงจังหวัดฉะเชิงเทรา ร้อยละ 62

โมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตมะม่วงจังหวัดปราจีนบุรี ร้อยละ 26

โมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตมะม่วงจังหวัดสระแก้ว ร้อยละ 51.50

โมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตสับปะรดจังหวัดเพชรบุรี ร้อยละ 59

โมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตสับปะรดจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ร้อยละ 72

โมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตลำไย ร้อยละ 79.58

โมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตเงาะ ร้อยละ 79

2. ศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

2.1 วิเคราะห์ และแปลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยข้อมูลจากดาวเทียมเชิงตัวเลขของดาวเทียม LANDSAT 8 ดาวเทียมโพลาร์ภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT-8 บันทึกข้อมูลภาพถ่าย ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 ดำเนินการปรับแก้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิตใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน ใช้แผนที่ฐานมาตราส่วน 1 : 50,000 ที่มีค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ UTM แล้วเป็นภาพอ้างอิง (Reference Map) มาปรับแก้ข้อมูลจากดาวเทียมกับแผนที่ (Image to Map) จากนั้นนำภาพถ่ายจากดาวเทียมมาทำการปรับแก้ข้อมูลชั้นบรรยากาศ (Atmospheric correction) และปรับขนาดภาพถ่ายจากดาวเทียม (Resize) โดยตัดภาพถ่ายจากดาวเทียมเฉพาะพื้นที่ศึกษา ด้วยการนำขอบเขตการปกครองของจังหวัดมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการปรับขนาดภาพถ่ายจากดาวเทียม เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้วิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

2.2 การตรวจสอบความถูกต้องพื้นที่ปลูกพืชศึกษา (ลำไย, เงาะ)

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-8 ซึ่งบันทึกข้อมูลภาพถ่ายตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 พบว่า พื้นที่ปลูกลำไยในจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ และลำพูน มีผลการตรวจสอบความถูกต้องจากการแปลภาพ มีค่าความถูกต้องจากการจำแนกรวม (Overall Classification Accuracy) เท่ากับ 75.81 และพื้นที่ปลูกเงาะในจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีผลการตรวจสอบความถูกต้องจากการแปลภาพ มีค่าความถูกต้องจากการจำแนกรวม (Overall Classification Accuracy) ร้อยละ 50 เนื่องจากพื้นที่ปลูกเงาะในจังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นหุบภูเขา และต้นไม้ใหญ่ทำให้ยากต่อการจำแนก

ตารางที่ 24 การตรวจสอบความถูกต้องพื้นที่ปลูกลำไยในจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ และลำพูน

		ข้อมูลการสำรวจภาคสนาม			User's Accuracy
		ลำไย	อื่นๆ	รวม	
ข้อมูลการจำแนก	ลำไย	39	6	45	86.7%
	อื่นๆ	9	8	17	52.9%
	รวม	48	14	62	
	Producer's Accuracy	81.2%	42.8%		
Overall Accuracy = 75.81%					

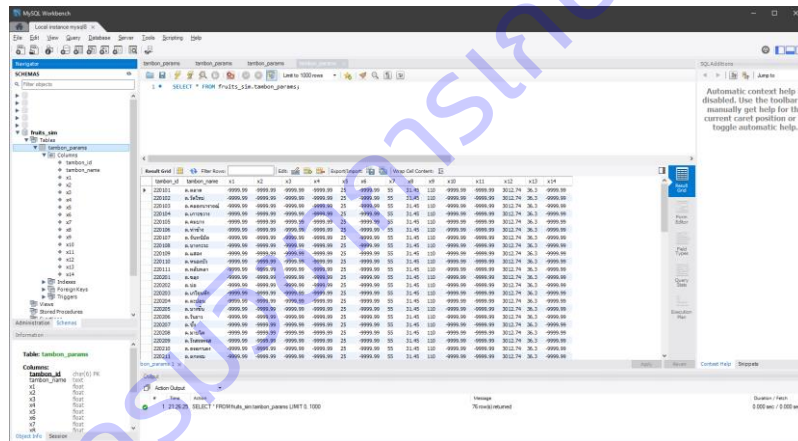
ตารางที่ 25 การตรวจสอบความถูกต้องพื้นที่ปลูกเงาะในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

		ข้อมูลการสำรวจภาคสนาม			User's Accuracy
		เงาะ	อื่นๆ	รวม	
ข้อมูลการจำแนก	เงาะ	8	7	15	53.3%
	อื่นๆ	6	5	11	54.5%
	รวม	14	12	26	
	Producer's Accuracy	57.1%	58.3%		
Overall Accuracy = 50.0%					

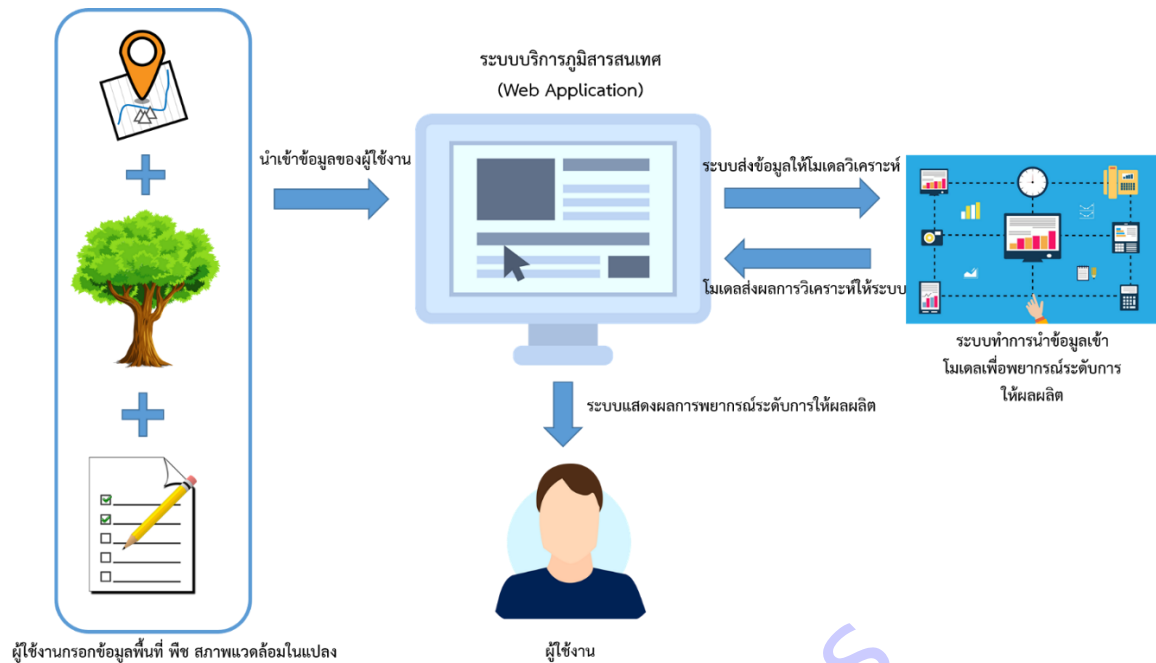
2.3 จัดทำระบบบริการภูมิสารสนเทศ ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน โดยการนำข้อมูลแบบจำลองการจำแนกระดับการให้ผลผลิต มาใช้ในการพัฒนาระบบที่สามารถแสดงผลแผนที่ระดับการให้ผลผลิตได้ (ภาพที่ 4)

ออกแบบให้มีการรับส่งค่าระหว่างเว็บเบราว์เซอร์ด้วยรูปแบบ JSON เพื่อให้มีความยืดหยุ่นสำหรับการนำไปพัฒนาต่อยอดกับการพัฒนาซอฟต์แวร์บน smart device ต่าง ๆ แสดงผลแผนที่ด้วยคลังโปรแกรม Open layers ซึ่งเป็นโปรแกรม Opensource รูปแบบการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน (ภาพที่ 5) ประกอบด้วย

- ผู้ใช้งาน ได้แก่ นักวิจัย เจ้าหน้าที่ เกษตรกร และบุคคลทั่วไป สามารถกรอกรายละเอียดข้อมูลในพื้นที่ เช่น พิกัด พืช สภาพแวดล้อมภายในแปลง (อุณหภูมิดิน ความชื้นใต้ทรงพุ่ม ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความสูงต้น ความกว้างต้น ลักษณะเนื้อดิน)
- ระบบบริการภูมิสารสนเทศ จะนำข้อมูลจากผู้ใช้งาน ส่งต่อไปกับระบบประมวลผล ทำการประมวลผลจากโมเดลที่ได้มีการวิเคราะห์มาแล้ว ซึ่งขณะนี้มี 6 พืช คือ ทูเรียน มังคุด มะม่วง สับปะรด และลำไย แล้วทำการส่งผลการพยากรณ์ผลผลิตไปยังระบบ
- ระบบทำการแสดงผลการพยากรณ์ผลผลิตที่ได้รับออกมาในรูปแบบของแผนที่ระดับการให้ผลผลิต ณ พื้นที่ที่ผู้ใช้งานต้องการ
- ผู้ใช้งาน สามารถนำผลการพยากรณ์ผลผลิตไปใช้ในการวางแผนการจัดการผลผลิตต่อไปได้



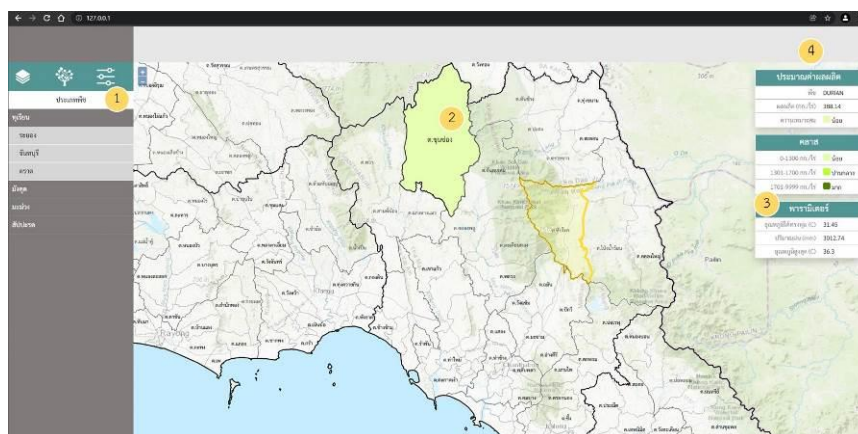
ภาพที่ 4 ตัวอย่างฐานข้อมูล



ภาพที่ 5 แสดงแนวคิดการออกแบบเว็บแอปพลิเคชันการใช้งานระบบบริการภูมิสารสนเทศ

การใช้งานระบบบริการภูมิสารสนเทศ ได้มีการจัดทำเป็นโปรแกรมการใช้งานตามภาคผนวก ค สรุปได้ดังนี้

- 1) เมนูหลักของเว็บแอปพลิเคชันระบบบริการภูมิสารสนเทศ แสดงแผนที่ในภาพกว้าง ซึ่งสามารถดูความละเอียดได้ถึงระดับจังหวัด อำเภอ และตำบล โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกพืชที่สนใจได้จากเมนูประเภทพืช
- 2) เมนูแผนที่ ใช้แสดงข้อมูลจังหวัด อำเภอ ตำบล ตามที่ผู้ใช้งานสนใจ
- 3) เมนูพารามิเตอร์ เป็นการแสดงข้อมูลสภาพแวดล้อมในพื้นที่ปลูก หากผู้ใช้งานไม่มีข้อมูลในพื้นที่ ระบบจะทำการประมวลผลจากฐานข้อมูลในระบบ
- 4) การประมาณค่าผลผลิต โดยแบ่งเป็นกรอบแสดงค่าผลผลิต มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อไร่ และกรอบแสดงคลาสหรือระดับความเหมาะสมของการปลูกพืชในพื้นที่ที่ต้องการ โดยกำหนดไว้ 3 ระดับ แสดงบนแผนที่ของระบบบริการภูมิสารสนเทศ



ภาพที่ 9 หน้าหลักและองค์ประกอบของเว็บแอปพลิเคชันระบบบริการภูมิสารสนเทศ

2.4 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับการให้ผลผลิตพืช

1) การหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับปริมาณผลผลิตลำไย

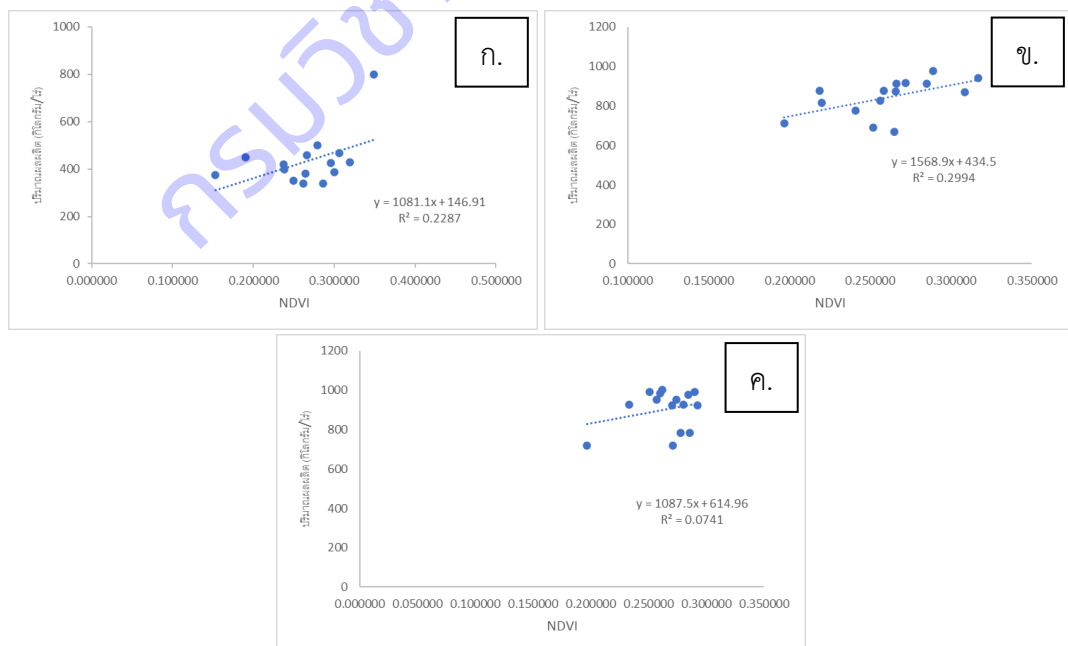
จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 และการเก็บข้อมูลปริมาณผลผลิตภาคสนาม นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับผลผลิตลำไย ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ และลำพูน ได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

ดัชนีพืชพรรณ NDVI ของจังหวัดเชียงราย มีสมการความสัมพันธ์คือ $y = 1081.1x + 146.91$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.2287

ดัชนีพืชพรรณ NDVI ของจังหวัดเชียงใหม่ มีสมการความสัมพันธ์คือ $y = 1568.9x + 434.5$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.2994

ดัชนีพืชพรรณ NDVI ของจังหวัดลำพูน มีสมการความสัมพันธ์คือ $y = 1087.5x + 614.96$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.0741

ในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 จังหวัด ดัชนีพืชพรรณ NDVI มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากมีค่า R^2 เข้าใกล้ 0 มากกว่า เรียงลำดับความสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) พบว่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ของจังหวัดเชียงใหม่ ($R^2 = 0.2994$) ให้ค่าสูงสุด ดังนั้น หากต้องการประมาณผลผลิตให้มีความแม่นยำมากขึ้น ควรมีการเพิ่มตัวแปรอิสระ เพื่อให้มีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้น และควรใช้ดัชนีตัวอื่นหรือตัวแปรหลายตัว (multiple linear regression) เพื่อให้ค่า R สูงขึ้น

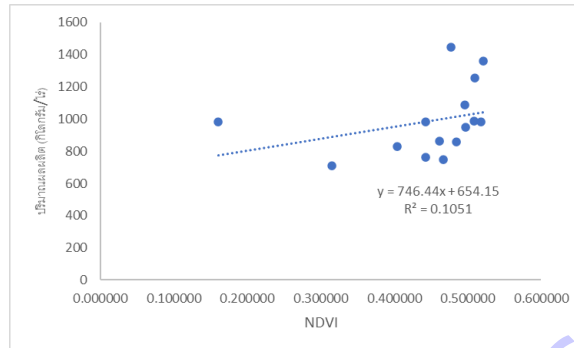


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับปริมาณผลผลิตของลำไย ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงราย (ก.)

เชียงใหม่ (ข.) และลำพูน (ค.)

2.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับปริมาณผลผลิตเงาะ จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 และการเก็บข้อมูลปริมาณผลผลิตภาคสนาม นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับผลผลิตเงาะ ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสุราษฎร์ธานี ได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$y = 746.44x + 654.15 \text{ ค่า } R^2 \text{ เท่ากับ } 0.1051$$



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับปริมาณผลผลิตของเงาะในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสุราษฎร์ธานี

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับผลผลิตจะแปรผันตามผลผลิต กล่าวคือ ถ้าดัชนี NDVI มีค่าสูงผลผลิตจะมีค่าสูงตามไปด้วยเช่นกัน ถึงแม้ว่ามีหลายงานวิจัยนิยมใช้ช่วงคลื่นสีแดงและอินฟราเรดใกล้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากพบว่าไม่ใช่ทุกดาวเทียมที่จะสามารถบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้นได้ แต่ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นสีแดงนั้นพบได้ในดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติแทบทุกดวง ทำให้ NDVI ถูกนำมาใช้เป็นตัวบ่งบอกความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ในแง่ของปริมาณคลอโรฟิลล์ ซึ่งเมื่อคลอโรฟิลล์ลดน้อยลง ทำให้การสะท้อนที่คลื่นสีแดงสูงขึ้น แม้ว่าดัชนี NDVI จะมีค่าสัมพันธ์การตัดสินใจต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้นในการคำนวณก็ตาม (สุจิตรา, 2561)

2.3 การประเมินผลผลิตด้วยค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI)

1) การประเมินผลผลิตลำไยด้วยค่าดัชนีพืชพรรณของจังหวัดเชียงราย

จากสมการความสัมพันธ์คือ $y = 1081.1x + 146.91$ ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.2287 ใช้ในการประมาณผลผลิต โดย x คือ ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI และ y คือ ผลผลิต และเมื่อนำผลผลิตจริงเปรียบเทียบกับผลผลิตที่คำนวณได้จากสมการ พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 15.93 หมายความว่าผลผลิตที่คำนวณได้จากสมการกับผลผลิตจริง มีความคลาดเคลื่อนไป 15.93 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งผลผลิตที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยสมการ มีแนวโน้มส่วนใหญ่มีค่าซึ่งสูงกว่าผลผลิตจริงเล็กน้อยในบางพื้นที่

ตารางที่ 26 ประเมินผลผลิตลำไยด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ของพื้นที่จังหวัดเชียงราย จำนวน 15 แปลง

หมายเลขแปลง	NDVI	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม/ไร่)	ค่าผลผลิตต่อไร่จากการ คาดการณ์ ด้วยค่าดัชนีความแตกต่าง ของพืช พรรณ (NDVI) (กก./ไร่)	เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน (PE)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE)
CR1	0.319481	430	492.30	12.65438106	12.65438106
CR2	0.348492	800	523.66	-52.77071788	52.77071788
CR3	0.299996	387	471.23	17.87487958	17.87487958
CR4	0.266420	459	434.93	-5.533345131	5.533345131
CR5	0.295625	425	466.51	8.897353705	8.897353705
CR6	0.152992	376	312.31	-20.39392021	20.39392021
CR7	0.190438	450	352.79	-27.55445563	27.55445563
CR8	0.261576	339	429.70	21.10716906	21.10716906
CR9	0.306230	468	477.97	2.086249062	2.086249062
CR10	0.237808	400	404.00	0.990484131	0.990484131
CR11	0.286342	340	456.47	25.51553586	25.51553586
CR12	0.264594	380	432.96	12.23198716	12.23198716
CR13	0.249178	350	416.29	15.92470746	15.92470746
CR14	0.237708	420	403.89	-3.987818247	3.987818247
CR15	0.279416	500	448.98	-11.36268604	11.36268604
เฉลี่ย	0.266420	435	434.93		15.93

2) การประเมินผลผลิตลำไยด้วยค่าดัชนีพืชพรรณของจังหวัดเชียงใหม่

จากสมการความสัมพันธ์คือ $y = 1568.9x + 434.5$ ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.2994 ใช้ในการประมาณผลผลิต โดย x คือ ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI และ y คือ ผลผลิต และเมื่อนำผลผลิตจริงเปรียบเทียบกับผลผลิตที่คำนวณได้จากสมการ พบค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 7.07 หมายความว่าผลผลิตที่คำนวณได้จากสมการกับผลผลิตจริง มีความคลาดเคลื่อนไป 7.07 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งผลผลิตที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยสมการ มีแนวโน้มส่วนใหญ่มีค่าซึ่งสูงกว่าผลผลิตจริงเล็กน้อยในบางพื้นที่

ตารางที่ 27 ประเมินผลผลิตลำไยด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ของพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 15 แปลง

หมายเลขแปลง	NDVI	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม/ไร่)	ค่าผลผลิตต่อไร่จากการ คาดการณ์ ด้วยค่าดัชนีความแตกต่าง ของพืช พรรณ (NDVI) (กก./ไร่)	เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน (PE)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE)
CM1	0.240846	778	812.36	4.2293713	4.2293713
CM2	0.316853	942	931.60	-1.11584651	1.11584651
CM3	0.265548	874	851.11	-2.68912789	2.68912789
CM4	0.284737	914	881.22	-3.72007274	3.72007274
CM5	0.271600	916	860.61	-6.43644703	6.43644703
CM6	0.264879	668	850.06	21.4175803	21.4175803
CM7	0.251683	690	829.36	16.8032931	16.8032931
CM8	0.288933	979	887.80	-10.2724428	10.2724428
CM9	0.196745	713	743.17	4.05934262	4.05934262
CM10	0.220075	817	779.77	-4.77447472	4.77447472
CM11	0.255920	827	836.01	1.07740259	1.07740259
CM12	0.218660	876	777.55	-12.6615526	12.6615526
CM13	0.258143	877	839.49	-4.46768691	4.46768691
CM14	0.308216	868	918.05	5.45220161	5.45220161
CM15	0.266007	911	851.83	-6.94589274	6.94589274
เฉลี่ย	0.260590	843	843.33		7.07

3) การประเมินผลผลิตลำไยด้วยค่าดัชนีพืชพรรณของจังหวัดลำพูน

จากสมการความสัมพันธ์คือ $y = 1087.5x + 614.96$ ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.0741 ใช้ในการประมาณผลผลิต โดย x คือ ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI และ y คือ ผลผลิต และเมื่อนำผลผลิตจริงเปรียบเทียบกับ

ผลผลิตที่คำนวณได้จากสมการ พบค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 8.62 หมายความว่าผลผลิตที่คำนวณได้จากสมการกับผลผลิตจริง มีความคลาดเคลื่อนไป 8.62 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งผลผลิตที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยสมการ มีแนวโน้มส่วนใหญ่มีค่าซึ่งต่ำกว่าผลผลิตจริงเล็กน้อยในบางพื้นที่

ตารางที่ 28 ประเมินผลผลิตลำไยด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ของพื้นที่จังหวัดลำพูน จำนวน 15 แปลง

หมายเลขแปลง	NDVI	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม/ไร่)	ค่าผลผลิตต่อไร่จากการ คาดการณ์ ด้วยค่าดัชนีความแตกต่าง ของพืช พรรณ (NDVI) (กก./ไร่)	เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน (PE)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE)
LP1	0.257148	952	894.60	-6.4165695	6.41656955
LP2	0.280309	927	919.78	-0.7845012	0.78450123
LP3	0.260046	985	897.75	-9.7188637	9.71886374
LP4	0.250840	991	887.74	-11.63206	11.6320601
LP5	0.285886	785	925.85	15.2129621	15.2129621
LP6	0.196636	720	828.79	13.1266696	13.1266696
LP7	0.292241	922	932.76	1.1535553	1.1535553
LP8	0.262115	1,002	900.00	-11.333462	11.3334618
LP9	0.274306	952	913.26	-4.2423762	4.24237623
LP10	0.232964	927	868.30	-6.7605455	6.76054552
LP11	0.290154	991	930.49	-6.5029836	6.50298363
LP12	0.284407	978	924.24	-5.8165899	5.81658989
LP13	0.277484	785	916.71	14.3678895	14.3678895
LP14	0.271036	720	909.70	20.8530483	20.8530483
LP15	0.270422	922	909.03	-1.4265139	1.42651392
เฉลี่ย	0.265733	904	903.93		8.62

4) การประเมินผลผลิตเงาะด้วยค่าดัชนีพืชพรรณของจังหวัดสุราษฎร์ธานี

จากสมการความสัมพันธ์คือ $y = 1087.5x + 614.96$ ซึ่งมีค่า R² เท่ากับ 0.0741 ใช้ในการประมาณผลผลิต โดย x คือ ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI และ y คือ ผลผลิต และเมื่อนำผลผลิตจริงเปรียบเทียบกับผลผลิตที่คำนวณได้จากสมการ พบค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 17.08 หมายความว่า

ผลผลิตที่คำนวณได้จากสมการกับผลผลิตจริง มีความคลาดเคลื่อนไป 17.08 กิโลกรัม/ไร่ ซึ่งผลผลิตที่ได้จากการ
คาดการณ์ด้วยสมการ มีแนวโน้มส่วนใหญ่มีค่าซึ่งต่ำกว่าผลผลิตจริงเล็กน้อยในบางพื้นที่

ตารางที่ 29 ประเมินผลผลิตเงาะด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ (NDVI) และค่าเปอร์เซ็นต์ความ
คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE) ของพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 15 แปลง

หมายเลขแปลง	NDVI	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม/ไร่)	ค่าผลผลิตต่อไร่จากการ คาดการณ์ ด้วยค่าดัชนีความแตกต่างของ พืช พรรณ (NDVI) (กก./ไร่)	เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน (PE)	เปอร์เซ็นต์ความคลาด เคลื่อนสัมบูรณ์ (MAPE)
SR1	0.517854	983	1,040.70	5.5446722	5.544672235
SR2	0.466698	747	1,002.52	25.487663	25.48766318
SR3	0.314828	711	889.16	20.036548	20.03654813
SR4	0.497302	949	1,025.36	7.4473844	7.44738438
SR5	0.508513	989	1,033.73	4.3271483	4.327148344
SR6	0.484377	860	1,015.71	15.330573	15.33057347
SR7	0.521261	1,360	1,043.25	-30.362258	30.36225785
SR8	0.477569	1,448	1,010.63	-43.276521	43.27652117
SR9	0.461637	865	998.74	13.390942	13.39094209
SR10	0.443164	983	984.95	0.1981575	0.198157516
SR11	0.404155	831	955.83	13.060195	13.06019487
SR12	0.496082	1089	1,024.45	-6.3007302	6.300730198
SR13	0.509951	1257	1,034.80	-21.472225	21.4722245
SR14	0.160377	985	773.87	-27.282804	27.28280369
SR15	0.442268	761	984.28	22.684833	22.6848331
เฉลี่ย	0.447069	988	987.87		17.08

แผนงานวิจัยย่อยที่ 2

วิจัยพัฒนาระบบสารสนเทศแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน
Research and Development in Information Technology
to Oil Palm Fertilizer Recommendation System

คณะผู้วิจัย

สุรกิตติ ศรีกุล สุชาดา โภชาดอม สณชัย ขวัญแก้ว สุธีรา ถาวรรัตน์ จินตนาพร โคตรสมบัติ
จิตติลักษณ์ เหมะ สมคิด ดำน้อย อุดมพร เสือมาก
Surakitti Srikul Suchada Pochadom Sonchai Kwankua Suthira Thawonrat Chintanaporn
Kotsombat Jittilux Hama Somkid Damnoi Udomphon Suamag

คำสำคัญ

ปาล์มน้ำมัน, การประมวลผลภาพ, โมเดลทำนายธาตุอาหารพืช

Keywords

Oil palm, Image processing, Nutrient prediction model

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการใส่ปุ๋ยในปาล์มน้ำมันที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพสูงสุดในปัจจุบัน คือ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นที่ยอมรับในกลุ่มผู้ผลิตปาล์มน้ำมันทั่วโลก เนื่องจากช่วยให้ปาล์มน้ำมันมีผลผลิตสูงอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรายย่อย การเข้าถึงเทคโนโลยีดังกล่าวเป็นไปได้ยาก เนื่องจากเทคโนโลยีการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารใบปาล์มน้ำมัน มีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ การแปลผลค่าวิเคราะห์ และการให้คำแนะนำการใส่ปุ๋ย จึงได้ดำเนินการวิจัยเพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว ด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศสามารถนำมาใช้ในการจัดทำระบบวิเคราะห์ข้อมูลดินและใบปาล์มน้ำมันให้มีประสิทธิภาพขึ้นได้ ทั้งในด้านการจัดการข้อมูลและการประมวลผลข้อมูลอัตโนมัติ จึงได้ดำเนินการศึกษาวิจัยและพัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการวิเคราะห์ภาพถ่าย เพื่อพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใส่ปุ๋ย ใช้งานบนเว็บแอปพลิเคชัน ให้ผู้ใช้งานสามารถประเมินธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันและแปลผลค่าวิเคราะห์ รวมทั้งออกคำแนะนำการใส่ปุ๋ยอัตโนมัติสำหรับปาล์มน้ำมันรายแปลงได้ โดยมีผลการศึกษา ดังนี้ 1. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีของตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันจากภาพถ่ายกับผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ พบว่าความสัมพันธ์ของธาตุไนโตรเจน และธาตุโพแทสเซียมกับค่าสี พบความสัมพันธ์ในระดับต่ำมาก ดังนั้น การใช้ค่าสีเพียงอย่างเดียวไม่สามารถประเมินปริมาณธาตุไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันได้ จึงพัฒนาการประมวลผลภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมันโดยใช้เทคนิค K-mean clustering สำหรับจัดกลุ่มค่าสีและหาสีหลักของภาพ พบว่าการสร้างจากการจัดกลุ่มของค่าสีสำหรับประเมินธาตุไนโตรเจนมีจำนวนค่าสีที่เหมาะสม คือ 5 จำนวนกลุ่มค่าสี และธาตุโพแทสเซียม มีจำนวนค่าสีที่เหมาะสม คือ 30 จำนวนกลุ่มค่าสี และได้จัดทำแผนเทียบสีธาตุไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียม ทางใบที่ 17 และ 33 สำหรับประเมินระดับของธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมเบื้องต้น 2. การพัฒนาโมเดลทำนายธาตุไนโตรเจน และโมเดลทำนายธาตุโพแทสเซียม ศึกษาและพัฒนาจำนวน 3 โมเดล ได้แก่ โมเดล AlexNet V2 โมเดล ResNext และโมเดล MobileNet V3 และวัดประสิทธิภาพการเรียนรู้ ทั้ง 3 โมเดล โดยการเปรียบเทียบค่า Loss ของแต่ละโมเดล ที่ใช้ข้อมูลฝึกฝนจากทางใบ 17 จำนวน 150 Epochs เหมือนกัน พบว่า มีการลดลงของค่า Loss ที่ใกล้ 0 ทุกโมเดล และพบว่า MobileNet V3 ให้ค่า Loss ต่ำที่สุด หรือมีประสิทธิภาพสูงสุดที่สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบประเมินธาตุอาหารในขั้นตอนต่อไป 3. พัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใส่ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน ใช้งานบนเว็บแอปพลิเคชัน <http://puipalm.research-oard7.com> โดยใช้งาน 2 ลักษณะ คือ 1) การแปลผลการใส่ปุ๋ยจากข้อมูลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันจากห้องปฏิบัติการ และ 2) การแปลผลการใส่ปุ๋ยจากภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมันที่นำเข้าสู่ระบบ ผ่านการทำนายธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันอัตโนมัติโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ ที่พัฒนามาจากโมเดล MobileNet V3 ประกอบด้วย ระบบทำนายธาตุไนโตรเจนและระบบทำนายธาตุโพแทสเซียม มีความแม่นยำรวมร้อยละ 86.34 และ 56.66 ตามลำดับ และมีค่า MSE รวมทั้ง 2 ระบบ เท่ากับ 0.06

Abstract

Oil palm leaf analysis is used to assess the nutrient status of oil palm. This is precision, effectiveness and commonly used because it had high yield continuously and reduced environmental pollution from applying excessive amounts of fertilizer. The majority of oil palm plantation in Thailand belongs to smallholders, the smallholder's limit their use technology of oil palm leaf analysis because there was not practical method for smallholder such as time consuming to analysis process, interpretation and fertilizer recommendation by expert. This research was reduced limitation of technology with information technology by Research and Development in Information Technology to Oil Palm Fertilizer Recommendation System. The system was comprised of web application which assessed, interpreted and recommended on the nutrient status of leaf to smallholders immediately. The result of this study: 1. Study of relation between the color of sample and nutrient status of oil palm leaf on laboratory experiment. The result was found that relationship between nutrient (Nitrogen and Potassium) and color value was not related. However, Using the color value could not access the nutrient status of oil palm leaf, K-means clustering was taken to solve this problem. K-means clustering was an unsupervised learning algorithm, which groups the unlabeled dataset into different clusters. The result with K-means clustering, color value of Nitrogen assessing was 5 groups and color value of Potassium assessing was 30 groups that lead to produce the leaf color chart of Nitrogen and Potassium for 17th and 33rd frond to primary assess the nutrient status of oil palm. 2. The Nitrogen and Potassium Prediction Model, which produce 3 models as follow: 1. AlexNet V2, 2. ResNext and 3. MobileNet V3. A total of three models was tested and evaluated by comparing Loss value with 150 Epochs on the training dataset with 17th frond. Loss value was decreased nearly zero every model and MobileNet V3 was the lowest loss value, which could apply to develop model of assessing the nutrient status of oil palm. 3. Development leaf nutrients prediction model and fertilizer recommendation system for oil Palm on web application. There could be interpretation and fertilizer recommendation from 1. Data of nutrient status of oil palm leaf from laboratory 2. Oil palm leaf Image. The model could predict nutrient status automatically with oil palm leaf Image by artificial intelligence (AI), which develop from MobileNet V3. The accuracy model with Nitrogen and Potassium status was 86.34 and 56.66 respectively and both models had mean square error (MSE) values of 0.06.

