

ผลงานลำดับที่ 1

เรื่อง การใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลเพื่อศึกษา
รูปแบบการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ
Using of remote sensing for economic crops
growth pattern study

โดย

นายทศน์ศว์ รัตนแก้ว

เอกสารประกอบการขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
ผู้เชี่ยวชาญด้านสำรวจการใช้ที่ดินด้วยเทคโนโลยีระยะไกล
(นักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ)
ตำแหน่งเลขที่ 9
กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน
กรมพัฒนาที่ดิน

คำนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณ 321 ล้านไร่ หรือประมาณ 513,000 ตารางกิโลเมตร โดยมีพื้นที่สำหรับการเกษตร ประมาณ 138 ล้านไร่ หรือ ร้อยละ 43 ของเนื้อที่ประเทศ ซึ่งใน พ.ศ. 2565 รายได้ของภาคเกษตร คิดเป็นร้อยละ 6 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (Gross Domestic Production: GDP) และภาคเกษตรยังคงมีการจ้างงานเกือบถึง 1 ใน 3 ของกำลังแรงงาน (เกียรติคุณ และคณะ, 2565) พืชเศรษฐกิจของประเทศไทยหลายชนิดเป็นสินค้าส่งออกที่มีชื่อเสียงในระดับโลก และได้รับการยอมรับว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี เช่น อ้อย ซึ่งประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลอันดับที่ 2 ของโลก ปีละกว่า 6 ล้านตัน สร้างรายได้ถึง 100,000 ล้านบาท มีโรงงานน้ำตาล 47 แห่ง ต้องการอ้อยเข้าหีบมากกว่า 100 ล้านตันต่อปี (วีระพล, 2558; ชัยวิธ, 2564ก) มันสำปะหลัง เป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นปริมาณมาก โดยตลาดใหญ่ของมันสำปะหลังไทย คือ ประเทศจีนที่นิยมนำไปแปรรูปเป็นสิ่งต่าง ๆ เช่น อาหารสัตว์ แต่งรสอาหาร และเอทานอล เป็นต้น (ชัยวิธ, 2564ข) สับปะรด เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยที่สามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศอย่างต่อเนื่อง เพราะนอกจากใช้บริโภคภายในประเทศแล้ว ยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น สับปะรดกระป๋อง น้ำสับปะรด สับปะรดแช่แข็ง และสับปะรดอบแห้ง เป็นต้น สับปะรดเป็นพืชที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมเกษตรสามารถสร้างรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สับปะรดกระป๋อง ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตและการส่งออกสูงเป็นอันดับหนึ่งของโลก ด้วยมูลค่าการส่งออกมากกว่าหนึ่งหมื่นล้านบาทต่อปี (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560) ผลิตภัณฑ์ยางพาราของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยความต้องการใช้จะขยายตัวตามทิศทางของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องที่มีแนวโน้มเติบโต ได้แก่ กลุ่มยานยนต์ และอุปกรณ์การแพทย์โดยเฉพาะถุงมือยาง รวมทั้งการเร่งลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานที่จะเพิ่มความต้องการใช้ยางในภาคก่อสร้าง ประกอบกับราคาน้ำมันที่ยังคงอยู่ในระดับสูง ทำให้มีความต้องการใช้ยางธรรมชาติเพื่อทดแทนยางสังเคราะห์เพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565ข) ปาล์มน้ำมัน ซึ่งปลูกเพื่อผลิตน้ำมันปาล์มที่มีปริมาณและมูลค่าส่งออกเพิ่มขึ้น เนื่องจากราคาน้ำมันปาล์มในตลาดโลกสูงกว่าราคาน้ำมันปาล์มในประเทศ ประกอบกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นของตลาดโลก โดยเฉพาะประเทศอินเดีย ทำให้ไทยสามารถส่งออกได้มากขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565ข) แต่อย่างไรก็ตามจากสถานการณ์สินค้าเกษตรที่เป็นพืชเศรษฐกิจหลักของไทย ได้เผชิญปัจจัยท้าทายหลากหลายทั้งในและต่างประเทศ ส่งผลกดดันต่อความผันผวนทางด้านราคา และอาจยังคงได้รับแรงกดดันต่อเนื่อง ส่งผลให้การกำหนดราคาขายของผู้ประกอบการค้าพืชเกษตรมีความไม่แน่นอนและส่งผลโดยตรงต่อความมั่นคงทางรายได้ของเกษตรกร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565ก)

ปัจจุบันที่ก้าวสู่ยุคไทยแลนด์ 4.0 มีการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการจัดการด้านเกษตรกรรม และธุรกิจเกษตร โดยภาครัฐซึ่งมีบทบาทในด้านการให้บริการข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้ประกอบการทั้งเกษตรกร และภาคธุรกิจสามารถติดตามสถานการณ์สินค้าเกษตรด้านต่าง ๆ อาทิ เนื้อที่การผลิต ปริมาณผลผลิต ราคา สถานการณ์การตลาด โรคพืชและศัตรูพืช การบริหารจัดการน้ำ รวมทั้งการพยากรณ์

และเตือนภัยล่วงหน้าเพื่อเฝ้าระวัง ทำให้เกษตรกรและผู้ประกอบการสามารถบริหารจัดการการผลิตและคลังสินค้าได้ดียิ่งขึ้น

ข้อมูลการสำรวจระยะไกล เป็นข้อมูลที่ได้จากการจัดเก็บข้อมูลของวัตถุต่าง ๆ บนพื้นโลก โดยใช้หลักการตอบสนองของปฏิกิริยาของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัสดุภาคพื้นดินโดยการพัฒนากาฬพื้นผิว ข้อมูลการสำรวจระยะไกลจัดเป็นข้อมูลเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในรูปแบบดิจิทัลถือเป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญสำหรับการติดตามด้านสิ่งแวดล้อมและพืชผล เนื่องจากเป็นข้อมูลคุณภาพสูง สามารถวิเคราะห์ได้ตามช่วงเวลา จำเพาะสำหรับพื้นที่ ปัจจุบันเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลโดยเฉพาะอย่างยิ่งภาพถ่ายดาวเทียมและอากาศยานไร้คนขับหรือโดรนมีความก้าวหน้าเป็นอย่างดี ได้มีการพัฒนารายละเอียดภาพ ให้สูงขึ้น จัดเก็บข้อมูลได้หลายช่วงคลื่น ส่งผลให้สามารถเลือกใช้ช่วงคลื่นที่เหมาะสมต่อการศึกษาต่าง ๆ ได้มากขึ้น ในด้านการเกษตรและสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลมีศักยภาพสูงต่อการศึกษา การเจริญเติบโตของพืช ณ วันที่ทำการจัดเก็บข้อมูล เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวมีการกำหนดค่าพิกัดบนพื้นโลก ทำให้สามารถวิเคราะห์ และเชื่อมโยงกับข้อมูลอื่นๆ เชิงพื้นที่ได้ง่าย นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าวมีการจัดเก็บ ในรูปดิจิทัลไฟล์ส่งผลให้สามารถเก็บไว้ได้นาน ใช้พื้นที่น้อย และสามารถนำออกมาใช้งานได้ง่ายตามต้องการ การจัดทำและปรับปรุงฐานข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ที่ดินทั่วประเทศทำโดยการใช้ข้อมูลดาวเทียม รายละเอียดสูง ภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข ร่วมกับการสำรวจภาคสนามแล้วนำมาวิเคราะห์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จัดทำแผนที่สภาพการใช้ที่ดินและพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย นอกจากนี้ข้อมูลดาวเทียมยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น ใช้ในการจัดการปัจจัยการผลิต และการคาดการณ์ผลผลิต ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจด้านการบริหารจัดการในแปลงปลูก โดยพิจารณาจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล ณ เวลานั้น

นายทศนัศว์ รัตนแก้ว

พฤษภาคม พ.ศ. 2567

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	(1)
สารบัญ	(3)
สารบัญตาราง	(4)
สารบัญภาพ	(7)
แบบการเสนอผลงาน ระดับเชี่ยวชาญ	1
ส่วนที่ 1 ข้อมูลบุคคล/ตำแหน่ง	1
ส่วนที่ 2 ผลงานที่เป็นผลการปฏิบัติงานหรือผลสำเร็จของงาน	3
1. ชื่อเรื่อง	3
2. ระยะเวลาการดำเนินการ	3
3. ความรู้ ความชำนาญงาน หรือความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ที่ใช้ใน การปฏิบัติงาน	3
4. สรุปสาระสำคัญ ขั้นตอนการดำเนินการ และเป้าหมายของงาน	57
5. ผลสำเร็จของงาน (เชิงปริมาณ/คุณภาพ)	64
6. การนำไปใช้ประโยชน์/ผลกระทบ	205
7. ความยุ่งยากและซับซ้อนในการดำเนินการ	205
8. ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ	206
9. ข้อเสนอแนะ	207
10. การเผยแพร่ผลงาน	208
11. ผู้มีส่วนร่วมในผลงาน	210
เอกสารอ้างอิง	212