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของแผนงานวิจัยย่อย

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ต้องการธาตุอาหารปริมาณสูงในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต การใช้ปุ๋ยในปาล์ม น้ำมันจึงมีความจำเป็นอย่างมาก ที่ต้องใช้ให้ถูกต้องและเหมาะสม ให้เพียงพอกับความต้องการของปาล์มน้ำมัน จึงจะทำให้ปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตที่สูงอย่างต่อเนื่องตลอดอายุการเก็บเกี่ยว กรมวิชาการเกษตรแนะนำการใช้ปุ๋ยเชิงเดี่ยวตามค่าวิเคราะห์ใบในสวนปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีการศึกษา วิจัย และมีการใช้อย่างแพร่หลาย เป็นที่ยอมรับในวงการผู้ผลิตปาล์มน้ำมันทั่วโลก ซึ่งช่วยลดต้นทุนการผลิตและช่วยให้ปาล์มน้ำมันมีผลผลิตอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ปุ๋ยในปริมาณที่มากเกินไป สอดคล้องกับมาตรฐาน RSPO (Roundtable for Sustainable Palm Oil) ที่สนับสนุนให้มีการผลิตปาล์มน้ำมันอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับการปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรายย่อย การเข้าถึงเทคโนโลยีดังกล่าวเป็นไปได้ยาก เนื่องจากเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยเชิงเดี่ยวตามค่าวิเคราะห์ใบ มีข้อจำกัดในเรื่องของวิธีการเก็บตัวอย่างใบ การแปลผลค่าวิเคราะห์ และการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ย จำเป็นต้องอาศัยผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญ ประกอบกับเจ้าของสวนปาล์มน้ำมันต้องมีการจดบันทึกอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะข้อมูลการใช้ปุ๋ยและข้อมูลผลผลิต ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ใบมีประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ ถึงแม้ว่าจะเป็นวิธีมาตรฐานที่แม่นยำและน่าเชื่อถือที่สุด แต่มีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ประมาณ 500-600 บาทต่อรายการธาตุอาหารที่ทำการวิเคราะห์ต่อ 1 ตัวอย่าง และต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 15-30 วัน จึงทำให้ส่งผลคำแนะนำในการใช้ปุ๋ยให้แก่เกษตรกรไม่ทันรอบการใส่ปุ๋ยถัดไป อีกทั้งหน่วยงานรัฐยังขาดระบบในการจัดเก็บข้อมูลของเกษตรกรเพื่อนำไปวิเคราะห์และประมวลผลในงานด้านอื่นๆ การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ ให้มีการเก็บบันทึกข้อมูล จัดการข้อมูล และประมวลผลข้อมูล ที่มีประสิทธิภาพขึ้นได้ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อนำมาพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย ทั้งในด้านการจัดการข้อมูลและการประมวลผลข้อมูลอัตโนมัติ ในรูปแบบการพัฒนาและจัดทำเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งเกษตรกรหรือผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีความรู้เฉพาะทางในการแปลผลค่าวิเคราะห์และการคำนวณการใช้ปุ๋ย เนื่องจากระบบสามารถประมวลผลให้อัตโนมัติโดยใช้เกณฑ์และหลักการคำนวณจากผู้เชี่ยวชาญ อีกทั้งยังทำให้การจัดเก็บข้อมูลเป็นระบบมากขึ้นและสามารถเรียกดูข้อมูลได้ผ่านอินเทอร์เน็ต ช่วยให้เกษตรกรหรือบุคคลทั่วไปที่ไม่มีความรู้เกี่ยวกับสุขภาพของต้นปาล์มน้ำมันและธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน สามารถประเมินผลตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันเบื้องต้นได้ ด้วยการถ่ายภาพจากภาพถ่ายใบปาล์ม น้ำมัน นอกจากนี้ ยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการได้อีกด้วย การพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้การจัดการธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น

2. การทบทวนวรรณกรรม

1) การประมวลผลภาพ (Image processing)

การประมวลผลภาพ (Image processing) คือ กระบวนการประมวลผลภาพ เพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น ปรับปรุงภาพให้ดีขึ้น การจัดการข้อมูลภาพสำหรับการเก็บและการส่งภาพ การวิเคราะห์รูปภาพอัตโนมัติ เป็นต้น เทคนิคนี้ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกประมาณปี ค.ศ. 1920 (Gonzalez and Wood, 2002) และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนในปัจจุบันมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เช่น การจำแนกบุคคลโดยการจดจำใบหน้า การตรวจจับความเร็วของรถ การประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ รวมทั้งการประยุกต์ใช้ทางการเกษตร การนำเทคนิค Image processing มาประยุกต์ใช้ทางการเกษตร เนื่องจากเป็นเทคนิคที่ใช้งานได้ง่าย และเป็นเทคนิคที่มีค่าใช้จ่ายในการใช้งานไม่สูงมากนัก จึงมีการนำเทคนิค Image processing มาประยุกต์ใช้ในการจัดการการผลิตพืช เช่น การตรวจวัดการเกิดโรคในพืชและการระบาดของแมลง การประเมินการขาดธาตุอาหาร การประเมินคุณภาพของดิน เป็นต้น

Mercado-Luna *et al.* (2010) รายงานว่า ปริมาณไนโตรเจนในต้นกล้ามะเขือเทศที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl Method มีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Image processing มากกว่าการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วย SPAD-502 chlorophyll meter ซึ่งการประเมินปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Image processing มีความแม่นยำและรวดเร็วที่จะตรวจวัดการขาดธาตุไนโตรเจนในมะเขือเทศระยะต้นกล้าได้

Mahajan (2012) รายงานว่า การใช้เทคนิค Image processing ช่วยให้ทราบช่วงระยะเวลาในการเจริญเติบโตแบบทันเวลา (real time) ซึ่งช่วยให้การจัดการในการปลูกข้าวสาลีมีความถูกต้องและแม่นยำกว่าการใช้ตารางการปลูกพืชแบบเดิมที่มีการจัดการแบบกำหนดอายุพืช

Tewari *et al.* (2013) ศึกษาการประเมินปริมาณธาตุไนโตรเจนในข้าว โดยใช้เทคนิค Image processing เปรียบเทียบกับการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วย SPAD meter และการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl Method ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณไนโตรเจนมีความสอดคล้องกับสีที่ปรากฏบนภาพ โดยมีค่า $r^2 = 0.948$

Miyatra and Solanki (2014) ศึกษาและพัฒนา algorithm ในขั้นตอน image segmentation ของเทคนิค Image processing สำหรับตรวจวัดโรคใบจุดในฝ้ายและตรวจวัดอาการขาดธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แมงกานีส (Mn) โมลิบดีนัม (Mo) ซัลเฟอร์ (S) แคลเซียม (Ca) และโบรอน (B) พบว่า algorithm ที่พัฒนาขึ้นมานั้นมีความเที่ยงตรงและแม่นยำสูงในการตรวจวัดโรคใบจุดและอาการขาดธาตุดังกล่าว

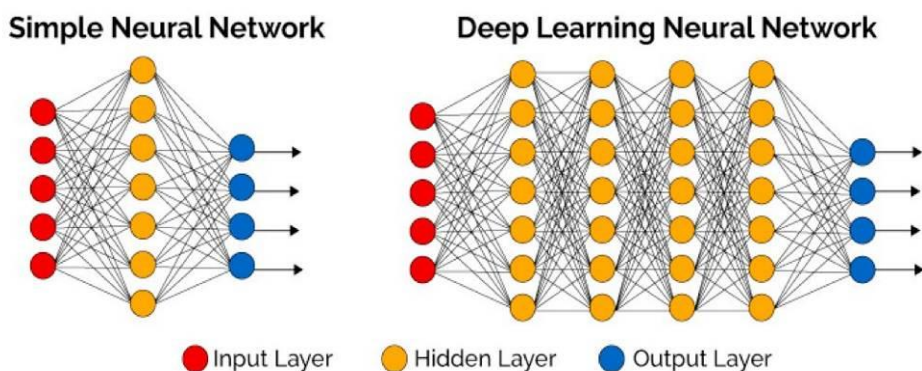
2) เทคนิค K-Mean Clustering

การจัดกลุ่มค่าสีโดยใช้เทคนิค K-Mean Clustering ซึ่ง K-means เป็นหนึ่งในอัลกอริทึม (Algorithm) การเรียนรู้ไร้ผู้ฝึกสอน เพราะเป็นการแก้ปัญหาการจัดกลุ่มที่รู้จักกันทั่วไป โดยอัลกอริทึม K-Means จะตัดแบ่ง (Partition) วัตถุหรือภาพออกเป็น K กลุ่ม โดยแทนแต่ละกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของกลุ่ม ซึ่งใช้เป็นจุดศูนย์กลาง (Centroid) ของกลุ่มในการวัดระยะห่างของข้อมูลในกลุ่มเดียวกัน (Ruksiamza, 2020) ในขั้นแรกของการจัดกลุ่มโดยการหาค่าเฉลี่ยแบบเคย์ต้องกำหนดจำนวนกลุ่ม (K) ที่ต้องการ และกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นจำนวน K จุด สิ่งสำคัญในการกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นของแต่ละกลุ่มนี้ ควรจะถูกกำหนดด้วยวิธีที่เหมาะสม เพราะตำแหน่ง

จุดศูนย์กลางเริ่มต้นที่แตกต่างกันทำให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายแตกต่างกัน ดังนั้นในทางที่ดีควรจะกำหนดจุดศูนย์กลางนี้ให้ห่างจากจุดศูนย์กลางอื่นๆ ขั้นตอนต่อไปคือสร้างกลุ่มข้อมูลและความสัมพันธ์กับจุดศูนย์กลางที่ใกล้มากที่สุด โดยแต่ละจุดจะถูกกำหนดไปยังจุดศูนย์กลางที่ใกล้เคียงที่สุดจนครบหมดทุกจุด และคำนวณจุดศูนย์กลางใหม่ โดยการหาค่าเฉลี่ยทุกวัตถุที่อยู่ในกลุ่ม หากจุดศูนย์กลางในแต่ละกลุ่มถูกเปลี่ยนตำแหน่ง จะได้จุดมีความสัมพันธ์กับกลุ่มใหม่และใกล้กับจุดศูนย์กลางใหม่ ทำซ้ำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จะสังเกตเห็นว่าผลลัพธ์จากการทำซ้ำแบบนี้ทำให้จุดศูนย์กลางเปลี่ยนตำแหน่งถูกรอบ จนกระทั่งจุดศูนย์กลางจำนวน K จุด ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงจะสิ้นสุดกระบวนการ (Dubey *et al.*, 2013; Jumb *et al.*, 2014)

3) การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

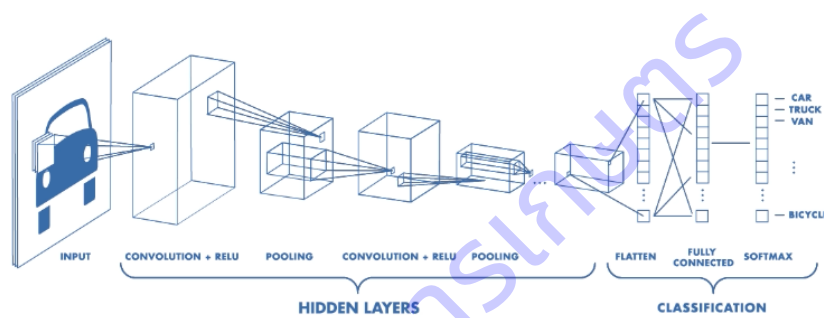
การเรียนรู้เชิงลึกเป็นสาขาหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เพื่อการเรียนรู้ข้อมูล โดยจะต้องประกอบไปด้วยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) จำนวนหลายชั้นซึ่งทำให้มีการเรียนรู้ที่ซับซ้อนขึ้นกว่าการใช้โครงข่ายประสาทเทียมชั้นเดียว ในปัจจุบันเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกได้มีการพัฒนาเพื่อใช้ในงานประเภทต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูง โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพต่าง ๆ เช่น การจดจำใบหน้าคน การตรวจจับวัตถุต่าง ๆ การทำนายโรคพืชจากภาพถ่าย การตรวจหาเซลล์มะเร็งบนภาพเอกซเรย์ การจำแนกประเภทข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม เป็นต้น หากเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลภาพ มักจะมีการใช้ Convolutional Neural Network หรือ CNN ร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งเป็นโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบพิเศษที่สามารถจำแนกข้อมูลประเภทรูปภาพได้ดีกว่าโครงข่ายประสาทเทียมทั่วไป ซึ่งเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกเป็นส่วนหนึ่งของเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง อยู่ภายใต้ระบบปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งเป็นระบบประมวลผลที่มีการวิเคราะห์เชิงลึกของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้ข้อมูลสำหรับฝึกฝนเพื่อให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้ และสามารถแก้ไขปัญหาที่ใกล้เคียงได้ ปัญหาปัจจุบันนักวิจัยในสาขาต่างๆ ได้มีการปรับแต่งโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกให้มีความซับซ้อนและจำนวนชั้นมากยิ่งขึ้นเพื่อรองรับการแก้ปัญหาที่ยากและซับซ้อน อย่างไรก็ตามความแม่นยำและประสิทธิภาพของโมเดลไม่ได้ขึ้นอยู่กับความลึกของจำนวนชั้นโครงข่ายประสาทเทียมเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของและจำนวนของชุดข้อมูลสำหรับฝึกฝน



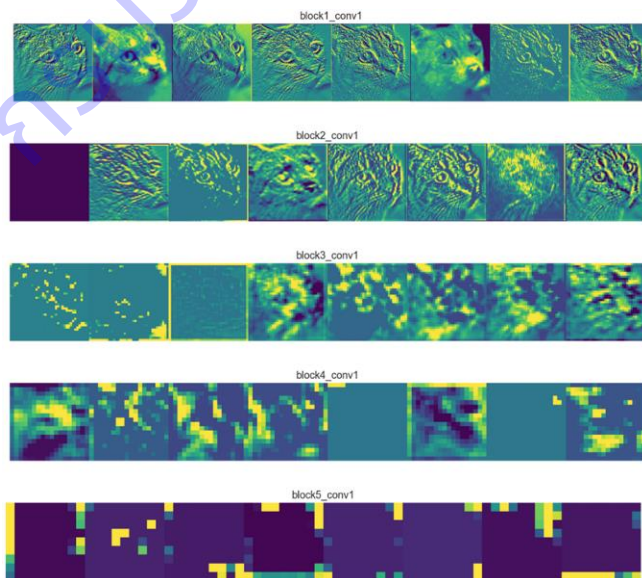
ภาพที่ 7 ตัวอย่างโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบธรรมดาและการเรียนรู้เชิงลึก

4) โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network)

โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันเป็นโครงข่ายประสาทเทียมรูปแบบหนึ่ง ที่จะทำการสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction) ของข้อมูลภาพออกมาและยังคงความสัมพันธ์ของพิกเซลใกล้เคียงเอาไว้ด้วย เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้ลักษณะของภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ เช่น รูปร่างของวัตถุ สี ขนาดของวัตถุนภาพ เส้นขอบ เป็นต้น ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานจำแนกประเภทข้อมูลภาพ การรู้จำใบหน้า การตรวจจับวัตถุต่าง ๆ เป็นต้น โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันสามารถปรับแก้ชั้นข้อมูลเพื่อให้มีประสิทธิภาพ และตรงกับการจุดประสงค์ของงานได้ ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างหลักการทำงานของ CNN เบื้องต้นสำหรับการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างคุณลักษณะของข้อมูลภาพแมวที่ CNN ทำการสกัดออกมาได้ โดยการใช้ตัวกรอง (Filter) ที่มีขนาดของความถี่และรูปแบบแตกต่างกัน โดยคุณลักษณะบางอย่างมนุษย์ไม่สามารถทำการแยกแยะได้ด้วยตาเปล่า (Dertat, 2017)



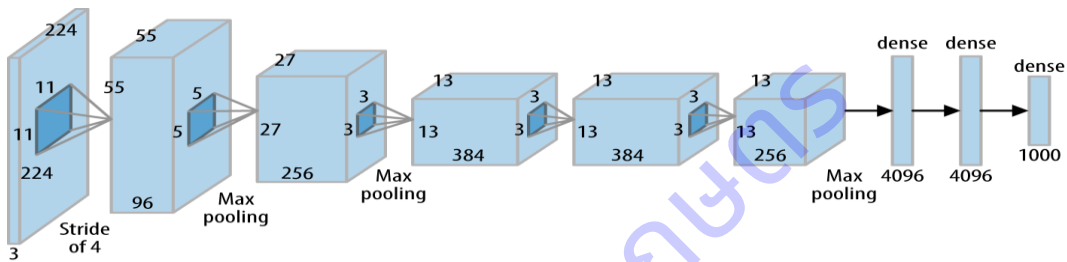
ภาพที่ 8 ตัวอย่างหลักการทำงานของ CNN



ภาพที่ 9 ตัวอย่างหลักการทำงานของ CNN (Dertat, 2017)

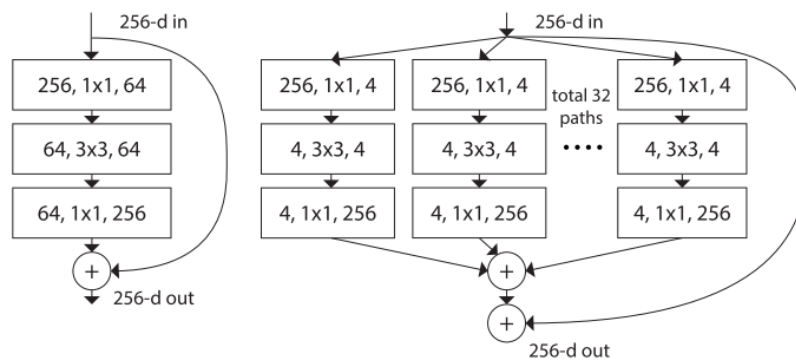
5) โมเดลที่ศึกษา

5.1) โมเดล AlexNet เป็นโมเดลประเภท CNN รูปแบบหนึ่งซึ่งถูกพัฒนาขึ้นสำหรับงานจำแนกประเภทข้อมูลภาพที่มีจำนวนประเภทมากถึง 1000 ประเภท มีจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องปรับแก้ขณะฝึกฝนโมเดล 61 ล้านตัว จากผลการทดสอบกับชุดข้อมูล ImageNet ซึ่งเป็นชุดข้อมูลสำหรับฝึกฝนที่เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบความแม่นยำของโมเดล มีข้อมูลจำนวน 1000 ประเภท พบว่า AlexNet มีค่า Top1 Accuracy อยู่ที่ 56.55 % ซึ่งเป็นค่าที่จะวัดเฉพาะเมื่อโมเดลจำแนกประเภทข้อมูลนั้น ๆ ถูกต้องและให้ค่าความน่าจะเป็นในการตอบข้อมูลประเภทนั้นสูงที่สุด โดยในงานวิจัยนี้ได้นำโมเดล AlexNet มาใช้เนื่องจากเป็นโมเดลที่มีความไม่ซับซ้อน มีจำนวนชั้นโครงข่ายประสาทเทียมมีน้อย มีจำนวนพารามิเตอร์ที่อยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งในงานนี้ได้นำ AlexNet V2 มาใช้ในการพัฒนาโมเดลทำนายธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน (Krizhevsky *et al.*, 2012)



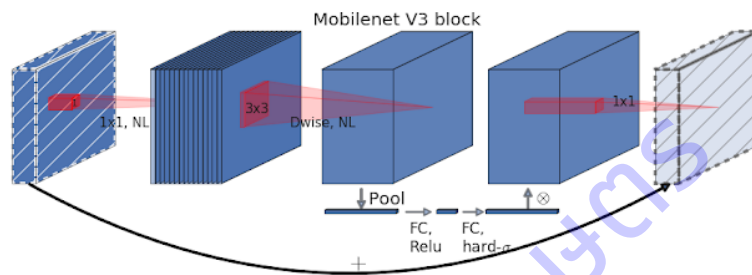
ภาพที่ 10 ตัวอย่างโครงสร้าง AlexNet

5.2) โมเดล ResNext เป็นโมเดลประเภท CNN รูปแบบหนึ่งซึ่งเป็นโมเดลที่ได้รางวัลอันดับสองในงาน ILSVRC 2016 พัฒนาขึ้นโดย UC San Diego และ Facebook AI Research มีจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องปรับแก้ขณะฝึกฝนโมเดล 84 ล้าน ตัว จากผลการทดสอบกับชุดข้อมูล ImageNet พบว่า ResNext มีค่า Top1 Accuracy อยู่ที่ 80.90 % ซึ่งนำมาใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบกับโมเดลอื่น ๆ และทดสอบกับชุดข้อมูลภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมัน โครงสร้างของ ResNext จะมีความคล้ายคลึงกับโมเดล ResNet ที่เป็นที่ยอมรับ แต่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างโดยใช้หลักการ Split-Transform-Merge หรือ การแยก ปรับเปลี่ยน และรวม ภาพที่ 11 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของ ResNext เมื่อเปรียบเทียบกับ ResNet (Xie, Saining *et al.*, 2017)



ภาพที่ 11 โครงสร้างบางส่วนของ ResNet (ซ้าย) เปรียบเทียบกับโครงสร้างของ ResNext (ขวา)

5.3) โมเดล MobileNet เป็นโมเดลประเภท CNN รูปแบบหนึ่งมีขนาดเล็ก มีจำนวนพารามิเตอร์น้อยเพียง 5.4 ล้าน ตัว มีความหน่วงในการรับส่งข้อมูลน้อยเมื่อนำไปใช้งานจริง เหมาะกับการพัฒนาบนอุปกรณ์หรือเครื่องที่ต้องการความเร็วและมีทรัพยากรจำกัด จากผลการทดสอบกับชุดข้อมูล ImageNet พบว่า MobileNet มีค่า Top1 Accuracy อยู่ที่ 75.20 % ซึ่งถือว่ามีความแม่นยำสูงและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับจำนวนพารามิเตอร์ ซึ่งงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาระบบและเว็บแอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้งานที่ใช้คอมพิวเตอร์ทั่วไปหรือโทรศัพท์มือถือที่ไม่สามารถรองรับการประมวลผลที่ซับซ้อนได้ จึงได้นำโมเดลนี้มาใช้ในการทดสอบและเปรียบเทียบกับโมเดลอื่น ๆ ภาพที่ 12 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของโมเดล MobileNet V3 ซึ่งเป็นโมเดลที่นำมาใช้ในงานวิจัย (Howard *et al.*, 2019)



ภาพที่ 12 ตัวอย่างโครงสร้างของ MobileNet V3

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายและปริมาณธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมัน
- 2) เพื่อพัฒนาโมเดลประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน
- 3) เพื่อพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันสู่คำแนะนำการใช้ปุ๋ย

3. ขอบเขตการวิจัย

แผนงานวิจัยย่อยวิจัยพัฒนาระบบสารสนเทศคำแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน อยู่ภายใต้แผนงานวิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศสู่เกษตรกรดิจิทัล ของกรมวิชาการเกษตร ประกอบด้วย 2 โครงการวิจัย ได้แก่ 1. โครงการวิจัยพัฒนาโมเดลการประเมินธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน โดยใช้เทคนิค image processing และ 2. โครงการพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน ดำเนินการวิจัยระหว่างปี พ.ศ. 2560-2564 ศึกษาในกลุ่มตัวอย่างปาล์มน้ำมันพันธุ์สุราษฎร์ธานี 2 ที่ช่วงอายุ 7-12 ปี วิจัยและพัฒนาโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการวิเคราะห์ภาพถ่าย เพื่อพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย ใช้งานบนเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ให้ผู้ใช้งานสามารถประเมินธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันและแปลผลค่าวิเคราะห์ รวมทั้งออกคำแนะนำการใช้ปุ๋ยอัตโนมัติสำหรับปาล์มน้ำมันรายแปลงได้

ระเบียบวิธีการวิจัย

แผนงานย่อยวิจัยพัฒนาระบบสารสนเทศแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วย 2 โครงการวิจัยที่ดำเนินงานต่อเนื่องกัน โครงการที่ 1 พัฒนาโมเดลการประเมินธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน โดยใช้เทคนิค image processing ประกอบด้วย 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายและปริมาณธาตุอาหารของใบปาล์มน้ำมันที่ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยใช้เทคนิค Image Processing และการทดลองที่ 2 พัฒนาโมเดลสำหรับการประเมินธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน โครงการที่ 2 พัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน และระบบแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน ประกอบด้วย 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 การพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันสู่คำแนะนำการใช้ปุ๋ย และการทดลองที่ 2 ตรวจสอบความใช้ได้ของระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน และระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย โดยมีความเชื่อมโยงกันแสดงดังแผนภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ความเชื่อมโยงการดำเนินงานวิจัยภายใต้แผนงานวิจัยย่อยวิจัยพัฒนาระบบสารสนเทศแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน

1. การพัฒนาโมเดลการประเมินธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน โดยใช้เทคนิค image processing

1.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายและปริมาณธาตุอาหารของใบปาล์มน้ำมันที่ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยใช้เทคนิค Image Processing มีวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

1) การเก็บตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันทางใบที่ 17 และทางใบที่ 33 โดยสังเกตอาการใบที่แสดงอาการขาดเหมาะสม และได้รับธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมมากเกินไป จำนวนอย่างละ 450 ตัวอย่าง เพื่อให้ได้ภาพถ่ายและค่าวิเคราะห์ครอบคลุมทุกระดับของการได้รับธาตุอาหาร

2) ถ่ายภาพในปาล์มน้ำมันที่เตรียมได้จากข้อ 1) โดยใช้เครื่องแสกนภาพ Epson Perfection V600 Photo Scanner มีความละเอียดของออฟติคสูงสุดในเครื่องระดับเดียวกันขนาด 6400 จุดต่อนิ้ว และ Optical Density ขนาด 3.4 DMax และถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล

3) วิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจน และธาตุโพแทสเซียมของใบปาล์มน้ำมันตัวอย่าง ด้วยวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการที่ได้รับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025

4) จัดกลุ่มความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมันกับค่ามาตรฐานปริมาณธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียมที่วิเคราะห์ได้จากในห้องปฏิบัติการ (Fairhurst & Mutert, 1999)

5) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีของตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันจากภาพถ่ายกับผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ โดยวิธี Regression analysis

6) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีของตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันจากภาพถ่ายกับผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ โดยวิธี K-mean clustering

7) พัฒนาแผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมันสำหรับประเมินธาตุไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียม

1.2 การพัฒนาโมเดลสำหรับการประเมินธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน มีวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

1) การเตรียมข้อมูลตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีจำนวนตัวอย่างรวม 900 ตัวอย่าง แบ่งเป็นตัวอย่างในกลุ่มอาการขาดธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียม กลุ่มละ 450 ตัวอย่าง ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะมีการเก็บใบปาล์มน้ำมันจากทางใบที่ 17 และ 33

2) เตรียมข้อมูลผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียมจากห้องปฏิบัติการ

3) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสีของใบปาล์มน้ำมันกับค่าวิเคราะห์ใบปาล์มน้ำมันจากห้องปฏิบัติการ และค่ามาตรฐานปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันทางใบที่ 17 มาวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการในการแปลผล โดยจัดทำข้อมูลตัวอย่าง (training data) สำหรับการเรียนรู้การจำแนกประเภทข้อมูลใบปาล์มน้ำมันแต่ละอาการ โดยใช้เทคนิค Deep Learning

4) ทดลองการทำโมเดลเบื้องต้น โดยใช้ภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมันจากกล้องดิจิทัลพัฒนาโมเดลแบ่งเป็นโมเดลสำหรับทำนายธาตุไนโตรเจน และโมเดลสำหรับทำนายธาตุโพแทสเซียมเลือกใช้โมเดลที่เป็นที่นิยม (State of the art) มาพัฒนาโมเดลทำนายผล แบบ Regression ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าธาตุอาหารเปรียบเทียบ และเทรนโมเดลหลายรูปแบบ โดยมีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ ชุดข้อมูล ทางใบ เพื่อเลือกโมเดลที่ดีที่สุดสำหรับทำนายธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียม

2. การพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน และระบบแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน

2.1 การพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันสู่คำแนะนำการใช้ปุ๋ย

เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

1) ฮาร์ดแวร์

- Web Server : ใช้บริการ Cloud Hosting จากบริษัท Digital Ocean ซึ่งสามารถปรับแต่งคุณสมบัติของ Server ได้เองอย่างหลากหลาย โดยได้ทำการติดตั้งระบบปฏิบัติการ Ubuntu

- เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลภาพและพัฒนาแบบจำลอง GPU NVIDIA GTX 1080 Ti 11GB

2) ภาษาโปรแกรมและฐานข้อมูล

- PHP HTML JAVA Script และ CSS สำหรับจัดทำเว็บแอปพลิเคชัน

- Python สำหรับทำโปรแกรมประมวลผลภาพ พัฒนาโมเดลทำนายธาตุอาหาร และระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย

3) MySQL Database สำหรับจัดทำฐานข้อมูล

4) ชุดคำสั่งและ API

- PyTorch และ Scikit-learn สำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับ AI พัฒนาโมเดลทำนายธาตุอาหาร และระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย

- OpenCV PIL Scikit-image และ Numpy สำหรับการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพ

ขั้นตอนการพัฒนาระบบ

1) การพัฒนาระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย

1.1) จัดเตรียมข้อมูลค่ามาตรฐานที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาระบบ ได้แก่ ข้อมูลค่ามาตรฐานปริมาณธาตุอาหารปาล์มน้ำมันทางใบที่ 17 ข้อมูลค่ามาตรฐานสมบัติดินสำหรับปลูกปาล์มน้ำมัน

1.2) จัดเตรียมข้อมูลประวัติข้อมูลสำหรับทดสอบการประมวลผลผ่านระบบ ได้แก่ ชุดข้อมูลผลวิเคราะห์สมบัติดินและปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน การใช้ปุ๋ยและการจัดการสวนของเกษตรกร และสูตรคำนวณการแปลผลค่าวิเคราะห์สู่คำแนะนำการใช้ปุ๋ย

1.3) ตรวจสอบรูปแบบข้อมูล (data format) ทั้งหมดที่จะนำเข้าสู่ระบบแสดงผลการแปลผลค่าวิเคราะห์สู่คำแนะนำการใช้ปุ๋ยให้เป็นไปตามมาตรฐานการแสดงผลในรูปแบบเว็บ

1.4) ออกแบบและพัฒนาระบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อช่วยลดขั้นตอนในการประมวลผลข้อมูล โดยไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการแปลผลค่าวิเคราะห์สู่คำแนะนำการใช้ปุ๋ย

1.5) ทำการทดสอบระบบร่วมกับเจ้าหน้าที่ดูแลระบบและเจ้าหน้าที่นำเข้าข้อมูล

1.6) รวบรวมข้อเสนอแนะและปรับปรุงกระบวนการของระบบ

2) การพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน

2.1) เลือกใช้โมเดลที่ดีที่สุดจากการทดลองในโครงการวิจัยพัฒนาโมเดลการประเมินธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน เพื่อนำมาพัฒนาสู่ระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันอัตโนมัติ

2.2) ออกแบบและพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันอัตโนมัติ

- 2.3) พัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันอัตโนมัติให้เชื่อมโยงกับระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย
 - 2.4) ทำการทดสอบระบบร่วมกับเจ้าหน้าที่ดูแลระบบและเจ้าหน้าที่นำเข้าข้อมูล
 - 2.5) รวบรวมข้อเสนอแนะและปรับปรุงกระบวนการของระบบ
- 3) พัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) เพื่อการใช้งานและแสดงผลข้อมูล

2.2 ตรวจสอบความใช้ได้ของระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน และระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย

- 1) เตรียมข้อมูลภาพถ่ายทางใบที่ 17 สำหรับเป็นชุดข้อมูลทดสอบ (Testing data) โดยถ่ายภาพใบปาล์มน้ำมันทางใบที่ 17 และส่งวิเคราะห์ปริมาณธาตุไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียม
- 2) จัดกลุ่มสุขภาพใบปาล์มน้ำมัน ตามค่ามาตรฐานใบปาล์มน้ำมันทางใบที่ 17
- 3) นำเข้าข้อมูลภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมัน ระบบจะทำการประมวลผลและทำนายธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันอัตโนมัติ
- 4) วัดประสิทธิภาพของระบบฯ จากการคำนวณหาร้อยละความแม่นยำ (% Accuracy) ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) โดยเป็นการหาผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่ทำนายได้ (prediction) กับค่าจริง (actual) แล้วทำการยกกำลังสองก่อนหาค่าเฉลี่ย หากค่า MSE ต่ำและเข้าใกล้ 0 แสดงว่าโมเดลมีความแม่นยำสูง

กรมวิชาการเกษตร

ผลการวิจัย

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

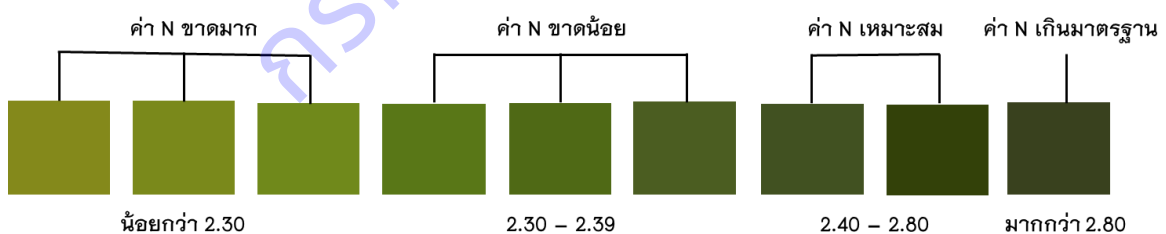
1. การพัฒนาโมเดลการประเมินธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน โดยใช้เทคนิค image processing

1.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายและปริมาณธาตุอาหารของใบปาล์มน้ำมันที่ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยใช้เทคนิค Image Processing

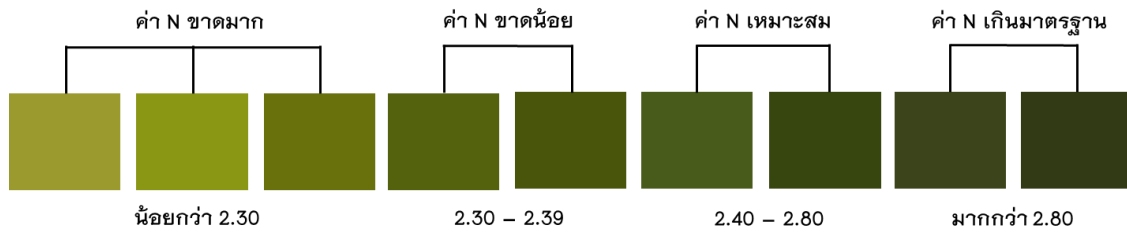
1. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีของตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันจากภาพถ่ายกับผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ พบว่า ความสัมพันธ์ของธาตุไนโตรเจน กับค่าสีระบบ Lab ระบบ RGB และระบบ HSV มีค่า r^2 เท่ากับ 0.038 0.045 และ 0.039 ตามลำดับ และค่าความสัมพันธ์ของธาตุโพแทสเซียม กับค่าสีระบบ Lab ระบบ RGB และระบบ HSV มีค่า r^2 เท่ากับ 0.024 0.037 และ 0.029 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ของธาตุไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียมกับค่าสี พบความสัมพันธ์ในระดับต่ำมาก ดังนั้น การใช้ค่าสีเพียงอย่างเดียวไม่สามารถประเมินปริมาณธาตุไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันได้

2. การประมวลผลภาพใบปาล์มน้ำมันโดยใช้เทคนิค K-mean clustering สำหรับจัดกลุ่มค่าสี และหาสีหลักของภาพ (Dominant colors) สำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาแผ่นเทียบสี เพื่อประเมินระดับการขาดธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียม พบว่า การสร้างจากการจัดกลุ่มของค่าสีสำหรับประเมินธาตุไนโตรเจน ทั้งทางใบที่ 17 และ 33 มีจำนวนค่าสีที่เหมาะสม คือ 5 จำนวนกลุ่มค่าสี และธาตุโพแทสเซียม ทั้งทางใบที่ 17 และ 33 มีจำนวนค่าสีที่เหมาะสม คือ 30 จำนวนกลุ่มค่าสี

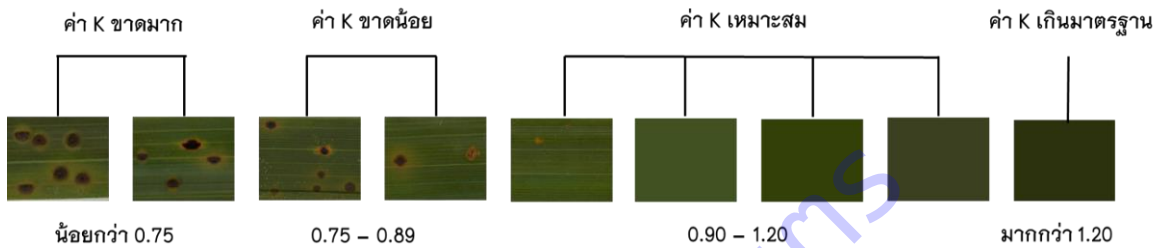
3. ผลลัพธ์แผ่นเทียบสีธาตุไนโตรเจนทางใบที่ 17 พบว่า มีค่าสีในกลุ่มตัวอย่างธาตุไนโตรเจนระดับขาดมาก 3 ค่าสี ระดับขาดน้อย 3 ค่าสี ระดับเหมาะสม 2 ค่าสี และระดับเกินมาตรฐาน 1 ค่าสี และจากการตรวจสอบความถูกต้อง มีค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) คิดเป็นร้อยละ 80



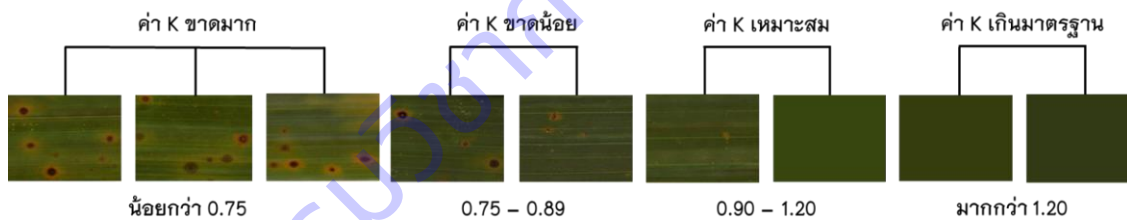
4. ผลลัพธ์แผ่นเทียบสีธาตุไนโตรเจนทางใบที่ 33 พบว่า มีค่าสีในกลุ่มตัวอย่างธาตุไนโตรเจนระดับขาดมาก 3 ค่าสี ระดับขาดน้อย 2 ค่าสี ระดับเหมาะสม 2 ค่าสี และระดับเกินมาตรฐาน 2 ค่าสี และจากการตรวจสอบความถูกต้อง มีค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) คิดเป็นร้อยละ 82.5



5. ผลลัพธ์แผนเทียบสีธาตุโพแทสเซียมทางใบที่ 17 พบว่า มีค่าสีในกลุ่มตัวอย่างธาตุโพแทสเซียมระดับขาดมาก 2 ค่าสี ระดับขาดน้อย 2 ค่าสี ระดับเหมาะสม 4 ค่าสี และระดับเกินมาตรฐาน 1 ค่าสี และจากการตรวจสอบความถูกต้อง มีค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) คิดเป็นร้อยละ 77.5



6. ผลลัพธ์แผนเทียบสีธาตุโพแทสเซียมทางใบที่ 33 พบว่า มีค่าสีในกลุ่มธาตุโพแทสเซียมระดับขาดมาก 3 ค่าสี ระดับขาดน้อย 2 ค่าสี ระดับเหมาะสม 2 ค่าสี และระดับเกินมาตรฐาน 2 ค่าสี และจากการตรวจสอบความถูกต้อง มีค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) คิดเป็นร้อยละ 80



1.2 การพัฒนาโมเดลสำหรับการประเมินธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน มีวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

1) การพัฒนาโมเดลทำนายธาตุไนโตรเจน โดยศึกษาและพัฒนา จำนวน 3 โมเดล ได้แก่ โมเดล AlexNet V2 โมเดล ResNext และโมเดล MobileNet V3 และวัดประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโมเดลสำหรับทำนายธาตุไนโตรเจน ทั้ง 3 โมเดล โดยการเปรียบเทียบค่า Loss ของแต่ละโมเดล ในการเรียนรู้ของโมเดลสำหรับทำนายธาตุไนโตรเจน ที่ใช้ข้อมูลฝึกฝนจากทางใบ 17 จำนวน 150 Epochs พบว่า มีการลดลงของค่า Loss ที่ใกล้ 0 ทุกโมเดล และพบว่า MobileNet V3 ให้ค่า Loss ที่ต่ำที่สุด

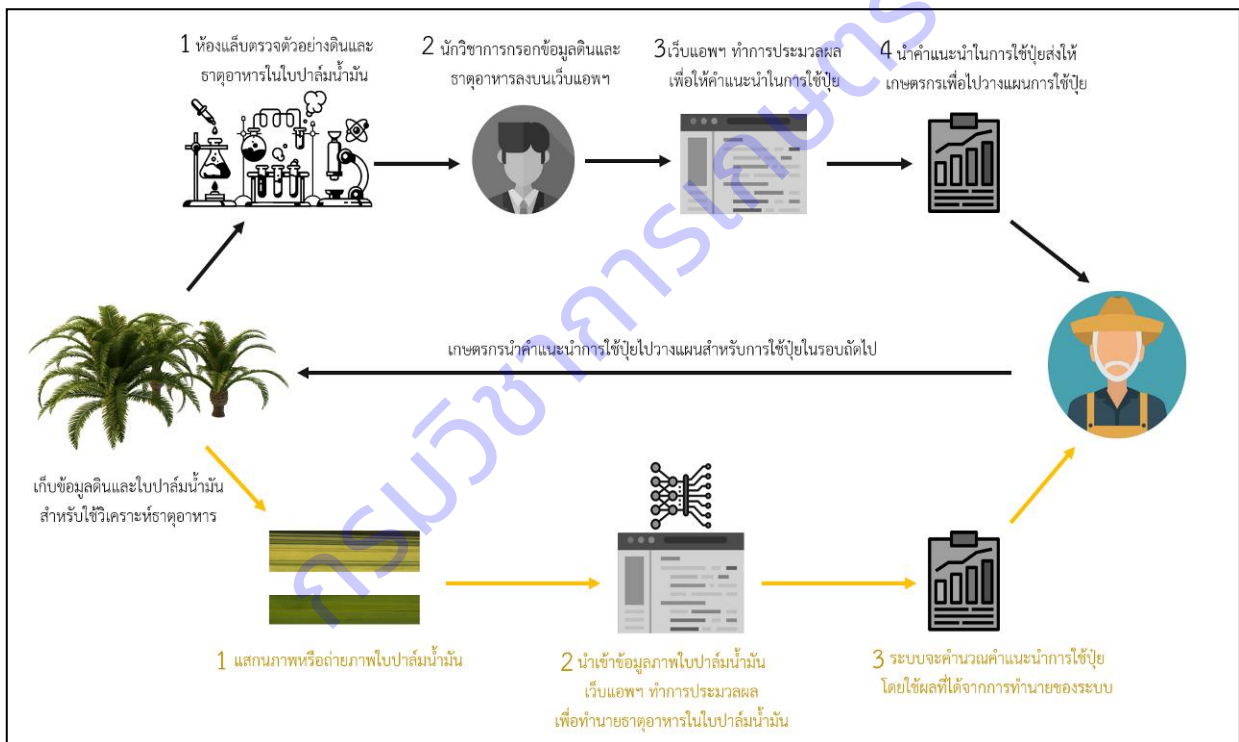
2) การพัฒนาโมเดลทำนายธาตุไนโตรเจน โดยศึกษาและพัฒนา จำนวน 3 โมเดล ได้แก่ โมเดล AlexNet V2 โมเดล ResNext และโมเดล MobileNet V3 และวัดประสิทธิภาพการเรียนรู้ของโมเดลสำหรับทำนายธาตุโพแทสเซียม ทั้ง 3 โมเดล โดยการเปรียบเทียบค่า Loss ของแต่ละโมเดล ในการเรียนรู้ของโมเดลสำหรับทำนาย

ธาตุโพแทสเซียม ที่ใช้ข้อมูลฝึกฝนจากทางใบ 17 จำนวน 150 Epochs พบว่า มีการลดลงของค่า Loss ที่ใกล้ 0 ทุกโมเดล และพบว่า MobileNet V3 ให้ค่า Loss ที่ต่ำที่สุด

2. การพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน และระบบแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน

2.1 การพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันสู่คำแนะนำการใช้ปุ๋ย

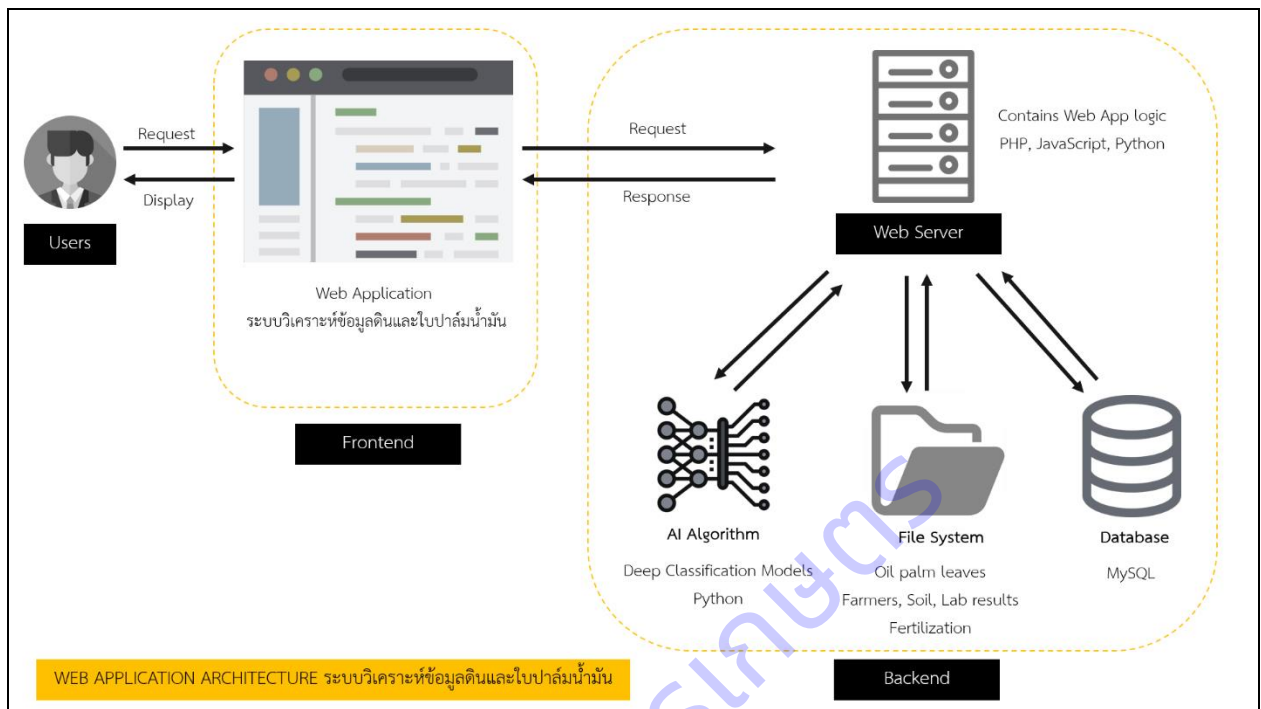
1) การออกแบบระบบประเมินธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใช้ปุ๋ยเพื่อการใช้งานบนเว็บไซต์แอปพลิเคชัน โดยการออกแบบให้สามารถใช้งานได้ 2 ลักษณะ คือ 1. การแปลผลการใช้ปุ๋ยจากข้อมูลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันจากห้องปฏิบัติการ และ 2. การแปลผลการใช้ปุ๋ยจากภาพถ่ายในปาล์มน้ำมันที่นำเข้าสู่ระบบ (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 แสดงแนวคิดการออกแบบเว็บไซต์แอปพลิเคชันการใช้งานระบบประเมินธาตุอาหารและคำแนะนำการใช้ปุ๋ย

2) การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) เพื่อการใช้งานและแสดงผลข้อมูลระบบประเมินธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย มีโครงสร้างระบบจัดเก็บและประมวลผล ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1) ส่วนผู้ใช้งาน (Users) 2) ส่วนแสดงผลหรือหน้าเว็บแอปพลิเคชัน (Frontend) และ 3) ส่วนประมวลผลข้อมูลและจัดการเว็บแอปพลิเคชัน (Backend) (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 โครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชัน ระบบวิเคราะห์ข้อมูลดินและใบปาล์มน้ำมัน

ระบบจัดเก็บและประมวลผลการประเมินธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย มีรายละเอียดในแต่ละส่วนของระบบ ดังนี้

1. ผู้ใช้งาน (Users)

กลุ่มผู้ใช้งานเป้าหมาย ได้แก่ นักวิจัย เจ้าหน้าที่หน่วยงาน เกษตรกร และบุคคลทั่วไป ผู้ใช้งานที่ลงทะเบียนสามารถใช้งานเว็บแอปพลิเคชันในฟังก์ชันต่าง ๆ ได้แก่ นำเข้าข้อมูล แสดงผลข้อมูล ลบ แก้ไขข้อมูล และพิมพ์เอกสาร

2. ส่วนแสดงผลหรือหน้าเว็บแอปพลิเคชัน (Client)

ทำการรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน เชื่อมต่อกับระบบประมวลผล และแสดงผลให้แก่ผู้ใช้งานผ่านหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

3. ส่วนประมวลผลข้อมูลและจัดการเว็บแอปพลิเคชัน (Web Server)

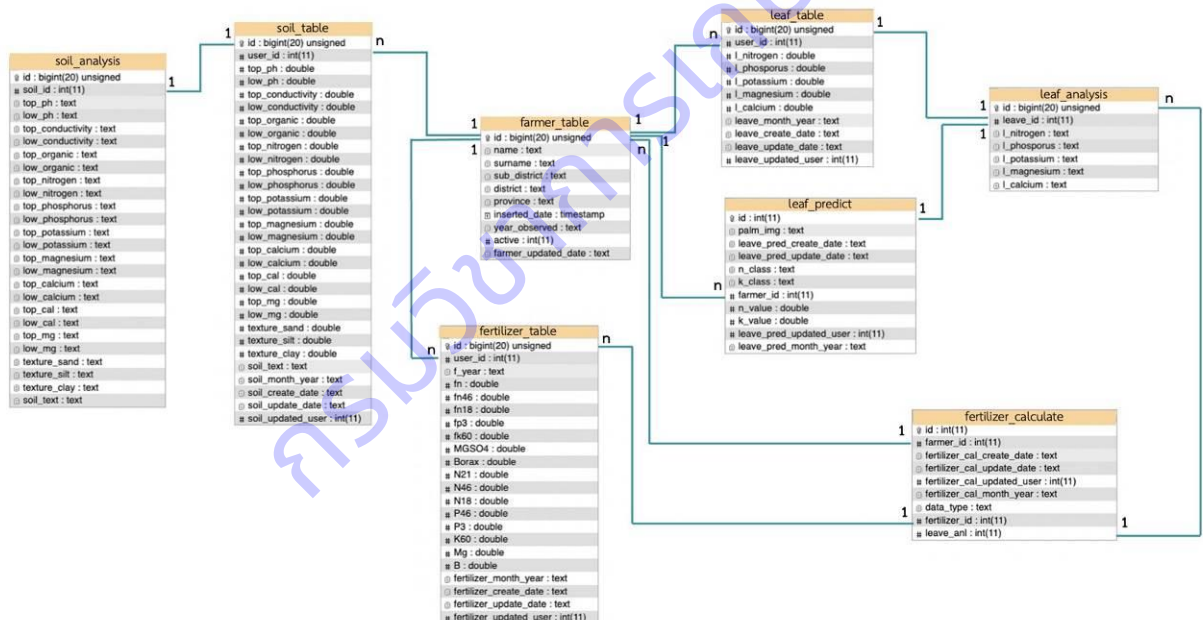
ประกอบด้วยเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Webserver) ปัญญาประดิษฐ์ (AI Algorithm) ระบบจัดเก็บข้อมูล (File System) และฐานข้อมูล (Database) มีรายละเอียดดังนี้

เว็บไซต์ฟเวออร์: จะเชื่อมต่อกับปัญญาประดิษฐ์ ระบบจัดเก็บข้อมูล และฐานข้อมูล (Database) เพื่อให้ระบบสามารถทำตามคำสั่งของผู้ใช้งานได้ ทั้งการบันทึก แก้ไขข้อมูล การแสดงผล ประมวลผลข้อมูลอัตโนมัติ และอื่นๆ โดยปัจจุบันได้ใช้ภาษา PHP JavaScript และ Python ในการพัฒนา

ปัญญาประดิษฐ์: ส่วนนี้จะประกอบด้วยโมเดลทำนายธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันซึ่งพัฒนาด้วยภาษา Python โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกและโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน จะทำงานเมื่อมีการอัปโหลดข้อมูลภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมันเข้าไปในระบบ

ระบบจัดเก็บข้อมูล: ใช้ภาษา HTML CSS JavaScript และ PHP ในการพัฒนา เพื่อจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ ให้เป็นระบบ และนำไปแสดงผลหรือประมวลผลต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยข้อมูลที่จัดเก็บ จะถูกนำเข้าสู่ระบบเป็นตัวเลข ตัวหนังสือและรูปภาพโดยผู้ใช้งาน ซึ่งจะถูกนำไปเก็บไปบน Server และ Database ต่อไป

ฐานข้อมูล: ปัจจุบันใช้ MySQL ในการพัฒนาฐานข้อมูล โดยรายละเอียดข้อมูลที่จัดเก็บสำหรับการใช้การจัดทำคำแนะนำในการใช้ปุ๋ยอัตโนมัติ ได้แก่ ข้อมูลเกษตรกร ข้อมูลประวัติการใช้ปุ๋ย ข้อมูลค่าวิเคราะห์ดินบนและดินล่าง ข้อมูลค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบปาล์ม ข้อมูลการทำนายใบปาล์มน้ำมัน ข้อมูลแปลผลการวิเคราะห์ดิน ข้อมูลแปลผลการวิเคราะห์ใบปาล์มน้ำมัน และการคำนวณการใช้ปุ๋ย



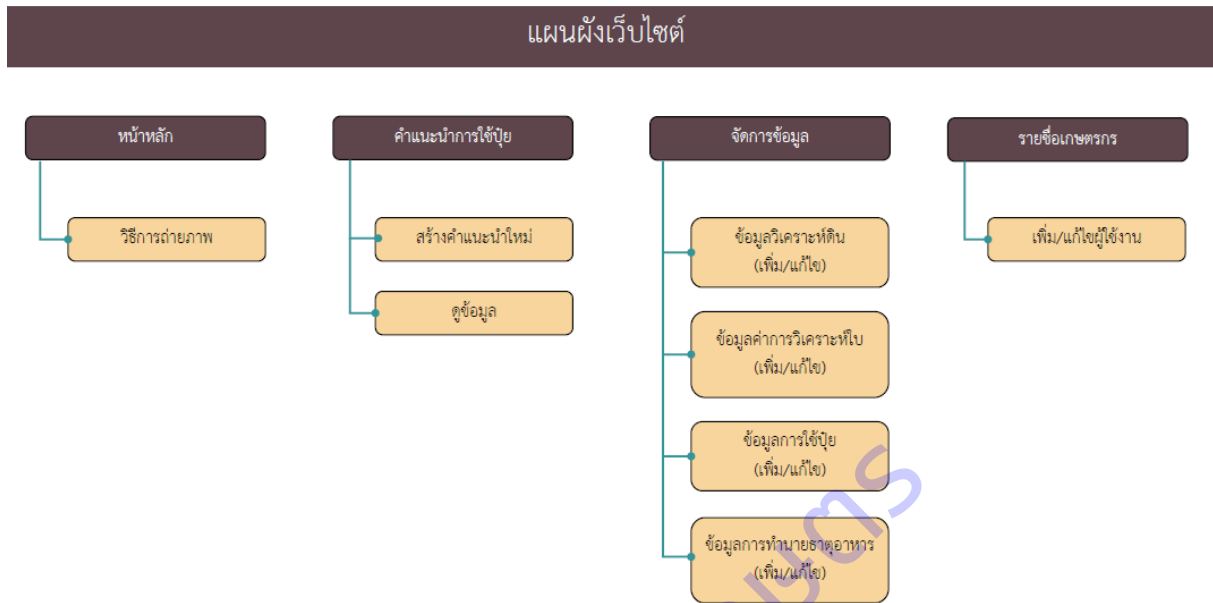
ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ของตารางในฐานข้อมูลในงานประมวลผลสำหรับคำแนะนำการใช้ปุ๋ย

3) เว็บไซต์พลิเคชันการใช้งานระบบประเมินธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย

เว็บไซต์พลิเคชันการใช้งานระบบประเมินธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย ให้ชื่อเรียกว่า “ปุ๋ยปาล์ม : PUIPALM” เพื่อให้ง่ายต่อการจดจำของผู้ใช้งาน โดยเฉพาะเกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมัน <http://puipalm.research-oard7.com>

3.1) แผนผังเว็บ PUIPALM ประกอบด้วย

แผนผังเว็บแอปพลิเคชัน ประกอบด้วยเมนู หน้าหลัก คำแนะนำการใช้ปุ๋ย จัดการข้อมูล รายชื่อเกษตรกร (ภาพที่ 17) โดยในส่วนของเมนู คำแนะนำการใช้ปุ๋ย จัดการข้อมูล รายชื่อเกษตรกร ต้องมีการ login เพื่อเข้าใช้ระบบ



ภาพที่ 17 แผนผังเว็บแอปพลิเคชันใช้งานระบบประเมินธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย

1.4.2 การใช้งานเว็บ PUIPALM

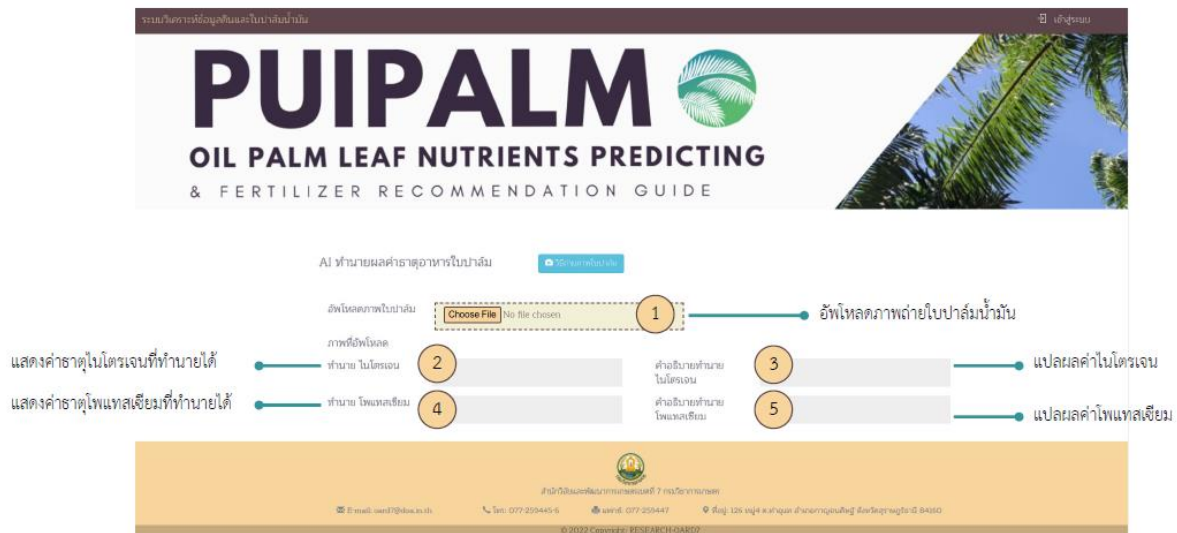
การใช้งานเว็บ PUIPALM ผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือการใช้งานเว็บไซต์อยู่ในภาคผนวก (ภาคผนวก ก) โดยมีการใช้งานพอสังเขป ดังนี้

1) เมนูหน้าหลัก ซึ่งจะมีวิธีการถ่ายภาพและสามารถอัปโหลดภาพถ่าย เพื่อให้ระบบประเมินธาตุอาหารจากภาพถ่ายพร้อมทั้งแสดงผลค่าธาตุอาหาร ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน และธาตุโพแทสเซียม โดยระบบจะแปลผลระดับธาตุอาหารดังกล่าวอยู่ในระดับใด (ขาดมาก ขาดน้อย เหมาะสม และเกินมาตรฐาน)

2) เมนูคำแนะนำการใช้ปุ๋ย ผู้ใช้งานสามารถสร้างคำแนะนำการใช้ปุ๋ย โดยจะต้องเพิ่มข้อมูลเกษตรกร ที่อยู่ในเมนูรายชื่อเกษตรกร และข้อมูลการใช้ปุ๋ย ข้อมูลผลวิเคราะห์ดิน ข้อมูลผลวิเคราะห์ใบ ที่อยู่ในเมนูจัดการข้อมูล เพิ่มข้อมูลทั้งหมดหรืออย่างใดอย่างหนึ่งลงไปในระบบ และเลือกสร้างคำแนะนำใหม่ในเมนูคำแนะนำการใช้ปุ๋ย ระบบจะประมวลผลคำแนะนำการใช้ปุ๋ย สามารถเรียกดูข้อมูลและพิมพ์รายงานคำแนะนำการใช้ปุ๋ยออกจากระบบได้

3) เมนูจัดการข้อมูล ประกอบด้วย ข้อมูลค่าวิเคราะห์ดิน ข้อมูลค่าวิเคราะห์ใบ ข้อมูลการใช้ปุ๋ย ข้อมูลการทำนายธาตุอาหาร ผู้ใช้งานสามารถเพิ่มข้อมูล ลบหรือแก้ไขข้อมูลได้

4) เมนูรายชื่อเกษตรกร ผู้ใช้งานระบบจะต้องเพิ่มชื่อผู้ใช้งานเพื่อทำการเปิดใช้งานระบบ และสามารถแก้ไขหรือลบข้อมูลได้



ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถใช้งานหน้านี้ได้ โดยไม่ต้องทำการเข้าสู่ระบบ

ภาพที่ 18 หน้าหลักของเว็บแอปพลิเคชันระบบประเมินธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย

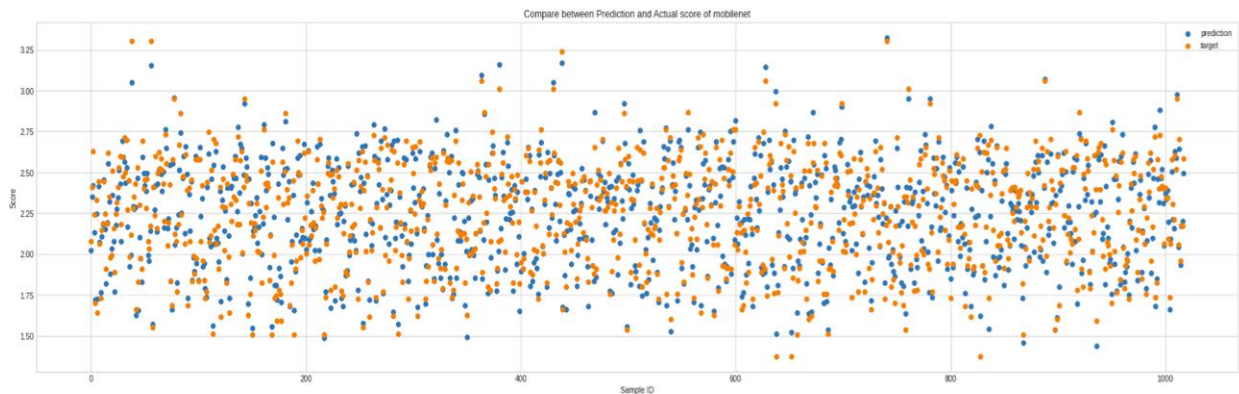
2.2 ตรวจสอบความใช้ได้ของระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน และระบบแนะนำการใช้ปุ๋ย

ระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน ถูกพัฒนามาจากโมเดล MobileNet V3 ซึ่งมี 2 ระบบ คือ ระบบทำนายธาตุไนโตรเจนและระบบทำนายธาตุโพแทสเซียม ดำเนินการวัดประสิทธิภาพของระบบโดยคำนวณหาร้อยละความแม่นยำ (% Accuracy) และความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) โดยมีข้อมูลภาพภาพถ่ายทางใบที่ 17 สำหรับเป็นชุดข้อมูลทดสอบ (Testing data) ของระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน กลุ่มธาตุไนโตรเจนมีทั้งหมด 1,601 ภาพ แบ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างธาตุไนโตรเจนระดับขาดมาก ขาดน้อย เหมาะสม และเกิน จำนวน 466 725 390 และ 20 ตัวอย่าง ตามลำดับ และกลุ่มธาตุโพแทสเซียม มีทั้งหมด 1,414 ภาพ แบ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างธาตุโพแทสเซียมระดับขาดมาก ขาดน้อย เหมาะสม และเกิน จำนวน 890 350 164 และ 10 ตัวอย่าง

1) ความแม่นยำและค่า MSE ของระบบทำนายธาตุไนโตรเจน

ระบบทำนายธาตุไนโตรเจนที่พัฒนามาจากโมเดล MobileNet V3 คำนวณหาความแม่นยำและค่า MSE โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกฝนจากทางใบที่ 17 ในกลุ่มตัวอย่างธาตุไนโตรเจนระดับขาดมาก จำนวน 244 ตัวอย่าง ทำนายถูก จำนวน 222 ตัวอย่าง มีความแม่นยำร้อยละ 90.98 และมีค่า MSE เท่ากับ 0.06 กลุ่มตัวอย่างธาตุไนโตรเจนระดับขาด จำนวน 395 ตัวอย่าง ทำนายถูก จำนวน 330 ตัวอย่าง มีความแม่นยำร้อยละ 83.54 และมีค่า MSE เท่ากับ 0.06 กลุ่มตัวอย่างธาตุไนโตรเจนระดับเหมาะสม จำนวน 372 ตัวอย่าง ทำนายถูก จำนวน 18 ตัวอย่าง มีความแม่นยำร้อยละ 4.83 และมีค่า MSE เท่ากับ 0.06 กลุ่มตัวอย่างธาตุไนโตรเจนระดับเกิน จำนวน 11 ตัวอย่าง ทำนายถูก จำนวน 9 ตัวอย่าง มีความแม่นยำร้อยละ 81.81 และมีค่า MSE เท่ากับ 0.07 โดยมีความแม่นยำรวมร้อยละ 86.34 และค่า MSE รวม เท่ากับ 0.06

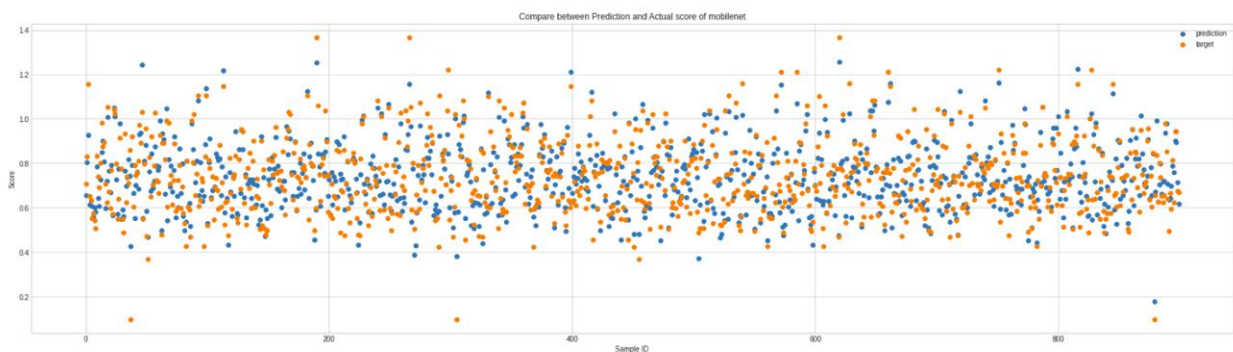
กลุ่มตัวอย่างธาตุไนโตรเจนระดับเหมาะสม พบว่ามีความความแม่นยำต่ำ เนื่องจากข้อมูลภาพในกลุ่มเหมาะสมมีความใกล้เคียงกับตัวอย่างธาตุไนโตรเจนระดับขาดน้อย ทำให้โมเดลไม่สามารถแยกแยะได้และจำแนกคุณลักษณะของข้อมูลภาพได้ดี



ภาพที่ 19 กระจายตัวของข้อมูลจากการทำนายและข้อมูลจริงของระบบทำนายธาตุไนโตรเจน

2) ความแม่นยำและค่า MSE ของระบบทำนายธาตุโพแทสเซียม

ระบบทำนายธาตุโพแทสเซียมที่พัฒนามาจากโมเดล MobileNet V3 คำนวณหาความแม่นยำและค่า MSE โดยใช้ชุดข้อมูลฝึกฝนจากทางใบที่ 17 ในกลุ่มตัวอย่างธาตุธาตุโพแทสเซียมระดับขาดมาก จำนวน 508 ตัวอย่าง ทำนายถูก จำนวน 382 ตัวอย่าง มีความแม่นยำร้อยละ 75.19 และค่า MSE เท่ากับ 0.10 กลุ่มตัวอย่างธาตุธาตุโพแทสเซียมระดับขาด จำนวน 249 ตัวอย่าง ทำนายถูก จำนวน 101 ตัวอย่าง มีความแม่นยำร้อยละ 40.56 และค่า MSE เท่ากับ 0.10 กลุ่มตัวอย่างธาตุธาตุโพแทสเซียมระดับเหมาะสม จำนวน 137 ตัวอย่าง ทำนายถูก จำนวน 27 ตัวอย่าง มีความแม่นยำร้อยละ 19.70 และค่า MSE เท่ากับ 0.2 กลุ่มตัวอย่างธาตุธาตุโพแทสเซียมระดับเกิน จำนวน 10 ตัวอย่าง ทำนายถูก จำนวน 0 ตัวอย่าง มีความแม่นยำร้อยละ 0 และค่า MSE เท่ากับ 0.48 โดยมีความแม่นยำรวมร้อยละ 56.66 และค่า MSE รวม เท่ากับ 0.12



ภาพที่ 14 กระจายตัวของข้อมูลจากการทำนายและข้อมูลจริงของโมเดล MobileNet V3

แผนงานวิจัยย่อยที่ 3

วิจัยพัฒนาระบบจำแนกโรคและศัตรูพืชบนใบมันสำปะหลัง

โดยเทคนิคประมวลภาพดิจิทัล

Research and Development on Cassava Leaf Disease Classification System Using Digital
Image Processing Technology

กฤษณา แสงดี สุรพงษ์ ประสิทธิ์วัฒนเสรี วีรศักดิ์ ชุนชำนาญ อธิภัทร ธรรมไชยงกูร นครินทร์ทิพย์ พุทธิสิทธิ์

นวลมณี พรหมนิล อมรรักษ์ คัดใจเดียว สายชล แสงแก้ว เสาวรี บำรุง นงนุช ช่างสี

สุวิชา อ่อนเฉียบ ยรรยง พันธุ์พฤษ์

คำสำคัญ

มันสำปะหลัง, โรคบนใบมันสำปะหลัง, ข้อมูลภาพ, โมเดลการจำแนกภาพโรค, การเรียนรู้เชิงลึก

Keywords

Cassava, Cassava Leaf Disease, Image data, Cassava, Classification Model, Deep Learning

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ จัดทำฐานข้อมูลภาพและรูปลักษณ์ใบมันสำปะหลังที่แสดงอาการที่เป็นโรค และเครื่องมือสืบค้นด้วยภาพ พัฒนาโมเดลในการจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลังโดยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล พร้อมทั้งพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง ซึ่งการวินิจฉัยอาการจากโรคและแมลงศัตรูพืชต่างๆ ได้เบื้องต้น เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งซึ่งช่วยให้การปลูกมันสำปะหลังมีคุณภาพ สามารถเลือกใช้วิธีการกำจัดศัตรูพืชที่เหมาะสมถูกที่ ถูกเวลา และเลือกใช้สารเคมีที่ถูกต้องกับโรคในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งโรคพืชบางชนิดอาจจำแนกได้ยาก โดยเฉพาะโรคพืชที่มีความสำคัญต่อโครงสร้างทางสรีรวิทยาของต้นพืช เพื่อช่วยให้การวินิจฉัยโรคพืชมีประสิทธิภาพโดยการพัฒนาโมเดลช่วยในการตัดสินใจและพัฒนาเป็นระบบช่วยในการวินิจฉัยโรคบนใบมันสำปะหลังในรูปแบบแอปพลิเคชัน จึงได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง การป้องกันกำจัด และภาพจากพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังจังหวัด นครราชสีมา ปราจีนบุรี และสระแก้ว ระหว่างเดือนตุลาคม 2562 ถึงเดือนกันยายน 2564 ได้ภาพใบมันสำปะหลัง จำนวน 9,907 ภาพ นำภาพทั้งหมดไปปรับเพิ่มความคมชัด ตัดส่วนของภาพที่ไม่ต้องการออก แปลงภาพจากระบบสี RGB เป็นภาพระดับสีเทา และสกัดตัวแปรรูปลักษณ์ของภาพ โดยการวิเคราะห์เมตริกซ์การปรากฏร่วมของระดับสีเทา (Gray – Level Co Occurrence Matrix : GLCM) จัดเก็บชื่อภาพและรูปลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับแต่ละภาพ เป็น 5 คลาส คือ 0) ต้นปกติ 1) ใบไหม้ 2) ใบจุดสีน้ำตาล 3) แอนแทรคโนส และ 4) ใบด่าง ในรูปแบบฐานข้อมูล CSV เขียนชุดคำสั่งภาษา Python เพื่อสร้างเครื่องมือสืบค้นภาพ และแสดงผลภาพที่สืบค้นได้ แล้วนำไปพัฒนาโมเดลการจำแนกโรคและศัตรูพืชที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง โดยแบ่งเป็นภาพอาการใบด่าง (CMD) ร้อยละ 39 รองลงมาคือภาพโรคใบจุดสีน้ำตาล (CBS) ร้อยละ 31.2 ภาพต้นปกติ (Healthy) ร้อยละ 15 ภาพโรคใบไหม้ (CBB) ร้อยละ 13.5 และภาพโรคแอนแทรคโนส (CAN) ร้อยละ 1.3 นำภาพเข้าสู่กระบวนการ Transfer Learning แบ่งข้อมูลภาพเป็นข้อมูลฝึก 70 % และข้อมูลทดสอบ 30 % โดยใช้โมเดล ResNet (Deep Residual Network) มาใช้ พบว่ามีค่าความถูกต้องในการจำแนกสูงถึง 94.40 เปอร์เซ็นต์ นำโมเดลนี้ไปพัฒนาระบบที่สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันสามารถวินิจฉัย ทราบอาการ และรับคำแนะนำในการป้องกันกำจัดโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันมีความพึงพอใจในการใช้งานในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 4.13 ยังต้องมีการรวบรวมข้อมูลภาพจำนวนมากขึ้น เพื่อฝึกโมเดลให้มีความสามารถในการจำแนกภาพโรคบนใบมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น และควรปรับปรุงประสิทธิภาพของ Cloud Server โดยการเพิ่มเติมวงจรที่มีความเร็วสูงในประมวลผลภาพมากยิ่งขึ้น

Abstracts

This research aims to Prepare image database and appearance of diseased cassava leaves and visual retrieval tools. Developed a model for identifying symptomatic disease on cassava leaves by digital image processing technique. as well as develop a mobile application to measure and classify diseases showing symptoms on cassava leaves. The initial diagnosis of diseases and pests is one of the important factors that help grow quality cassava. Able to choose the right pesticide method at the right place and at the right time and choose the right chemical for the disease in the right amount. Which some plant diseases may be difficult to classify. Especially plant diseases that are important to the physiological structure of plants. To help make plant disease diagnosis effective by developing decision-making models and developing an application-based diagnostic system on cassava leaves. Therefore, the data of diseases that show symptoms on cassava leaves were collected. Prevention and pictures from cassava plantations in Nakhon Ratchasima, Prachinburi and Sa Kaeo provinces between October 2019 and September 2021. Obtained 9,907 images of cassava leaves. All images were sorted, adjusted, and converted. Image size was set to 224 x 224 pixels. Image converted from RGB color system to grayscale image and extract the appearance variables of the image By analyzing the Gray – Level Co Occurrence Matrix : GLCM. Label mapping encoded categories to 5 classes; 0) Healthy 1) Bacterial Blight (CBB) 2) Brown Streak Disease (CBS) 3) Anthracnose and 4) Mosaic Disease (CM). In the CSV database format, write a Python programming language to create an image search engine. and display images that can be searched from a large image database and then developed into a system that can be used via smartphones The picture was divided into 39% of the symptoms of leaf spotting (CMD), followed by the picture of brown spot disease (CBS) at 31.2%. 15% of healthy plants, 13.5 percent of late blight (CBB) images, and 1.3 percent of anthracnose (CAN) images. Building transfer learning model used ResNet (Deep Residual Learning for Image Recognition) of 70 % training data and 30% testing data. This makes it possible to reduce the time and cost of developing applications. With a classification accuracy of up to 94.40 percent, users of the application can diagnose, know the symptoms and receive advice on preventing and eliminating the disease manifesting on the cassava leaves. Application users have a high level of satisfaction with the application, averaging 4.13. Developing applications to measure and classify diseases more accurately requires the collection of more image data. To train the model to have more ability to identify diseases on cassava leaves. And should improve the performance of Cloud Server by adding more high-speed circuits in image processing.

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของแผนงานวิจัยย่อย

ประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดใอาเซียน ตามด้วยอินโดนีเซียและเวียดนาม (ส่วนมากส่งออกเป็นผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง เช่น มันเส้น และแป้งมัน) (ศูนย์ข้อมูลข้าวอาเซียน กรมประชาสัมพันธ์, 2558) ผลผลิตมันสำปะหลังปี 2561 (เริ่มออกสู่ตลาดตั้งแต่เดือนตุลาคม 2560 – กันยายน 2561) คาดว่ามีพื้นที่เก็บเกี่ยว 7.87 ล้านไร่ ผลผลิต 27.74 ล้านตัน ผลผลิตต่อไร่ 3.46 ตัน เมื่อเทียบกับปี 2560 มีพื้นที่เก็บเกี่ยว 8.71 ล้านไร่ ผลผลิต 30.50 ล้านตัน และผลผลิตต่อไร่ 3.50 ตัน พบว่า พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ลดลงร้อยละ 9.64, 10.69 และ 1.14 ตามลำดับ (วารสารเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตมันสำปะหลังให้ได้คุณภาพดี และผลผลิตสูง คือ การเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ การใช้ท่อนพันธุ์ที่สะอาดปราศจากโรคและแมลงต่างๆ การรู้จักโรคและแมลงศัตรูพืชต่างๆ การวินิจฉัยอาการจากโรคแมลงได้เบื้องต้น การเลือกใช้วิธีการกำจัดศัตรูพืชที่เหมาะสมถูกที่ ถูกเวลา การเลือกใช้สารเคมีที่ถูกต้องกับโรคในปริมาณที่เหมาะสม การดูแลและการสังเกตพืชในแปลงอย่างใกล้ชิด โดยเริ่มตั้งแต่การหมั่นตรวจแปลง และวินิจฉัยอาการของพืชที่พบ เบื้องต้นว่าอาการนั้นเกิดจากการขาดธาตุอาหาร แมลง หรือโรค ซึ่งศัตรูพืชบางชนิดอาจจำแนกได้ยาก โดยเฉพาะโรคพืชมีความสำคัญต่อโครงสร้างทางสรีรวิทยาของต้นพืช ซึ่งแสดงลักษณะอาการที่ปรากฏให้เห็นเป็นหลักฐาน โรคพืชมีสาเหตุจากเชื้อโรค และส่วนใหญ่จะปรากฏอาการให้เห็นบนใบหรือต้นพืช โดยโรคสำคัญของมันสำปะหลังได้แก่ โรคใบไหม้ โรคแอนแทรคโนส โรครากปม โรคใบจุดสีน้ำตาล โรคใบจุดขาว ซึ่งโรคใบไหม้และโรคใบจุด ในระยะเริ่มแสดงอาการยากต่อการแยกด้วยสายตา สามารถทำให้เกิดการวินิจฉัยโรคผิดได้ ดังนั้น การตรวจวัดใบและต้นพืช เพื่อค้นหาโรคและลักษณะอาการที่ถูกโรคทำลาย จึงเป็นปัจจัยสำคัญทำให้การเพาะปลูกพืชประสบผลสำเร็จ

ปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการช่วยวินิจฉัยโรคเบื้องต้น ช่วยลดค่าใช้จ่าย และเวลาในการดำเนินการ โดยการประมวลผลภาพ (Image Processing) ซึ่งเป็นการนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ สามารถนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ต่อพื้นที่ใบที่เป็นโรคและนับจำนวนจุดโรค (กิตติพงศ์ และคณะ, 2554)

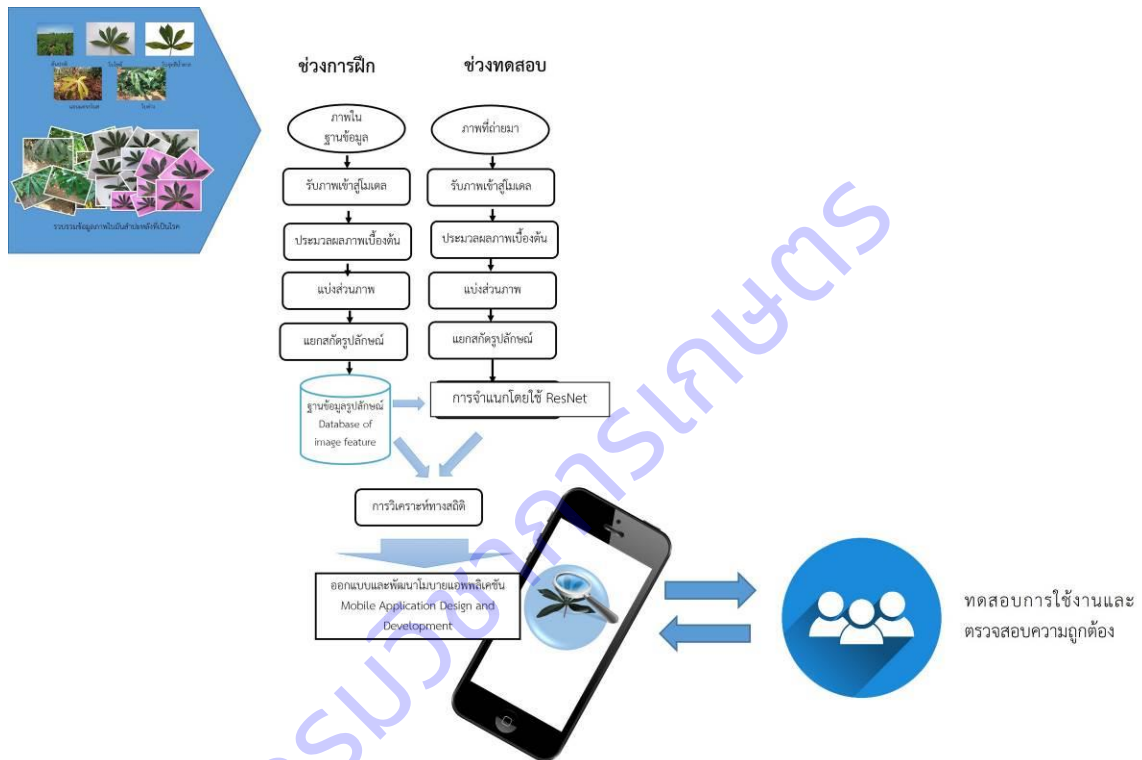
ดังนั้นการพัฒนาระบบอัตโนมัติในการตรวจวัดและจำแนกโรคบนใบพืชที่สามารถให้บริการที่รวดเร็ว เป็นธรรมชาติ แม่นยำ และประหยัด จะสามารถช่วยเหลือเกษตรกรทำให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับโรคพืชที่พบและวินิจฉัยได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว จนทำให้สามารถป้องกันกำจัดในเบื้องต้นเพื่อลดการแพร่ระบาดและความรุนแรงของโรคได้ อีกทั้งยังช่วยลดช่องว่างระหว่างเกษตรกรกับเจ้าหน้าที่ในการให้คำปรึกษา ก่อให้เกิดประโยชน์ในการติดตามการปลูกพืชในระบบแปลงใหญ่ และเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นยังสามารถพัฒนาต่อยอดไปสู่เทคโนโลยีในด้านอื่น ๆ