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	ช่วงปลูกที่เหมาะสมสำหรับมันสำปะหลังในภาคกลางและภาคตะวันตก
ตารางที่ 2	ลักษณะการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันเมื่ออายุ 14 ปี
ตารางที่ 3	ดัชนีพืชพรรณชนิดต่าง ๆ
ตารางที่ 4	ความสัมพันธ์ (r) ระหว่างผลผลิตปาล์มน้ำมันกับดัชนีพืชพรรณของ ปาล์มน้ำมันที่ปลูกต่างช่วง
ตารางที่ 5	คุณสมบัติของข้อมูลดาวเทียม Sentinel 2
ตารางที่ 6	รูปแบบสมการถดถอยในโปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS for windows version 16.0
ตารางที่ 7	ข้อมูลอุณหภูมิจังหวัดราชบุรี ช่วง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565
ตารางที่ 8	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) เฉลี่ยรายปี ของจังหวัดราชบุรี ช่วง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565
ตารางที่ 9	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำลำภาชี
ตารางที่ 10	โครงการอ่างเก็บน้ำศกยภาพในลุ่มน้ำลำภาชี
ตารางที่ 11	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของอ้อย
ตารางที่ 12	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของมันสำปะหลัง
ตารางที่ 13	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกสับปะรด
ตารางที่ 14	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกยางพารา
ตารางที่ 15	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกปาล์มน้ำมัน
ตารางที่ 16	การเจริญเติบโตของอ้อยช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565
ตารางที่ 17	การเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565
ตารางที่ 18	การเจริญเติบโตของสับปะรด ช่วง เดือน เมษายน 2564 ถึง เดือน พฤศจิกายน 2565
ตารางที่ 19	การเจริญเติบโตของยางพารา ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 20	การเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	122
ตารางที่ 21	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงอ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	124
ตารางที่ 22	ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างทรงพุ่มอ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	129
ตารางที่ 23	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นอ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	134
ตารางที่ 24	ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์อ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	139
ตารางที่ 25	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงมันสำปะหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	144
ตารางที่ 26	ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างทรงพุ่มมันสำปะหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	150
ตารางที่ 27	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นมันสำปะหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	156
ตารางที่ 28	ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์มันสำปะหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	162
ตารางที่ 29	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงสับปะรดกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	169

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างทรงพุ่มสับปะรดกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	175
ตารางที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์สับปะรดกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	181
ตารางที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เมษายน พ.ศ. 2565	188
ตารางที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เมษายน พ.ศ. 2565	189
ตารางที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เมษายน พ.ศ. 2565	190
ตารางที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	191
ตารางที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เมษายน พ.ศ. 2565	197
ตารางที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ มีนาคม พ.ศ. 2565	198
ตารางที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ มีนาคม พ.ศ. 2565	199
ตารางที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	200

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1	การเปลี่ยนแปลงด้านชีพลักษณ์ของอ้อย 11
ภาพที่ 2	การเปลี่ยนแปลงด้านชีพลักษณ์ของมันสำปะหลังด้านการสะสมน้ำหนักแห้ง ที่ปลูกใน 2 ฤดู 15
ภาพที่ 3	การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณ์ของสับปะรดอายุตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว 19
ภาพที่ 4	รอบการปลูกสับปะรด 4 ปี ไร่หน่อ 1 รุ่น เก็บเกี่ยวผลผลิต 2 ครั้ง 19
ภาพที่ 5	รอบการปลูกสับปะรด 5 ปี ไร่หน่อ 2 รุ่น เก็บเกี่ยวผลผลิต 3 ครั้ง 20
ภาพที่ 6	การเปลี่ยนแปลงด้านชีพลักษณ์ระยะการผลัดใบของยางพารา 23
ภาพที่ 7	ลักษณะลำต้นของปาล์มน้ำมัน 27
ภาพที่ 8	ลายเซ็นเชิงคลื่นของของพืชที่มีสุขภาพดี ดินแห้ง เศษหญ้าแห้ง น้ำ และหิมะ 32
ภาพที่ 9	ระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่มีการตอบสนองด้านค่าการสะท้อน แสงในข้อมูลภาพดาวเทียม 42
ภาพที่ 10	แผนภาพ Box Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพกับช่วงอายุ ของสับปะรด 43
ภาพที่ 11	การเปลี่ยนแปลงของค่า NDVI ตามข้อมูลอนุกรมเวลาของแปลงปลูก ยางพาราเปรียบเทียบกับภาพรายละเอียดสูง จาก Google Earth Pro TM 45
ภาพที่ 12	ขั้นตอนการดำเนินการ 62
ภาพที่ 13	จุดสุ่มคัดเลือกแปลงข้อมูลอ้างอิงของพืชแต่ละชนิดแบบจำเพาะเจาะจง 63
ภาพที่ 14	แผนที่ที่ตั้งและอาณาเขตลุ่มน้ำลำภาชี 65
ภาพที่ 15	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน จังหวัดราชบุรี 69
	ช่วง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565
ภาพที่ 16	การใช้ที่ดิน ลุ่มน้ำลำภาชี 5 ประเภทหลัก พ.ศ. 2564 72
ภาพที่ 17	แผนที่การใช้ที่ดิน ลุ่มน้ำลำภาชี พ.ศ. 2564 73
ภาพที่ 18	ตัวอย่างภาพดาวเทียม Sentinel 2 ที่มีการคำนวณค่า NDVI ในเดือนต่าง ๆ 75
	พ.ศ. 2564

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 19	การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปี ของแปลงปลูกอ้อย	77
ภาพที่ 20	การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปี ของแปลงปลูกมันสำปะหลัง	81
ภาพที่ 21	การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปี ของแปลงปลูกสับปะรด	86
ภาพที่ 22	การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปี ของแปลงปลูกยางพารา	90
ภาพที่ 23	การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปี ของแปลงปลูกปาล์มน้ำมัน	94
ภาพที่ 24	การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณ์ด้านความสูงของอ้อย ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	100
ภาพที่ 25	การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของอ้อย ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	100
ภาพที่ 26	การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณ์ด้านขนาดลำต้นของอ้อย ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	101
ภาพที่ 27	การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ของอ้อย ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	101
ภาพที่ 28	การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณ์และค่าดัชนีพืชพรรณของอ้อย ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	102
ภาพที่ 29	การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณ์ด้านความสูงของมันสำปะหลัง ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	105
ภาพที่ 30	การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของมันสำปะหลัง ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	106

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 31	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านขนาดลำต้นของมันสำปะหลัง ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	106
ภาพที่ 32	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ของมันสำปะหลัง ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	107
ภาพที่ 33	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์และค่าดัชนีพืชพรรณของมันสำปะหลัง ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	107
ภาพที่ 34	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความสูงของสับปะรด ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	111
ภาพที่ 35	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของสับปะรด ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	111
ภาพที่ 36	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของสับปะรด ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	112
ภาพที่ 37	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์และค่าดัชนีพืชพรรณของสับปะรด ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	112
ภาพที่ 38	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความสูงของยางพารา ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	115
ภาพที่ 39	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของยางพารา ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	115
ภาพที่ 40	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านขนาดรอบลำต้นของยางพารา ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	116
ภาพที่ 41	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบยางพารา ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	116
ภาพที่ 42	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความสูงของปาล์มน้ำมัน ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	119
ภาพที่ 43	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของปาล์มน้ำมัน ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	119

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 44 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษ์ด้านขนาดรอบลำต้นของปาล์มน้ำมัน ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	120
ภาพที่ 45 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมัน ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	120
ภาพที่ 46 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษ์และค่าดัชนีพืชพรรณของปาล์มน้ำมัน ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565	121
ภาพที่ 47 การเผยแพร่รายงานแบบหนังสืออิเล็กทรอนิกส์บนเว็บไซต์ห้องสมุด กรมพัฒนาที่ดิน	208
ภาพที่ 48 การเผยแพร่รายงานแบบหนังสืออิเล็กทรอนิกส์บนเว็บไซต์ กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน	209
ภาพที่ 49 ใบประกาศนียบัตรการเข้าร่วมนำเสนอผลงาน ในงานประชุมวิชาการ นานาชาติ 2023 ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting	209

แบบการเสนอผลงาน ระดับเชี่ยวชาญ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลบุคคล/ตำแหน่ง

ชื่อผู้ขอประเมิน นายทศนัศว์ รัตนแก้ว

ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ

หน้าที่ความรับผิดชอบของตำแหน่งปัจจุบัน

1. ศึกษา ค้นคว้า วิเคราะห์ และวิจัยเชิงลึก เพื่อประยุกต์เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์กับงานสำรวจและทำแผนที่สภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ เพื่อการคาดการณ์ผลผลิต พื้นที่มีศักยภาพการปลูกพืชเศรษฐกิจสำคัญ การติดตามสถานการณ์ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของประเทศ ตลอดจนศึกษานวัตกรรมใหม่ของการสำรวจด้วยข้อมูลระยะไกล เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการวางแผนการใช้ที่ดินและกำหนดเขตปลูกพืชเศรษฐกิจ