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อให้ได้โมเดลในการจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลังโดยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล
- 2) เพื่อจัดทำฐานข้อมูลภาพและรูปลักษณ์ใบมันสำปะหลังที่แสดงอาการเป็นโรคและเครื่องมือสืบค้นด้วยภาพ
- 3) เพื่อพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง

3. ระเบียบวิธีวิจัย

แผนงานวิจัยย่อย วิจัยพัฒนาระบบจำแนกโรคและศัตรูพืชบนใบมันสำปะหลังโดยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล ดำเนินงานวิจัยตั้งแต่เดือนตุลาคม 2562 – กันยายน 2564 ประกอบด้วย 2 โครงการวิจัย 4 การทดลอง คือ โครงการที่ 1 การพัฒนาโมเดลการจำแนกโรคและศัตรูพืชที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง การทดลองที่ 1 สํารวจ รวบรวมข้อมูลภาพใบมันสำปะหลังที่แสดงอาการเป็นโรค การทดลองที่ 2 พัฒนาโมเดลจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง โครงการที่ 2 การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันตรวจวัดโรคและศัตรูพืชที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง การทดลองที่ 1 จัดทำฐานข้อมูลรูปลักษณะและเครื่องมือสืบค้นด้วยภาพ การทดลองที่ 2 พัฒนาโมบายแอปพลิเคชันตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง มีความเชื่อมโยงดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ความเชื่อมโยงการดำเนินงานวิจัยภายใต้แผนงานวิจัยย่อยวิจัยพัฒนาระบบจำแนกโรคและศัตรูพืชบนใบมันสำปะหลังโดยเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล

1. การพัฒนาโมเดลการจำแนกโรคและศัตรูพืชที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง

ดำเนินการในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมา ปราจีนบุรี และสระแก้ว ตั้งแต่ตุลาคม 2562 - กันยายน 2564 โดยการเตรียมแผนการถ่ายภาพ โดยการฝึกอบรมให้รู้จักลักษณะอาการที่โรคเข้าทำลายใบมันสำปะหลัง และสามารถตรวจดูลักษณะเชื้อโรคพืชเบื้องต้น ฝึกอบรมเทคนิคการถ่ายภาพการใช้โปรแกรมปรับแต่งภาพ วางแผนการถ่ายภาพทุก 15 วันตลอดการทดลอง เพื่อให้ได้ภาพใบมันสำปะหลังทุกระยะที่โรคเข้าทำลาย กำหนดคุณลักษณะของภาพ รายละเอียดกล้อง รูปแบบสี รูปแบบไฟล์ภาพ ก่อนถ่าย โดยความละเอียดของภาพที่ต้องการ ขนาด 2 ล้านพิกเซล ใช้รูปแบบสี true color ไฟล์ *.jpg และ RAW File ก่อนถ่าย ลองถ่ายภาพแผ่น

เทียบสี RGB ในบริเวณนั้น ให้มีความเข้มสีที่ไม่ผิดเพี้ยน จึงค่อยถ่ายภาพใบมันสำปะหลังที่แสดงอาการเป็นโรค ถ่ายภาพ ระบุโรคและอาการ พร้อมทั้งเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมบริเวณต้นที่ถ่ายภาพ ได้แก่ ปริมาณแสงแดด ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ ปรับแต่งด้วยโปรแกรมตกแต่งภาพ เพิ่มความคมชัด ตัดส่วนของภาพที่ไม่ต้องการออก แบ่งภาพถ่ายออกเป็น 5 ประเภท คือ 1) ต้นปกติ 2) ใบไหม้ 3) ใบจุดสีน้ำตาล 4) แอนแทรคโนส 5) อาการใบด่าง

ทำการพัฒนาโมเดลจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง ด้วยการเขียนชุดคำสั่งภาษาPython เพื่อพัฒนา โมเดลจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง โดยใช้เทคนิคการถ่ายทอดการเรียนรู้ (Transfer Learning) ดังนี้ 1) นำเข้าไลบรารีที่จำเป็น 2) นำเข้าชุดข้อมูลภาพ แบ่งชุดข้อมูลภาพเป็นข้อมูลฝึก ข้อมูลปรับแต่ง และ ข้อมูลทดสอบ 3) แสดงภาพจากชุดข้อมูล 4) นำเข้าโมเดลที่ผ่านการฝึกเรียบร้อยแล้ว 5) ทดสอบและประเมิน ประสิทธิภาพโมเดล โดยคำนวณ Confusion Matrix คือตารางที่ใช้ในการวัดความสามารถของการเรียนรู้ของ เครื่องในการแก้ปัญหาการจำแนกประเภท

		Actual Values	
		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Values	Positive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

True Positive (TP) คือ สิ่งที่โมเดลทำนายว่า “จริง” และมีค่าเป็น “จริง”

True Negative (TN) คือ สิ่งที่โมเดลทำนายว่า “ไม่จริง” และมีค่า “ไม่จริง”

False Positive (FP) คือ สิ่งที่โมเดลทำนายว่า “จริง” แต่มีค่าเป็น “ไม่จริง”

False Negative (FN) คือ สิ่งที่โมเดลทำนายว่า “ไม่จริง” แต่มีค่าเป็น “จริง”

ตัววัดที่นิยมใช้กัน คือ

1.ความแม่นยำ (Precision) โดยพิจารณาแยกที่ละคลาส

$$\frac{TP}{TP + FP}$$

2.ความครบถ้วน (Recall) โดยพิจารณาแยกที่ละคลาส

$$\frac{TP}{TP + FN}$$

3.ความถูกต้อง (Accuracy) โดยพิจารณารวมทุกคลาส

$$\frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

4. F1-Score คือค่าเฉลี่ยแบบ harmonic mean

$$F1 = 2 \times \frac{(Precision \times Recall)}{(Precision + Recall)}$$

ระหว่าง precision และ Recall

2.พัฒนาโมบายแอปพลิเคชันตรวจวัดโรคและศัตรูพืชที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง

รวบรวมภาพถ่ายโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง โดยใช้ความละเอียดของภาพขนาด 2 ล้านพิกเซล ใช้ระบบสี RGB และรูปแบบไฟล์ jpg ทำการปรับแต่งไฟล์ภาพ ตัดส่วนของภาพที่ไม่ต้องการออก นำภาพทั้งหมดไปประมวลผลเบื้องต้นด้วยโปรแกรม XnView ปรับเพิ่มความคมชัด ตัดส่วนของภาพที่ไม่ต้องการออก กำหนดขนาดภาพเท่ากับ 224 x 224 พิกเซล และแปลงภาพจากระบบสี RGB เป็นภาพระดับสีเทา (Gray scale) สกัดตัวแปรรูปลักษณะของภาพ ใช้โปรแกรม ImageJ วิเคราะห์เมตริกซ์การปรากฏร่วมของระดับสีเทา (Gray – Level Co Occurrence Matrix : GLCM) จัดเก็บชื่อไฟล์ภาพและรูปลักษณะที่เกี่ยวข้องกับแต่ละภาพ ในรูปแบบไฟล์ CSV โดยใช้โปรแกรมภาษา Python และไลบรารี Pandas สร้างเครื่องมือสืบค้นภาพ แสดงผลและประเมินการค้นหาภาพ เขียนชุดคำสั่งภาษาPython เพื่อพัฒนาโมเดลจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง โดยใช้เทคนิคการถ่ายทอดการเรียนรู้ (Transfer Learning) และบันทึกโมเดลสำหรับเก็บไว้เรียกใช้ การทดสอบการใช้งานและตรวจสอบความถูกต้อง ของการประมวลผลและการแสดงผลของแอปพลิเคชัน การทดลองใช้โมบายแอปพลิเคชันและประเมินผลการใช้งาน

ผลการวิจัย

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

1. การพัฒนาโมเดลการจำแนกโรคและศัตรูพืชที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง


1.1 สำรวจ รวบรวมข้อมูลภาพใบมันสำปะหลังที่แสดงอาการเป็นโรค

ดำเนินการเตรียมแผนการถ่ายภาพ โดยการเรียนรู้ลักษณะอาการของโรคที่เข้าทำลายบนใบมันสำปะหลัง จากเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง ก่อนทำการรวบรวมข้อมูลภาพจากแปลงเกษตรกร

1) การศึกษาลักษณะอาการที่โรคเข้าทำลายใบมันสำปะหลัง

ผลการศึกษาลักษณะอาการที่โรคเข้าทำลายใบมันสำปะหลัง จากแปลงมันสำปะหลังของเกษตรกรในจังหวัดนครราชสีมา ปราจีนบุรี และสระแก้ว ปรากฏดังตารางที่ 30

ตารางที่ 30 โรค เชื้อสาเหตุ และลักษณะอาการบนใบมันสำปะหลัง

ภาพใบแสดงอาการเป็นโรค	เชื้อสาเหตุ	ลักษณะอาการ
ใบไหม้ (Bacterial Blight : BB) 	แบคทีเรีย <i>Xanthomonas campestris pv. manihotis</i>	เริ่มแรกแสดงอาการใบจุดเหลี่ยม ฉ่ำน้ำ ใบไหม้ ใบเหี่ยว ยางไหล จนถึงอาการยอดเหี่ยว และแห้งตายลงมา นอกจากนี้ยังทำให้ระบบท่อน้ำอาหารของลำต้นและรากเน่า
ใบจุดสีน้ำตาล (Brown Streak Disease : BSD)	เชื้อรา <i>Cercosporidium</i>	แสดงอาการใบจุดค่อนข้างเหลี่ยมตามเส้นใบมีความสม่ำเสมอสีน้ำตาล ขนาด 3-15 มิลลิเมตร มีขอบ

ภาพใบแสดงอาการเป็นโรค	เชื้อสาเหตุ	ลักษณะอาการ
	<i>henningsii</i>	ชัดเจนจุดแผลด้านหลังใบมีสีเทา และ แผลล้อมรอบด้วยวงสีเหลือง ตรงกลางแผลอาจจะแห้งและหลุดเป็นรู
แอนแทรคโนส (Antracnose : CA) 	เชื้อรา <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> f.sp.manihotis	ใบจะมีขอบใบไหม้สีน้ำตาลขยายตัวเข้าสู่กลางใบ มักปรากฏกับใบที่อยู่ล่าง ในตัวแผลบนใบจะมีเม็ดเล็ก ๆ สีดำขยายตัวไปตามขอบของแผลอาการไหม้ส่วนก้านใบ อาการจะปรากฏในส่วนโคนก้านใบ จะเป็นแผลสีน้ำตาลขยายตัวไปตามก้านใบ ทำให้ก้านใบมีลักษณะลู่ลงมาจากยอด หรือตัวใบจะหักงอกจากก้านใบ เกิดอาการใบเหี่ยวและแห้งได้ ส่วนลำต้นและยอด แผลที่ลำต้นจะเป็นแผลสีดำตรงบริเวณข้อต่อกับก้านใบและมีสภาพแวดล้อมเหมาะสม แผลจะขยายตัวไปสู่ส่วนยอดทำให้ยอดเหี่ยวแห้งลงมา
อาการใบด่าง (Mosaic Disease : MD) 	เชื้อไวรัส ในวงศ์ <i>Geminiviridae</i> สกุล <i>Begomovirus</i>	ใบด่างและใบหงิก เสียรูปทรง อาการด่างมีหลายแบบ เช่น ด่างเขียวขีดสลับเขียวเข้ม ด่างเหลืองสลับเขียว ใบหงิก หรือ หงิกเหลือง ใบย่อยบิดเบี้ยว หงิกงอ โค้งเสียรูปทรง ใบอ่อนและใบที่เจริญใหม่มีขนาดเล็กลง ยอดหงิก ต้นแคระแกร็น

1.2 การสำรวจข้อมูลสภาพแวดล้อมแปลงมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมา ปราจีนบุรี และสระแก้ว โดยได้ออกเดินทางสำรวจจังหวัดนครราชสีมา 8 ครั้ง ปราจีนบุรี และสระแก้ว จังหวัดละ 9 ครั้ง รวม 26 ครั้ง ได้ข้อมูลรวม 3,912 ข้อมูล (ตารางที่ 31) พบว่า

ความชื้นใต้ทรงพุ่ม แปลงมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมาส่วนมากมีความชื้นใต้ทรงพุ่ม 31-40 % แปลงจังหวัดปราจีนบุรีมีความชื้นใต้ทรงพุ่ม 41-50 % และแปลงจังหวัดสระแก้วมีความชื้นใต้ทรงพุ่มมากกว่า 60 %

อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม แปลงมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมาอุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม 31-35 องศาเซลเซียส แปลงจังหวัดปราจีนบุรีมีอุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม 36-40 องศาเซลเซียส และแปลงจังหวัดสระแก้วมีอุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม 31-35 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิดิน แปลงมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมาอุณหภูมิดิน 31-35 องศาเซลเซียส แปลงจังหวัดปราจีนบุรีมีอุณหภูมิดินมากกว่า 36-40 องศาเซลเซียส และแปลงจังหวัดสระแก้วมีอุณหภูมิดิน 31-35 องศาเซลเซียส

ความชื้นในดิน แปลงมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมาความชื้นในดิน 31-40 % แปลงจังหวัดปราจีนบุรีมีความชื้นในดิน 31-40 % และแปลงจังหวัดสระแก้วมีความชื้นในดิน 60%

อุณหภูมิสูงสุด แปลงมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมาอุณหภูมิสูงสุด 31-35 องศาเซลเซียส แปลงจังหวัดปราจีนบุรีมีอุณหภูมิสูงสุด 31-35 องศาเซลเซียส และแปลงจังหวัดสระแก้วมีอุณหภูมิสูงสุด 31-35 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิต่ำสุด แปลงมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมาอุณหภูมิต่ำสุด 21-25 องศาเซลเซียส แปลงจังหวัดปราจีนบุรีมีอุณหภูมิต่ำสุด 21-25 องศาเซลเซียส และแปลงจังหวัดสระแก้วมีอุณหภูมิต่ำสุด 21-25 องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ แปลงมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมาความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 61-70 % แปลงจังหวัดปราจีนบุรีมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 61-70 % และแปลงจังหวัดสระแก้วมีความชื้นสัมพัทธ์ 71-80%

ตารางที่ 31 จำนวนและร้อยละของแปลงมันสำปะหลังแต่ละจังหวัด แยกตามปัจจัยสภาพแวดล้อม

ปัจจัย		นครราชสีมา	ปราจีนบุรี	สระแก้ว	รวม
จำนวนข้อมูล (n)		1532	1192	1188	3912
ความชื้นใต้ทรงพุ่ม (เปอร์เซ็นต์)					
น้อยกว่า 31	จำนวน	184	142	159	485
	ร้อยละ	12.01	11.91	13.38	12.39
31 - 40	จำนวน	394	304	247	945
	ร้อยละ	25.72	25.50	20.80	24.16
41 - 50	จำนวน	391	378	263	1032
	ร้อยละ	25.52	31.71	22.14	26.38
51 - 60	จำนวน	318	168	231	717
	ร้อยละ	20.76	14.10	19.44	18.33
มากกว่า 60	จำนวน	245	200	288	733
	ร้อยละ	15.99	16.78	24.24	18.74
อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม (องศาเซลเซียส)					
น้อยกว่า 26	จำนวน	110	23	132	265
	ร้อยละ	7.18	1.93	11.11	6.78

ปัจจัย		นครราชสีมา	ปราจีนบุรี	สระแก้ว	รวม
26 - 30	จำนวน	535	260	285	1080
	ร้อยละ	34.92	21.81	23.99	27.61
31 - 35	จำนวน	669	429	512	1610
	ร้อยละ	43.67	35.99	43.10	41.15
36 - 40	จำนวน	190	452	220	862
	ร้อยละ	12.40	37.92	18.52	22.03
มากกว่า 40	จำนวน	28	28	39	95
	ร้อยละ	1.83	2.35	3.28	2.43
อุณหภูมิดิน (องศาเซลเซียส)					
น้อยกว่า 26	จำนวน	110	23	132	265
	ร้อยละ	7.18	1.92	11.11	6.77
26 - 30	จำนวน	535	260	285	1080
	ร้อยละ	34.92	21.81	23.99	27.60
31 - 35	จำนวน	669	429	512	1610
	ร้อยละ	43.67	36	43.10	41.15
36 - 40	จำนวน	190	452	220	862
	ร้อยละ	12.40	37.92	18.52	22.03
มากกว่า 40	จำนวน	28	28	39	95
	ร้อยละ	1.83	2.35	3.28	2.43
ความชื้นในดิน (เปอร์เซ็นต์)					
น้อยกว่า 31	จำนวน	244	228	175	647
	ร้อยละ	15.93	19.13	14.73	16.54
31 - 40	จำนวน	482	369	243	1094
	ร้อยละ	31.46	30.96	20.45	27.96
41 - 50	จำนวน	239	199	168	606
	ร้อยละ	15.60	16.69	14.14	15.49
51 - 60	จำนวน	159	43	94	296
	ร้อยละ	10.38	3.61	7.91	7.57
มากกว่า 60	จำนวน	408	353	508	1269
	ร้อยละ	26.63	29.61	42.76	32.44
อุณหภูมิสูงสุด (องศาเซลเซียส)					
น้อยกว่า 31	จำนวน	364	0	0	364
	ร้อยละ	23.76	0	0	9.30

ปัจจัย		นครราชสีมา	ปราจีนบุรี	สระแก้ว	รวม
31 – 35	จำนวน	916	954	950	2820
	ร้อยละ	59.79	80.03	79.97	72.09
มากกว่า 35	จำนวน	252	232	232	728
	ร้อยละ	16.45	19.97	20.03	18.61
อุณหภูมิต่ำสุด(เปอร์เซ็นต์)					
น้อยกว่า 21	จำนวน	594	0	470	1064
	ร้อยละ	38.77	0	39.56	27.20
21 – 25	จำนวน	938	954	718	2610
	ร้อยละ	61.23	80.03	60.44	66.72
มากกว่า 25	จำนวน	0	238	0	238
	ร้อยละ	0	19.97	0	6.08
ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)					
น้อยกว่า 61	จำนวน	0	308	0	308
	ร้อยละ	0	25.84	0	7.87
61 – 70	จำนวน	706	688	190	1584
	ร้อยละ	46.08	57.72	15.99	40.49
71 – 80	จำนวน	546	196	760	1502
	ร้อยละ	35.64	16.44	63.97	38.40
มากกว่า 80	จำนวน	280	0	238	518
	ร้อยละ	18.28	0	20.04	13.24

1.3 การรวบรวมภาพใบมันสำปะหลัง

ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลภาพใบมันสำปะหลัง จากการออกสำรวจแปลงมันสำปะหลัง รวม 24 ครั้ง ปรับแต่งภาพให้มีความคมชัดขึ้น และแยกเก็บตามอาการ (ตารางที่ 32) พบว่า ภาพที่รวบรวมได้มากที่สุดคือ ภาพอาการใบต่าง ร้อยละ 39.0 รองลงมาคือภาพโรคใบจุดสีน้ำตาล ร้อยละ 31.2 ภาพต้นปกติ ร้อยละ 15.0 ภาพโรคใบไหม้ ร้อยละ 13.5 และภาพโรคแอนแทรคโนส ร้อยละ 1.3

ตารางที่ 32 จำนวนและร้อยละของภาพไขมันสำปะหลังที่แสดงอาการเป็นโรค

โรค	จำนวน (ภาพ)	ร้อยละ
อาการใบต่าง	3,867	39.0
ใบจุดสีน้ำตาล	3,087	31.2
ใบปกติ	1,491	15.0
ใบไหม้	1,336	13.5
แอนแทรคโนส	126	1.3
รวม	9,907	100.0

1.4 การพัฒนาโมเดลจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง

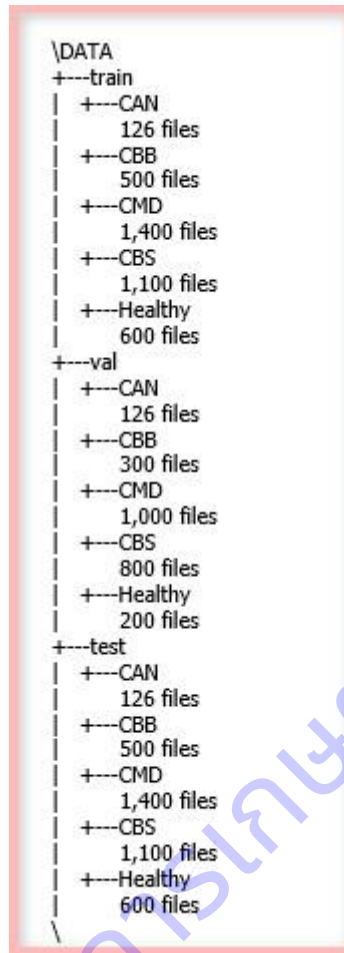
1) การนำเข้าไลบรารีที่ใช้ในการพัฒนาโมเดล การนำเข้าต้องติดตั้งไลบรารีแต่ละตัวในภาษา Python ก่อน แล้วจึงเขียนคำสั่งบน Jupyter Notebook ดังนี้

```
import numpy as np
import time
import copy
import os
import torch
import torch.optim as optim
import torch.nn as nn
import torchvision
import matplotlib.pyplot as plt
from torch.optim import lr_scheduler
from torchvision import datasets, models, transforms
```

2) การนำเข้าชุดข้อมูลภาพ

- ใช้ภาพไขมันสำปะหลังที่สำรวจรวบรวมได้จากแปลงเกษตรกรจังหวัดนครราชสีมา ปราจีนบุรี และสระแก้ว นำภาพมาปรับแต่งให้มีความคมชัด ตัดสิ่งที่ไม่ต้องการออก และแยกเก็บตามอาการโรคที่เกิดบนใบมันสำปะหลัง (ตารางที่ 3) พบว่า ภาพที่รวบรวมได้มากที่สุดคือ ภาพอาการใบต่าง (CMD) ร้อยละ 39 รองลงมาคือภาพโรคใบจุดสีน้ำตาล (CBS) ร้อยละ 31.2 ภาพต้นปกติ (Healthy) ร้อยละ 15 ภาพโรคใบไหม้ (CBB) ร้อยละ 13.5 และภาพโรคแอนแทรคโนส (CAN) ร้อยละ 1.3

- เตรียมภาพ โดยแบ่งชุดข้อมูลภาพเป็นข้อมูลฝึก ข้อมูลยืนยัน และข้อมูลทดสอบ จัดไฟล์ภาพแยกตามโฟลเดอร์ Train, Val และ Test (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 21 จัดไฟล์ภาพแยกตามโฟลเดอร์ Train, Val และ Test

- การแปลงภาพ ใช้ขนาดภาพ 224x224 พิกเซล กลับภาพ แปลงภาพเป็นรูปแบบ Tensor ปรับมาตรฐาน พลิกภาพ และกำหนดขนาด batch

```
transforms = {
    'train': transforms.Compose([
        transforms.RandomResizedCrop(224),
        transforms.RandomHorizontalFlip(),
        transforms.ToTensor(),
        transforms.Normalize([0.485, 0.456, 0.406], [0.229, 0.224, 0.225])
    ]),
    'val': transforms.Compose([
        transforms.Resize(256),
        transforms.CenterCrop(224),
        transforms.ToTensor(),
        transforms.Normalize([0.485, 0.456, 0.406], [0.229, 0.224, 0.225])
    ])
```

```

    ]),
    'test': transforms.Compose([
        transforms.Resize(256),
        transforms.CenterCrop(224),
        transforms.ToTensor(),
        transforms.Normalize([0.485, 0.456, 0.406], [0.229, 0.224, 0.225])
    ])
}

data_dir = 'data'
image_datasets = {x: datasets.ImageFolder(os.path.join(data_dir, x), transform=transforms[x
])
                    for x in ['train', 'val', 'test']}
dataloaders = {x: torch.utils.data.DataLoader(image_datasets[x], batch_size=5, shuffle=True
, num_workers=5)
                for x in ['train', 'val', 'test']}
data_size = {x: len(image_datasets[x]) for x in ['train', 'val', 'test']}
class_names = image_datasets['train'].classes
device = torch.device("cuda:0" if torch.cuda.is_available() else "cpu")

```

- การแสดงภาพ ตัวแปร และค่าสถิติต่างๆ

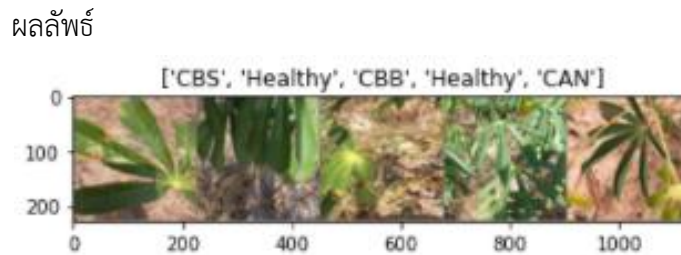
```

def imshow(inp, title=None):
    inp = inp.numpy().transpose((1, 2, 0))
    mean = np.array([0.485, 0.456, 0.406])
    std = np.array([0.229, 0.224, 0.225])
    inp = std * inp + mean
    inp = np.clip(inp, 0, 1)
    plt.imshow(inp)
    if title is not None:
        plt.title(title)
    plt.pause(0.001)

```



```
out = torchvision.utils.make_grid(images)
imshow(out, title=[class_names[x] for x in labels])
```



3) การสร้างฟังก์ชันในการฝึกและทดสอบโมเดล

```
def train_model(model, criterion, optimizer, scheduler, num_epochs=25):
    since = time.time()

    best_model_wts = copy.deepcopy(model.state_dict())
    best_acc = 0.0

    for epoch in range(num_epochs):
        print('Epoch {}/{}'.format(epoch, num_epochs - 1))
        print('-' * 10)

        for phase in ['train', 'val']:
            if phase == 'train':
                model.train()
            else:
                model.eval()

            running_loss = 0.0
            running_corrects = 0

            for inputs, labels in dataloaders[phase]:
                inputs = inputs.to(device)
```

```

labels = labels.to(device)

optimizer.zero_grad()

with torch.set_grad_enabled(phase == 'train'):
    outputs = model(inputs)
    _, preds = torch.max(outputs, 1)
    loss = criterion(outputs, labels)

    if phase == 'train':
        loss.backward()
        optimizer.step()

    running_loss += loss.item() * inputs.size(0)
    running_corrects += torch.sum(preds == labels.data)

if phase == 'train':
    scheduler.step()

epoch_loss = running_loss / data_size[phase]
epoch_acc = running_corrects.double() / data_size[phase]

print('{} Loss: {:.4f} Acc: {:.4f}'.format(
    phase, epoch_loss, epoch_acc))

if phase == 'val' and epoch_acc > best_acc:
    best_acc = epoch_acc
    best_model_wts = copy.deepcopy(model.state_dict())
print()

time_elapsed = time.time() - since
print('Training complete in {:.0f}m {:.0f}s'.format(
    time_elapsed // 60, time_elapsed % 60))

```

```
print('Best val Acc: {:.4f}'.format(best_acc))
```

```
model.load_state_dict(best_model_wts)
```

```
return model
```

4) การเลือกใช้โมเดลการจำแนกภาพ ดาวนโหลดโมเดลที่มีการฝึกเรียบร้อยแล้ว ได้แก่

ResNet (Deep Residual Learning for Image Recognition) ซึ่งเป็นโมเดลที่ใช้สร้างข้อมูลตัวแปร (Features) สำหรับ Deep Convolutional Neural Network (DCNN) ดังตารางที่ 33

ตารางที่ 33 โมเดล ResNet จาก pytorch.org

layer name	output size	18-layer	34-layer	50-layer	101-layer	152-layer
conv1	112×112	7×7, 64, stride 2				
		3×3 max pool, stride 2				
conv2_x	56×56	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 64 \\ 3 \times 3, 64 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 64 \\ 3 \times 3, 64 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 64 \\ 3 \times 3, 64 \\ 1 \times 1, 256 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 64 \\ 3 \times 3, 64 \\ 1 \times 1, 256 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 64 \\ 3 \times 3, 64 \\ 1 \times 1, 256 \end{bmatrix} \times 3$
conv3_x	28×28	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 128 \\ 3 \times 3, 128 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 128 \\ 3 \times 3, 128 \end{bmatrix} \times 4$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 128 \\ 3 \times 3, 128 \\ 1 \times 1, 512 \end{bmatrix} \times 4$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 128 \\ 3 \times 3, 128 \\ 1 \times 1, 512 \end{bmatrix} \times 4$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 128 \\ 3 \times 3, 128 \\ 1 \times 1, 512 \end{bmatrix} \times 8$
conv4_x	14×14	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 256 \\ 3 \times 3, 256 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 256 \\ 3 \times 3, 256 \end{bmatrix} \times 6$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 256 \\ 3 \times 3, 256 \\ 1 \times 1, 1024 \end{bmatrix} \times 6$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 256 \\ 3 \times 3, 256 \\ 1 \times 1, 1024 \end{bmatrix} \times 23$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 256 \\ 3 \times 3, 256 \\ 1 \times 1, 1024 \end{bmatrix} \times 36$
conv5_x	7×7	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 512 \\ 3 \times 3, 512 \end{bmatrix} \times 2$	$\begin{bmatrix} 3 \times 3, 512 \\ 3 \times 3, 512 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 512 \\ 3 \times 3, 512 \\ 1 \times 1, 2048 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 512 \\ 3 \times 3, 512 \\ 1 \times 1, 2048 \end{bmatrix} \times 3$	$\begin{bmatrix} 1 \times 1, 512 \\ 3 \times 3, 512 \\ 1 \times 1, 2048 \end{bmatrix} \times 3$
	1×1	average pool, 1000-d fc, softmax				
FLOPs		1.8×10^9	3.6×10^9	3.8×10^9	7.6×10^9	11.3×10^9

- ดาวนโหลดโมเดล ResNet18 ที่ผ่านการฝึกมาแล้ว

```
model_resnet = models.resnet18(pretrained=True)
```

- ตั้งค่าโมเดล ปรับแต่งตัวแปร ตั้งเกณฑ์ และอัปเดตค่าน้ำหนัก

```
for param in model_resnet.parameters():  
    param.requires_grad = False  
  
num_fts = model_resnet.fc.in_features  
model_resnet.fc = nn.Linear(num_fts, len(class_names))  
model_resnet = model_resnet.to(device)  
criterion = nn.CrossEntropyLoss()
```

```
optimizer_conv = optim.SGD(model_resnet.fc.parameters(), lr=0.001, momentum=0.9)
exp_lr_scheduler = lr_scheduler.StepLR(optimizer_conv, step_size=7, gamma=0.1)
```

- ฝึกโมเดลใหม่

```
model_resnet = train_model(model_resnet, criterion, optimizer_conv, exp_lr_scheduler,
num_epochs=25)
```

- ผลลัพธ์การฝึกโมเดล มีความถูกต้องของการจำแนก 94.90 เปอร์เซ็นต์

```
Epoch 0/24
-----
train Loss: 0.8808 Acc: 0.8067
val Loss: 0.4606 Acc: 0.8941
```

```
Epoch 1/24
-----
train Loss: 0.6680 Acc: 0.8703
val Loss: 0.2884 Acc: 0.9333
```

```
Epoch 2/24
-----
train Loss: 0.7559 Acc: 0.8615
val Loss: 0.3503 Acc: 0.9216
```

```
Epoch 3/24
-----
train Loss: 0.6549 Acc: 0.8786
val Loss: 0.2968 Acc: 0.9294
```

```
Epoch 4/24
-----
train Loss: 0.6638 Acc: 0.8817
val Loss: 0.3350 Acc: 0.9373
```

...

Epoch 23/24

train Loss: 0.3775 Acc: 0.8655

val Loss: 0.2080 Acc: 0.9247

Epoch 24/24

train Loss: 0.3543 Acc: 0.8712

val Loss: 0.2183 Acc: 0.9247

Training complete in 10m 20s

Best val Acc: 0.9490

5) การทดสอบโมเดล

```
dataiter = iter(dataloaders['test'])
images, labels = dataiter.next()
imshow(torchvision.utils.make_grid(images))
print('GroundTruth: ', ', '.join('%5s' % class_names[x] for x in labels))
images = images.to(device)
labels = images.to(device)
output = model_resnet(images)
_, predicted = torch.max(output, 1)
print('Predicted: ', ', '.join('%5s' % class_names[x] for x in predicted))
```

ผลลัพธ์



Ground Truth:	CBS, CBB, CBB, CBB, CBS
Predicted:	CBS, CBB, CBB, CBB, CMD

6) การบันทึกโมเดล

```
# Save The Model
PATH = './m1_resnet18.pth'
torch.save(model_resnet.state_dict(), PATH)
```

2. พัฒนาโมบายแอปพลิเคชันตรวจวัดโรคและศัตรูพืชที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง

2.1 จัดทำฐานข้อมูลรูปลักษณะและเครื่องมือสืบค้นด้วยภาพ

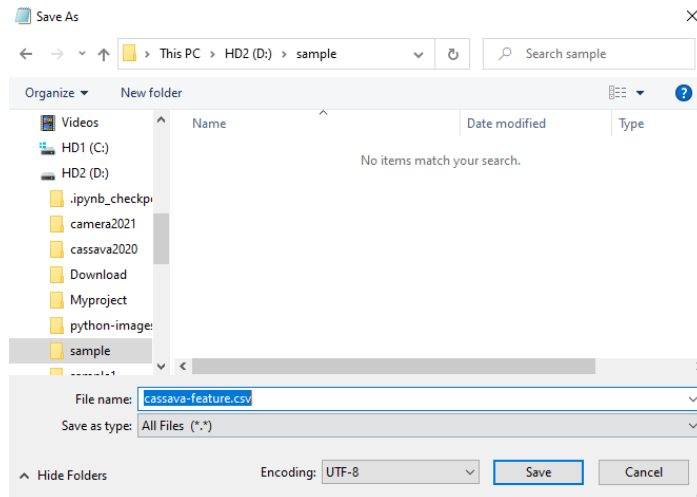
นำภาพมาปรับแต่งให้มีความคมชัดขึ้น สกัดตัวแปรรูปลักษณะของภาพ และแยกเก็บตามอาการโรคที่เกิดบนใบมันสำปะหลังเรียบร้อยแล้ว

1) นำมาสกัดตัวแปรรูปลักษณะและจัดทำดัชนีภาพ ด้วยโปรแกรม XnView ปรับเพิ่มความคมชัดโดยตัดส่วนของภาพที่ไม่ต้องการออก กำหนดขนาดภาพเท่ากับ 224 x 224 พิกเซล และแปลงภาพจากระบบสี RGB เป็นภาพระดับสีเทา (Gray scale) และใช้โปรแกรม ImageJ วิเคราะห์หัวแปรเชิงพื้นผิวภาพ (Texture analysis) ด้วยการวิเคราะห์เมตริกซ์การปรากฏร่วมของระดับสีเทา (Gray – Level Co Occurrence Matrix : GLCM) ดังตารางที่ 34

ตารางที่ 34 ตัวแปรรูปลักษณะและดัชนีภาพโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง

รูปลักษณะ	ความหมาย	ชนิดข้อมูล
File	ชื่อภาพ	Object
province	จังหวัด	Object
Contrast	ความแตกต่างของสี	Float64
correlation	ค่าสหสัมพันธ์	Float64
entropy	เอนโทรปี	Float64
disease	โรค	Object (ดัชนีภาพ)

2) สร้างฐานข้อมูล CSV โดยพิมพ์ข้อมูลลงในโปรแกรม Notepad แยกกันด้วยจุลภาค (,) ประกอบด้วยส่วนหัว (header) เป็นชื่อฟิลด์ รายละเอียดแต่ละระเบียน (record) โดยขึ้นบรรทัดใหม่ทุกครั้ง บันทึกเป็น .csv เช่น cassava-feature.csv และ Save as type: All files Encoding: UTF-8 และกดปุ่ม Save ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 22 การบันทึกไฟล์ CSV

3) การสร้างเครื่องมือสืบค้นภาพ

- เครื่องมือสืบค้นภาพจากฐานข้อมูล CSV

Pandas เป็นไลบรารีแบบเปิดที่มีประสิทธิภาพสูงใช้งานกับ Python สำหรับการจัดการ และการวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นแบบโครงสร้างทั้งมิติเดียวและหลายมิติ สอดคล้องกับ นศพ์ชาณัณ และคณะ (2559) เขียนชุดคำสั่งเพื่อสร้างเครื่องมือสืบค้นภาพ ด้วย python เป็นเครื่องมือที่มีความสามารถหลากหลายและมีไลบรารีให้เลือกใช้ได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ตัวอย่างคำสั่ง Pandas ในการจัดการข้อมูลรูปลักษณะและภาพโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง มีดังนี้

- อ่านข้อมูลจากไฟล์ CSV

```
import pandas as pd
url = 'sample/cassava-feature.csv'
df = pd.read_csv(url, index_col='disease' encoding='utf-8')

df.head()
```

- การตรวจสอบชนิดข้อมูล

```
df.dtypes
```

- การค้นหาข้อมูล เช่น ค้นหาข้อมูลภาพโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง (disease) 0=ต้นปกติ 1=ใบไหม้ 2=ใบจุดสีน้ำตาล 3=แอนแทรคโนส 4=ใบด่าง

```
df[df.disease=='1']
```

- ดูสถิติเบื้องต้น

```
df.describe()
```

- แสดงผลและประเมินการค้นหภาพ

```
import glob
import random
import base64
import pandas as pd

from PIL import Image
from io import BytesIO
from IPython.display import HTML
pd.set_option('display.max_colwidth', -1)

def get_thumbnail(path):
    i = Image.open(path)
    i.thumbnail((150, 150), Image.LANCZOS)
    return i

def image_base64(im):
    if isinstance(im, str):
        im = get_thumbnail(im)
    with BytesIO() as buffer:
        im.save(buffer, 'jpeg')
        return base64.b64encode(buffer.getvalue()).decode()

def image_formatter(im):
    return f"<img src='data:image/jpeg;base64,{image_base64(im)}'>"

cassava = pd.read_csv('../sample/cassava-feature.csv')
cassava['file'] = cassava.id.map(lambda id: f'../sample/train/{id}.jpg')
cassava['image'] = cassava.map(lambda f: get_thumbnail(f))
cassava.head()

# display images specified by path
HTML(cassava[['disease','file']].to_html(formatters={'file': image_formatter}, escape=False))
```


4) เครื่องมือสืบค้นภาพด้วยภาพ

ใช้ Pupyl เป็นไลบรารีของภาษา python ที่สามารถสร้างดัชนีภาพให้สืบค้นภาพที่มีความคล้าย (similarity) กับภาพที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว และสามารถใช้กับชุดข้อมูลภาพของเราเองได้

ขั้นตอนที่ 1 ติดตั้ง Pupyl โดยใช้คำสั่ง pip

```
# pipi  
pip install pupyl
```

หรือใช้คำสั่ง conda

```
# anaconda  
conda install -c policratus pupyl
```

ขั้นตอนที่ 2 เขียนคำสั่ง

```
#import required packages  
from pupyl.search import PupylImageSearch  
from pupyl.web import interface  
#Then index the images  
SEARCH = PupylImageSearch()  
  
SEARCH.index(  
    'http://localhost/samples/images.tar.xz'  
)  
  
interface.serve()
```

หมายเหตุ ภาพทั้งหมดบีบอัดในรูปแบบไฟล์ .tar.xz เก็บไว้ที่เว็บเซิร์ฟเวอร์

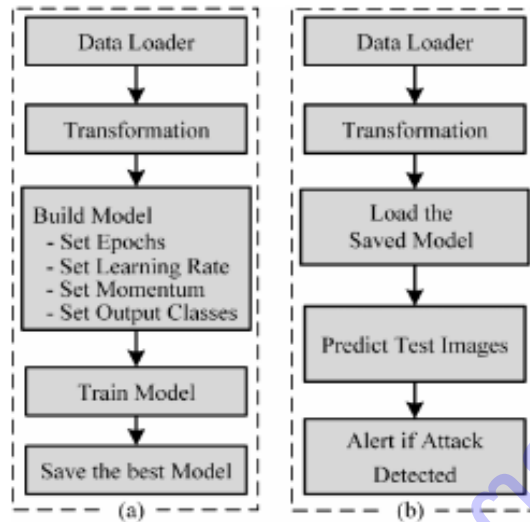
2.2 พัฒนาแอปพลิเคชันตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง

2.2.1 การบันทึกและจัดเก็บโมเดลจำแนกภาพใบมันสำปะหลัง

1) ใช้ภาพใบมันสำปะหลังที่สำรวจรวบรวมได้จากแปลงเกษตรกรจังหวัดนครราชสีมา ปราจีนบุรี และสระแก้ว นำมาปรับแต่งให้มีความคมชัด ตัดสิ่งที่ไม่ต้องการออก และแยกเก็บตามอาการโรคที่เกิดบนใบมันสำปะหลัง คือ ภาพอาการใบด่าง(CMD) ภาพโรคใบจุดสีน้ำตาล (CBS) ภาพต้นปกติ (Health) ภาพโรคใบไหม้ (CBB) และภาพโรคแอนแทรคโนส (CAN)

2) พัฒนาโมเดลจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง โดยใช้เทคนิคการถ่ายทอดการเรียนรู้ (Transfer Learning) โดยเลือกใช้โมเดลการจำแนกภาพที่มีการฝึกเรียบร้อยแล้ว คือ ResNet (Deep Residual Learning for Image Recognition) สามารถจำแนกชนิดและโรคได้ดีที่สุด สอดคล้องกับ Aravindhan V et al. (2019) ResNet โมเดล แต่ละบล็อกทำการส่งข้อผิดพลาดไปยังบล็อกต่อไป ซึ่งเป็นกลไกแก้ไขของตัว

โมเดล จากเทคนิค Transfer Learning ทำให้สามารถลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการพัฒนาแอปพลิเคชัน และ บันทึกโมเดลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเก็บไว้เรียกใช้ (ภาพที่ 23) ซึ่งทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลแล้วมีค่าความ ถูกต้องในการจำแนก 94.90 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 23 ขั้นตอนในการ (a) ฝึก (b) ทดสอบโมเดล ResNet18

2.2.2 ชุดคำสั่งเรียกใช้โมเดลการจำแนกภาพใบมันสำปะหลัง

1) รวบรวมข้อมูลโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง และการป้องกันกำจัดจาก เอกสารแนะนำทางวิชาการ กรมวิชาการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร (ตารางที่ 35)

ตารางที่ 35 โรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง และการป้องกันกำจัด

โรค	ลักษณะอาการ	การป้องกันกำจัด
โรคแอนแทรคโนส (Cassava Anthracnose Disease) CAN	เกิดจากเชื้อรา <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> f.sp.manihotis ใบมีขอบใบไหม้สีน้ำตาลขยายตัวเข้าสู่ กลางใบ มักปรากฏกับใบล่าง ในตัวแปลบนใบมีเม็ดเล็ก ๆ สีดำขยายตัวไปตามขอบของแผลอาการไหม้ ส่วน ก้านใบ อาการปรากฏในส่วนโคนก้านใบเป็นแผลสี น้ำตาลขยายตัวไปตามก้านใบ ทำให้ก้านใบมีลักษณะลู่ ลงมาจากยอด หรือตัวใบหักงอจากก้านใบเกิดอาการ ใบเหี่ยวและแห้งได้ ส่วนลำต้นและยอด แผลที่ลำต้น เป็นแผลสีน้ำตาลบริเวณข้อต่อกับก้านใบ ถ้ามี สภาพแวดล้อมเหมาะสมแผลจะขยายตัวไปสู่ส่วนยอด ทำให้ยอดเหี่ยวแห้งลงมา	1.ใช้พันธุ์ต้านทาน 2. การใช้ท่อนพันธุ์ปลอดโรค 3.ปลูกพืชหมุนเวียน 4.เลือกเศษซากมันสำปะหลังลี้ก ๆ ช่วยลดประชากรเชื้อโรคในดินได้
โรคใบไหม้ (Cassava Bacterial Blight) CBB	เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย <i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. manihotis ลักษณะอาการที่พบ คือ ใบเริ่มมีจุด แผลรูปเหลี่ยม ฉ่ำน้ำ เหี่ยวคล้ายน้ำร้อนลวก เมื่อแผล ขยายติดกัน ทำให้เกิดอาการใบไหม้ ใบร่วงหล่น มี	1. ใช้พันธุ์ต้านทาน หรือพันธุ์ที่ทนทาน ต่อโรคปานกลาง เช่นระยอง 90 ระยอง 9 2. ใช้ท่อนพันธุ์ที่ปราศจากเชื้อ หรือ

โรค	ลักษณะอาการ	การป้องกันกำจัด
	อาการตายจากยอดและลามลงสู่ต้น ที่ลำต้นอาจพบอาการเปลือกแตก ยางไหล ระบาดรุนแรงในช่วงฝนตกชุก	หลีกเลี่ยงการใช้ท่อนพันธุ์ส่วนโคนลำต้นหรือโคนกิ่งมันสำปะหลัง 3.ในพื้นที่ที่มีโรคระบาดรุนแรงให้ปลูกพืชหมุนเวียนอายุสั้น เพื่อลดประชากรเชื้อโรคในดิน 4. การใช้สารเคมีเป็นทางเลือกสุดท้าย ควรใช้สารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็นพวกทองแดง
อาการใบด่าง (Cassava Mosaic Disease) CMD	เกิดจากเชื้อไวรัส ในวงศ์ Geminiviridae สกุล Begomovirus ใบด่างและใบหงิก เสียรูปทรง อาการด่างมีหลายแบบ เช่น ด่างเขียวขีดสลับเขียวเข้ม ด่างเหลืองสลับเขียว ใบหงิก หรือหงิกเหลือง ใบย่อยบิดเบี้ยวหงิกงอ โค้งเสียรูปทรง ใบอ่อนและใบที่เจริญใหม่มีขนาดเล็กกลอง ยอดหงิก ต้นแคระแกร็น	1. ห้ามนำเข้าท่อนพันธุ์หรือส่วนขยายท่อนพันธุ์มันสำปะหลังจากต่างประเทศ ยกเว้นมันเส้นและหัวมันสด ตาม พ.ร.บ.กักพืช พ.ศ. 2507 (ฉบับที่ 6) พ.ศ.2550 2. สอดส่องการลักลอบนำเข้าท่อนพันธุ์หรือส่วนขยายพันธุ์มันสำปะหลัง จากต่างประเทศ หากพบให้แจ้งสำนักงานเกษตรอำเภอ สำนักงานเกษตรจังหวัด กองส่งเสริมการอารักขาพืชและจัดการดินปุ๋ย และกรมวิชาการเกษตร 3. ใช้พันธุ์ที่ปลอดโรคโดยไม่ใช้ท่อนพันธุ์จากแหล่งที่พบการระบาดของโรค หรือแหล่งที่พบอาการของโรค หรือท่อนพันธุ์ที่ไม่ทราบแหล่งที่มา หรือท่อนพันธุ์ที่ปนเปื้อนเชื้อไวรัสใบด่างมันสำปะหลัง 4. สักรวบรวมมันสำปะหลังอย่างสม่ำเสมอ อย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง 5. กำจัดแมลงพาหะ ได้แก่ แมลงหวี่ขาวยาสูบ 6. ฝ้าระวังการระบาดของไวรัส ใบด่างในพืชอาศัยอื่นๆ ที่มีแมลงหวี่ขาวยาสูบเป็นพาหะ โดยหลีกเลี่ยงการปลูกพืชอาศัยของแมลงหวี่ขาวยาสูบ เช่น โหระพา กะเพรา ผักชีฝรั่ง พริก มะเขือ มันฝรั่ง และพืชตระกูลถั่ว และพืชอาศัยของเชื้อไวรัสใบด่างมันสำปะหลัง เช่น สับดูดำ ละหุ่ง บริเวณ

โรค	ลักษณะอาการ	การป้องกันกำจัด
		แปลงปลูกมันสำปะหลัง
โรคใบจุดสีน้ำตาล (Cassava Brown Streak Disease) CBS	เกิดจากเชื้อรา <i>Cercosporidium henningsii</i> แสดงอาการใบจุดค่อนข้างเหลี่ยมตามเส้นใยมีความสม่ำเสมอสีน้ำตาล ขนาด 3-15 มิลลิเมตร มีขอบชัดเจนจุดแผลด้านหลังใบมีสีเทา และ แผลล้อมรอบด้วยวงสีเหลือง ตรงกลางแผลอาจจะแห้งและเป็นรู	1. ใช้พันธุ์แนะนำซึ่งต้านทานโรคปานกลาง 2. เมื่อพบโรคระบาดมาก อาจใช้สารเคมีที่มีทองแดง หรือ เบนโนบิล

2) เขียนชุดคำสั่งภาษา Python ใช้ไลบรารี Flask และ PIL เพื่อเรียกดูการแสดงผลการประมวลผลโมเดลทางเว็บ โดยพัฒนาเป็น web application ก็คือโปรแกรมมีอยู่สองส่วน โปรแกรมส่วนหนึ่งจะถูกเก็บไว้ที่ฝั่งผู้ใช้งานเรียกว่า client-side application อีกส่วนจะไปเก็บที่ server เรียกว่า server-side application

ไฟล์ app.py

```
import io
import string
import torch
import torch.nn as nn
import torchvision.transforms as transforms
from torchvision import models
from flask import Flask, jsonify, request, render_template
from PIL import Image

app = Flask(__name__)

model = models.resnet18()
num_infr = model.fc.in_features
model.fc = nn.Linear(num_infr, 5)
model.load_state_dict(torch.load('./f1_resnet18.pth'))
model.eval()

class_names = ['CAN', 'CBB', 'CMD', 'CSD', 'Healthy']

def transform_image(image_bytes):
my_transforms = transforms.Compose([
```

```

transforms.Resize(256),
transforms.CenterCrop(224),
transforms.ToTensor(),
transforms.Normalize([0.485, 0.456, 0.406], [0.229, 0.224, 0.225])
])

image = Image.open(io.BytesIO(image_bytes))
return my_transforms(image).unsqueeze(0)

def get_prediction(image_bytes):
    tensor = transform_image(image_bytes=image_bytes)
    outputs = model.forward(tensor)
    _, prediction = torch.max(outputs, 1)
    return class_names[prediction]

diseases = {
    "Healthy" : "",
    "CAN" : " โรคแอนแทรกคโนส (Cassava Anthracnose Disease) เกิดจาก.. ---> การป้องกันกำจัด : ...",
    "CBB" : " โรคใบไหม้ (Cassava Bacterial Blight) เกิดจาก... ---> การป้องกันกำจัด : ...",
    "CMD" : " อาการใบด่าง (Cassava Mosaic Disease) เกิดจาก...---> การป้องกันกำจัด : ...",
    "CSD" : " โรคใบจุดสีน้ำตาล (Cassava Brown Streak Disease) เกิดจาก ... ---> การป้องกันกำจัด : ..."
}

@app.route('/casdis', methods=['GET', 'POST'])
def upload_file():
    if request.method == 'POST':
        if 'file' not in request.files:
            return redirect(request.url)
        file = request.files.get('file')
        if not file:
            return
        img_bytes = file.read()

```

```

prediction_name = get_prediction(img_bytes)
return render_template('result.html', name=prediction_name.upper(),
description=diseases[prediction_name])

return render_template('index.html')

if __name__ == '__main__':
app.run(debug=True)

```

3) เขียนคำสั่งภาษา HTML เพื่อแสดงผลทางฝั่งผู้ใช้งาน ประกอบด้วยไฟล์

index.html, layout.html และ result.html

ไฟล์ index.html

```

{% extends "layout.html" %}
{% block content %}

    <div class = "header-content">
        <h3 style = "text-align: center"><span class="header-content-text">การวิเคราะห์ภาพใบ
มันสำปะหลัง</span></h3>
        <h5 style = "text-align: center">
            <span class="header-content-text">แอปพลิเคชันสำหรับทำนายโรคที่แสดงอาการบนใบมัน
สำปะหลัง</span></h5>
    </div>
    <form class="form-signin" method=post enctype=multipart/form-data>
        <div class="upload-section" align="center">
            <input type="file" name="file" class="form-control-file" id="inputfile"
onchange="preview_image(event)">
            <img id="output-image" class="rounded mx-auto d-block" width="350"
border= "dotted, 4px"/><br/>
            <button class="btn" type="submit">ส่งภาพ</button>
            <h5 style = "text-align: center">.jpg .png</h5>
        </div>
    </form>
    <script type="text/javascript">
        function preview_image(event) {

```

```

        var reader = new FileReader();
        reader.onload = function(){
            var output = document.getElementById('output-image')
            output.src = reader.result;
        }
        reader.readAsDataURL(event.target.files[0]);
    }
</script>
{% endblock %}

```

ไฟล์ layout.html

```

<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <meta charset="UTF-8">
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0, viewport-
fit=cover">
    <link rel="stylesheet" href="../static/css/bootstrap.min.css">
    <link href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=Sriracha&display=swap"
rel="stylesheet">
    <link rel="stylesheet" href="../static/css/style.css">
    <title>{{ title }}</title>
  </head>
  <body class="text-center">
    
    {% block content %}{% endblock %}

    <!-- Optional JavaScript -->
    <!-- jQuery first, then Popper.js, then Bootstrap JS -->
    <script src="../static/js/jquery.min.js"></script>
    <script src="../static/js/popper.min.js"></script>
    <script src="../static/js/bootstrap.min.js"></script>
  </body>

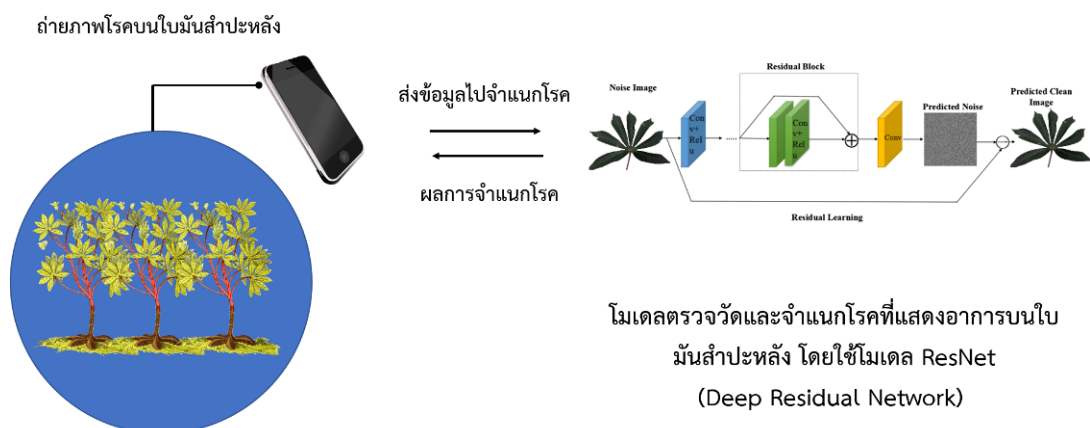
```

```
</html>
```

ไฟล์ result.html

```
{% extends "layout.html" %}
{% block content %}
    <div class = "info">
        <h1 style = "text-align: center"><span class="header-content-text">ผลการวิเคราะห์
</span></h1>
        <form class="form-signin" method=post enctype=multipart/form-data>
            {% if name == "healthy"%}
                <h1 class="content-text">สมบูรณ์ ปกติ </h1>
            {% else %}
                <h1 class="content-text"> {{ name }}</h1>
                <h5 style = "text-align: left" class="content-text">{{ description }} </h5>
            {% endif %}
        </form> <br/>
        <h4><a href ="/casdis"> กลับหน้าหลัก</a></h4>
    </div>
{% endblock %}
```

2.2.3 ทดสอบการใช้งานและตรวจสอบความถูกต้อง นำโมเดล ข้อมูลภาพ และไฟล์คำสั่งทั้งหมดขึ้นไปไว้ที่เว็บโฮสติ้ง หรือ Cloud Server ตรวจสอบความถูกต้องของการประมวลผลและการแสดงผล สร้าง QR code เพื่อให้ผู้ใช้สแกนเข้าใช้งานตามผังการทำงานดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ผังการทำงานของแอปพลิเคชันในการตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง

2.2.4 การทดลองใช้แอปพลิเคชัน

1) จัดทำคู่มือการใช้งานเป็นไฟล์วิดีโอ และโปสเตอร์ โดยมีรายละเอียดตั้งแต่สแกนใช้งาน เมนูการใช้งานอย่างละเอียด สามารถนำไปเผยแพร่ และประชาสัมพันธ์ให้แก่ผู้ใช้งานได้ (ภาพที่ 25 – 26 และ ภาคผนวก ก – น)



ภาพที่ 25 ตัวอย่างเนื้อหาวิดีโอการใช้งานแอปพลิเคชันตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง



ภาพที่ 26 คู่มือการใช้งานแอปพลิเคชันตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง

2.2.5 การประเมินผลการใช้งาน

1) ดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่เจ้าหน้าที่ของกรมวิชาการเกษตรทางระบบออนไลน์ ได้แก่ ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตร นครราชสีมา และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรปราจีนบุรี จำนวน 15 ราย ทำให้มีความรู้ความเข้าใจในการใช้งาน แอปพลิเคชัน จนสามารถถ่ายทอดความรู้แก่เกษตรกร เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง และผู้สนใจต่อไปได้ (ภาคผนวก ง – จ)

2) จัดฝึกอบรมการใช้งานแอปพลิเคชัน ให้แก่เกษตรกรและผู้สนใจ ในพื้นที่จังหวัด นครราชสีมา เมื่อวันที่ 27 ธันวาคม 2564 ณ สำนักงานเกษตรอำเภอสี่คิ้ว จำนวน 30 ราย ผู้เข้าอบรมมีความสนใจ และเข้าใจการใช้งานและมีการประชาสัมพันธ์ให้แก่ผู้สนใจผ่านช่องทางออนไลน์ โดยมีความพึงพอใจในการใช้งาน แอปพลิเคชันภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.13 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.72 การใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อนอยู่ใน ระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.40 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.71 การจัดองค์ประกอบของแอปพลิเคชันเข้าใจง่าย มีค่าเฉลี่ย 4.00 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.86 การออกแบบสวยงาม มีค่าเฉลี่ย 2.83 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.04 สีที่ใช้เหมาะสม มีค่าเฉลี่ย 3.60 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.14 แอปพลิเคชันมีความทันสมัย มีค่าเฉลี่ย 4.33 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.70 (ตารางที่ 36) (ภาคผนวก ง)

ตารางที่ 36 ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชันตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบ มันสำปะหลัง

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ระดับความ พึงพอใจ
1. การใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน	4.40	0.71	มาก
2. การจัดองค์ประกอบของแอปพลิเคชันเข้าใจง่าย	4.00	0.86	มาก
3. การออกแบบสวยงาม	2.83	1.04	ปานกลาง
4. สีที่ใช้เหมาะสม	3.60	1.14	มาก
5. แอปพลิเคชันมีความทันสมัย	4.33	0.70	มาก
6. ภาพรวมของแอปพลิเคชัน	4.13	0.72	มาก

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การดำเนินงานของแผนงานวิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศสู่เกษตรกรดิจิทัล ประกอบด้วย 3 แผนงานวิจัยย่อย ได้แก่ แผนงานวิจัยย่อยที่ 1 วิจัยพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ แผนงานวิจัยย่อยที่ 2 วิจัยพัฒนาระบบสารสนเทศแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน และแผนงานวิจัยย่อยที่ 3 วิจัยพัฒนาระบบจำแนกโรคและศัตรูพืชบนใบมันสำปะหลัง โดยเทคนิคประมวลผลภาพ ดำเนินการวิจัยตั้งแต่เดือนตุลาคม 2558 - กันยายน 2564 ในไม้ผลเศรษฐกิจ ได้แก่ ทูเรียน มังคุด มะม่วง สับปะรด ลำไย เงาะ พืชไร่ ได้แก่ ปาล์มน้ำมัน และมันสำปะหลังในพื้นที่ปลูกที่สำคัญ โดยการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยในการวิเคราะห์และจัดการข้อมูล ช่วยในสนับสนุนการตัดสินใจให้แก่ผู้ใช้งาน พัฒนาเป็นระบบที่เข้าถึงงาน เช่น เว็บแอปพลิเคชัน และโมบายแอปพลิเคชัน สามารถสรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ ดังนี้

แผนงานวิจัยย่อยที่ 1 วิจัยพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ

สรุป

1. ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตของทุเรียนอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ปริมาณฝน และอุณหภูมิสูงสุด และโมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตทุเรียนร้อยละ 71

2. ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตของมังคุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ความชื้นใต้ทรงพุ่ม ความสูงต้น และปริมาณฝน และโมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตมังคุดร้อยละ 77.11

3. ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตของมะม่วงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ของจังหวัดฉะเชิงเทรา คือ ลักษณะเนื้อดิน การระบายน้ำของดิน ระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ จังหวัดปราจีนบุรี คือ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด และจังหวัดสระแก้ว คือ การระบายน้ำของดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และโมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตมะม่วงร้อยละ 62, 26 และ 51.50 ตามลำดับ

4. ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตของสับปะรดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ของจังหวัดเพชรบุรี คือ การระบายน้ำของดิน ดัชนีความเข้มของสีใบ และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ คือ ลักษณะเนื้อดิน การระบายน้ำของดิน ดัชนีความเข้มของสีใบ และโมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตสับปะรดร้อยละ 59 และ 72 ตามลำดับ

5. ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตของลำไยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือ อุณหภูมิดิน และดัชนีความเข้มของสีใบ และโมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตลำไยร้อยละ 79.58

6. ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตของเงาะอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ คือ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน อุณหภูมิดิน และดัชนีความเข้มของสีใบ และโมเดลมีความถูกต้องของการทำนายระดับการให้ผลผลิตเงาะร้อยละ 79

7. การแปลและวิเคราะห์ได้พื้นที่ปลูกลำไย และเงาะมีความถูกต้องร้อยละ 75.81 และ 50 ตามลำดับ

8. ระบบบริการภูมิสารสนเทศพยากรณ์ไม้ผลเศรษฐกิจ สามารถใช้งานได้รูปแบบเว็บแอปพลิเคชันที่ช่วยในการประมาณการณ์ระดับการให้ผลผลิตแก่เกษตรกร นักวิจัย เจ้าหน้าที่ได้นำไปวางแผนการผลิตได้

9. ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับปริมาณผลผลิตลำไย ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ และลำพูน มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำ

10. ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับปริมาณผลผลิตเงาะ ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีความสัมพันธ์อยู่ในระดับต่ำเช่นเดียวกัน

11. การประเมินผลผลิตลำไยด้วยค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ และลำพูน พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย เมื่อนำผลผลิตที่คาดการณ์ได้จากสมการกับผลผลิตจริง มีความคลาดเคลื่อนไป 15.93, 7.07 และ 8.62 กิโลกรัม/ไร่ ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. การแปลและวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT 8 ซึ่งมีรายละเอียดภาพ 30 เมตร อาจส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดในบางพื้นที่ เช่น พื้นที่ไม้ผลและไม้ยืนต้น จึงแนะนำให้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมที่มีรายละเอียดภาพสูงกว่า เพื่อให้การแปลและวิเคราะห์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2. เพื่อให้งานวิจัยมีความน่าเชื่อถือและมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ควรใช้ดัชนีพืชพรรณมากกว่า 1 ตัว มาใช้ในการสร้างสมการความสัมพันธ์กับผลผลิต และควรนำปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศ การให้น้ำ การใส่ปุ๋ย มาร่วมวิเคราะห์เพื่อให้ความแม่นยำของการคาดการณ์มากขึ้น นอกจากนี้ถ้าสามารถหาภาพที่ปราศจากเมฆหลายๆ ช่วงเวลา มาใช้ในการหาความสัมพันธ์และสร้างสมการ ก็จะสามารถเพิ่มความแม่นยำของการคาดการณ์ได้มากขึ้น

แผนงานวิจัยย่อยที่ 2 วิจัยพัฒนาระบบสารสนเทศแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน

สรุป

1. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีของตัวอย่างใบปาล์มน้ำมันจากภาพถ่ายกับผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในห้องปฏิบัติการ พบว่าความสัมพันธ์ของธาตุไนโตรเจน และธาตุโพแทสเซียมกับค่าสี พบความสัมพันธ์ในระดับต่ำมาก ดังนั้น การใช้ค่าสีเพียงอย่างเดียวไม่สามารถประเมินปริมาณธาตุไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียมในใบปาล์มน้ำมันได้

2. การประมวลผลภาพใบปาล์มน้ำมันโดยใช้เทคนิค K-mean clustering สำหรับจัดกลุ่มค่าสี และหาสีหลักของภาพ (Dominant colors) สำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาแผ่นเทียบสี เพื่อประเมินระดับการขาดธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียม พบว่า การสร้างจากการจัดกลุ่มของค่าสีสำหรับประเมินธาตุไนโตรเจน ทั้งทางใบที่ 17 และ 33 มีจำนวนค่าสีที่เหมาะสม คือ 5 จำนวนกลุ่มค่าสี และธาตุโพแทสเซียม ทั้งทางใบที่ 17 และ 33 มีจำนวนค่าสีที่เหมาะสม คือ 30 จำนวนกลุ่มค่าสี

3. ได้จัดทำแผ่นเทียบสีธาตุไนโตรเจนและธาตุโพแทสเซียม ทางใบที่ 17 และ 33 สำหรับประเมินระดับของธาตุไนโตรเจนและโพแทสเซียมเบื้องต้น

4. การพัฒนาโมเดลทำนายธาตุไนโตรเจน และโมเดลทำนายธาตุโพแทสเซียม ศึกษาและพัฒนา จำนวน 3 โมเดล ได้แก่ โมเดล AlexNet V2 โมเดล ResNext และโมเดล MobileNet V3 และวัดประสิทธิภาพการเรียนรู้

ทั้ง 3 โมเดล โดยการเปรียบเทียบค่า Loss ของแต่ละโมเดล ที่ใช้ข้อมูลฝึกฝนจากทางใบ 17 จำนวน 150 Epochs เหมือนกัน พบว่า มีการลดลงของค่า Loss ที่ใกล้ 0 ทุกโมเดล และพบว่า MobileNet V3 ให้ค่า Loss ต่ำที่สุด หรือมีประสิทธิภาพสูงสุดที่สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบประเมินธาตุอาหารในขั้นตอนต่อไป

5. ระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใส่ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน ใช้งานและแสดงผลผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน <http://puipalm.research-oard7.com>

6. ระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใส่ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน สามารถจัดเก็บข้อมูลผลวิเคราะห์ดิน ผลวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบ และประวัติการใส่ปุ๋ยแปลงปาล์มน้ำมันได้

7. การใช้งานระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใส่ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน มี 2 ลักษณะ คือ 1) การแปลผลการใส่ปุ๋ยจากข้อมูลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันจากห้องปฏิบัติการ และ 2) การแปลผลการใส่ปุ๋ยจากภาพถ่ายในปาล์มน้ำมันที่นำเข้าสู่ระบบ โดยผ่านการทำนายธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมันอัตโนมัติ โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์

8. ระบบทำนายธาตุไนโตรเจน และระบบทำนายธาตุโพแทสเซียม มีความแม่นยำร้อยละ 86.34 และ 56.66 ตามลำดับ และมีค่า MSE รวมเท่ากับ 0.06

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อมูลภาพที่ใช้ในปัจจุบันคือภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมันจากกล้องดิจิทัล มีปัจจัยควบคุมหลายอย่าง เช่น ได้มาจากการตัดพื้นที่ใบปาล์มน้ำมันแต่ละใบจากภาพใหญ่ มีพื้นหลังภาพสีดำ และถ่ายภาพในระนาบขนานกับวัตถุ ทำให้ไม่มีความหลากหลายของข้อมูล หากใช้งานจริงโดยใช้ภาพที่มีพื้นหลัง อุปกรณ์ถ่ายภาพ แสง ขนาดของภาพ และมุมในการถ่ายภาพที่ต่างกัน อาจทำให้ค่าทำนายธาตุอาหารไม่ถูกต้องได้

2. ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างภาพที่ใช้ในการฝึกฝนแบบจำลอง โดยให้มีจำนวนมากขึ้นและกระจายตัวอย่างเท่าๆ กัน ในแต่ละกลุ่มสุขภาพ และเพิ่มความหลากหลายของภาพที่ใช้ในการฝึกฝนแบบจำลอง เช่น ใช้ภาพจากเครื่องสแกน โทรศัพท์มือถือ ภาพที่มีพื้นหลังแตกต่างกัน ภาพที่มีมุมในการถ่ายภาพต่างกัน ภาพที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขของแสงต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมและใกล้เคียงกับการใช้งานระบบจริงที่ผู้ใช้งานใช้โทรศัพท์มือถือในการถ่ายภาพ เพื่อให้ระบบฯ มีการเรียนรู้ที่หลากหลายและสกัดคุณลักษณะได้ดีขึ้น มีความแม่นยำมากขึ้น

3. ตัวอย่างข้อมูลภาพถ่ายใบปาล์มน้ำมันที่มีลักษณะต่างกันอย่างมาก อาจจะมีค่าธาตุอาหารจากผลวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากข้อจำกัดในการตรวจวิเคราะห์ที่ต้องใช้ใบปาล์มน้ำมันหลายใบสำหรับการตรวจ 1 ตัวอย่าง การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารในต้นปาล์มน้ำมัน การใส่ปุ๋ยในช่วงเวลาก่อนเก็บตัวอย่าง และค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารแต่ละตัวอย่างที่มีความใกล้เคียงกัน อาจทำให้ค่าทำนายธาตุอาหารไม่ถูกต้องได้ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม หรือใช้เทคนิคในการประมวลผลภาพวิธีอื่นๆ ที่สามารถเรียนรู้ข้อมูลภาพและทำให้โมเดลมีความแม่นยำเพิ่มขึ้น

4. ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน ควรมีการเก็บข้อมูลภาพถ่ายควบคู่ไปกับข้อมูลผลวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการจากตัวอย่างที่รับบริการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ชุดข้อมูลมากขึ้นสำหรับการฝึกฝนของโมเดล

5. ควรมีการศึกษาพัฒนาโมเดลสำหรับการทำนายธาตุอาหารธาตุอื่นๆที่สำคัญในปาล์มน้ำมัน ที่แสดงอาการขาดทางใบที่ชัดเจน ได้แก่ ธาตุแมกนีเซียม และธาตุโบรอน เพื่อให้มีคำแนะนำการใช้ปุ๋ยผ่านระบบ PUIPALM ที่ครอบคลุมธาตุอาหารสำคัญที่ปาล์มน้ำมันต้องการในปริมาณมากในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต

6. ควรทดสอบการใช้งานระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมันและระบบแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมันบนเว็บแอปพลิเคชัน ให้หลากหลายกลุ่มผู้ใช้ ได้แก่ นักวิจัย นักวิชาการ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่สำนักงาน เกษตรกรผู้ปลูกปาล์มน้ำมัน นักเรียน นักศึกษา และบุคคลทั่วไป เพื่อให้ได้ผลสะท้อนการใช้งานที่หลากหลาย เพื่อนำกลับมาปรับปรุงระบบให้ใช้งานง่ายขึ้น (User friendly)

แผนงานวิจัยย่อยที่ 3 วิจัยพัฒนาระบบจำแนกโรคและศัตรูพืชบนใบมันสำปะหลัง โดยเทคนิคประมวลผลภาพสรุป

1. ได้ฐานข้อมูลภาพอาการโรคใบมันสำปะหลังในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ปราจีนบุรี และสระแก้ว 9,907 ภาพ บรรยายภาพแบ่งเป็น 0) ต้นปกติ (Healthy) 1) โรคใบจุดสีน้ำตาล (CBS) 2) โรคใบไหม้ (CBB) 3) โรคแอนแทรคโนส (CAN) และ 4) อาการใบด่าง (CMD)

2. สามารถสร้างฐานข้อมูล CSV และเขียนชุดคำสั่งเพื่อสร้างเครื่องมือสืบค้นภาพโดยใช้ไลบรารีแบบเปิดที่มีประสิทธิภาพสูงใช้งานกับ Python ได้ ซึ่งฐานข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และการวิเคราะห์เชิงลึก (Deep Learning) ได้

3. ใช้โมเดล ResNet18 จากเทคนิค Transfer Learning ในการวินิจฉัยอาการบนใบมันสำปะหลัง ทำให้สามารถลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ซึ่งมีค่าความถูกต้องสูงถึง 94.90 เปอร์เซ็นต์

4. ผู้ใช้งานโมบายแอปพลิเคชันสามารถวินิจฉัยและทราบอาการโรคบนใบมันสำปะหลัง พร้อมรับคำแนะนำในการป้องกันกำจัดได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ แต่อย่างไรก็ตาม จำนวนภาพของโรคแอนแทรคโนส มีเพียง 126 ภาพ ซึ่งน้อยเกินไป ทำให้อาจริวินิจฉัยโรคนี้ได้ไม่แม่นยำ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเก็บข้อมูลภาพเพิ่มขึ้น เพื่อใช้ในฝึกโมเดลให้มีความสามารถในการจำแนกภาพโรคบนใบมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น

2. ข้อจำกัดในด้านประสิทธิภาพของ Cloud Server ควรมีวงจรมประมวลผลภาพความเร็วสูง เพื่อให้แอปพลิเคชันมีความสมบูรณ์และใช้ประโยชน์ได้ดียิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ. 2564. FTA ภูมิคุ้มกันส่งออกสินค้าเกษตร 7 เดือนปี 64 ทะลุ 1 หมื่นล้าน
ที่มา : <https://www.ryt9.com/s/beco/3255381>
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดินเล่มที่ 1 ดิน
บนพื้นที่ราบต่ำ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 579 หน้า.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่มที่ 2 ดิน
บนพื้นที่ดอน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 1939 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร. 2558. รายงานชุดโครงการวิจัย: วิจัยและพัฒนาสับปะรด. กรมวิชาการเกษตร กระทรวง
เกษตรและสหกรณ์. 44 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร. 2554. เทคโนโลยีการผลิตปาล์มน้ำมันแบบครบวงจร. เอกสารประกอบการอบรม.
- กรมวิชาการเกษตร. 2547. เอกสารวิชาการทุเรียน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 125 หน้า.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2556. องค์ความรู้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสู่การเป็น smart officer ไม้ผลไม้ยืนต้น กรม
ส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 165 หน้า
- กอบเกียรติ สระอุบล, 2564. เรียนรู้ AI : Deep Learning ด้วย Python. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์อินเทอร์มีเดีย. 592 น.
- กอบเกียรติ สระอุบล, 2563. เรียนรู้ Data Science และ AI : Machine Learning ด้วย Python. กรุงเทพฯ :
สำนักพิมพ์มีเดีย เนทเวิร์ค. 640 น.
- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2549. การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for windows. ภาควิชาสถิติคณะพาณิชยศาสตร์
และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ
- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2550. การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. สำนักพิมพ์ธรรมสาร, กรุงเทพฯ
- เกษม พวงจิก. 2543. การติดผลของมะม่วง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย) ปีที่ 8 ฉบับที่ 1
มกราคม – มิถุนายน 2543.
- ชมพู จันทร์. 2561. การตัดแต่งกิ่งทุเรียน : กรณีทำสาวต้นทุเรียนที่อายุมากกว่า 40 ปี. วารสารเคหะการเกษตร ปีที่
42 ฉบับที่ 9 เดือนกันยายน 2561.
- โชติพันธุ์ หล่อเลิศสุนทร และฐิตะพันธุ์ หล่อเลิศสุนทร. 2559. คู่มือเรียนเขียนโปรแกรม Python
(ภาคปฏิบัติ). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์คอร์ฟิงก์ซัน. 368 น.
- เชวง อมรศักดิ์, 2525. โรคใบไหม้ของมันสำปะหลัง : วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
กรุงเทพฯ.
- ณัฐวดี หงส์บุญมี และ พงศ์นรินทร์ ศรีรุ่ง. 2561. “การประยุกต์ใช้เทคนิคจำแนกข้อมูลแบบต้นไม้ตัดสินใจเพื่อการ
วินิจฉัยโรคในโคเบื้องต้นบนโทรศัพท์มือถือ”. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 20 ฉบับที่ 1
มกราคม – เมษายน 2561. หน้า 44 – 58.
- จีระ เอกสมธราเมษฐ์. 2554. การปรับปรุงพันธุ์ปาล์มน้ำมัน. ภาควิชาพืชศาสตร์คณะทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.