2. ให้คำปรึกษา และเสนอแนะต่อกรมพัฒนาที่ดิน ในการกำหนดนโยบายการใช้ที่ดิน ศักยภาพการใช้ที่ดินให้สอดคล้องกับเป้าหมาย แผนงาน โครงการต่าง ๆ ตามยุทธศาสตร์ที่กำหนดเขตการใช้ที่ดินเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการกำหนดเขตการใช้ที่ดิน

3. ให้คำปรึกษา วินิจฉัยปัญหาที่สำคัญเกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล และการจัดทำข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ของพืชเศรษฐกิจแก่นักวิจัยบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อประโยชน์สูงสุดของงานวิจัย

4. ให้คำปรึกษา แนะนำ ถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีระยะไกล ในการดำเนินงาน วิเคราะห์วิจัยของกรมพัฒนาที่ดินเพื่อให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ที่กำหนดไว้

5. ประสานงานและให้ความร่วมมือกับหน่วยงานและองค์กรที่เกี่ยวข้อง ทั้งในและต่างประเทศเพื่อสร้างความร่วมมือในทางวิชาการ

6. ปฏิบัติงานอื่นๆ ตามที่ได้รับมอบหมาย เพื่อสนับสนุนให้สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดินในภาพรวมบรรลุภารกิจที่กำหนดไว้

ตำแหน่งที่จะแต่งตั้ง นักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ

หน้าที่ความรับผิดชอบของตำแหน่งที่จะแต่งตั้ง

1. ศึกษา ค้นคว้า วิเคราะห์ และวิจัยเชิงลึก เพื่อประยุกต์เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์กับงานสำรวจและทำแผนที่สภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ เพื่อการคาดการณ์ผลผลิต พื้นที่มีศักยภาพการปลูกพืชเศรษฐกิจสำคัญ การติดตามสถานการณ์ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของประเทศ ตลอดจนศึกษานวัตกรรมใหม่ของการสำรวจด้วยข้อมูลระยะไกล เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการวางแผนการใช้ที่ดินและกำหนดเขตปลูกพืชเศรษฐกิจ
2. ให้คำปรึกษา และเสนอแนะต่อกรมพัฒนาที่ดิน ในการกำหนดนโยบายการใช้ที่ดิน ศักยภาพการใช้ที่ดินให้สอดคล้องกับเป้าหมาย แผนงาน โครงการต่าง ๆ ตามยุทธศาสตร์ที่กำหนดเขตการใช้ที่ดินเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการกำหนดเขตการใช้ที่ดิน
3. ให้คำปรึกษา วินิจฉัยปัญหาที่สำคัญเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล และการจัดทำข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ของพืชเศรษฐกิจแก่นักวิจัยบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อประโยชน์สูงสุดของงานวิจัย
4. ให้คำปรึกษา แนะนำ ถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีระยะไกล ในการดำเนินงาน วิเคราะห์วิจัยของกรมพัฒนาที่ดินเพื่อให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ที่กำหนดไว้
5. ประสานงานและให้ความร่วมมือกับหน่วยงานและองค์กรที่เกี่ยวข้อง ทั้งในและต่างประเทศเพื่อสร้างความร่วมมือในทางวิชาการ
6. ปฏิบัติงานอื่นๆ ตามที่ได้รับมอบหมาย เพื่อสนับสนุนให้สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดินในภาพรวมบรรลุภารกิจที่กำหนดไว้

ส่วนที่ 2 ผลงานที่เป็นผลการปฏิบัติงานหรือผลสำเร็จของงาน

1. ชื่อเรื่อง การใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลเพื่อศึกษารูปแบบการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ
Using of remote sensing for economic crop growth pattern study

2. ระยะเวลาการดำเนินการ เมษายน 2564 – ธันวาคม 2565

3. ความรู้ ความชำนาญงาน หรือความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการ ผู้จัดทำได้ประยุกต์ใช้ความรู้ด้านเกษตรศาสตร์ ความรู้ด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ และความรู้ด้านสถิติ ทั้งจากการตรวจสอบเอกสารและประสบการณ์ ในการปฏิบัติงานโดยนำมาสังเคราะห์และบูรณาการร่วมกัน เนื่องจากในการศึกษาการดำเนินงาน มีหลายขั้นตอนและแต่ละขั้นตอนจำเป็นต้องนำความรู้มาบูรณาการใช้ร่วมกันที่แตกต่างกัน ได้แก่

3.1 ความรู้ด้านเกษตรศาสตร์

3.1.1 การใช้ความรู้ด้านเกษตรศาสตร์ในขั้นตอนการวางแผนการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ได้ตั้งข้อสมมุติฐานไว้ว่าพืชต่างชนิดกันจะมีลักษณะทางกายภาพ การเจริญเติบโต และชีพลัษณในแต่ละช่วงอายุที่ต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการสะท้อนแสงและการดูดซับ แสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน โดยคลื่นแสงที่สะท้อนกลับป้อนสามารถจัดเก็บและตรวจวัดได้โดย เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล นอกจากนี้ความรู้ด้านเกษตรศาสตร์นำมาใช้ จำเป็นต้องทราบถึงลักษณะ ด้านสรีรวิทยาพืช การเจริญเติบโต วงจรชีวิต และการจัดการแปลงปลูกของพืชแต่ละชนิด

3.1.2 การใช้ความรู้ด้านเกษตรศาสตร์ในขั้นตอนการตรวจสอบเอกสารเพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

การตรวจสอบเอกสารเพื่อรวบรวมและกลั่นกรองข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย การกำหนด กรอบเนื้อหา เพื่อใช้รวบรวมเนื้อหาด้านเกษตรศาสตร์ที่สอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ โดยการรวบรวมข้อมูล ที่เกี่ยวกับลักษณะการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางชีพลัษณของพืชเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความอุดมสมบูรณ์ในด้านของทรัพยากรธรรมชาติ และได้ชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมมาช้านาน เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตภูมิประเทศที่เอื้ออำนวยต่อการทำการเกษตร ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพทางการเกษตร พืชของประเทศไทยนับว่าเป็นสินค้าส่งออก ที่ค่อนข้างมีชื่อเสียงในระดับโลกอย่างมาก หลายๆ ชาติต่างให้การยอมรับว่าพืชที่มีคุณภาพดี แม้ว่าจะ พยายามพัฒนาไปสู่ความเป็นประเทศอุตสาหกรรมเพียงใดก็ตามแต่ก็ยังคงพึ่งพาอาศัยเกษตรกรรมอยู่ เช่นเดียวกับประเทศที่ได้พัฒนาไปแล้วทั้งหลายซึ่งวิวัฒนาการและพัฒนาการเกษตรของไทยได้ เปลี่ยนแปลงได้ ตามยุคสมัยและตามกระแสการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของโลกมาตามลำดับ (กิตติศักดิ์, 2564) ภาคเกษตรนับได้ว่ามีบทบาทสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ เพราะนอกจากจะก่อให้เกิดรายได้

แล้วคนส่วนใหญ่ของประเทศยังประกอบอาชีพเกษตรกรรม หากมีรายได้จากการขายสินค้าเกษตรที่ดีก็จะเป็นกำลังซื้อสำคัญของประเทศที่จะผลักดันเข้าสู่การกระตุ้นเศรษฐกิจภาคธุรกิจอื่นต่อไป อย่างไรก็ตามราคาสินค้าเกษตรในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ อาทิ อ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมัน ยังคงผันผวน ซึ่งอาจจะเกิดจากปริมาณผลผลิตที่ได้รับผลกระทบจากภัยธรรมชาติ และความต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ (กองดัชนีเศรษฐกิจการค้า, 2563)

1.1) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตพืช

การเจริญเติบโต คือ ขบวนการสะสมและเพิ่มพูนเซลล์ใหม่ให้แก่ส่วนต่าง ๆ ของพืช ต้นไม้มีการเจริญเติบโตทั้งความสูงและความโต ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของเยื่อเจริญในช่วงระยะเวลาที่กำหนด (พงษ์ศักดิ์, 2521) การเจริญเติบโตของต้นไม้เป็นผลเนื่องมาจากการกระทำของปัจจัย 2 ปัจจัยรวมกัน คือ ปัจจัยทางด้านพันธุกรรม และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

1.1.1) ปัจจัยทางด้านพันธุกรรม (Genetic Factor) เป็นปัจจัยที่มาจากภายในพืช พืชพันธุ์ต่าง ๆ ประกอบด้วยจีน (gene) ซึ่งเป็นหน่วยทางพันธุกรรมขนาดเล็กอยู่บนโครโมโซม (chromosome) ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต เป็นหน่วยที่สืบทอดจากพ่อแม่ไปสู่ลูก ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตทั้งลักษณะที่สามารถมองเห็นได้ เช่น รูปร่าง ทรงต้น ความสูง ลักษณะใบ ลักษณะดอก รูปทรงผล เป็นต้น และลักษณะที่ไม่สามารถมองเห็นได้ เช่น คุณภาพของผลผลิต ได้แก่ น้ำตาล แป้ง ไขมัน โปรตีน เป็นต้น การใช้น้ำ การใช้อาหารแร่ธาตุ เป็นต้น นักปรับปรุงพันธุ์พืชจึงได้นำหลักการนี้มาใช้ในการผสมพันธุ์พืชให้มีลักษณะดีตามความต้องการ การเลือกใช้พันธุ์ที่ดีประกอบกับการจัดการให้สภาพแวดล้อมอื่น ๆ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชย่อมทำให้ผลผลิตสูงขึ้น การเลือกใช้พันธุ์ที่ดีนับเป็นทางเลือกในการเพาะปลูกเพราะทำให้มีโอกาสที่จะได้ผลผลิตสูงขึ้น