- ธีระวัช แก้ววิจิตร. 2559. การเพิ่มประสิทธิภาพซอฟต์แวร์เรกเตอร์รีเกรสชันในการพยากรณ์อนุกรมเวลา. ปรัชญา
พลະพันธ์. 2560. คู่มือวิเคราะห์และจัดการข้อมูลสถิติด้วย Minitab ฉบับมืออาชีพ. นนทบุรี: ไอทีซี
พีริเมียร์
- นศัพชาณัณ ชินปัญชธนะ สำราญ ไผ่นวล และ ริญญรัตน์ โชติสุริยสินสุข. 2559. “การศึกษางานวิจัยการ
ประมวลผลภาพดิจิทัลและการประยุกต์ใช้งานในแอปพลิเคชัน” .การประชุมวิชาการระดับชาติ
มหาวิทยาลัยเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 3 “งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น”. หน้า 546 – 555.
- นิพนธ์ ทวีชัย. 2537. การศึกษาโรคต่างๆ ของมันสำปะหลัง : การแพร่ระบาดและความต้านทานโรค
ใบไหม้ของมันสำปะหลังที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย. รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
สถาบันวิจัยแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.กรุงเทพฯ.
- ไพโรสันต์ ผดุงเรียง. 2553. ขั้นตอนการสร้างโมเดลสำหรับนักวิทยาศาสตร์ข้อมูล. ที่มา :
<http://rdbi.co.th/2020/01/data-scientist-3/>
- วสันต์ สุขสุวรรณ. 2558. หนังสือเทคโนโลยีชาวบ้าน. ปีที่ 27 ฉบับที่ 605 (สิงหาคม 2558) ที่มา :
<https://webdinpui.wordpress.com/2016>
- วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี:
นครราชสีมา.
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2547. พื้นที่การปลูกรวม และ ผลผลิตมะม่วงพันธุ์ต่างๆ ในปี
พ.ศ. 2547. กรมส่งเสริมการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สำเนาโรเนียว.
- สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี. 2559. การวิเคราะห์สมการถดถอย. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2561, จาก
http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=3086&read=true&count=true
- สุขุม เฉลยทรัพย์ และคณะ. (2555). เทคโนโลยีสารสนเทศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวน
ดุสิต.
- สุจิตรา เจริญศิริชัยยศ. 2561. ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดระหว่างดัชนีพืชพรรณกับผลผลิตปาล์มน้ำมันจากทะเลสาบ
สดด้วยภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 8. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 21
ฉบับเดือนมกราคม - ธันวาคม 2561. 235-247
- สุพรรณษา ยวงทอง, 2558 218. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ. กรุงเทพฯ : โป
รวีชน, 2557
- สุนทรียังชัชวาล และ พรณิ ชื่นนคร. 2550. ข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาของทุเรียนของจันทบุรี. ศูนย์
เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน. 67 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร ปี 2563 ที่มา : <https://www.oae.go.th>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2563. ลำไย : เนื้อที่ยืนต้น เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ รายอำเภอ ปี 2563 ที่มา:
[https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/longan%2063%20up
date.pdf](https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/longan%2063%20update.pdf)

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2560. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 215 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. วารสารการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตร. ปีที่ 29 ฉบับที่ 2 (มิถุนายน 2557). ที่มา : http://www2.oae.go.th/forecast/page2_th.html
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2556. เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 402. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 04 หน้า.
- สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2564. เอกสารส่งเสริมเผยแพร่ "การปลูกลำไย" ที่มา https://eto.ku.ac.th/neweto/ebook/plant/tree_fruit/puklamyai.pdf
- อรวิณิณี ชูศรี และคณะ. 2558. การตัดแต่งกิ่งและการจัดการทรงพุ่มของเงาะพันธุ์โรงเรียน. ผลงานวิจัยและพัฒนา ปี 2558 คลังผลงานวิจัย กรมวิชาการเกษตร ที่มา : [https://doi.org/10.1515/jib-2017-0056](https://www.doa.go.th/th/อุดมศักดิ์ เลิศสุชาตวนิช. 2555. โรคและแมลงศัตรูมันสำปะหลัง. ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 63 น.</p><p>Afonso, T., Moresco, R., Uarrota, V. G., Navarro, B. B., Nunes, E. da C., Maraschin, M., & Rocha, M. (2017). UV-Vis and CIELAB Based Chemometric Characterization of Manihot esculenta Carotenoid Contents. <i>Journal of Integrative Bioinformatics</i>, 14(4), 1–13. <a href=)
- Aguirre-Pablo, A. A., Alarfaj, M. K., Li, E. Q., Hernández-Sánchez, J. F., & Thoroddsen, S. T. (2017). Tomographic Particle Image Velocimetry using Smartphones and Colored Shadows. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03722-9>
- Aravindhana Venkataramanan, Deepak Kumar P Honakeri, Pooja Agarwal. 2019. Plant Disease Detection and Classification Using Deep Neural Networks. *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*. Vol. 11 No 08 Aug 2019. P: 40 – 46.
- Cardani, D. (2001). Adventures in hsv space. *de Robótica, Instituto Tecnológico Autónomo de*, 1–10. <http://132.68.58.138/labs/anat/hsvspace.pdf>
- Dake, W. and Chengwei, M., 2006. The Support Vector Machine (SVM) Based Near-Infrared Spectrum Recognition of Leaves Infected by the Leafminers, *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control*, vol. 3. : 448-451.
- Eli Stevens, Luca Antiga, and Thomas Viehmann. 2020. *Deep Learning with PyTorch*. Manning Publications. 520 Pages.
- Dertat, A. 2017. Convolutional layer filter. *Towards Data Science*, <https://towardsdatascience.com/applied-deep-learning-part-4-convolutional-neural-networks-584bc134c1e2>

- Dolmiere, T., Ladret, P., & Nicolas, M. (2008). The Blur Effect: Perception and Estimation with a New No-Reference Perceptual Blur Metric. To cite this version: The Blur Effect: Perception and Estimation with a New No-Reference Perceptual Blur Metric. *Human Vision and Electronic Imaging XII*, 6492, 64920I. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00232709><https://se.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/24676-image-blur-metric>
- Donon, Y., Paringer, R., Kupriyanov, A., & Goshin, Y. (2019). Blur-robust image registration and stitching. *Journal of Physics: Conference Series*, 1368(5). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1368/5/052043>
- Dubey, S. R., Dixit, P., Singh, N., & Gupta, J. P. (2013). Infected Fruit Part Detection using K-Means Clustering Segmentation Technique. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 2(2), 65. <https://doi.org/10.9781/ijimai.2013.229>
- Eli Stevens, Luca Antiga, and Thomas Viehmann. 2020. *Deep Learning with PyTorch*. Manning Publications. 520 Pages.
- Fairhurst, T. H., & Mutert, E. (1999). Interpretation and Management of Oil Palm Leaf Analysis Data. *Better Crops International*, 13(1), 48–51.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2002). *Digital image processing second edition*. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 455.
- Howard, A.; Sandler, M.; Chu, G.; Chen, L.C.; Chen, B.; Tan, M.; Wang, W.; Zhu, Y.; Pang, R.; Vasudevan, V.; et al. Searching for mobilenetv3. *In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Seoul, Korea, 2 September–27 October 2019*; pp. 1314–1324.
- J. Wang, P. M. Rich and K. P. Price. 2003. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 24, No. 11, 2345–2364
- Jumb, V., Sohani, M., & Shrivastava, A. (2014). Color Image Segmentation using K-Means Clustering and Otsu's Adaptive Thresholding. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 3(9), 72–76.
- Kakran, A., & Mahajan, R. (2012). Monitoring growth of wheat crop using digital image processing. *Digital Image Processing*, 4(12), 631–635.
- Kriegler, F.J., Malila, W.A., Nalepka, R. F. and Richardson, W. 1969. Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. *In: Proceedings of the Sixth International*

- Symposium on Remote Sensing of Environment. (pp. 97-131). University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA.
- Krizhevsky, Alex, Sutskever, Ilya, and Hinton, Geoffrey E. 2012. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. In NIPS, pp. 1097–1105, 2012.
- Ly, B. C. K., Dyer, E. B., Feig, J. L., Chien, A. L., & Del Bino, S. (2020). Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *Journal of Investigative Dermatology*, 140(1), 3-12.e1.
<https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003>
- Mahajan, S. and Singh, A. (2012). A Review of Methods and Approach for Secure Steganography. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 2, 484-488.
- Makerere University AI Lab. 2020. Cassava Leaf Disease Classification, Identify the type of disease present on a Cassava Leaf image. <https://www.kaggle.com/c/cassava-leaf-disease-classification/overview>. November 20, 2020.
- Mercado-Luna, A., Rico-García, E., Lara-Herrera, A., Soto-Zarazúa, G., Ocampo-Velázquez, R., Guevara-González, R., Herrera-Ruiz, G., & Torres-Pacheco, I. (2002). African journal of biotechnology. *African Journal of Biotechnology*, 9(33), 5326–5332.
<https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/92074/81517>
- Miyatra, A., & Solanki, S. (2014). Disease and nutrient deficiency detection in cotton plant. *International Journal of Engineering Development and Research*, 2(2), 2801–2804.
- N. Petrellis. 2017. “Mobile Application for Plant Disease Classification Based on Symptom Signatures”. **Proceedings of the 21st Pan-Hellenic Conference on Informatics September 2017**. Article No.: 1 Pages 1–6.
- Ruksiamza, K. (2020). Machine Learning (K-Means Clustering).
<https://kongruksiamza.medium.com/สรุป-machine-learning-ep-7-การจัดกลุ่มด้วย-k-means-k-means-clustering-2423389f6c10>
- R.M. Haralick. 1979. Statistical and structural approaches to Texture. *Proceedings of the IEEE*. Vol. 67, No. 5. pp. 786-804.
- Singh, R.P., Roy, S., and Kogan, F. (2003). Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India [Electronic version]. *INT. J. Remote Sensing*, 24(22), 4393-4402.

- Srimani, P. K., & Nithiyandhan, K. (2016). Analysis of the Leaf Histogram with HSV-Model. *International Journal of Engineering and Management Research*, 6, 64–68.
[http://www.ijemr.net/DOC/AnalysisOfTheLeafHistogramWithHSVModel\(64-68\).pdf](http://www.ijemr.net/DOC/AnalysisOfTheLeafHistogramWithHSVModel(64-68).pdf)
- Tavish Srivastava. 2014. Basics of Image Processing in Python. <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2014/12/image-processing-python-basics>. December 30, 2014
- Tewari, V. K., Arudra, A. K., Kumar, S. P., Pandey, V., & Chandel, N. S. (2013). Estimation of plant nitrogen content using digital image processing. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(2), 78–86.
- Ullah, M.I., et al. 2020. “Using Smartphone Application to Estimate the Defoliation Caused by Insect Herbivory in Various Crops”. *Pakistan Journal of Zoology*. Vol. 52, Iss. 3, pp 1129-1135.
- Vinod Kumar, Hritik Arora, Harsh and Jatin Sisodia. ResNet-based approach for detection and Classification of Plant Leaf Disease. 2020 International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC).
- Waltz, F. M., & Miller, J. W. V. (1998). An efficient algorithm for Gaussian blur using finite-state machines. July, 1–8.
- Wang, J., Price, K.P. and Rich, P.M. (2003). Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the Central Great Plains, U.S.A. [Electronic version]. *International Journal Remote Sensing*, 24(11), 2345-2364.
- Wang, H. and Ma, Z., 2011. Prediction of Wheat Stripe Rust Based on Support Vector Machine. *2011 Seventh International Conference on Natural Computation*. pp. 378–382.
- Xie Saining, Ross Girshick, Piotr Dollar, Zhuowen Tu, Kaiming He. 2017. Aggregated Residual Transformations for Deep Neural Networks.

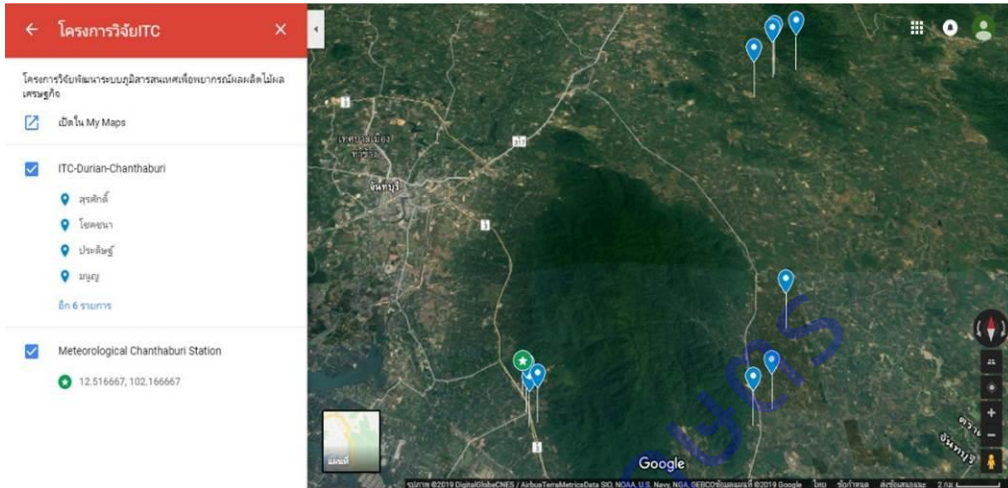
ภาคผนวก

แผนงานวิจัยย่อยที่ 1 วิจัยพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ

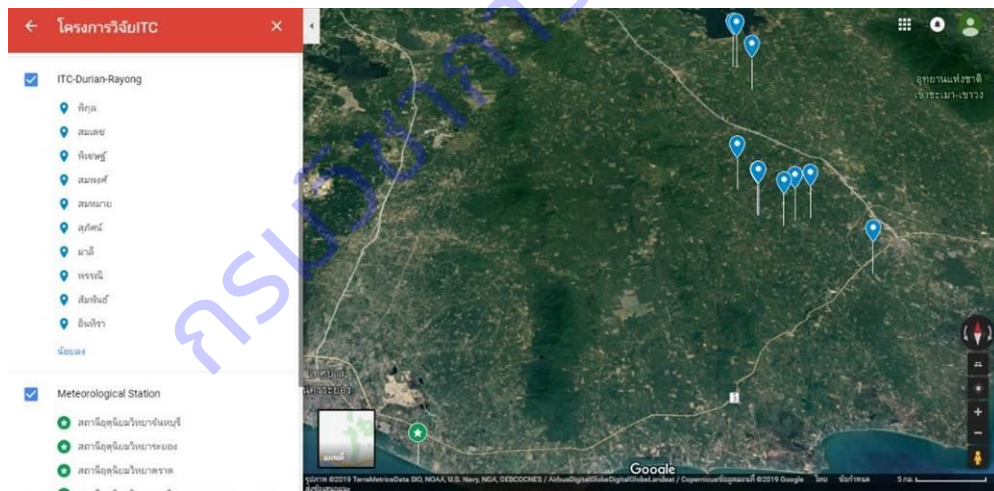
โครงการที่ 1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการให้ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ

ภาคผนวก ก สภาพแปลงทุเรียนของเกษตรกร

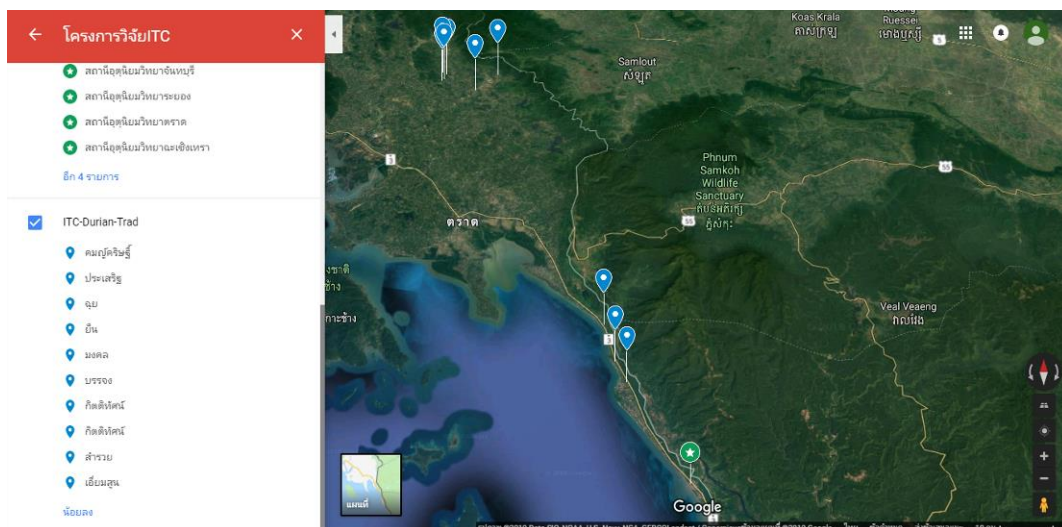
1. สภาพแปลงทุเรียนของเกษตรกรจังหวัดจันทบุรี



2. สภาพแปลงทุเรียนของเกษตรกรจังหวัดระยอง

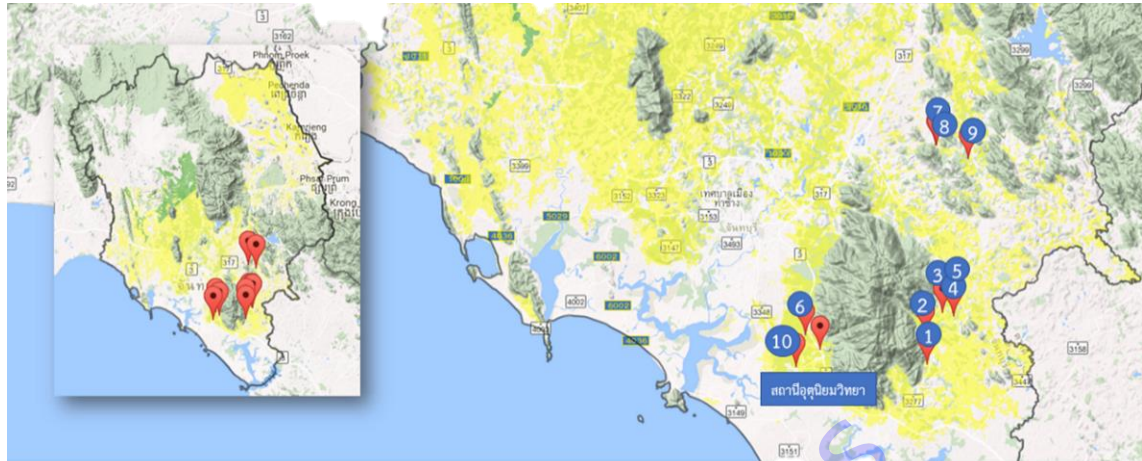


3. สภาพแปลงทุเรียนของเกษตรกรจังหวัดตราด

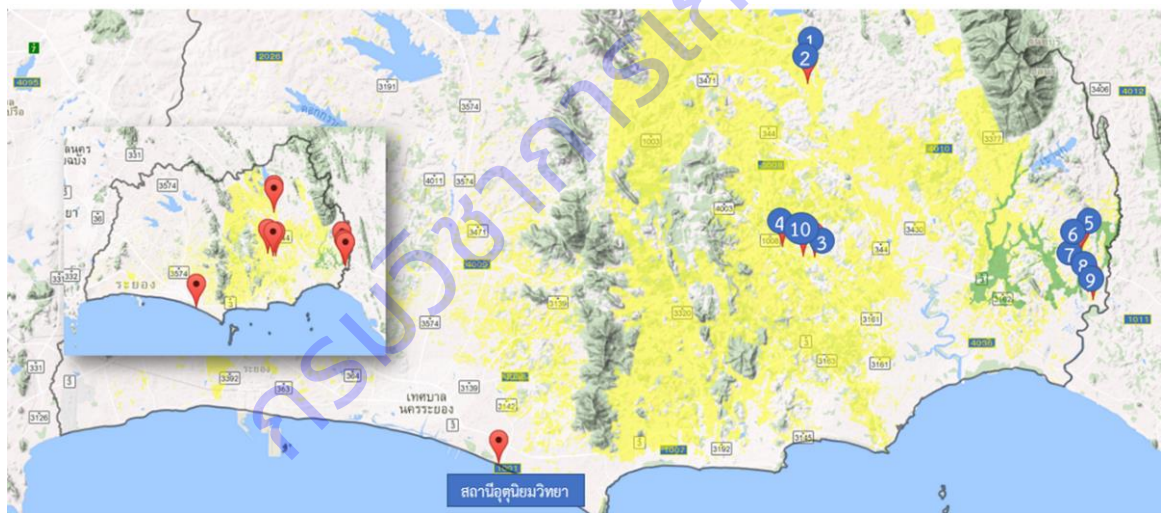


ภาคผนวก ข แผนที่แปลงทุเรียนของเกษตรกรและสถานีอุตุนิยมวิทยา

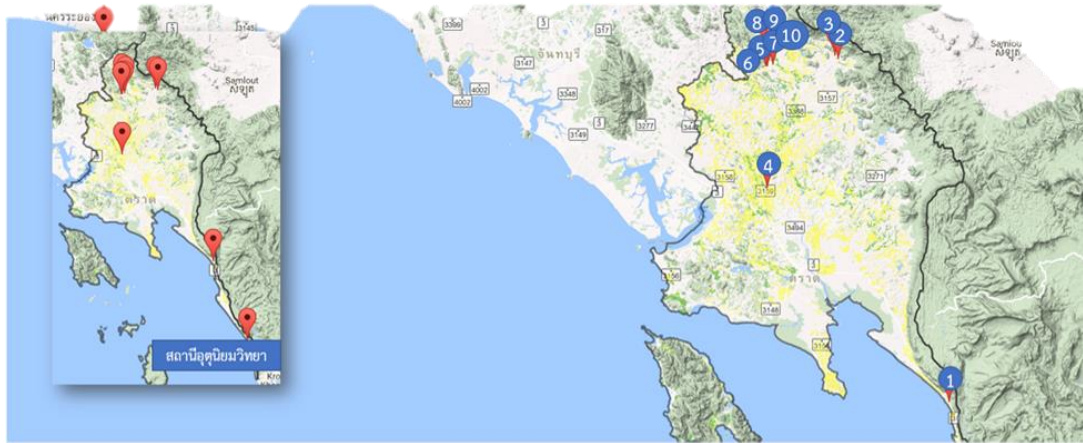
1. แผนที่แปลงทุเรียนของเกษตรกรจังหวัดจันทบุรี และสถานีอุตุนิยมวิทยาจันทบุรี กลุ่มงานเกษตรพลีว ตำบลตะปอน อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี



2. แผนที่แปลงทุเรียนของเกษตรกรจังหวัดระยอง และสถานีอุตุนิยมวิทยาระยอง ตำบลพะพง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง



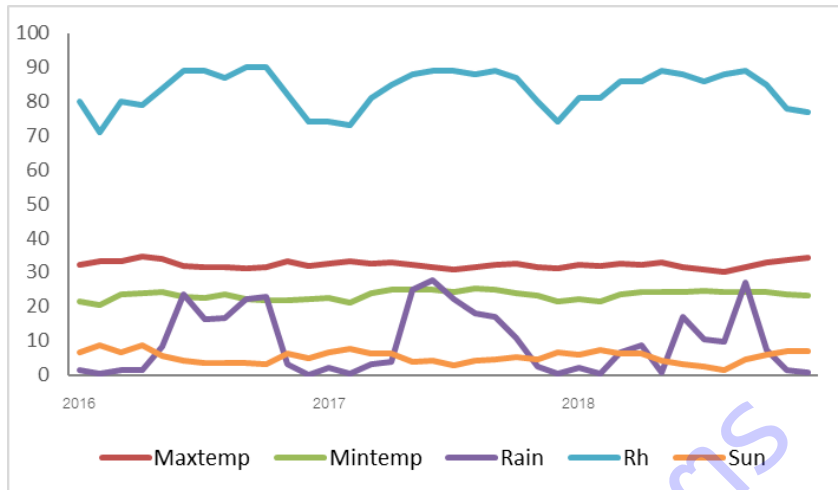
3. แผนที่แปลงทุเรียนของเกษตรกรจังหวัดตราด และสถานีอุตุนิยมวิทยาตราด ตำบลคลองใหญ่ อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด



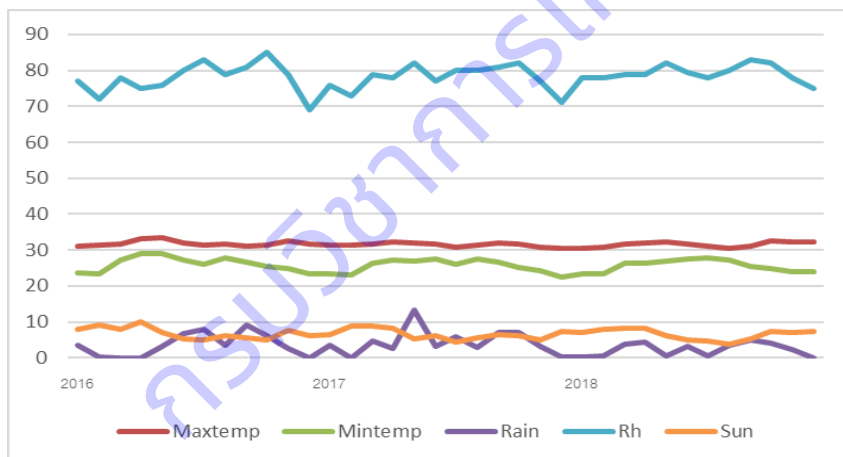
กรมวิชาการเกษตร

ภาคผนวก ค ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวัน เก็บรวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา

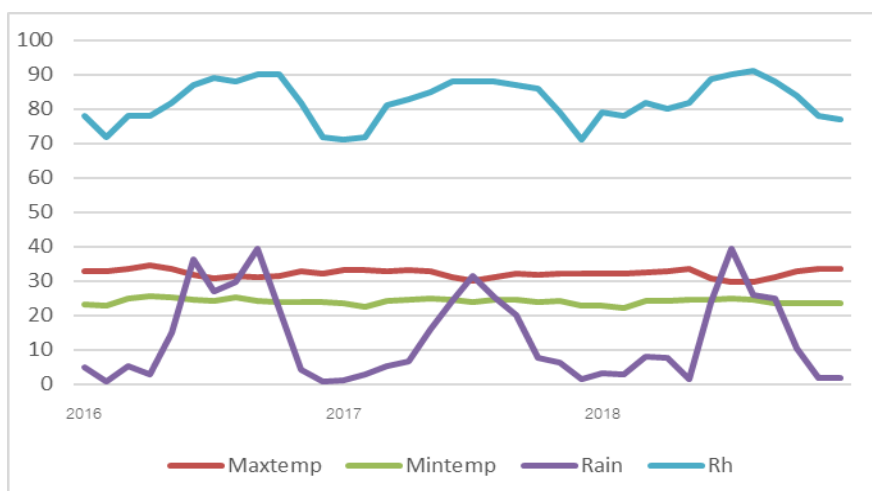
1. จังหวัดจันทบุรี : สถานีอุตุนิยมวิทยาจันทบุรี กลุ่มงานเกษตรพลี๊ว ตำบลตะปอน อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี ตั้งแต่ มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561



2. จังหวัดระยอง : สถานีอุตุนิยมวิทยาระยอง ตำบลพะพง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ตั้งแต่ มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561



3. จังหวัดตราด : สถานีอุตุนิยมวิทยাত্রาด ตำบลคลองใหญ่ อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด ตั้งแต่ มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561



ภาคผนวก ง สภาพแปลงมังคุดของเกษตรกร

1. สภาพแปลงมังคุดของเกษตรกรจังหวัดจันทบุรี



2. สภาพแปลงมังคุดของเกษตรกรจังหวัดระยอง



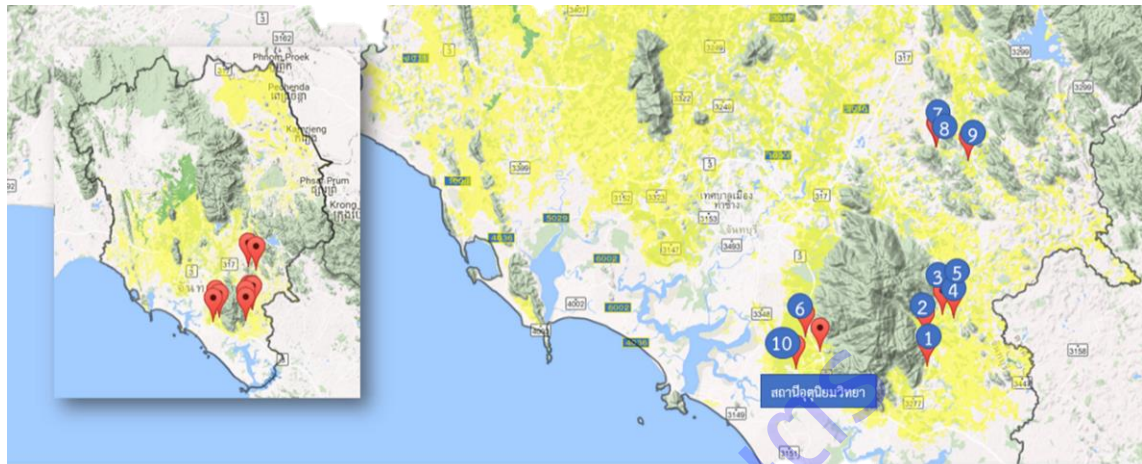
3. สภาพแปลงมังคุดของเกษตรกรจังหวัดตราด



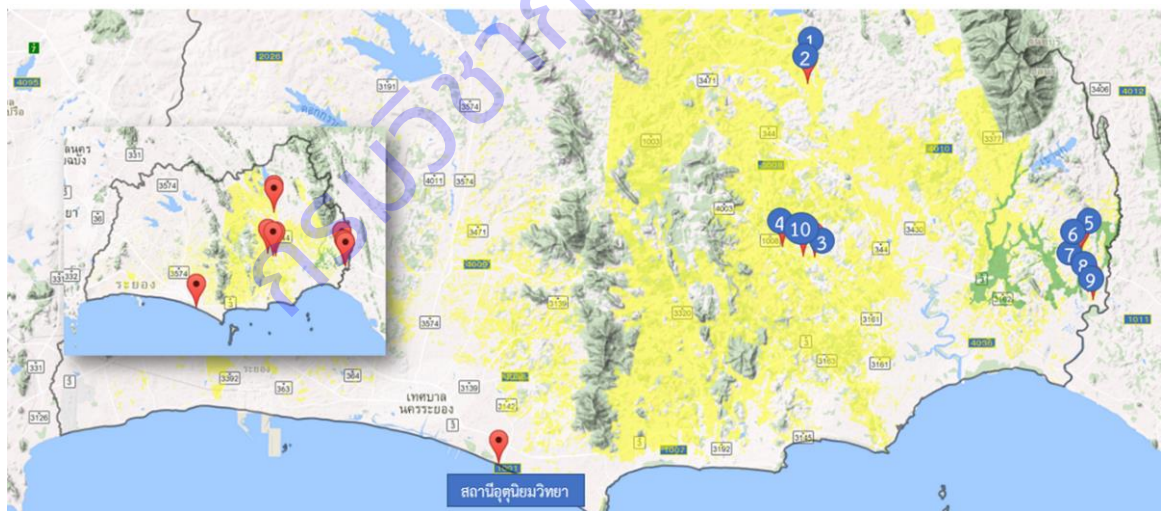
กรมวิชาการเกษตร

ภาคผนวก จ แผนที่แปลงมั่งคุดของเกษตรกรและสถานีอุตุนิยมวิทยา

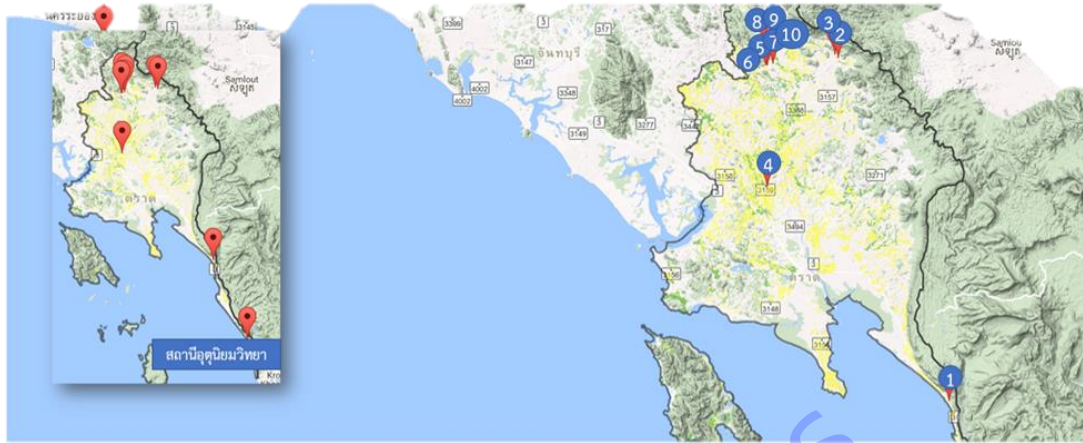
1 แผนที่แปลงมั่งคุดของเกษตรกรจังหวัดจันทบุรี และสถานีอุตุนิยมวิทยาจันทบุรี กลุ่มงาน เกษตรพลีว ตำบลตะปอน อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี



2 แผนที่แปลงมั่งคุดของเกษตรกรจังหวัดระยอง และสถานีอุตุนิยมวิทยาระยอง ตำบลพะพง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง

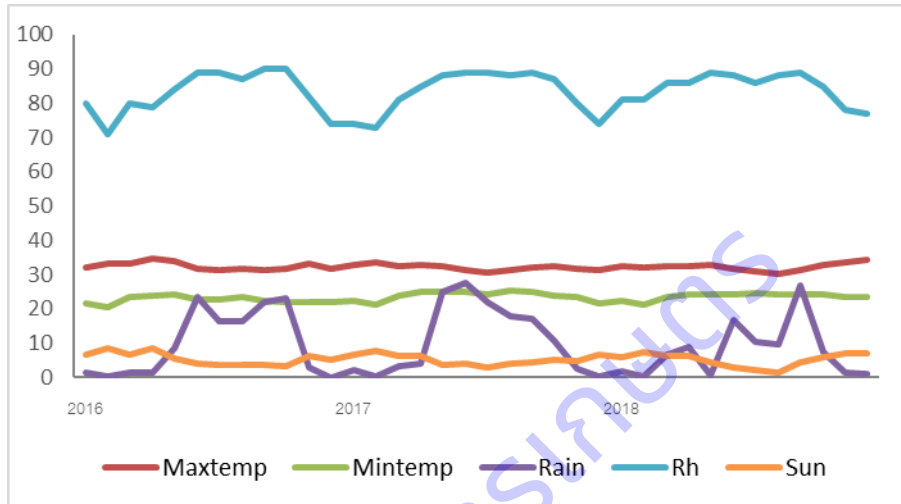


3. แผนที่แปลงมั่งคุดของเกษตรกรจังหวัดตราด และสถานีอุตุนิยมวิทยাত্রาด ตำบลคลองใหญ่ อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด

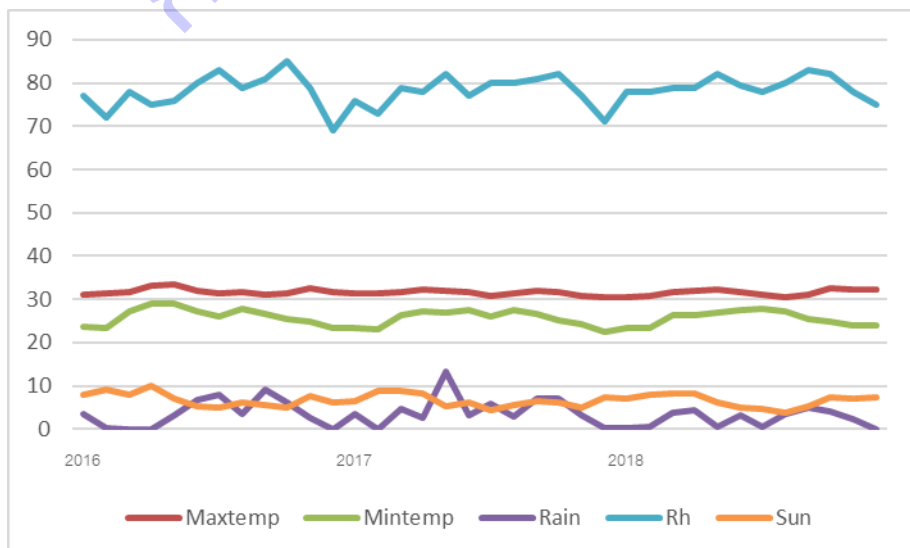


ภาคผนวก ฉ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวัน เก็บรวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา

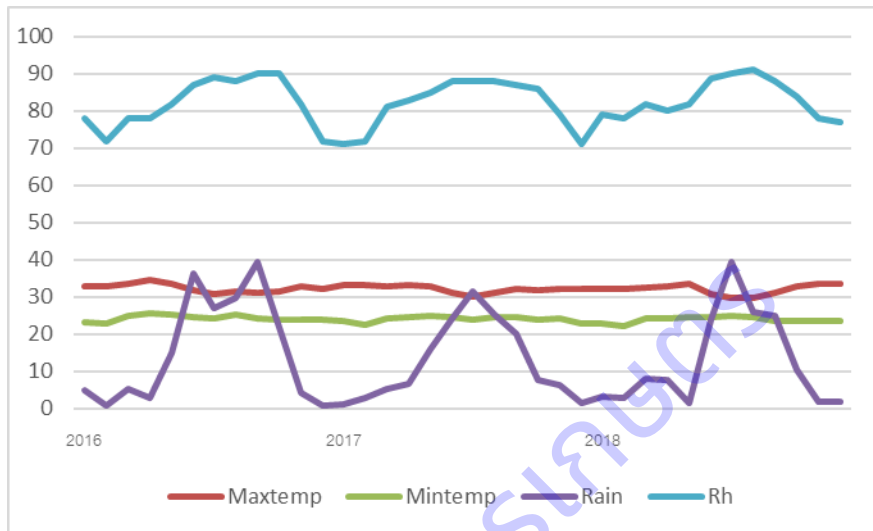
1 จังหวัดจันทบุรี : สถานีอุตุนิยมวิทยาจันทบุรี กลุ่มงานเกษตรพลั่ว ตำบลตะปอน อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี ตั้งแต่ มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561 โดยปี2559 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 2.32 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 31.89 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 20.33 องศาเซลเซียส ปี2560 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 3.67 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 31.00 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 23.299 องศาเซลเซียส ปี2561 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 12.25 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32.40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 23.53 องศาเซลเซียส



2. จังหวัดระยอง : สถานีอุตุนิยมวิทยาระยอง ตำบลพะพง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ตั้งแต่ มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561 โดยปี2559 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1.50 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 33.25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 28.16 องศาเซลเซียส ปี2560 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 0.41 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 31.45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 28.16 องศาเซลเซียส ปี2561 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 3.43 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 31.40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 25.20 องศาเซลเซียส



3. จังหวัดตราด : สถานีอุตุนิยมวิทยาตราด ตำบลคลองใหญ่ อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด ตั้งแต่ มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561 โดยปี 2559 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 5.76 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 31.11 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 22.45 องศาเซลเซียส ปี 2560 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 0.47 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32.75 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 23.84 องศาเซลเซียส ปี 2561 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 12.22 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32.30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 23.70 องศาเซลเซียส

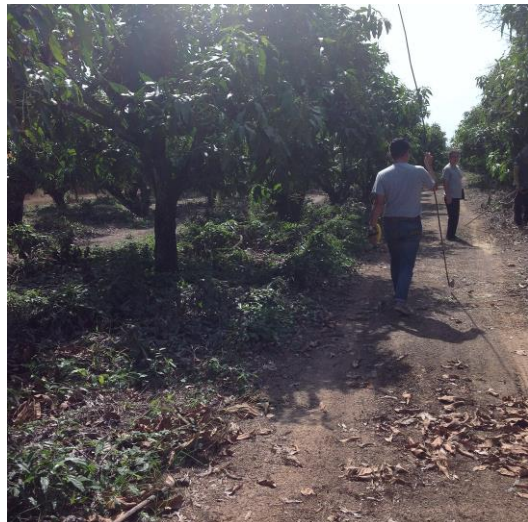


ภาคผนวกที่ ช สภาพแปลงมะม่วงของเกษตรกร

1. สภาพแปลงเกษตรกรมะม่วง จังหวัดฉะเชิงเทรา



2. สภาพแปลงเกษตรกรมะม่วง จังหวัดปราจีนบุรี



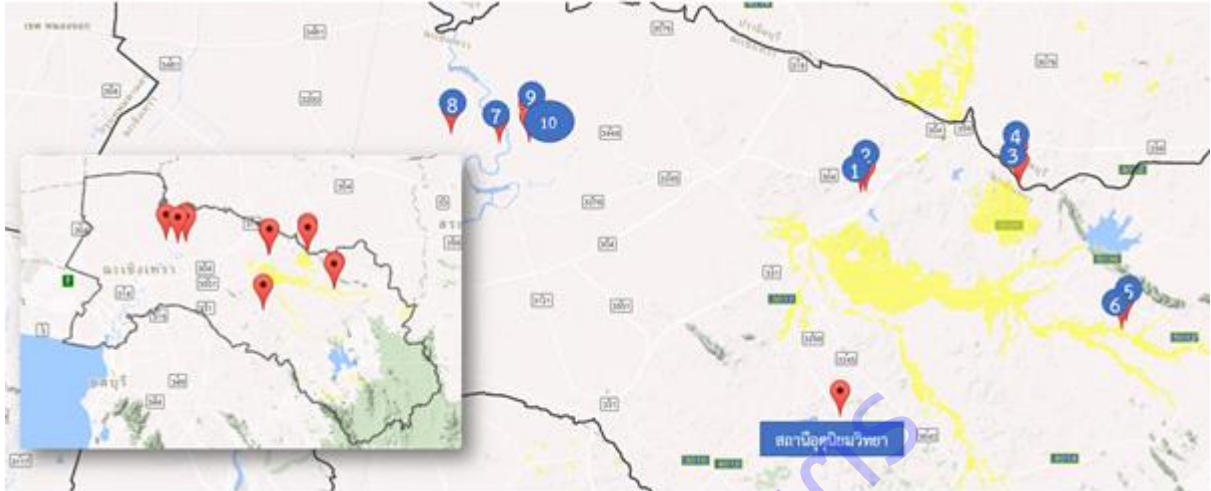
3. สภาพแปลงเกษตรกรรมมัง จังหวัดสระแก้ว



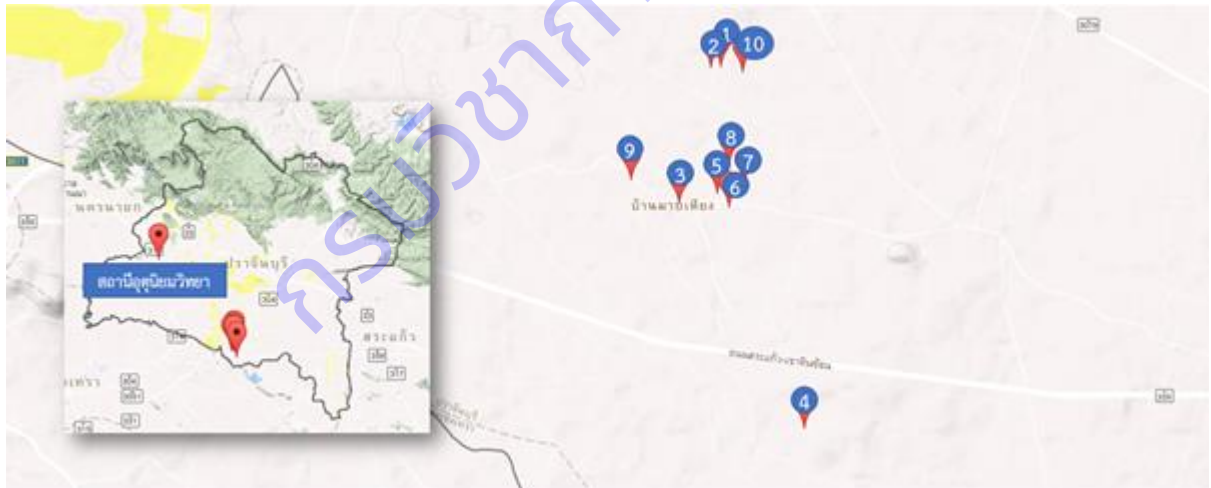
กรมวิชาการเกษตร

ภาคผนวกที่ ข แผนที่แปลงมะม่วงของเกษตรกร

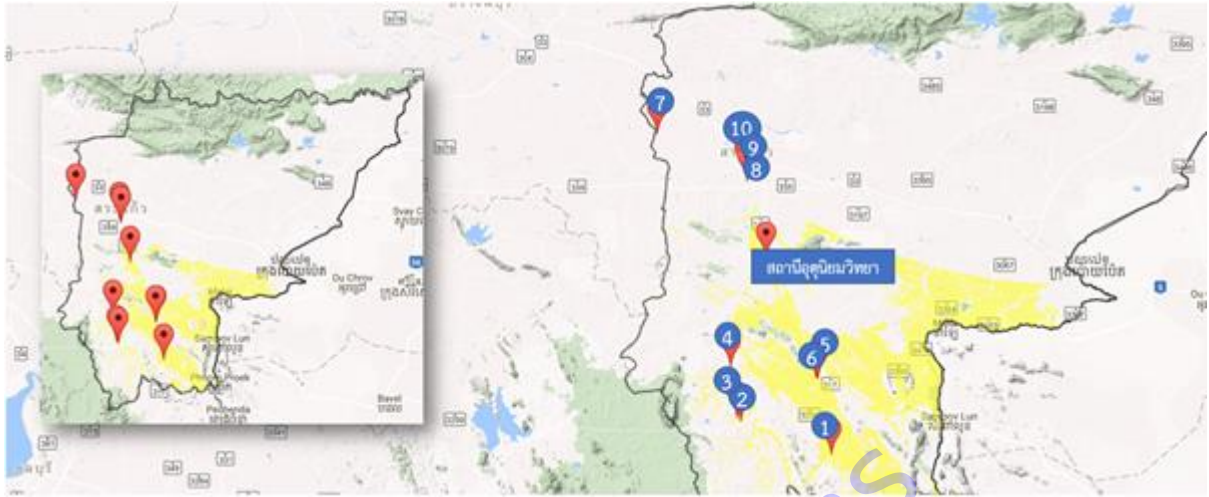
1.แผนที่แปลงมะม่วงของเกษตรกรจังหวัดฉะเชิงเทรา และสถานีอุตุนิยมวิทยาฉะเชิงเทรา ตำบลลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา



2.แผนที่แปลงมะม่วงของเกษตรกรจังหวัดปราจีนบุรี และสถานีอุตุนิยมวิทยาปราจีนบุรี ตำบลหน้าเมือง อำเภอนาเมือง จังหวัดปราจีนบุรี



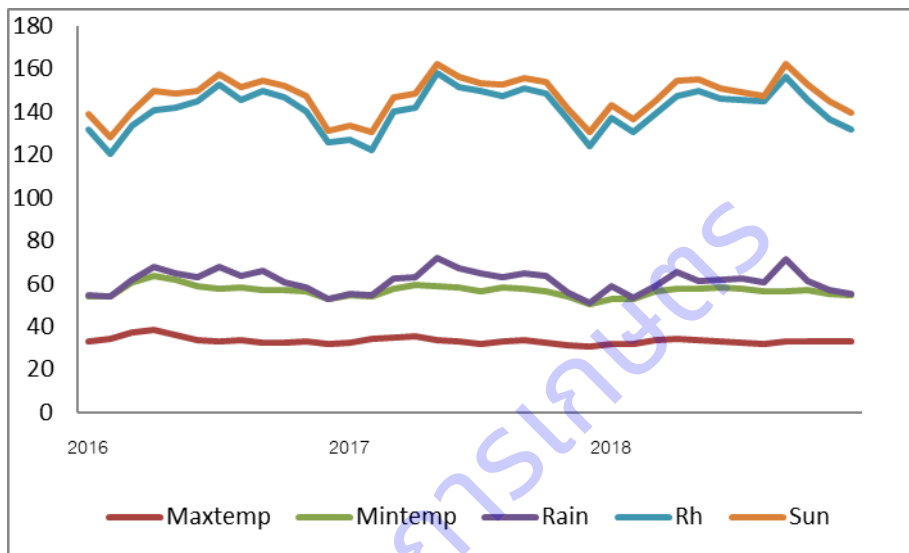
3.แผนที่แปลงมะม่วงของเกษตรกรจังหวัดสระแก้ว และสถานีอุตุนิยมวิทยาสระแก้ว
กลุ่มงานอุตุนิยมวิทยาอุทกสระแก้ว ตำบลสระขวัญ อำเภอเมือง จังหวัดสระแก้ว



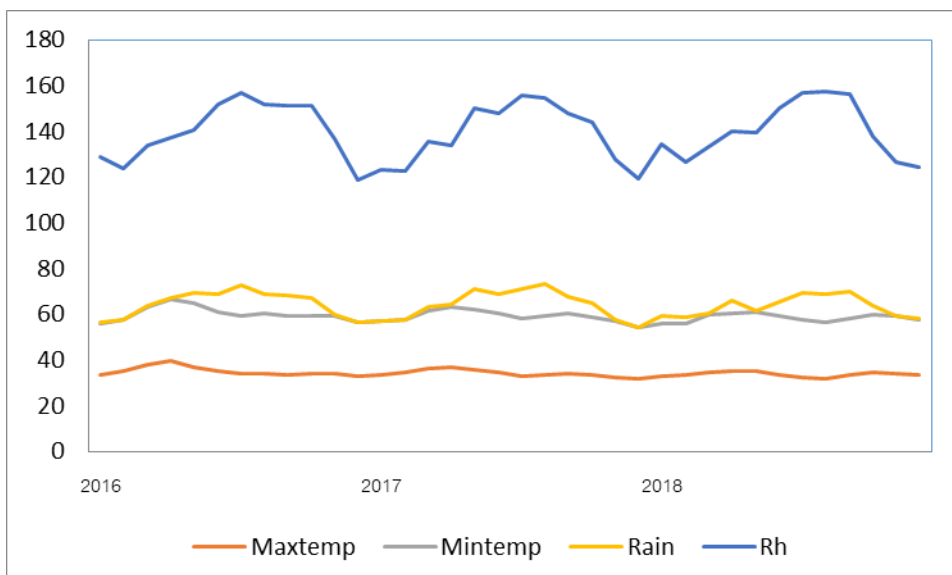
กรมวิชาการเกษตร

ภาคผนวกที่ ซ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา

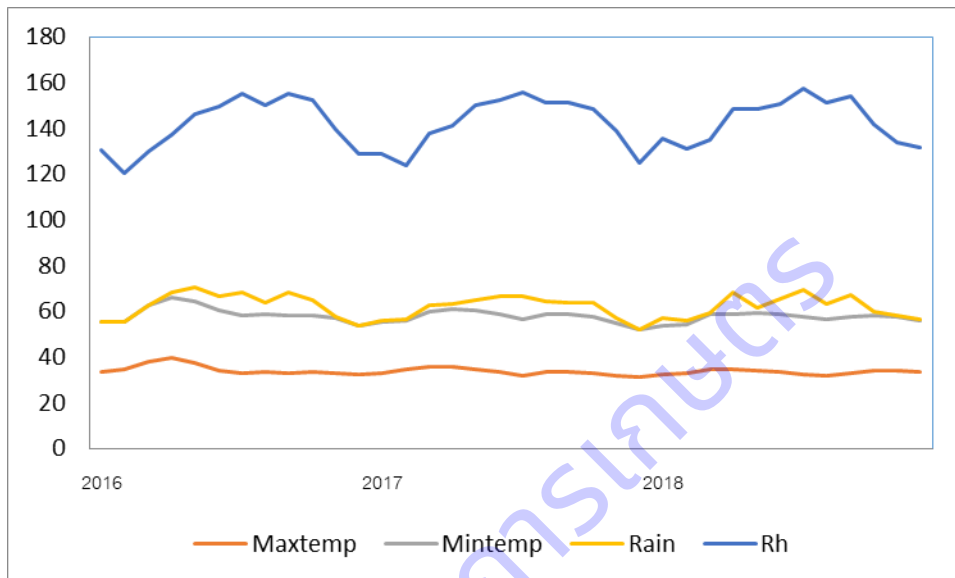
1. จังหวัดฉะเชิงเทรา: สถานีอุตุนิยมวิทยาฉะเชิงเทรา ตำบลลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ตั้งแต่ มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561 โดยปี 2559 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 3.60 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 34.1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 23.5 องศาเซลเซียส ปี 2560 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 5.07 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 33.1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 23.15 องศาเซลเซียส ปี 2561 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 4.64 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32.90 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 23.00 องศาเซลเซียส



2. จังหวัดปราจีนบุรี: สถานีอุตุนิยมวิทยาปราจีนบุรี ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี ตั้งแต่ มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561 โดยปี 2559 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 4.52 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 35.04 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 22.19 องศาเซลเซียส ปี 2560 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 5.14 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 34.14 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 24.93 องศาเซลเซียส ปี 2561 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 4.96 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 33.71 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 24.68 องศาเซลเซียส



3. จังหวัดสระแก้ว: สถานีอุตุนิยมวิทยาสระแก้ว กลุ่มงานอุตุนิยมวิทยาอุทกสระแก้ว ตำบลสระขวัญ อำเภอเมือง จังหวัดสระแก้ว มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561 โดยปี 2559 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 3.95 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 34.58 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 24.37 องศาเซลเซียส ปี 2560 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 4.02 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 33.44 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 23.95 องศาเซลเซียส ปี 2561 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 4.58 มม. อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 33.38 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 23.88 องศาเซลเซียส



ภาคผนวกที่ ๘ ข้อมูลที่รวบรวมจากแปลงเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วง

1 จังหวัดฉะเชิงเทรา

peroid	production	s_texture	s_drainage	s_fertility	s_pH	s_temp (°C)	relative H (%)	tree H (%)	tree_temp (°C)	T_Height (cm.)	T_Width (cm.)	DGCI	rain	max_temp (°C)	min_temp (°C)
1	1	1	3	0	7.0	26.1	81.0	52.3	30.9	551.0	581.0	0.57	0.0	34.5	23.7
1	1	1	4	0	7.0	24.8	81.0	58.6	28.1	503.0	742.0	0.55	0.0	34.5	23.7
1	2	2	3	1	7.0	28.4	81.0	59.9	28.0	387.0	387.0	0.58	0.0	35.2	23.2
1	1	2	3	1	7.0	28.4	81.0	59.0	28.7	350.0	385.0	0.55	0.0	35.2	23.2
1	1	3	3	2	7.0	28.6	81.0	57.0	31.0	481.0	598.0	0.54	0.0	35.2	23.2
1	1	3	3	2	7.1	29.6	81.0	56.9	33.0	511.0	536.0	0.58	0.0	35.2	23.2
1	1	2	3	1	7.2	29.9	81.0	55.7	31.6	536.0	633.0	0.54	0.0	35.2	23.2
1	1	1	3	0	7.1	26.4	81.0	66.5	27.0	613.0	765.0	0.53	0.0	35.2	23.2
1	1	4	1	1	7.4	24.6	72.0	64.9	24.0	534.0	663.0	0.53	0.0	34.0	21.8
1	1	4	1	1	7.2	28.4	72.0	47.3	27.3	246.0	258.0	0.52	0.0	34.0	21.8
2	1	1	3	2	6.8	32.1	72.0	47.8	34.7	439.0	723.0	0.61	0.0	39.5	24.7
2	1	1	4	1	7.3	32.8	72.0	43.4	37.6	381.0	626.0	0.56	0.0	39.5	24.7
2	2	2	3	4	6.7	33.3	72.0	46.8	36.3	427.0	636.0	0.59	0.0	39.5	24.7
2	1	2	3	4	6.8	38.1	72.0	43.5	36.6	206.0	269.0	0.53	0.0	39.5	24.7
2	1	3	3	3	7.0	30.7	70.0	66.2	29.6	457.0	605.0	0.59	0.0	38.4	26.2
2	1	3	3	4	6.3	25.4	70.0	59.5	27.4	510.0	792.0	0.58	0.0	38.4	26.2
2	1	2	3	2	7.4	36.7	70.0	53.4	36.6	346.0	380.0	0.56	0.0	38.4	26.2
2	1	1	3	1	7.0	37.6	70.0	40.4	35.6	393.0	424.0	0.53	0.0	38.4	26.2
2	1	4	1	3	7.0	37.9	70.0	42.4	37.5	429.0	620.0	0.57	0.0	38.4	26.2
2	1	4	1	2	7.0	36.5	70.0	42.0	37.2	439.0	518.0	0.59	0.0	38.4	26.2
3	1	1	3	1	7.0	23.9	97.0	84.6	23.4	488.0	682.0	0.50	21.6	30.6	23.3
3	1	1	4	1	7.0	24.7	97.0	89.7	24.2	221.0	277.0	0.51	21.6	30.6	23.3
3	2	2	3	2	7.0	23.9	97.0	91.0	23.1	548.0	833.0	0.47	21.6	30.6	23.3

peroid	production	s_texture	s_drainage	s_fertility	s_pH	s_temp (°C)	relative H (%)	tree H (%)	tree_temp (°C)	T_Height (cm.)	T_Width (cm.)	DGCI	rain	max_temp (°C)	min_temp (°C)
3	1	2	3	0	7.0	23.8	97.0	91.0	22.8	413.0	651.0	0.45	21.6	30.6	23.3
3	1	3	3	1	7.0	24.6	97.0	91.0	23.7	424.0	622.0	0.46	21.6	30.6	23.3
3	1	3	3	1	7.0	24.8	97.0	88.0	23.7	516.0	764.0	0.46	21.6	30.6	23.3
3	1	2	3	0	7.0	23.2	92.0	68.7	22.7	376.0	376.0	0.47	18.3	32.1	24.3
3	1	1	3	1	7.0	24.1	92.0	61.9	24.1	382.0	417.0	0.50	18.3	32.1	24.3
3	1	4	1	0	7.0	24.9	92.0	62.5	23.6	409.0	586.0	0.47	18.3	32.1	24.3
3	1	4	1	0	7.0	25.9	92.0	58.4	26.0	482.0	552.0	0.46	18.3	32.1	24.3
1	3	3	2	3	6.0	24.7	67.0	44.3	32.4	450.0	450.0	0.53	0.0	33.9	21.0
1	2	3	2	4	5.9	22.0	67.0	41.3	33.9	510.0	510.0	0.53	0.0	33.9	21.0
1	2	3	2	5	6.5	28.6	67.0	43.3	32.8	370.0	370.0	0.54	0.0	33.9	21.0
1	3	4	1	3	6.4	26.1	67.0	42.0	33.5	440.0	440.0	0.55	0.0	33.9	21.0
1	3	1	3	5	6.0	25.7	67.0	44.9	30.3	495.0	495.0	0.51	0.0	33.9	21.0
1	2	1	3	3	6.2	25.8	67.0	46.9	30.6	595.0	595.0	0.54	0.0	33.9	21.0
1	3	2	2	4	6.6	22.4	63.0	55.5	26.3	625.0	625.0	0.52	0.0	31.8	21.0
1	2	2	2	3	6.6	22.8	63.0	47.2	29.1	515.0	515.0	0.53	0.0	31.8	21.0
1	2	2	2	4	6.4	27.3	63.0	38.2	33.2	253.0	253.0	0.55	0.0	31.8	21.0
1	3	2	2	5	5.3	24.3	63.0	43.9	31.2	585.0	585.0	0.50	0.0	31.8	21.0
2	3	3	2	3	6.0	27.6	87.0	57.0	33.7	344.0	536.0	0.41	0.0	33.0	23.2
2	2	3	2	4	5.9	28.0	87.0	65.2	30.2	348.0	670.0	0.47	16.1	33.0	23.2
2	2	3	2	5	6.5	29.1	87.0	64.7	31.1	305.0	318.0	0.40	16.1	33.0	23.2
2	3	4	1	2	6.4	28.8	87.0	54.8	33.3	337.0	445.0	0.47	16.1	33.0	23.2
2	3	1	3	4	6.0	24.0	87.0	54.9	33.4	398.0	626.0	0.48	16.1	33.0	23.2
2	2	1	3	3	6.2	27.6	81.0	49.8	35.0	490.0	796.0	0.43	16.1	34.8	23.2
2	3	2	2	4	6.6	26.2	81.0	53.0	33.4	552.0	903.0	0.48	0.0	34.8	23.2

peroid	production	s_texture	s_drainage	s_fertility	s_pH	s_temp (°C)	relative H (%)	tree H (%)	tree_temp (°C)	T_Height (cm.)	T_Width (cm.)	DGCI	rain	max_temp (°C)	min_temp (°C)
2	2	2	2	3	6.6	27.3	81.0	49.9	35.0	438.0	646.0	0.43	0.0	34.8	23.2
2	2	2	2	4	6.4	34.7	81.0	41.3	37.4	232.0	314.0	0.50	0.0	34.8	23.2
2	3	2	2	5	5.3	28.3	81.0	45.7	36.8	431.0	814.0	0.44	0.0	34.8	23.2
3	3	3	2	3	6.0	27.0	77.0	61.3	33.0	495.0	538.0	0.41	29.0	35.0	25.2
3	2	3	2	4	5.7	27.4	77.0	66.0	31.6	495.0	654.0	0.45	29.0	35.0	25.2
3	2	3	2	5	6.4	28.6	77.0	67.2	31.9	395.0	397.0	0.46	29.0	35.0	25.2
3	3	4	1	5	6.0	29.0	77.0	59.3	33.4	450.0	484.4	0.50	29.0	35.0	25.2
3	3	1	3	5	6.0	29.1	79.0	66.6	30.7	485.0	584.5	0.36	0.0	34.2	25.2
3	2	1	3	3	6.1	26.8	79.0	66.3	32.0	625.0	769.0	0.43	0.0	34.2	25.2
3	3	2	2	4	6.5	27.9	79.0	64.0	32.5	665.0	795.0	0.41	0.0	34.2	25.2
3	2	2	2	3	6.7	29.4	79.0	55.0	34.4	540.0	634.0	0.42	0.0	34.2	25.2
3	2	2	2	4	6.5	28.7	79.0	56.3	34.7	273.0	314.0	0.44	0.0	34.2	25.2
3	3	2	2	5	5.4	34.8	79.0	61.3	32.2	565.0	759.0	0.43	0.0	34.2	25.2
1	1	3	3	4	6.5	25.2	81.0	54.4	29.9	575.0	809.0	0.52	2.0	34.5	17.8
1	1	4	3	3	6.5	23.6	81.0	53.0	31.1	302.0	368.0	0.51	2.0	34.5	17.8
1	3	5	3	2	6.8	21.0	81.0	55.8	30.0	509.0	641.0	0.50	2.0	34.5	17.8
1	1	3	4	2	6.8	24.6	81.0	53.3	32.2	597.0	828.0	0.49	2.0	34.5	17.8
1	2	5	1	3	6.6	27.9	81.0	58.1	30.1	539.0	662.0	0.50	2.0	34.5	17.8
1	1	3	1	3	6.3	25.0	81.0	54.8	31.5	620.0	823.0	0.50	2.0	34.5	17.8
1	1	4	2	5	6.2	28.1	81.0	61.9	28.8	467.0	479.0	0.49	2.0	34.5	17.8
1	1	3	2	4	6.4	27.2	81.0	57.8	30.5	560.0	644.0	0.50	2.0	34.5	17.8
1	1	4	2	5	4.9	27.3	81.0	57.8	30.0	474.0	442.0	0.54	2.0	34.5	17.8
1	1	5	2	5	5.4	26.9	81.0	59.5	30.1	419.0	385.0	0.50	2.0	34.5	17.8
2	1	3	3	4	6.6	29.9	80.0	63.2	31.9	553.0	789.0	0.43	2.5	33.7	22.8

peroid	production	s_texture	s_drainage	s_fertility	s_pH	s_temp (°C)	relative H (%)	tree H (%)	tree_temp (°C)	T_Height (cm.)	T_Width (cm.)	DGCI	rain	max_temp (°C)	min_temp (°C)
2	2	4	3	3	6.6	28.8	80.0	52.5	34.7	357.0	406.0	0.45	2.5	33.7	22.8
2	3	5	3	5	5.1	30.1	80.0	58.9	32.3	533.0	665.0	0.44	2.5	33.7	22.8
2	2	2	4	5	5.4	29.1	80.0	51.8	34.2	602.0	836.0	0.42	2.5	33.7	22.8
2	2	4	1	4	6.6	31.5	80.0	48.9	35.1	545.0	673.0	0.42	2.5	33.7	22.8
2	1	3	1	4	6.6	27.0	80.0	46.3	35.8	670.0	794.0	0.40	2.5	33.7	22.8
2	1	4	2	4	6.8	28.0	80.0	64.7	31.8	475.0	545.0	0.39	2.5	33.7	22.8
2	2	3	2	3	6.8	28.2	80.0	66.7	31.5	520.0	709.0	0.44	2.5	33.7	22.8
2	1	4	2	4	5.0	28.5	80.0	65.9	31.7	490.0	471.0	0.44	2.5	33.7	22.8
2	1	5	2	3	6.5	27.9	80.0	65.2	31.2	413.0	413.0	0.39	2.5	33.7	22.8
3	1	3	3	4	6.6	26.8	83.0	70.2	30.4	645.0	848.0	0.46	5.0	32.2	24.7
3	1	4	3	3	7.0	29.4	83.0	55.0	34.1	280.0	427.0	0.40	5.0	32.2	24.7
3	1	5	3	4	6.3	26.9	83.0	56.0	33.3	563.0	718.0	0.43	5.0	32.2	24.7
3	1	5	4	4	6.8	25.5	83.0	54.4	34.4	715.0	908.0	0.43	5.0	32.2	24.7
3	1	5	1	5	6.3	27.2	83.0	63.3	31.8	670.0	733.0	0.42	5.0	32.2	24.7
3	1	3	1	4	6.3	26.7	83.0	54.0	33.7	800.0	949.0	0.46	5.0	32.2	24.7
3	1	4	2	5	6.2	28.2	83.0	57.0	33.6	480.0	631.0	0.43	5.0	32.2	24.7
3	1	3	2	4	6.8	27.0	83.0	57.7	33.5	542.0	686.0	0.42	5.0	32.2	24.7
3	1	4	2	5	6.4	25.7	83.0	61.7	32.9	506.0	497.0	0.43	5.0	32.2	24.7
3	2	5	2	5	5.7	28.3	83.0	59.9	33.4	429.0	477.0	0.44	5.0	32.2	24.7

2 จังหวัดปราจีนบุรี

peroid	production	s_texture	s_drainage	s_fertility	s_pH	s_temp (°C)	relative H (%)	tree H (%)	tree_temp (°C)	T_Height (cm.)	T_Width (cm.)	DGCI	rain	max_temp (°C)	min_temp (°C)
1	1	2	3	1	7.1	25.1	75.0	48.7	28.1	443.0	594.0	0.55	0.0	35.0	22.2
1	1	2	3	1	7.1	24.2	75.0	43.8	25.9	461.0	689.0	0.54	0.0	35.0	22.2
1	1	3	3	2	7.2	32.3	75.0	45.3	30.0	458.0	675.0	0.58	0.0	35.0	22.2
1	1	2	3	1	7.2	31.1	75.0	41.7	29.0	517.0	597.0	0.54	0.0	35.0	22.2
1	1	2	3	1	7.1	31.2	75.0	44.6	31.7	539.0	680.0	0.53	0.0	35.0	22.2
1	1	1	4	0	7.2	22.9	66.0	45.8	22.0	509.0	754.0	0.53	0.0	30.7	21.3
1	1	1	4	0	7.0	24.1	66.0	44.2	23.3	537.0	774.0	0.52	0.0	30.7	21.3
1	1	1	3	0	7.1	21.2	66.0	41.6	22.0	555.0	824.0	0.54	0.0	30.7	21.3
1	1	1	3	0	7.1	23.8	66.0	41.4	25.5	489.0	698.0	0.55	0.0	30.7	21.3
1	1	1	4	0	7.2	24.0	66.0	43.4	25.7	450.0	610.0	0.54	0.0	30.7	21.3
2	1	2	3	2	7.0	29.9	62.0	51.4	30.5	421.0	726.0	0.57	0.0	40.3	26.0
2	1	2	3	1	7.0	29.5	62.0	44.6	29.5	413.0	602.0	0.58	0.0	40.3	26.0
2	1	3	3	2	7.0	31.6	62.0	40.7	32.4	444.0	733.0	0.55	0.0	40.3	26.0
2	1	2	3	2	7.0	35.0	62.0	39.9	34.7	475.0	697.0	0.58	0.0	40.3	26.0
2	1	2	3	2	7.0	32.8	62.0	37.3	34.4	459.0	757.0	0.58	0.0	40.3	26.0
2	1	1	4	2	7.0	33.1	62.0	33.8	34.6	442.0	766.0	0.58	0.0	40.3	26.0
2	1	1	4	3	7.0	30.3	62.0	35.1	32.6	469.0	784.0	0.60	0.0	40.3	26.0
2	1	1	3	0	7.0	31.0	62.0	34.1	33.4	421.0	696.0	0.56	0.0	40.3	26.0
2	1	1	3	1	7.0	32.0	62.0	48.2	35.3	445.0	670.0	0.61	0.0	40.3	26.0
2	1	1	4	3	7.0	32.8	62.0	48.8	34.8	445.0	615.0	0.62	0.0	40.3	26.0
3	1	2	3	1	7.0	26.7	93.0	80.0	26.2	535.0	711.0	0.49	32.8	32.8	24.0
3	1	2	3	1	7.0	25.6	93.0	83.4	25.2	454.0	724.0	0.52	32.8	32.8	24.0
3	1	3	3	1	7.0	24.6	93.0	78.8	24.0	412.0	654.0	0.50	32.8	32.8	24.0

peroid	production	s_texture	s_drainage	s_fertility	s_pH	s_temp (°C)	relative H (%)	tree H (%)	tree_temp (°C)	T_Height (cm.)	T_Width (cm.)	DGCI	rain	max_temp (°C)	min_temp (°C)
3	1	2	3	1	7.0	21.8	93.0	69.9	21.9	405.0	707.0	0.53	32.8	32.8	24.0
3	1	2	3	0	7.0	23.2	93.0	70.3	23.2	411.0	710.0	0.52	32.8	32.8	24.0
3	1	1	4	1	7.0	26.1	93.0	81.7	25.5	412.0	648.0	0.51	32.8	32.8	24.0
3	1	1	4	1	7.0	25.3	91.0	76.2	23.9	458.0	729.0	0.55	46.5	30.7	23.9
3	1	1	3	1	7.0	23.5	91.0	73.9	22.8	518.0	781.0	0.51	46.5	30.7	23.9
3	1	1	3	1	7.0	23.7	91.0	71.2	22.4	481.0	749.0	0.52	46.5	30.7	23.9
3	1	1	4	1	7.0	24.2	91.0	67.6	23.6	512.0	799.0	0.48	46.5	30.7	23.9
1	3	1	3	2	6.3	26.7	57.0	37.9	33.2	455.0	688.0	0.54	0.0	31.8	23.0
1	2	1	3	2	7.0	26.9	57.0	39.7	33.0	510.0	725.0	0.48	0.0	31.8	23.0
1	2	1	3	2	6.4	24.9	57.0	40.7	32.2	440.0	603.0	0.50	0.0	31.8	23.0
1	3	1	3	2	6.4	26.6	57.0	44.1	29.9	545.0	680.0	0.54	0.0	31.8	23.0
1	2	2	2	3	6.6	22.3	56.0	53.7	25.3	585.0	772.0	0.45	0.0	33.0	22.3
1	2	1	2	3	6.6	23.6	56.0	44.0	29.4	515.0	736.0	0.55	0.0	33.0	22.3
1	2	2	2	3	6.5	25.0	56.0	41.8	30.6	580.0	785.0	0.52	0.0	33.0	22.3
1	2	2	2	2	6.0	25.3	56.0	38.9	31.7	490.0	766.0	0.56	0.0	33.0	22.3
1	3	2	2	4	6.4	22.8	56.0	38.0	32.0	455.0	759.0	0.55	0.0	33.0	22.3
1	2	2	2	3	5.4	26.8	56.0	36.1	32.6	485.0	633.0	0.57	0.0	33.0	22.3
2	3	1	3	1	6.6	19.6	77.0	70.3	28.7	346.0	731.0	0.44	2.6	34.8	25.2
2	2	1	3	1	6.4	21.4	77.0	69.3	30.3	397.0	794.0	0.46	2.6	34.8	25.2
2	2	1	3	1	7.0	21.8	77.0	67.1	30.4	339.0	629.0	0.45	2.6	34.8	25.2
2	3	1	3	2	6.4	31.1	77.0	63.5	30.1	385.0	632.0	0.48	2.6	34.8	25.2
2	2	2	2	2	6.3	25.0	77.0	73.6	27.8	415.0	751.0	0.46	2.6	34.8	25.2
2	2	1	2	1	6.4	19.5	77.0	91.0	26.3	420.0	734.0	0.43	2.6	34.8	25.2
2	2	2	2	1	6.0	25.2	77.0	67.8	30.4	494.0	841.0	0.42	2.6	34.8	25.2

peroid	production	s_texture	s_drainage	s_fertility	s_pH	s_temp (°C)	relative H (%)	tree H (%)	tree_temp (°C)	T_Height (cm.)	T_Width (cm.)	DGCI	rain	max_temp (°C)	min_temp (°C)
2	2	2	2	2	6.6	23.2	77.0	90.8	27.4	386.0	761.0	0.43	2.6	34.8	25.2
2	3	2	2	2	5.4	25.0	73.0	65.0	30.9	396.0	776.0	0.43	0.0	36.8	23.9
2	2	2	2	1	6.5	27.9	73.0	63.9	31.7	399.0	623.0	0.44	0.0	36.8	23.9
3	3	1	3	2	6.2	25.6	74.0	59.2	34.0	497.0	661.0	0.45	0.0	34.6	27.2
3	2	1	3	2	5.3	23.9	74.0	55.3	35.9	530.0	691.0	0.44	0.0	34.6	27.2
3	2	1	3	2	6.3	21.4	74.0	50.9	37.4	435.0	614.0	0.44	0.0	34.6	27.2
3	3	1	3	2	6.3	27.2	74.0	58.2	34.2	555.0	683.0	0.44	0.0	34.6	27.2
3	2	2	2	3	5.4	19.0	74.0	53.8	35.5	595.0	759.0	0.45	0.0	34.6	27.2
3	2	1	2	3	6.0	26.0	74.0	58.5	34.0	520.0	701.0	0.37	0.0	34.6	27.2
3	2	2	2	3	6.4	25.2	74.0	60.3	34.1	575.0	779.0	0.42	0.0	34.6	27.2
3	2	2	2	2	6.0	24.9	74.0	73.2	30.5	540.0	766.0	0.45	0.0	34.6	27.2
3	3	2	2	3	5.4	26.2	74.0	63.8	33.1	510.0	766.0	0.46	0.0	34.6	27.2
3	2	2	2	3	6.4	28.6	75.0	63.3	31.7	530.0	607.0	0.46	0.0	35.0	26.9
1	1	2	1	4	6.7	27.3	70.0	52.9	28.6	525.0	662.0	0.48	0.5	35.2	22.1
1	1	2	1	4	6.8	27.7	70.0	53.3	30.3	150.0	204.0	0.46	0.5	35.2	22.1
1	1	2	1	4	6.6	27.5	70.0	49.1	32.6	485.0	639.0	0.45	0.5	35.2	22.1
1	1	2	1	4	6.7	26.0	70.0	51.2	32.2	485.0	649.0	0.47	0.5	35.2	22.1
1	2	3	2	3	6.6	24.6	70.0	54.8	31.1	555.0	817.0	0.52	0.5	35.2	22.1
1	1	3	1	4	6.5	26.1	70.0	55.4	30.9	550.0	848.0	0.44	0.5	35.2	22.1
1	1	3	2	3	6.4	25.4	70.0	57.4	30.2	510.0	796.0	0.43	0.5	35.2	22.1
1	1	2	2	4	6.4	23.5	70.0	61.0	28.4	545.0	698.0	0.49	0.5	35.2	22.1
1	1	4	2	4	6.3	23.4	70.0	53.0	30.7	535.0	747.0	0.48	0.5	35.2	22.1
1	1	3	2	3	6.5	23.1	70.0	54.0	30.4	568.0	757.0	0.46	0.5	35.2	22.1
2	1	1	1	4	6.6	30.9	77.0	58.8	32.3	541.0	650.0	0.40	4.0	33.9	23.9

peroid	production	s_texture	s_drainage	s_fertility	s_pH	s_temp (°C)	relative H (%)	tree H (%)	tree_temp (°C)	T_Height (cm.)	T_Width (cm.)	DGCI	rain	max_temp (°C)	min_temp (°C)
2	1	1	1	3	6.5	27.4	77.0	60.9	31.0	533.0	835.0	0.41	4.0	33.9	23.9
2	1	1	1	3	6.8	32.9	77.0	50.6	34.3	580.0	826.0	0.41	4.0	33.9	23.9
2	2	2	1	3	6.6	28.1	77.0	48.6	34.5	485.0	664.0	0.38	4.0	33.9	23.9
2	2	2	2	3	6.7	29.5	77.0	50.5	33.7	503.0	697.0	0.40	4.0	33.9	23.9
2	2	1	1	3	6.8	28.3	77.0	49.7	33.8	524.0	716.0	0.41	4.0	33.9	23.9
2	1	1	2	4	6.8	28.3	77.0	55.6	33.9	582.0	892.0	0.43	4.0	33.9	23.9
2	1	2	2	3	6.8	29.7	77.0	61.4	32.2	549.0	729.0	0.46	4.0	33.9	23.9
2	2	2	2	3	6.6	27.5	77.0	57.4	32.9	580.0	779.0	0.42	4.0	33.9	23.9
2	1	1	2	4	6.8	28.6	77.0	55.1	62.2	538.0	724.0	0.43	4.0	33.9	23.9
3	1	2	1	3	7.0	28.0	87.0	47.2	37.0	595.0	710.0	0.45	12.3	32.2	25.1
3	1	2	1	4	7.0	28.6	87.0	53.8	34.0	570.0	731.0	0.45	12.3	32.2	25.1
3	1	2	1	4	7.0	27.1	87.0	55.4	33.9	665.0	862.0	0.45	12.3	32.2	25.1
3	1	2	1	4	6.8	27.4	87.0	43.1	36.7	523.0	688.0	0.45	12.3	32.2	25.1
3	1	3	2	4	6.8	27.0	87.0	49.0	35.3	530.0	674.0	0.43	12.3	32.2	25.1
3	1	3	1	4	6.6	23.2	87.0	48.8	36.1	640.0	740.0	0.45	12.3	32.2	25.1
3	1	3	2	4	6.8	24.8	87.0	45.7	35.5	635.0	842.0	0.44	12.3	32.2	25.1
3	1	2	2	5	6.8	27.0	87.0	44.6	36.1	592.0	734.0	0.44	12.3	32.2	25.1
3	1	3	2	4	6.6	23.3	87.0	50.6	35.4	675.0	838.0	0.50	12.3	32.2	25.1
3	1	3	2	4	7.0	24.8	87.0	49.0	35.9	650.0	729.0	0.45	12.3	32.2	25.1