1.1.2) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environment Factor)

(1) แสง เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช เพราะแสง เป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างอาหารหรือการสังเคราะห์แสงของพืช (photosynthesis) โดยมีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นตัวรับแสงไปใช้เป็นพลังงานในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นคาร์โบไฮเดรตและออกซิเจน แสงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น การงอกของเมล็ด พันธุ์แต่ละชนิดต้องการแสงไม่เหมือนกัน ช่วงแสง (photoperiod) หรือความยาวนานของช่วงแสง มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตด้านลำต้นและการเจริญเติบโตด้านสืบพันธุ์ ความยาวของช่วงกลางวันที่มีผลต่อการออกดอกของพืช เรียกว่าพืชวันสั้น (short day plants) พืชวันยาว (long day plants) และพืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง (day neutral plants) ความเข้มของแสง (light intensity) พืชแต่ละชนิดต้องการความเข้มของแสงไม่เท่ากัน ความยาวของคลื่นแสง (light spectrum) มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ คลื่นแสงที่มองไม่เห็น (invisible light) เป็นตัวการในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และแสงอินฟราเรด (infra red) ซึ่งจะทำให้ปล้องของพืชยืดยาวออก ส่วนคลื่นแสงที่มองเห็น (visible light) มีผลต่อพืช คือ แสงสีม่วงและสีน้ำเงิน แสงสีเขียวระงับการเจริญเติบโตของพืช แสงสีแดง ส่งเสริมการงอกของเมล็ด แสงสีไกลแดง (far red) ยับยั้งการงอกของเมล็ด โดยมากแล้วพืช

มักต้องการแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงเป็นหลัก แต่สัดส่วนของแสงสีน้ำเงินต่อแสงสีแดงที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดพืช

(2) อุณหภูมิ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชและมีผลต่อกระบวนการต่าง ๆ ของพืช เช่น กระบวนการหายใจ กระบวนการสังเคราะห์แสงและการคายน้ำของพืช พืชแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิสูงแตกต่างกัน การจำแนกพืชตามอุณหภูมิที่เหมาะสมแบ่งพืชออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ พืชเขตร้อน (tropical plants) เป็นพืชที่ต้องการอุณหภูมิก่อนข้างสูงอยู่ในเขตร้อนศูนย์สูตรและบริเวณใกล้เคียงเส้นศูนย์สูตร เช่น มะม่วง ทุเรียน และลางสาด พืชกึ่งเขตร้อน (subtropical plants) เป็นพืชที่ต้องการอากาศ ค่อนข้างเย็น อุณหภูมิต่ำประมาณ 5 ถึง 8 องศาเซลเซียส (ยังไม่ถึงขั้นสภาวะน้ำค้างแข็งหรือหิมะ) นานพอที่จะกระตุ้นให้เกิดตาดอกและผล เช่น ส้ม ลำไย และลิ้นจี่ พืชเขตหนาว (temperate plants) ได้แก่ พืชที่ต้องการอากาศหนาวเย็นประมาณ 0 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่าเป็นเวลาตลอดฤดูหนาว ระยะเวลาพืชจะพักตัวเป็นส่วนมาก และพร้อมที่จะผลิิตตาดอกและให้ผลใน ฤดูใบไม้ผลิถัดมา โดยมากมักจะสลัดใบในฤดูหนาว เช่น แอปเปิ้ล ท้อ และทิวลิป เป็นต้น

(3) อากาศที่อยู่ในบรรยากาศทั่วไปและในดิน มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ อากาศในดินส่วนใหญ่ประกอบด้วย ก๊าซออกซิเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนก๊าซอื่น ๆ มีปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย รากพืชใช้ก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในดินในการหายใจ ถ้าในดินมีก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอจะทำให้รากพืชไม่เจริญเติบโต มีผลโดยตรงต่อการดูดน้ำและแร่ธาตุอาหาร ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดิน ถ้ามีมากเกินไปจะเป็นพิษต่อพืช รากพืชดูดน้ำและธาตุอาหารได้น้อยลง

(4) น้ำเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิต และการเจริญเติบโตของพืช น้ำเป็นตัวช่วยละลายธาตุอาหารพืชที่อยู่ในดินให้อยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งรากพืชสามารถดูดเอาไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แสงของพืช ช่วยลำเลียงแร่ธาตุ อาหาร แป้ง และน้ำตาล ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช และช่วยปรับระดับอุณหภูมิภายในต้นพืชด้วยการคายน้ำ ถ้าพืชเสียน้ำมากจะทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต แบ่งพืชออกตามความต้องการน้ำออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ พืชที่ต้องการน้ำปริมาณมาก ได้แก่ ข้าว ผักกระเฉด และบัวพืชที่ต้องการน้ำปริมาณปานกลาง เป็นพืชที่ขึ้นได้ดีในที่ดอนทั่วไป มีทั้งพืชไร่ พืชสวน เช่น แตงกวา ถั่วเหลือง ข้าวโพด ส้ม มะม่วง พืชที่ต้องการน้ำปริมาณน้อย เป็นพืชที่ทนความแห้งแล้งได้ดีเหมาะที่จะปลูกในที่ที่ปริมาณฝนตกน้อยหรือในที่ที่เป็นดินร่วนปนทรายซึ่งอุ้มน้ำได้ไม่ดี เช่น มันสำปะหลัง กระบองเพชร

(5) ดิน พืชส่วนใหญ่มักเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความร่วนซุย มีปริมาณน้ำ อากาศ และธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างเพียงพอส่วนประกอบของดินที่มีคุณภาพดีและให้ผลผลิตสูง ควรที่จะมีส่วนประกอบตามสัดส่วนดังนี้แร่ธาตุร้อยละ 45 อินทรีย์วัตถุร้อยละ 5 อากาศร้อยละ 25 น้ำร้อยละ 25 ลักษณะเนื้อดินที่ใช้ในการเพาะปลูกแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ ดินเหนียว คือ ดินที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคดินเล็กที่สุด เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร เป็นดินที่มีการจับตัวกันอย่าง

หนาแน่น มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินน้อย ดินเหนียวจึงมีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำได้ดีที่สุด ดินร่วน คือ ดินที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคดินตั้งแต่ 0.002 ถึง 0.05 มิลลิเมตร ดินชนิดนี้มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินมาก น้ำและอากาศผ่านได้ง่าย อุ้มน้ำได้น้อยกว่าดินเหนียว ดินทราย คือ ดินที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคดินตั้งแต่ 0.05 ถึง 2.0 มิลลิเมตร ลักษณะเนื้อดินหยาบ เม็ดดินไม่เกาะตัวกัน มีช่องว่างในดินมาก ระบายน้ำได้ดีด้วยเหตุนี้ดินทรายจึงเป็นดินที่ไม่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชส่วนมากอยู่ในช่วง ประมาณ 5.5 ถึง 7.0 โดยทั่วไปหากดินไม่เหมาะสมแก่การปลูกพืช จะต้องแก้ไขปรับปรุงดิน

(6) ธาตุอาหาร (mineral หรือ nutrient) พืชมีความต้องการธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตธาตุอาหารที่พืชต้องการในการเจริญเติบโตมี 16 ธาตุ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามปริมาณที่พืชต้องการ ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก (macronutrients) ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) เนื่องจาก 3 ธาตุนี้พืชใช้มากแต่มักจะได้รับจากดินไม่ค่อยเพียงพอกับความต้องการต้องใส่ปุ๋ยอยู่เสมอธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) เป็นกลุ่มที่พืชต้องการในปริมาณที่น้อยกว่า และไม่ค่อยมีปัญหาขาดแคลนในดิน ธาตุอาหารรอง (micronutrients) เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการใช้เป็นปริมาณน้อย มีอยู่ 7 ธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โบรอน (B) โมลิบดีนัม (Mo) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) และคลอรีน (Cl) ธาตุอาหารแต่ละชนิดมีความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่น้อยไปกว่ากัน ต่างกันแต่เพียงปริมาณที่พืชต้องการเท่านั้น ดังนั้นพืชจึงขาดธาตุใดธาตุหนึ่งไม่ได้หากพืชขาดธาตุอาหารแม้แต่เพียงธาตุเดียว พืชจะหยุดการเจริญเติบโต แคระแกร็นไม่ให้ผลผลิตและตายในที่สุด