3 จังหวัดสระแก้ว

peroid	production	s_texture	s_drainage	s_fertility	s_pH	s_temp (°C)	relative H (%)	tree H (%)	tree_temp (°C)	T_Height (cm.)	T_Width (cm.)	DGCI	rain	max_temp (°C)	min_temp (°C)
1	1	2	3	1	7.2	23.1	69.0	42.8	22.6	450.0	561.0	0.51	0.0	30.0	18.5
1	2	2	3	1	7.2	22.2	69.0	40.4	22.7	525.0	642.0	0.52	0.0	30.0	18.5
1	1	2	3	1	7.3	22.5	69.0	36.2	23.2	493.0	586.0	0.51	0.0	30.0	18.5
1	1	2	3	1	7.2	25.4	69.0	41.2	23.9	565.0	825.0	0.53	0.0	30.0	18.5
1	1	2	3	1	7.0	26.4	69.0	40.5	28.1	533.0	678.0	0.53	0.0	30.0	18.5
1	1	1	3	0	7.0	26.3	76.0	37.5	24.7	505.0	564.0	0.53	0.0	30.1	19.2
1	2	2	3	2	7.3	27.8	76.0	44.1	19.5	386.0	320.0	0.53	0.0	30.1	19.2
1	1	2	3	2	7.3	22.4	76.0	44.3	22.4	577.0	748.0	0.56	0.0	30.1	19.2
1	2	2	3	2	7.3	24.0	76.0	43.6	24.0	560.0	681.0	0.53	0.0	30.1	19.2
1	2	4	1	1	7.3	21.7	76.0	43.6	23.1	605.0	727.0	0.52	0.0	30.1	19.2
2	1	2	3	3	7.0	41.2	66.0	42.2	41.0	372.0	377.0	0.59	0.0	40.5	26.9
2	2	2	3	3	7.0	28.3	65.0	53.2	29.0	531.0	721.0	0.60	0.0	39.2	27.4
2	1	2	3	2	7.3	29.6	65.0	54.6	29.3	489.0	653.0	0.56	0.0	39.2	27.4
2	1	2	3	3	7.0	26.2	65.0	57.9	27.7	533.0	775.0	0.56	0.0	39.2	27.4
2	1	2	3	3	7.0	37.8	65.0	39.2	37.3	383.0	535.0	0.57	0.0	39.2	27.4
2	1	1	3	3	7.4	37.4	65.0	37.1	37.2	452.0	614.0	0.54	0.0	39.2	27.4
2	2	2	3	2	7.0	37.2	65.0	40.0	35.9	441.0	576.0	0.53	0.0	39.2	27.4
2	1	2	3	2	7.0	34.2	65.0	49.3	34.3	499.0	812.0	0.57	0.0	39.2	27.4
2	2	2	3	2	7.0	33.7	65.0	47.6	34.6	454.0	662.0	0.57	0.0	39.2	27.4
2	2	4	1	3	7.0	33.3	65.0	55.2	34.4	425.0	627.0	0.59	0.0	39.2	27.4
3	1	2	3	1	7.0	28.3	89.0	66.9	29.2	374.0	543.0	0.57	14.4	32.2	25.7
3	2	2	3	1	7.0	27.6	89.0	66.8	27.8	565.0	679.0	0.55	14.4	32.2	25.7
3	1	2	3	1	7.0	28.6	89.0	70.5	29.0	460.0	633.0	0.57	14.4	32.2	25.7

peroid	production	s_texture	s_drainage	s_fertility	s_pH	s_temp (°C)	relative H (%)	tree H (%)	tree_temp (°C)	T_Height (cm.)	T_Width (cm.)	DGCI	rain	max_temp (°C)	min_temp (°C)
3	1	2	3	1	7.0	26.9	89.0	74.8	28.1	513.0	794.0	0.52	14.4	32.2	25.7
3	1	2	3	1	7.0	26.0	89.0	82.4	26.1	512.0	652.0	0.54	14.4	32.2	25.7
3	1	1	3	1	7.0	25.6	89.0	83.5	25.6	440.0	584.0	0.54	14.4	32.2	25.7
3	2	2	3	0	7.0	24.9	92.0	84.7	23.6	498.0	582.0	0.53	17.9	31.6	23.4
3	1	2	3	1	7.0	24.7	92.0	80.5	24.0	506.0	688.0	0.50	17.9	31.6	23.4
3	2	2	3	1	7.0	24.1	92.0	77.8	23.3	513.0	689.0	0.43	17.9	31.6	23.4
3	2	4	1	1	7.0	26.0	92.0	73.1	24.3	417.0	392.0	0.53	17.9	31.6	23.4
1	2	2	3	1	6.5	28.6	67.0	35.4	33.2	350.0	326.7	0.53	0.0	32.7	19.9
1	3	2	2	1	6.8	29.0	67.0	39.0	32.2	545.0	711.5	0.56	0.0	32.7	19.9
1	1	2	3	4	6.7	25.7	70.0	55.1	27.8	490.0	712.9	0.53	0.0	34.2	20.4
1	2	2	2	1	6.8	23.8	70.0	50.4	30.0	503.0	690.4	0.52	0.0	34.2	20.4
1	2	2	2	3	6.9	24.4	70.0	39.8	30.1	400.0	519.7	0.51	0.0	34.2	20.4
1	3	2	2	2	6.4	24.7	70.0	35.3	34.2	472.0	587.4	0.53	0.0	34.2	20.4
1	2	2	3	1	6.5	27.7	70.0	35.3	34.2	515.0	611.6	0.52	0.0	34.2	20.4
1	3	3	2	1	6.8	29.2	70.0	37.9	33.7	510.0	791.3	0.54	0.0	34.2	20.4
1	2	4	1	4	6.7	29.3	70.0	40.3	32.4	490.0	630.3	0.50	0.0	34.2	20.4
1	2	4	1	4	6.8	27.8	70.0	42.9	32.2	500.0	539.1	0.52	0.0	34.2	20.4
2	2	2	3	1	6.7	27.7	85.0	66.0	30.5	306.0	360.0	0.44	0.0	32.2	24.5
2	3	2	2	1	6.8	27.1	74.0	48.1	32.1	320.0	731.0	0.47	0.0	34.3	22.5
2	1	2	3	1	7.0	30.5	74.0	46.0	32.9	369.0	753.0	0.45	0.0	34.3	22.5
2	2	2	2	2	7.0	25.4	85.0	71.5	28.9	392.0	728.0	0.47	0.0	32.2	24.5
2	2	2	2	1	6.9	23.3	74.0	54.1	32.1	326.0	570.0	0.43	0.0	34.3	22.5
2	3	2	2	1	6.4	22.9	74.0	50.3	32.2	444.0	660.0	0.46	0.0	34.3	22.5
2	2	2	3	1	6.5	27.2	74.0	49.3	32.7	439.0	714.0	0.44	0.0	34.3	22.5

peroid	production	s_texture	s_drainage	s_fertility	s_pH	s_temp (°C)	relative H (%)	tree H (%)	tree_temp (°C)	T_Height (cm.)	T_Width (cm.)	DGCI	rain	max_temp (°C)	min_temp (°C)
2	3	3	2	1	6.8	25.6	74.0	45.6	33.1	542.0	803.0	0.46	0.0	34.3	22.5
2	2	4	1	1	6.5	26.5	74.0	49.1	33.0	505.0	734.0	0.49	0.0	34.3	22.5
2	2	4	1	1	6.8	24.7	74.0	46.2	33.4	542.0	669.0	0.46	0.0	34.3	22.5
3	2	2	3	1	6.5	29.6	81.0	62.4	31.9	434.0	430.0	0.45	0.0	34.5	26.0
3	3	2	2	1	6.8	25.3	87.0	57.0	33.7	590.0	704.4	0.39	0.0	33.5	24.6
3	1	2	3	2	6.7	27.3	87.0	59.4	33.3	550.0	667.6	0.43	0.0	33.5	24.6
3	2	2	2	1	6.8	26.2	87.0	60.6	33.3	570.0	715.0	0.45	0.0	33.5	24.6
3	2	2	2	3	6.8	29.4	81.0	61.2	32.3	480.0	525.0	0.39	0.0	34.5	26.0
3	3	2	2	2	6.8	26.5	81.0	58.2	33.0	500.0	607.0	0.45	0.0	34.5	26.0
3	2	2	3	1	6.7	26.8	81.0	54.0	34.2	550.0	644.0	0.46	0.0	34.5	26.0
3	3	3	2	1	6.5	28.9	81.0	51.7	34.7	560.0	735.0	0.48	0.0	34.5	26.0
3	2	4	1	4	6.9	26.5	81.0	51.7	34.2	545.0	655.0	0.47	0.0	34.5	26.0
3	2	4	1	4	6.4	27.0	81.0	50.7	34.5	510.0	594.0	0.43	0.0	34.5	26.0
1	1	1	2	5	6.7	25.0	82.0	53.5	30.3	435.0	475.0	0.47	2.1	35.3	20.0
1	1	1	2	4	6.2	23.5	82.0	55.5	30.2	605.0	772.0	0.44	2.1	35.3	20.0
1	1	4	2	4	6.4	25.0	82.0	55.3	30.8	575.0	737.0	0.51	2.1	35.3	20.0
1	2	1	2	4	6.4	25.1	82.0	55.2	30.6	605.0	779.0	0.50	2.1	35.3	20.0
1	2	3	2	5	6.2	20.7	82.0	51.7	30.5	500.0	563.0	0.47	2.1	35.3	20.0
1	1	2	2	4	6.1	21.6	82.0	48.0	32.4	520.0	628.0	0.47	2.1	35.3	20.0
1	3	1	2	4	6.6	24.0	82.0	50.8	31.0	565.0	720.0	0.45	2.1	35.3	20.0
1	2	1	3	4	7.2	24.1	82.0	48.1	32.3	570.0	834.0	0.50	2.1	35.3	20.0
1	1	4	4	5	6.0	25.8	82.0	51.7	31.5	500.0	587.0	0.50	2.1	35.3	20.0
1	1	4	4	4	6.7	23.2	82.0	47.5	33.1	540.0	686.0	0.49	2.1	35.3	20.0
2	1	1	2	5	6.1	28.1	76.0	57.2	31.9	497.0	536.0	0.40	0.4	34.8	23.8

peroid	production	s_texture	s_drainage	s_fertility	s_pH	s_temp (°C)	relative H (%)	tree H (%)	tree_temp (°C)	T_Height (cm.)	T_Width (cm.)	DGCI	rain	max_temp (°C)	min_temp (°C)
2	2	1	2	3	6.5	30.4	76.0	58.2	31.3	520.0	640.0	0.50	0.4	34.8	23.8
2	1	1	2	4	6.6	30.7	76.0	53.3	32.9	565.0	705.0	0.45	0.4	34.8	23.8
2	2	2	2	4	6.6	29.9	76.0	54.3	32.9	566.0	838.0	0.44	0.4	34.8	23.8
2	1	1	2	5	6.0	31.4	76.0	51.8	32.9	545.0	713.0	0.42	0.4	34.8	23.8
2	2	1	2	5	7.0	32.7	76.0	44.5	35.7	517.0	581.0	0.44	0.4	34.8	23.8
2	1	1	2	4	6.8	30.4	76.0	52.8	33.0	593.0	742.0	0.45	0.4	34.8	23.8
2	2	1	3	3	6.6	33.1	76.0	47.4	34.3	553.0	759.0	0.47	0.4	34.8	23.8
2	1	1	4	3	6.6	30.5	76.0	46.7	34.8	571.0	792.0	0.46	0.4	34.8	23.8
2	2	1	4	4	6.3	32.6	76.0	51.9	32.8	425.0	484.0	0.45	0.4	34.8	23.8
3	1	1	2	5	6.5	26.6	88.0	58.8	32.5	344.0	742.0	0.50	12.3	32.3	25.0
3	1	1	2	5	6.4	28.9	88.0	58.3	33.1	502.0	810.0	0.46	12.3	32.3	25.0
3	1	2	2	5	6.3	26.5	88.0	53.9	35.1	593.0	802.0	0.39	12.3	32.3	25.0
3	1	1	2	5	6.6	29.9	88.0	55.5	34.0	625.0	919.0	0.45	12.3	32.3	25.0
3	1	3	2	4	6.7	28.9	88.0	62.7	31.6	627.0	774.0	0.41	12.3	32.3	25.0
3	1	2	2	4	6.6	24.4	88.0	63.5	30.5	585.0	682.0	0.38	12.3	32.3	25.0
3	1	1	2	5	6.1	30.4	88.0	64.0	32.0	658.0	831.0	0.44	12.3	32.3	25.0
3	1	1	3	3	6.1	28.4	88.0	66.0	32.3	650.0	843.0	0.43	12.3	32.3	25.0
3	1	4	4	4	6.6	31.0	88.0	75.3	30.1	675.0	841.0	0.46	12.3	32.3	25.0
3	1	4	4	4	6.4	30.8	88.0	68.7	30.7	508.0	541.0	0.45	12.3	32.3	25.0

ภาคผนวกที่ ๓ ข้อมูลที่ตั้งแปลงเกษตรที่สำรวจข้อมูล

1.จังหวัดเชียงใหม่

ชื่อ	นามสกุล	บ้านเลขที่	หมู่ที่	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พื้นที่ (ไร่)	LAT	LONG	
1	อรธณพ	คำนวล	191	3	ป่าไหล่	พร้าว	เชียงใหม่	10	19.42384	99.21700
2	ณรงค์	วงศ์ริน	51	6	ป่าไหล่	พร้าว	เชียงใหม่	4.5	19.41854	99.21552
3	คณิต	คำนวล	58	3	ป่าไหล่	พร้าว	เชียงใหม่	10	19.42676	99.22418
4	พจน์	คำปิ่น	5	3	บ้านเป้า	แม่แตง	เชียงใหม่	12	19.20210	99.01492
5	สุแก้ว	สิทธิ์วงศ์	59	3	บ้านเป้า	แม่แตง	เชียงใหม่	5	19.21255	98.98657
6	เกตุ	ทองก้อน	6/1	3	บ้านเป้า	แม่แตง	เชียงใหม่	20	19.20193	98.98858
7	เสนห์	ทะพิงค์แก	90/1	7	ข้าวmung	สารภี	เชียงใหม่	12	18.66306	98.97956
8	พรชัย	ชัยสิทธิ์	69	9	ข้าวmung	สารภี	เชียงใหม่	4	18.66087	98.98072
9	อารีย์	ศรีตาลดา	89	9	ข้าวmung	สารภี	เชียงใหม่	5	18.66720	98.98174
10	ปรีชา	ศรีวิชัย	1	10	บ้านกลาง	สันป่าตอง	เชียงใหม่	10	18.54595	98.90885
11	บุญเลิศ	แก้ววงศ์	126/1	7	บ้านกลาง	สันป่าตอง	เชียงใหม่	4	18.54769	98.90670
12	เฉลิม	มุลดง	131/1	7	มะขุนหวาน	สันป่าตอง	เชียงใหม่	11	18.55129	98.90552
13	สม	ใจเฟง	157	2	ดอยแก้ว	จอมทอง	เชียงใหม่	10	18.40294	98.66723
14	นเรศ	ใจheim	157	10	ช่วงเปา	จอมทอง	เชียงใหม่	11	18.46532	98.72430
15	กรกต	แก้วศรียะ	39	10	ช่วงเปา	จอมทอง	เชียงใหม่	7	18.46273	98.73302

2.จังหวัดเชียงราย

ชื่อ	นามสกุล	บ้านเลขที่	หมู่ที่	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พื้นที่ (ไร่)	LAT	LONG	
1	อภิรักษ์	ประเสริฐสันติ	129	6	พาน	พาน	เชียงราย	15	19.52306	99.70393
2	รัตน์	บุญปิ่น	63	6	พาน	พาน	เชียงราย	7	19.52403	99.69584
3	สมพร	ทาแก้ว			พาน	พาน	เชียงราย		19.52399	99.69578
4	จงรักษ์	วิมูล	1	8	ป่าแงะ	ป่าแดด	เชียงราย	6	19.56226	99.98367
5	ฉันทวัฒน์กมล	เหมืองหม้อ	103	17	ป่าแงะ	ป่าแดด	เชียงราย	13	19.57893	99.99274
6	สุนีย์	สิงหะเสนีย์	125	1	ป่าแงะ	ป่าแดด	เชียงราย	15	19.58119	99.99214
7	สมเดช	กาชุ่ม	45/1	1	ปล้อง	เทิง	เชียงราย	8	19.62381	100.07390
8	คำพูน	ปัตจัดตั้ง	190	12	เวียง	เทิง	เชียงราย	4	19.71125	100.19640
9	คำพูน	ปัตจัดตั้ง	190	12	เวียง	เทิง	เชียงราย		19.71523	100.19919
10	ฐานวัฒน์	ทองคง	113	4	แม่ต๋ำ	พญาเม็งราย	เชียงราย	17	19.93075	100.21177
11	จันทร์	ทะนันชัย	28	2	แม่ต๋ำ	พญาเม็งราย	เชียงราย	4	19.93467	100.22073
12	ทิพัฒน์ชัย	แสนมิ่งมงคลกุล	146	2	แม่ต๋ำ	พญาเม็งราย	เชียงราย	10	19.94206	100.21138
13	สัน	ใจเปง	42	2	แม่ต๋ำ	พญาเม็งราย	เชียงราย	10	19.94335	100.21169
14	ผัด	สอนใจ	140	9	แม่ต๋ำ	พญาเม็งราย	เชียงราย	26	19.95392	100.22327
15	ทัศน์ี	ถาหมี่	116	9	แม่ต๋ำ	พญาเม็งราย	เชียงราย	8	19.55158	100.15178

3.จังหวัดลำพูน

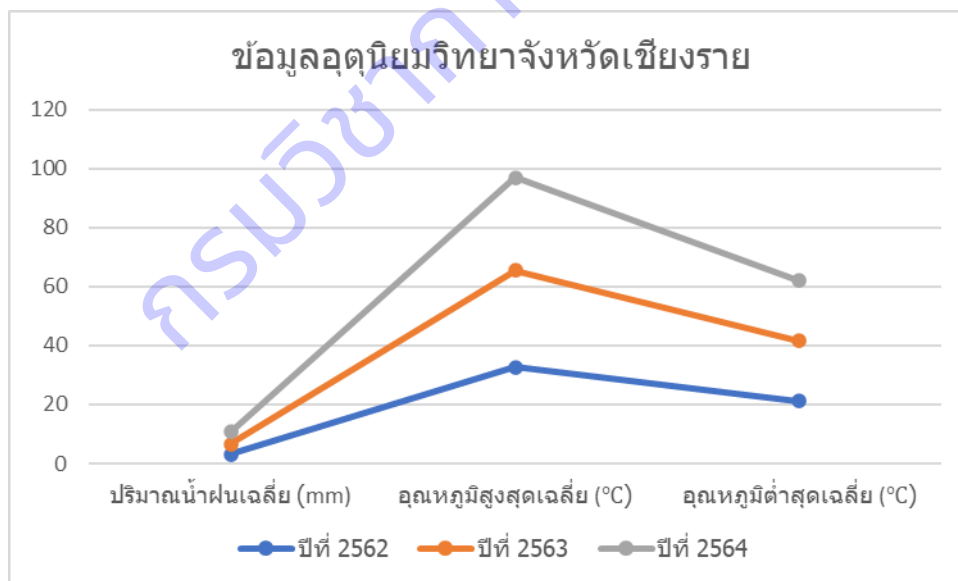
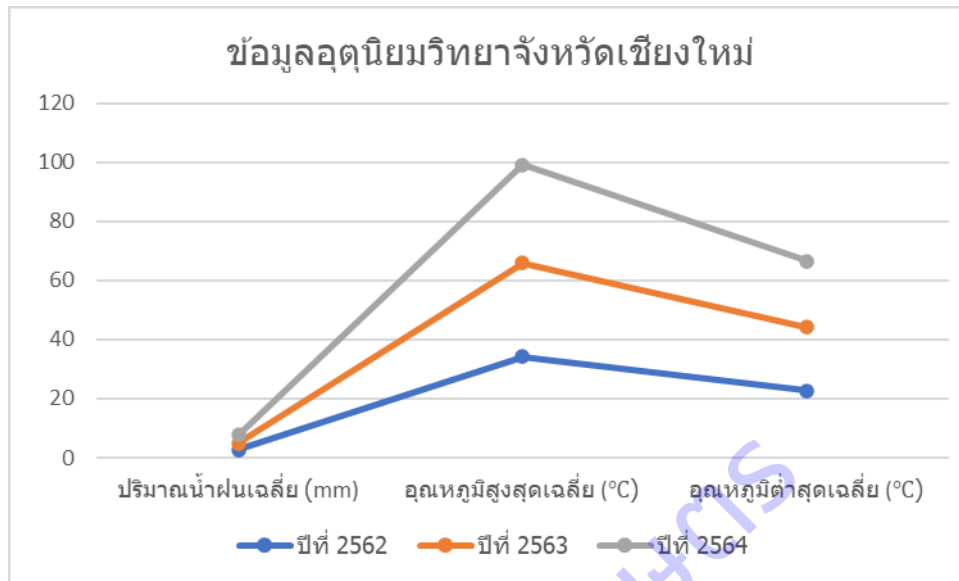
ชื่อ	นามสกุล	บ้านเลขที่	หมู่ที่	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พื้นที่ (ไร่)	LAT	LONG	
1	สุนันท์	ฝ่ายกลาง	94/1	9	น้ำดิบ	ป่าซาง	ลำพูน	10	18.43980	98.81765
2	มงคล	หมื่นภัย	46/1	7	น้ำดิบ	ป่าซาง	ลำพูน	32	18.43668	98.85175
3	วิลาภ	ทันสม	352	7	น้ำดิบ	ป่าซาง	ลำพูน	5	18.47747	98.84943
4	วิเชียร	ทะทอง	352	16	น้ำดิบ	ป่าซาง	ลำพูน	10	18.47344	98.88132
5	ชูชาติ	รวมไทย	9/1	7	ริมปิง	เมือง	ลำพูน	8	18.59234	98.95982
6	บัณฑิต	แสนสมบัติ	168/5	6	ริมปิง	เมือง	ลำพูน	6	18.59219	98.95972
7	ประเสริฐ	จันทร์มา	11/1	9	ริมปิง	เมือง	ลำพูน	3	18.58745	98.96024
8	เสวต	ศิริพันธุ์	101/2	10	ริมปิง	เมือง	ลำพูน	7	18.57452	98.94911
9	อภิชัยสิทธิ์	ถายาพิงค์	9	7	ริมปิง	เมือง	ลำพูน	3	18.59709	98.97813
10	สุรัชย์	หินอ่อน	132	4	ศรีเตี้ย	บ้านโฮ้ง	ลำพูน	5	18.39137	98.77602
11	อำไพ	สามเมือง	122/1	2	ศรีเตี้ย	บ้านโฮ้ง	ลำพูน	25	18.39106	98.76788
12	ประวิณ	ปาตีคำ	99	1	ศรีเตี้ย	บ้านโฮ้ง	ลำพูน	38	18.39161	98.77644
13	นิโรจน์	แสนไชย	189	8	วังผาง	เวียงหนองร่อน	ลำพูน	86	18.44152	98.73031
14	แม	ชอยบุตร	37	8	วังผาง	เวียงหนองร่อน	ลำพูน	5	18.43532	98.72182
15	พูลธิวา	อินตะวงค์	54/3	9	วังผาง	เวียงหนองร่อน	ลำพูน	5	18.44288	98.72612

4.จังหวัดสุราษฎร์ธานี

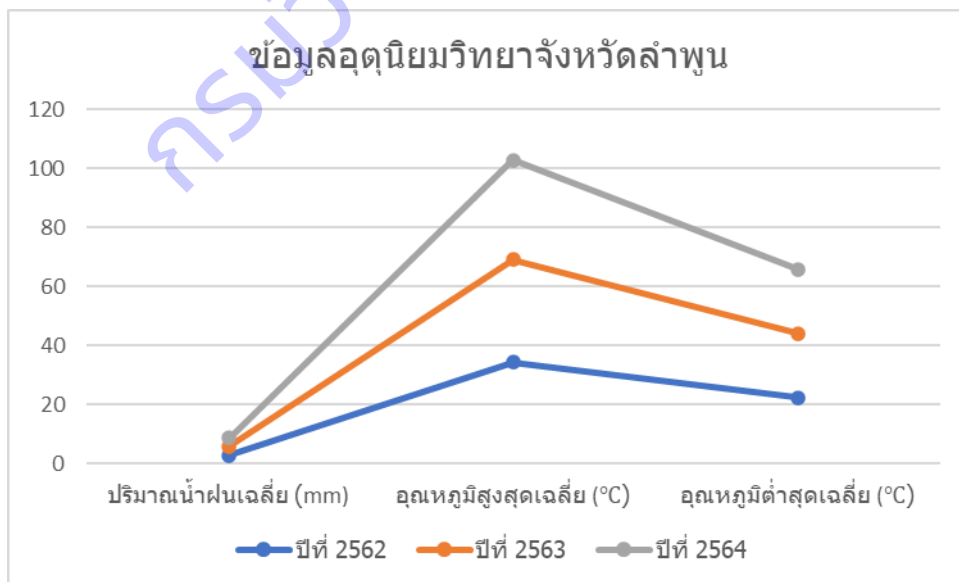
ชื่อ	นามสกุล	บ้านเลขที่	หมู่ที่	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พื้นที่ (ไร่)	LAT	LONG	
1	ประไพ	แสงขาว	57	4	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	7	8.77831	99.44354
2	ธีรพล	นามนวล	-	3	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	6	8.78470	99.43799
3	จำรูญ	ชูจิต	170/26	4	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	15	8.78443	99.43862
4	เรงศักดิ์	ดำพัฒน์	58/4	4	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	4.5	8.77801	99.44496
5	กรุณา	อักษรเพียร	62/2	4	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	12	8.77780	99.45150
6	จำรัส	หนูนุ่ม	67/2	4	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	5	8.77872	99.44680
7	วิกรม	พัฒน์ดำ	170/24	4	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	4	8.78157	99.45061
8	ณิชากุล	พัฒน์ดำ	170/28	4	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	5	8.78133	99.45085
9	สมยศ	ทองท่าชี	170/53	4	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	18	8.78121	99.44799
10	วารินทร์	เพชรโกษาชาติ	59	4	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	10	8.77791	99.44035
11	ประพฤติ	เสียงสุวรรณ	20/1	1	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	18	8.74960	99.40875
12	ยินดี	กลับฟ้าผ่า	157	1	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	6	8.76014	99.41960
13	โสภณ	เรืองศรี	72/3	4	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	3	8.77749	99.45362
14	สุรพงษ์	เกษาศัย	170/60	4	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	11.75	8.78130	99.44661
15	เยาว์	ทองท่าชี	112	4	เพิ่มพูนทรัพย์	บ้านนาสาร	สุราษฎร์ธานี	5	8.77937	99.43787

ภาคผนวกที่ ๓ แสดงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดที่สำรวจข้อมูล (เฉลี่ยรายปี)

1.จังหวัดเชียงใหม่

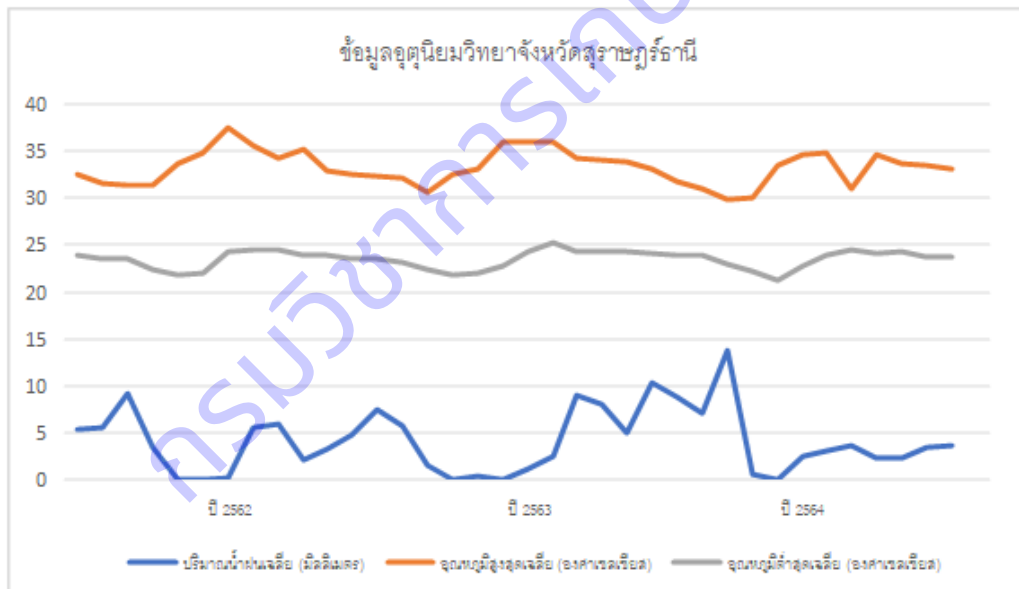


2.จังหวัดเชียงใหม่



3.จังหวัดลำพูน

4.จังหวัดสุราษฎร์ธานี

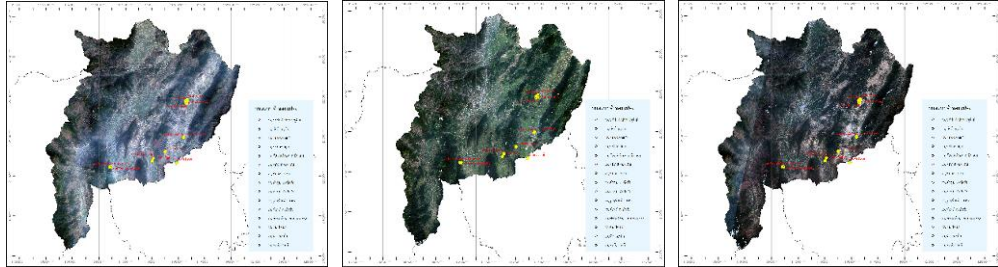


โครงการที่ 2 ศึกษา วิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

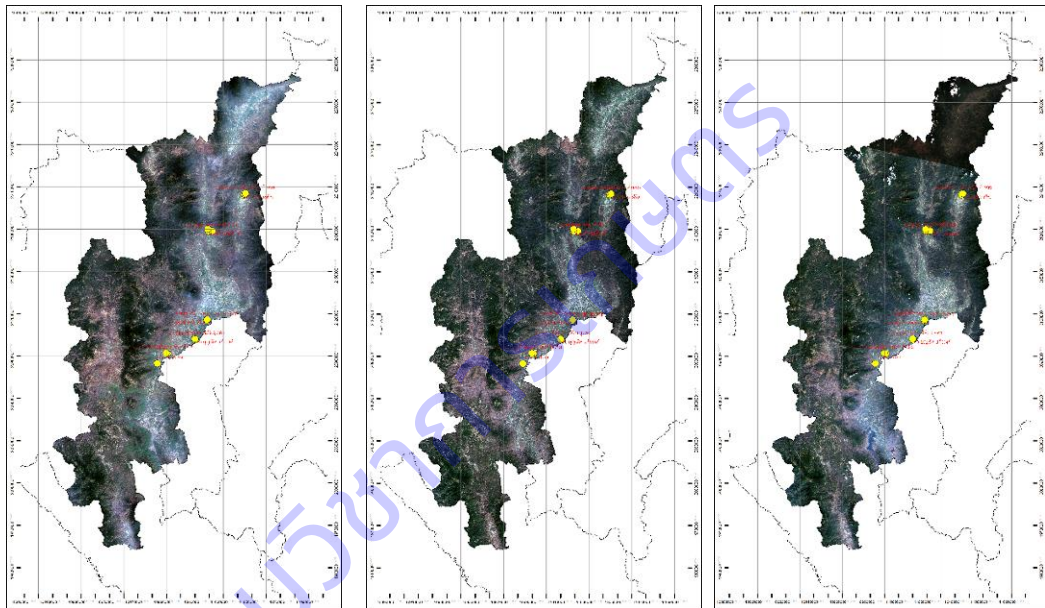
ภาคผนวก ฎ แผนที่ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 แปลงเกษตรกรปลูกกล้วยในพื้นที่จังหวัดเชียงราย

เชียงใหม่ และลำพูน ปี 2562 - 2564

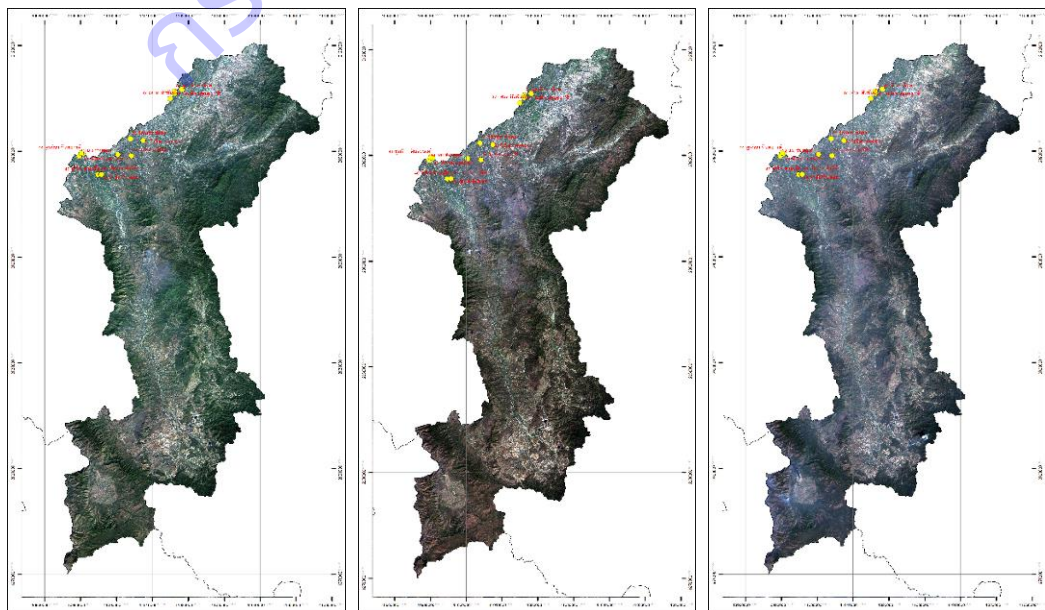
เชียงราย



เชียงใหม่

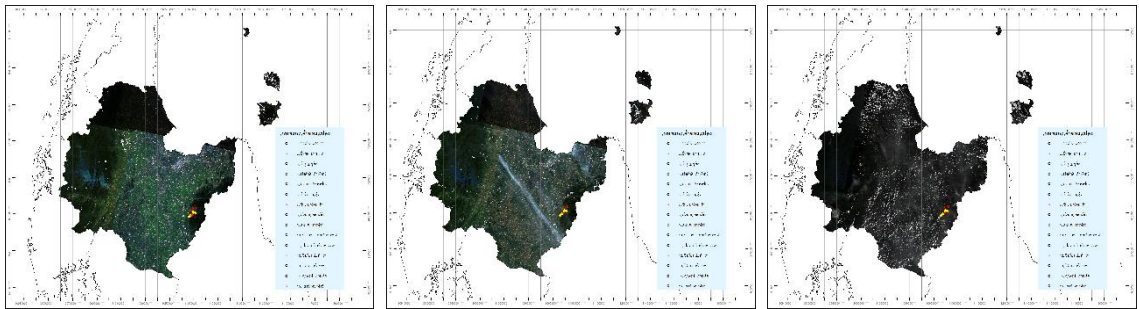


ลำพูน



ภาคผนวก ฐ แผนที่ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT 8 แปลงเกษตรกรรมปลูกเงาะในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปี 2562 – 2564

สุราษฎร์ธานี



ภาคผนวก ๗ ไปสเตอร์การใช้งานระบบบริการภูมิสารสนเทศ

ระบบบริการภูมิสารสนเทศ

ระบบพยากรณ์ระดับการให้ผลผลิตในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน โดยนำข้อมูลแบบจำลองการจำแนกระดับการให้ผลผลิต มาใช้ในการพัฒนาระบบที่สามารถแสดงแผนที่ระดับการให้ผลผลิต ช่วยในการวางแผนการผลิตให้แก่ผู้ใช้งาน

ผู้ใช้งานระบุข้อมูลพื้นที่ ผลิตตามระดับโมเดล

ผู้ใช้งาน

แนวคิดการออกแบบเว็บแอปพลิเคชันการใช้งานระบบบริการภูมิสารสนเทศ

เลือกพื้นที่ที่ต้องการ

ใช้แสดงข้อมูลจังหวัด อำเภอ ตำบล ตามที่ผู้ใช้งานสนใจ

เป็นการแสดงข้อมูลสภาพแวดล้อมในพื้นที่ปลูก หากผู้ใช้งานไม่มีข้อมูลในพื้นที่ ระบบจะทำการประมวลผลจากฐานข้อมูลในระบบ

4 ทำการแสดงผลตามการประมาณค่าผลผลิต ตามการแบ่งสี 3 ระดับ โดยระบบบริการภูมิสารสนเทศ สามารถแสดงข้อมูลได้ในระดับจังหวัด อำเภอ ตำบล ผู้ใช้งานมีหรือไม่มีข้อมูลสภาพแวดล้อมในพื้นที่ (พารามิเตอร์) ระบบจะใช้ข้อมูลจากโปรแกรมประมวลผลการพยากรณ์ระดับการให้ผลผลิต หน่วยงาน ก็โลกรับต่อไว้

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
การศึกษาดูงานข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม

แผนงานวิจัยย่อยที่ 2 วิจัยพัฒนาระบบสารสนเทศแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน

1. พัฒนาโมเดลการประเมินธาตุอาหารในใบปาล์มน้ำมัน โดยใช้เทคนิค image processing

ภาคผนวก ฉ: แผ่นเทียบสีใบปาล์มน้ำมัน



2. โครงการพัฒนาระบบประเมินปริมาณธาตุอาหารในปาล์มน้ำมัน และระบบแนะนำการใช้ปุ๋ยในปาล์มน้ำมัน

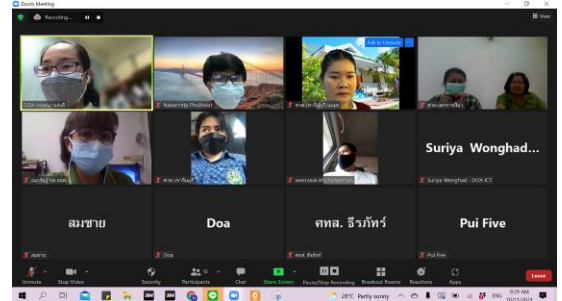
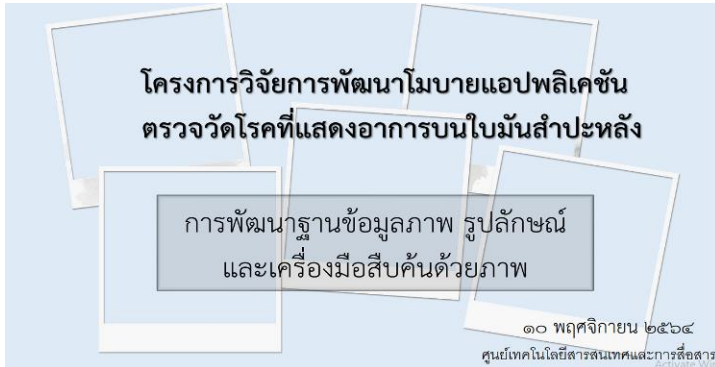
ภาคผนวก ฉ: เว็บไซต์ PUIPALM: <http://puipalm.research-oard7.com>



ภาคผนวก ด : คู่มือการใช้งานเว็บไซต์ PUIPALM



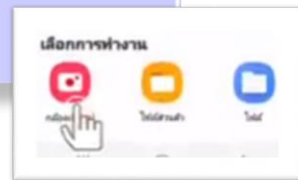
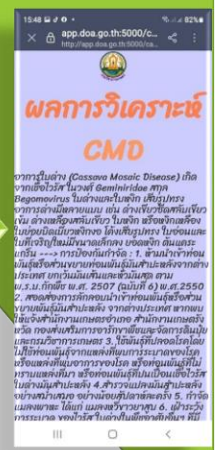
แผนงานวิจัยย่อยที่ 3 วิจัยพัฒนาระบบจำแนกโรคและศัตรูพืชบนใบมันสำปะหลัง โดยเทคนิคประมวลผลภาพ
 โครงการที่ 1 การพัฒนาโมเดลการจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง
 ภาคผนวก ต การถ่ายทอดเทคโนโลยีฐานข้อมูลภาพ รูปลักษณ์ และเครื่องมือสืบค้น ด้วยภาพ ผ่านระบบออนไลน์
 เมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2564



โครงการที่ 2 การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันตรวจวัดโรคและศัตรูพืชที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง
 ภาคผนวก ถ แผ่นพับคู่มือการใช้งานแอปพลิเคชันตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง



แอปพลิเคชันตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง



ใช้งานง่าย สามารถถ่ายภาพ หรือเลือกภาพจากคลังข้อมูลในโทรศัพท์มือถือก็ได้

ภาคผนวก ท โปสเตอร์การใช้งานแอปพลิเคชันตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง

ต้นแบบ แอปพลิเคชันตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง

ช่วยในการวินิจฉัยโรคบนใบมันสำปะหลังพร้อมทั้งให้คำแนะนำในการป้องกันกำจัด

การใช้งานง่าย สามารถถ่ายภาพ หรือเลือกภาพจากคลังข้อมูลในโทรศัพท์มือถือก็ได้

การวิเคราะห์ภาพใบมันสำปะหลัง
แอปพลิเคชันสำหรับค้นหาโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง
เลือกไฟล์ **ไม่ได้เลือกไฟล์ใด**
ส่งภาพ

ผลการวิเคราะห์ CMD
อาการใบมัน (Cassava Mosaic Disease) เกิดจากเชื้อไวรัสในวงศ์ Geminiviridae สกุล Begomovirus ในลำต้นและใบสด ลักษณะอาการของต้นมันสำปะหลัง เช่น ลำต้นเจริญช้า ต้นแคระแกร็น ใบมีจุดสีเหลืองปนเขียว ใบมีริ้วสีเหลืองปนเขียว ใบมีริ้วสีม่วง ใบช้ำและใบที่เจริญใหม่มีขนาดเล็กลง ขอบใบจัก ต้นและเถาไหม้ ---> การป้องกันกำจัด : 1. นำมันสำปะหลังที่มีอาการมาเผาทำลายให้หมดไป 2. ใช้หน่อที่ปลอดโรคโดยไม่มีเชื้อไวรัสในลำต้นและใบ จากต่างประเทศ สามารถใช้ร่วมกับพันธุ์ที่ทนต่อเชื้อไวรัส 3. ใช้หน่อที่ปลอดโรคโดยไม่มีเชื้อไวรัสในลำต้นและใบ 4. สรรวจแปรรูปมันสำปะหลังอย่างรวดเร็ว 5. กำจัดแมลงพาหะ ได้แก่ แมลงศัตรูพืชชนิด ๑, ๒ และ ๓ 6. มาตรการระบาด ของไวรัสในลำต้นที่มีเชื้อไวรัสชนิดนี้

ภาคผนวก ๕ การถ่ายทอดและฝึกอบรมเทคโนโลยีโมบายแอปพลิเคชันการตรวจวัดและจำแนกโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง ผ่านระบบออนไลน์ เมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2564



ภาคผนวก ๖ ฝึกอบรมโมบายแอปพลิเคชันวินิจฉัยโรคที่แสดงอาการบนใบมันสำปะหลัง ให้กับเกษตรกรในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา เมื่อวันที่ 27 ธันวาคม 2564