2) ชีพลักษณะของพืช

ชีพลักษณะ (phenology) เป็นการศึกษาขั้นตอนที่เกิดขึ้นประจำของพืชและสัตว์ ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาของเหตุการณ์ตามฤดูกาล เช่น การแตกหน่อ การออกดอก การพักตัว การอพยพ การจำศีล และการแก่ชรา และมีความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงของชีพลักษณะเชื่อมโยงกับฤดูปลูกและส่งผลต่อการทำงานของระบบนิเวศและผลผลิต ได้รับผลกระทบทั้งเกษตรกรรม ป่าไม้ และรวมถึงสัตว์ป่า เช่น ช่วงเวลาของการไถพรวน การหว่าน และการเก็บเกี่ยว มีการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อมบางอย่างมีผลต่อชีพลักษณะของพืชที่เปลี่ยนไป เช่น ผลไม้จะสุกเร็วขึ้นเนื่องจากฤดูร้อนที่ร้อนขึ้น (Menzel *et al.*, 2006; Azizan *et al.*, 2021) นอกจากนี้การตอบสนองชีพลักษณะบางอย่างถูกกระตุ้นโดยปัจจัยบางอย่าง เช่น อุณหภูมิ ความยาวของวัน เป็นต้น (Menzel *et al.*, 2006) การศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงทางชีพลักษณะพืช ตั้งแต่การงอกไปจนถึงการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ การพัฒนานี้เกี่ยวข้องขั้นตอนที่เป็นวัฏจักร เช่น การผลิตใบ ดอก และ ผล การศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงทางชีพลักษณะพืชสามารถใช้ประยุกต์ใช้เพื่อการจัดการระบบการปลูกพืชซึ่งมีการใช้มาอย่างยาวนาน เช่น ชาวมายาโบราณเข้าใจความสัมพันธ์ของพืชกับสิ่งแวดล้อมเมื่อเผชิญกับภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งจากความเข้าใจนี้ทำให้ชาวมายามีการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดตามช่วงอายุที่ต่างกัน ได้แก่

พันธุ์ที่มีอายุสั้น ใช้ระยะเวลาปลูก 7 ถึง 10 สัปดาห์ และพันธุ์ที่มีอายุยาวใช้ระยะเวลาปลูก 12 ถึง 16 สัปดาห์ ซึ่งระยะเวลาการเพาะปลูกมีความสำคัญต่อการจัดการและผลผลิตที่ได้รับ (Menzel *et al.*, 2006)

2.1) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อย

อ้อย (*Saccharum officinarum* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยในฤดูกาลผลผลิตปี 2557/2558 มีพื้นที่ปลูกมากกว่า 10 ล้านไร่ ผลผลิตประมาณ 105.9 ล้านตัน และผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 10 ตันต่อไร่ ซึ่งนับว่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศคู่แข่งทั้ง ๆ ที่ประเทศไทยมีสภาพทางภูมิศาสตร์และภูมิอากาศเหมาะสมต่อการปลูกอ้อยเป็นอย่างมาก แต่ข้อจำกัดที่ทำให้ผลผลิตอ้อยในภาพรวมของประเทศต่ำ เนื่องจากเกษตรกรผู้ปลูกอ้อยส่วนใหญ่ปลูกอ้อยโดยอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ประกอบกับเกษตรกรบางส่วนไม่มีความชำนาญในการปลูกอ้อย ทั้งยังขาดความรู้ความเข้าใจด้านการบริหารจัดการด้านน้ำดินและปุ๋ย รวมถึงไม่สามารถเข้าถึงหรือรับรู้ถึงเทคโนโลยีที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, ม.ป.ป.) ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อย มี 2 ปัจจัยหลัก คือ

2.1.1) ปัจจัยด้านพันธุกรรมอ้อย

พันธุ์อ้อยจะเป็นตัวกำหนดผลผลิตอ้อย จากการประเมินผลผลิตของอ้อยพันธุ์ต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้นโดยกรมวิชาการเกษตร โดยนายวิระพล พลรักดี ผู้เชี่ยวชาญด้านพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร พบว่า ความแปรปรวนของผลผลิตอ้อย เกิดจากปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ดังนี้ ในอ้อยปลูกเท่ากับร้อยละ 73.9 9.6 และ 16.5 ในอ้อยต่อ 1 เท่ากับร้อยละ 67.1 17.2 และ 15.7 และในอ้อยต่อ 2 เท่ากับร้อยละ 43.3 36.3 และ 20.4 ตามลำดับ จากข้อมูลนี้ แสดงว่า ผลผลิตอ้อยจะขึ้นกับอิทธิพล ของสภาพแวดล้อมเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอ้อยปลูก และอิทธิพลของสภาพแวดล้อม จะลดลง ในอ้อยต่อ ส่วนอิทธิพลของพันธุ์มีค่อนข้างน้อยในอ้อยปลูก แต่จะเพิ่มมากขึ้นใน อ้อยต่อ ดังนั้น การเลือกพันธุ์อ้อยที่ดี จึงมีความสำคัญ เกษตรกรสามารถเลือกพันธุ์ที่ดีมาปลูกในพื้นที่ของตนเองได้แต่สภาพแวดล้อมเป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยาก (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2563) พันธุ์อ้อยที่ปลูกเป็นการค้าในประเทศไทยแบ่งออกเป็น ๒ ประเภท คือ อ้อยเคี้ยว (chewing cane) และ อ้อยโรงงาน (industrial cane) ซึ่งอ้อยโรงงานเป็นอ้อยสำหรับทำน้ำตาล เป็นอ้อยลูกผสมซึ่งเกิดขึ้นโดยนักผสมพันธุ์อ้อยของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก พันธุ์อ้อยเหล่านี้ได้ถูกนำเข้าไปยังประเทศต่าง ๆ สำหรับประเทศไทยได้มีการนำพันธุ์อ้อยลูกผสมเข้ามาจากต่างประเทศตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมประมาณ ๒๒๐ พันธุ์ ในจำนวนนี้มีเพียง ๒๐ พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้าอยู่ในภาคต่าง ๆ (เกษม, ม.ป.ป.) โดยพันธุ์อ้อยที่เหมาะสมสำหรับปลูกในภาคกลาง ได้แก่ ได้แก่ LK92-11, ขอนแก่น 3, K88-92, K99-72, อุทอง 7 เป็นต้น ทั้งนี้ชาวไร่อ้อยแต่ละราย ควรเลือกพันธุ์อ้อยที่เหมาะสมกับสภาพท้องถิ่นของตนเอง และเลือกใช้อ้อยอย่างน้อย 2 ถึง 3 พันธุ์ โดยเลือกพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น อายุปานกลาง และอายุยาว เพื่อวางแผนเก็บเกี่ยวอ้อยแต่ละพันธุ์ส่งโรงงานในช่วงต้นฤดูหีบ กลางฤดูหีบ และปลายฤดูหีบ พันธุ์อ้อยที่เลือกใช้ นอกจากให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพความหวานมากกว่า 10 ซีซีเอส แล้วควรเป็นพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรคหรือแมลงที่มีการระบาดมากในแต่ละท้องถิ่น เช่น เป็นพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรคเหี่ยวเน่าแดง โรคแสดดำ โรคกอตะไคร้

และด้านทานต่อแมลงศัตรูอ้อยชนิดต่าง ๆ พันธุ์อ้อยที่ดี ควรเป็นพันธุ์ที่มีความสามารถในการไวต่อได้ ไม่น้อยกว่า 2 ครั้ง และมีผลผลิตลดลงจากอ้อยปลูกไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์อ้อยจะเป็นตัวกำหนด ผลผลิตอ้อยต้นต่อไร่ (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2561) โดยอนุรักษ์ และคณะ (2562) รายงานว่า เกษตรกร ในจังหวัดกาญจนบุรี สุพรรณบุรี และราชบุรี นิยมปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 พันธุ์ LK92-11 พันธุ์อุทอง (อุทอง 9 11 12 และ 15) พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์อื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 57.47 19.54 10.92 6.90 และ 5.17 ตามลำดับ โดยพันธุ์ LK92-11 และ พันธุ์อุทอง เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกไวต่อเนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ เกษตรกรใช้ปลูกมานาน ขณะที่พันธุ์ขอนแก่น 3 เป็นพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูง โดยลักษณะประจำพันธุ์ของ อ้อยแต่ละพันธุ์มีดังนี้

- พันธุ์ขอนแก่น 3 ทรงกอตั้งตรง ลำขนาดปานกลาง แตกกอปานกลาง (49 ลำต่อกอ) ปล้องทรงกระบอก สีเหลือง อมเขียว และเปลี่ยนเป็นสีส้มแดงเมื่อโดนแสง การเรียงตัวของปล้องเป็นแบบ ซิกแซก ตามลักษณะกลมรี หูใบด้านนอกรูปใบหอกสั้น หูใบด้านในรูปใบหอกยาว คอใบสีเขียวน้ำตาล รูปชายธง ปลายใบโค้ง กาบใบอ้า ลอกง่าย สีเขียว ไม่มีขน ให้ผลผลิตเฉลี่ย 21.7 ต้นต่อไร่ น้ำหนักเฉลี่ย 1.85 กิโลกรัมต่อลำ ฤดูเก็บเกี่ยว ตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน อายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน เหมาะสำหรับปลูกในสภาพดินร่วนปนทราย สภาพพื้นที่เป็นที่ราบหรือที่ดอน น้ำไม่ท่วมขัง และระบายน้ำดี ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ที่เหมาะสม ระหว่าง 5.5 ถึง 7.5 ในการปลูกอ้อยควรมีการเตรียมดินก่อน กำจัดวัชพืชและปรับปรุงโครงสร้างของดินให้เหมาะสมกับการปลูกอ้อย และควรบำรุงดินในแปลงปลูก อย่างสม่ำเสมอ โดยอ้อยปลูกและอ้อยต่อ ที่ปลูกในพื้นที่ดินเหนียวของจังหวัดพิษณุโลก พันธุ์ขอนแก่น 3 ให้ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 12 ถึง 22 ต้นต่อไร่ ความหวาน 12 ถึง 13 ซีซีเอส มีอายุเก็บเกี่ยวที่ 12 เดือน การเจริญโตเร็วสามารถไวต่อได้ดี (พิชัย และ อนุพงศ์, 2022)

- พันธุ์ LK92-11 (สอน.12) ให้ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 15 ถึง 16 ต้นต่อไร่ ความหวาน 13 ถึง 14 ซีซีเอส มีอายุเก็บเกี่ยวที่ 11.5 ถึง 13.5 เดือน การเจริญโต ช่วง 4 เดือนแรก ค่อนข้างช้า แต่สามารถไวต่อได้ดี (พิชัย และ อนุพงศ์, 2022) ให้ผลผลิต 17 ถึง 18 ต้นต่อไร่ ในเขต ชลประทาน ความหวาน 12 ถึง 14 ซีซีเอส โตช้าในช่วง 4 เดือนแรก การไวต่อดี แตกกอดีมาก (6 ถึง 8 ลำต่อกอ) ออกดอกเล็กน้อยในพื้นที่ลุ่มมีน้ำขัง หักล้มเล็กน้อย ทนแล้งปานกลาง (กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป.)

- พันธุ์อุทอง มีการพัฒนาพันธุ์ขึ้นหลายสายพันธุ์ เช่น

อ้อยพันธุ์อุทอง9 (99-2-168) เป็นลูกผสมจากพันธุ์แม่ 94-2-128 กับ พันธุ์พ่อ 94-2-270 ให้ผลผลิตน้ำหนักเฉลี่ย 17.50 ต้นต่อไร่ และให้ผลผลิตน้ำตาล 2.45 ต้นซีซีเอสต่อไร่ ด้านทานโรคเหี่ยวเน่าแดงปานกลาง แนะนำให้ปลูกในดินร่วนปนทรายและมีการให้น้ำเสริม

อ้อยพันธุ์อุทอง12 (02-2-477) เป็นลูกผสมของพันธุ์แม่สุพรรณบุรี 80 กับ พันธุ์พ่ออุทอง3 ให้ผลผลิตน้ำหนักเฉลี่ย 16.92 ต้นต่อไร่ และให้ผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 2.40 ต้นซีซีเอสต่อไร่ ด้านทานโรคเหี่ยวเน่าแดง โรคเส้ดาระดับปานกลาง เป็นอ้อยที่ล้มยาก ไม่ออกดอก แนะนำให้ปลูกในเขตชลประทาน

อ้อยพันธุ์อุทอง15 (84-2-254) เป็นลูกผสมตัวเองของพันธุ์อุทอง 2 ในฤดูปลายฝน เขตน้ำฝนให้ผลผลิตเฉลี่ย 17.91 ต้นต่อไร่ ให้ผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 2.37 ต้นซีซีเอสต่อไร่ เมื่อปลูก

ในช่วงปลายฝน (อ้อยข้ามแล้ง) และให้ผลผลิตเฉลี่ย 14.16 ตันต่อไร่ ให้ผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 1.98 ตันซีซีเอสต่อไร่ เมื่อปลูกช่วงต้นฝนแนะนำในพื้นที่ปลูกปลายฝน จังหวัดบุรีรัมย์ ขอนแก่น นครราชสีมา และชลบุรี และพื้นที่ปลูกต้นฝน จังหวัดลพบุรี และกาญจนบุรี ควรหลีกเลี่ยงพื้นที่มีน้ำขัง และมีโรคเหี่ยวเน่าแดงระบาด

2.1.2) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของอ้อย

- สภาพแวดล้อมทั่วไป อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภูมิภาคแถบร้อนชื้น และกึ่งร้อนชื้น อ้อยที่ปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง และได้รับปัจจัยอันจำเป็นต่อการเจริญเติบโต ครบถ้วนย่อมให้ผลผลิตสูงทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงสำหรับอ้อยหมายถึง ดินที่สามารถในการสนองธาตุอาหารแก่อ้อยได้ครบทุกธาตุแต่ละธาตุเพียงพอและสมดุลกันตามความต้องการของอ้อยในแต่ละระยะของการเจริญเติบโต ดังนั้นเรื่องของธาตุอาหารอ้อยจึงมีสำคัญมาก และเป็นปัจจัยที่จะนำไปสู่ความสำเร็จของการผลิตให้ได้ผลผลิตลำอ้อยและผลผลิตน้ำตาลสูง (ยงยุทธ, 2556) สิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลอย่างมากต่อปริมาณความชื้นในดิน ชนิดของเนื้อดิน และคุณสมบัติทางเคมีของดิน เช่น ภาควกลาง ภาควเหนือ และภาควตะวันออก ปลูกอ้อยโดยอาศัยน้ำฝน และน้ำชลประทาน ในเขตอาศัยน้ำฝน ถ้าเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทราย ส่วนใหญ่จะปลูกอ้อยปลายฤดูฝน แต่ถ้าเป็นดินร่วนหรือร่วนเหนียว จะปลูกอ้อยในช่วงต้นฤดูฝน (มีนาคม ถึง เมษายน) ในเขตชลประทานปลูกอ้อยในเดือนกุมภาพันธ์ ถึง มีนาคม (วิระพล, 2558) แต่อย่างไรก็ตามอ้อยเจริญเติบโตได้ในดินที่มีสมบัติแตกต่างกัน กล่าวคือทนได้ในช่วงความเป็นกรดต่างของดินที่กว้าง (ความเป็นกรดต่าง 4 ถึง 9) แต่อาจมีปัญหาการขาดแคลนธาตุอาหารบางธาตุในดินที่มีสภาพกรดหรือสภาพด่างสูงมาก อ้อยบางพันธุ์สามารถทนต่อสภาพความเค็มระดับปานกลางและการท่วมขังของน้ำในบางช่วงเวลา แต่ดินที่ปลูกอ้อยได้ผลดีต้องไม่มี ปัญหาด้านความเค็ม เนื่องจากค่าความเค็มอันเป็นจุดเริ่มเปลี่ยน (salinity threshold) สำหรับอ้อย คือ 1.7 เดซิซีเมนต่อเมตร (dS/m) ซึ่งหมายความว่าเมื่อระดับความเค็มของดินเกิน 1.7 เดซิซีเมนต่อเมตร ผลผลิตอ้อยจะเริ่มลดลง และมีอัตราการลดลงของผลผลิต 5.9 เปอร์เซ็นต์ ต่อการเพิ่มความเค็มของดิน 1 เดซิซีเมนต่อเมตร ผลผลิตลดลงอย่างรุนแรงที่ระดับความเค็ม 4 ถึง 8 เดซิซีเมนต่อเมตร และหยุดการเติบโตหรือตายเมื่อความเค็มของดินสูงกว่า 10 เดซิซีเมนต่อเมตร (ยงยุทธ, 2556)

- ช่วงเวลาปลูก ในประเทศไทยมีการปลูกอ้อย 3 ช่วง ได้แก่ 1. ปลูกอ้อยต้นฝน (ปลายเมษายน ถึง ต้นมิถุนายน) ควรเลือกพันธุ์อ้อยที่โตเร็ว สะสมน้ำตาลเร็ว มีอายุการเก็บเกี่ยว 9 ถึง 10 เดือน (พันธุ์เบา) 2. ปลูกอ้อยน้ำราด หรือน้ำสูบ (มกราคม ถึง มีนาคม) ควรเลือกพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตเร็ว ถึงปานกลาง มีอายุการเก็บเกี่ยว 11 ถึง 12 เดือน (พันธุ์กลาง) และ 3. ปลูกอ้อยข้ามแล้ง (พฤศจิกายน ถึง ธันวาคม) ควรเลือกพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นในช่วง 4 เดือนแรกช้า แต่มีการพัฒนาระบบรากที่ดี เพราะในช่วงฤดูแล้งดินมักมีความชื้นน้อย หากเลือกใช้พันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้นในช่วงแรกเร็ว พืชจะต้องการน้ำและธาตุอาหารมาก พืชมีโอกาสได้รับน้ำและธาตุอาหารในช่วง 4 เดือนแรกไม่เพียงพอ จะชะงักการเจริญเติบโต ควรเป็นพันธุ์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 13 ถึง 15 เดือน (พันธุ์หนัก)

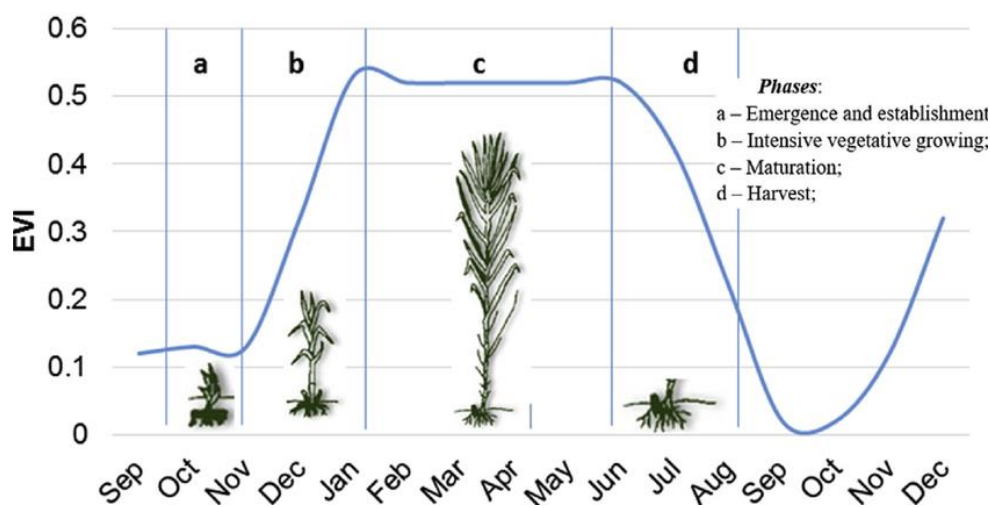
- การเปลี่ยนแปลงด้านสีพลาซมของอ้อย ตั้งแต่ปลูกด้วยท่อนพันธุ์ จนกระทั่งเก็บเกี่ยว อ้อยมีการเจริญเติบโตตามลำดับ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ (ยางยุทธ, 2556; มุลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ, ม.ป.ป.) โดยมีรายละเอียดดังนี้ (ภาพที่ 1)

(1) ระยะงอก (germination phase) ระยะนี้เริ่มตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งหน่อโผล่พื้นดิน ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 2 ถึง 3 สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พันธุ์ การปฏิบัติต่อท่อนพันธุ์ และความหนาของดินที่กลบท่อนพันธุ์ เป็นต้น หน่อที่เกิดจากตาของท่อนพันธุ์ เรียกว่า หน่อแรก (primary shoot) หรือหน่อแม่ (mother shoot) จำนวนท่อนพันธุ์ที่งอกต่อไร่จะเป็นตัวกำหนดจำนวนกออ้อยในพื้นที่นั้น

(2) ระยะแตกกอ (tillering phase) ในระยะงอกนั้นอ้อยแต่ละตาจะงอกขึ้นมาเพียงต้นเดียวเท่านั้น และเมื่อเติบโตพอสมควรจึงจะมีการแตกกอ การแตกกอเป็นลักษณะสำคัญของพืชตระกูลหญ้ารวมทั้งอ้อย เกิดขึ้นเนื่องจาก ตาที่อยู่ส่วนโคนของลำต้นใต้ดินของหน่อแรก เจริญออกมาเป็นหน่อชุดที่สอง และจากหน่อชุดที่สองก็เจริญเป็นหน่อชุดที่สาม หรืออาจจะมีการงอกต่อไปอีก ทำให้มีจำนวนหน่อ หรือลำต้นเพิ่มขึ้น ในระยะนี้อิทธิพลของยอดย่อมมีน้อยมาก จึงไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของตาที่อยู่ส่วนโคนได้ ระยะแตกกอเป็นระยะต่อเนื่องกับระยะงอก การแตกกอจะเริ่มเมื่ออายุประมาณ 1.5 เดือนเป็นต้นไป แต่ระยะที่มีการแตกกอมากที่สุดอยู่ระหว่าง 2.5 ถึง 4 เดือน ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างตามที่กล่าวแล้ว หน่อที่แตกออกมาทั้งหมดในระยะแตกกอนี้ จะเหลือเพียงประมาณครึ่งหนึ่ง เมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยว หน่อที่อ่อนแอกว่าตายไป เพราะการแข่งขันกัน เพื่อปัจจัยในการเจริญเติบโต เช่น แสงแดด น้ำ และธาตุอาหาร เป็นต้น จำนวนลำต้นต่อกอขณะเก็บเกี่ยว ขึ้นอยู่กับจำนวนหน่อในระยะแตกกอนี้

(3) ระยะย่นปล้อง (stalk elongation phase) เป็นระยะต่อเนื่องกับการแตกกอ ระยะนี้จะมีการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของปล้องอย่างรวดเร็ว ทำให้อ้อยทั้งลำต้นเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วด้วย ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่อายุประมาณ 3 ถึง 4 เดือน จนถึงอายุประมาณ 7 ถึง 8 เดือน หลังจากนั้นการเจริญเติบโตจะมีน้อยลง และจะเริ่มมีการสะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้น ขนาดและความยาวของแต่ละต้นในระยะนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักของแต่ละลำต้น และน้ำหนักแต่ละลำต้นมีผลโดยตรงต่อผลผลิตน้ำหนักของอ้อยทั้งไร่ เมื่อเก็บเกี่ยว

(4) ระยะแก่และสุก (maturity and ripening phase) ระยะแก่ คือระยะที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้าลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับระยะต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวแล้ว เมื่อการเจริญเติบโตเริ่มช้าลง น้ำตาลที่ไปสร้างขึ้นจากการสังเคราะห์แสงก็จะถูกใช้น้อยลง และมีเหลือเก็บสะสมในลำต้นมากขึ้น ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของระยะสุกนั่นเอง การสะสมน้ำตาลจะเริ่มจากส่วนโคนไปหาปลาย ดังนั้นส่วนโคนจึงหวานก่อน และมีความหวานมากกว่าส่วนปลาย การสะสมน้ำตาลจะมีมากขึ้นโดยลำดับ จนกระทั่งส่วนโคนส่วนกลาง และส่วนปลาย มีความหวานใกล้เคียงกัน เรียกว่า สุก



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงด้านชีพลักษณ์ของอ้อย
ที่มา : Scarpare (n.d.)

2.2) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* L.) ปลูกได้ในดินทุกชนิด แต่ชอบดินร่วนปนทราย เพราะจะลงหัวและเก็บเกี่ยวง่าย เจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินที่ไม่มีน้ำท่วมขัง มีค่าความเป็นกรดต่างระหว่าง 5.5 ถึง 8.0 ทนต่อสภาพความเป็นกรดสูงได้แม้ ค่าความเป็นกรดต่างของดินจะต่ำจนถึง 4.5 ก็ไม่ทำให้ผลผลิตลด แต่ไม่ทนต่อสภาพพื้นที่เป็นด่าง โดยไม่สามารถขึ้นได้ถ้า ค่าความเป็นกรดต่างสูงถึง 8 ถ้าเป็นดินทรายสามารถปลูกได้ตลอดปี แต่เกษตรกรมักนิยมปลูกปลายฤดูฝน เช่น แถบจังหวัดระยอง และชลบุรี ถ้าเป็นดินเหนียวจะนิยมปลูกต้นฤดูฝน เพราะถ้าเป็นฤดูแล้งการไถพรวนจะได้ดินก้อนใหญ่ ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังจะแห้งตายก่อนที่จะงอก มันสำปะหลังเป็นพืชวันสั้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังมี 2 ปัจจัย คือ

2.2.1) ปัจจัยทางด้านพันธุกรรมมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ 1. ชนิดหวาน เป็นมันสำปะหลัง ใช้เพื่อการบริโภค มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่ำไม่มีรสขม สามารถใช้หัวสดทำอาหารได้โดยตรง เช่น นำไปนึ่ง เชื่อม หรือทอด ซึ่งได้แก่ พันธุ์ห่านาที่ พันธุ์ระยอง 2 เป็นต้น 2. ชนิดขม เป็นมันสำปะหลังที่มีรสขม ไม่เหมาะสมสำหรับการบริโภคของมนุษย์หรือใช้หัวสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง เนื่องจากมีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคสูง มีความเป็นพิษต่อร่างกาย ต้องนำไปแปรรูปเป็นมันอัดเม็ดหรือมันเส้นแล้วจึงนำไปเลี้ยงสัตว์ได้ ซึ่งได้แก่ พันธุ์ระยอง 1 ระยอง 2 ระยอง 5 ระยอง 60 ระยอง 90 และเกษตรศาสตร์ 50 สำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นชนิดขม เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมโดยพันธุ์ที่ปลูกกันมากคือพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นพันธุ์ที่มีการนำเข้ามาจากประเทศมาเลเซีย ต่อมากรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัย ได้มีการปรับปรุงพันธุ์และแนะนำให้เกษตรกรนำไปปลูกจำนวน 7 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ระยอง 1 พันธุ์ระยอง 2 พันธุ์ระยอง 5 พันธุ์ระยอง 60 พันธุ์ระยอง 90 และพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

(สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครสวรรค์, 2564) พันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมสำหรับปลูกในจังหวัดราชบุรี ได้แก่ พันธุ์ระยอง 5, 7, 9 และ 72 อย่างไรก็ตาม พันธุ์ระยอง 7 ให้ผลผลิตดีในทุกอำเภอ (กรมวิชาการเกษตร, 2563)

- พันธุ์ระยอง 5 มีลำต้นสีเขียวอมน้ำตาล สูงประมาณ 170 เซนติเมตร มีระดับการแตกกิ่ง 2 ถึง 3 ระดับ ความสูงของการแตกกิ่งระดับแรก 100 ถึง 120 เซนติเมตร มุมของกิ่ง 15 ถึง 30 องศา แผ่นใบมีรูปร่างเป็นแบบใบหอก ใบแก่สีเขียวเข้ม ก้านใบสีแดงเข้ม ยอดอ่อนสีม่วงอมน้ำตาล หัวรูปร่างป้อมอ้วน เปลือกสีน้ำตาลอ่อน เนื้อสีขาวลักษณะเด่น ผลผลิตหัวสดสูง 4,420 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์ ระยอง 1 ร้อยละ 23 ให้ผลผลิตแป้งสูง 1,027 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์ระยอง 1 ระยอง 3 ร้อยละ 44 และ 35 ตามลำดับ ให้ผลผลิตมันแห้งสูง 1,554 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์ระยอง 1 ระยอง 3 ร้อยละ 23 และ 37 ตามลำดับ สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี มีความงอกดีและอยู่รอดถึงการเก็บเกี่ยวมากถึงร้อยละ 93 สามารถต้านทานโรคใบไหม้ปานกลาง ปลูกได้ทั้งภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เป็นแหล่งปลูกมันสำปะหลังของประเทศในต้นฤดูฝน และปลายฤดูฝน (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพะเยา, 2563; กรมวิชาการเกษตร, 2563)

- พันธุ์ระยอง 7 ลำต้นสีน้ำตาลอ่อน ตั้งตรง ไม่โค้งงอและไม่แตกกิ่ง ส่วนใบสีเขียวอ่อน ใบกลางคล้ายรูปหอก ใบยอดสีเขียวอ่อน ก้านใบสีเขียวอ่อนมันแดง ส่วนหัวมีเปลือกสีครีม เนื้อสีขาว และไม่มีก้านหัว ความสูงของลำต้น 183 เซนติเมตร มีลำต้นที่แตกออกจากท่อนปลูก 3 ลำต้น ลักษณะเด่นให้ผลผลิตเฉลี่ย 5.76 ตันต่อไร่ น้ำหนักเฉลี่ย 3.60 กิโลกรัมต่อหัวสด ฤดูเก็บเกี่ยว เดือนตุลาคม ถึง เมษายน อายุการเก็บเกี่ยว 10 ถึง 16 เดือน สามารถปลูกได้ในพื้นที่ดอน สภาพดินร่วนปนทราย ดินเหนียว ดินเหนียวร่วนปนทราย น้ำไม่ท่วมขัง ค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.5 ถึง 6 ปลูกได้ในทุกพื้นที่ที่มีการปลูกมันสำปะหลัง และปลูกได้ดีทั้งในต้นฤดูฝนและปลายฤดูฝน (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพะเยา, 2563; กรมวิชาการเกษตร, 2563)

- พันธุ์ระยอง 9 ปลูกได้ทั่วไปทั้งในภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ศักยภาพในการให้ผลผลิตขึ้นกับศักยภาพของพื้นที่ ปริมาณน้ำฝน และการดูแลรักษา พื้นที่ที่ให้ผลผลิตได้ดี ได้แก่ พื้นที่ที่เป็นดินร่วนปนทราย ไม่เป็นที่ลุ่มน้ำขัง ไม่เป็นดินทรายจัด ร่วนเหนียวหรือลูกรัง และไม่เป็นดินต่ง คือ ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุประมาณ 1 ปี ถ้าเก็บเกี่ยวเร็วจะให้ผลผลิตหัวสดต่ำกว่าพันธุ์มาตรฐานอื่นๆ เนื่องจาก พันธุ์ระยอง 9 มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง แต่สะสมน้ำหนักหัวให้ผลผลิตแห้ง 1.24 ตันต่อไร่ เป็นผลผลิตมันแห้ง 2.11 ตันต่อไร่ ไร่ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์มาตรฐานอื่นๆ ในหลายพื้นที่ ให้ผลผลิตเอทานอลสูงกว่าพันธุ์มาตรฐาน ทุกพันธุ์และทุกช่วงอายุการเก็บเกี่ยว โดยเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 8 ถึง 12 และ 18 เดือน จะให้ผลผลิตเอทานอล 191,208 และ 194 ลิตร จากหัวสด 1 ตัน ซึ่งจะสูงกว่าพันธุ์ระยอง 90 ที่ให้เอทานอลเพียง 170,174 และ 155 ลิตร จากหัวสด 1 ตัน (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพะเยา, 2563; กรมวิชาการเกษตร, 2563)

- พันธุ์ระยอง 72 ทรงต้นเตี้ย แตกกิ่งเล็กน้อย ในระดับที่สูงจากโคนต้น ประมาณ 1 เมตรทำให้สามารถขยายท่อนพันธุ์ได้มากขึ้นเมื่อพิจารณาพื้นที่ปลูกมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินทราย พืชบางชนิด ให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย 5.09 ตันต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์มาตรฐาน ระยอง 1

ระยะ 5 ระยะ 90 และเกษตรศาสตร์ 50 ร้อยละ 27 18 26 และ 16 ตามลำดับ หัวสดมีเปอร์เซ็นต์แป้ง ร้อยละ 21 ให้ผลผลิตแป้งเฉลี่ย 1.07 ตันต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์มาตรฐานระยะ 1 ระยะ 5 ระยะ 90 และ เกษตรศาสตร์ 50 ร้อยละ 36 12 16 และ 7 ตามลำดับ ให้ผลผลิตมันแห้งเฉลี่ย 1.70 ตันต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์ มาตรฐาน ระยะ 1 ระยะ 5 ระยะ 90 และเกษตรศาสตร์ 50 ร้อยละ 31 15 22 และ 12 ตามลำดับ เป็น พันธุ์ที่ปรับตัวได้ดี ในสภาพแวดล้อมทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยให้ผลผลิตหัวสดสูงถึง 5.55 ตันต่อไร่ ผลผลิตแป้ง 1.23 ตันต่อไร่ และผลผลิตมันแห้ง 1.91 ตันต่อไร่ ท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูกมีความงอกดี ไม่มีปัญหาของโรคต้นเน่า จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตโดยมีความอยู่รอดถึงการเก็บเกี่ยวสูง 92 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูง ประกอบกับเกษตรกรไม่มีเงินลงทุน ดังนั้น มันสำปะหลังพันธุ์ระยะ 72 จึงเป็นพืชที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ขาดฝนอย่างต่อเนื่องนาน 1-2 เดือน แต่ยังสามารถ เจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้อย่างเหมาะสม ดังนั้น จึงแนะนำให้เกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือปลูก ซึ่งจะให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์เดิมที่เคยใช้ปลูกและเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรโดยตรง (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพะเยา, 2563; กรมวิชาการเกษตร, 2563)

- พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลำต้น โค้งเล็กน้อย สีเขียวเงิน สูง 180 ถึง 250 เซนติเมตร แตกกิ่งระดับแรกที่สูง 80 ถึง 150 เซนติเมตร ผลผลิตเฉลี่ย 4.4 ตันต่อไร่ มีแป้งเฉลี่ยร้อยละ 23 ในฤดูฝน และร้อยละ 28 ในฤดูแล้ง ต้นพันธุ์เก็บไว้ได้นานประมาณ 30 วันหลังจากตัดต้น ลักษณะเด่น คือ ผลผลิตสูง ปริมาณแป้งสูง ต้นพันธุ์เก็บไว้ได้นาน (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพะเยา, 2563; สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครสวรรค์, 2564)

2.2.2) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

- สภาพแวดล้อมทั่วไป มันสำปะหลังเป็นพืชที่เกษตรกรในหลายประเทศ โดยเฉพาะในพื้นที่แห้งแล้ง (ปณิธิ และคณะ, 2558) แต่อย่างไรก็ตาม สภาพพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูก มันสำปะหลัง เป็นพื้นที่ที่สูงจากระดับทะเลปานกลางไม่เกิน 2,000 เมตร มีความลาดชันที่เหมาะสมดี ไม่เกินร้อยละ 5 สามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 5 แต่ไม่เกินร้อยละ 35 และสภาพพื้นที่ที่ไม่มีน้ำท่วมขังลักษณะดินที่เหมาะสม มันสำปะหลังสามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย การระบายน้ำดี ปลูกได้ในสภาพที่มี ปฏิกริยาดินเป็นกรดรุนแรงมากถึงด่างปานกลาง (pH 4.0 ถึง 8.4) และไม่เป็นดินเค็ม สภาพภูมิอากาศ มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกในเขตร้อน ตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 30 องศาใต้ถึงเส้นรุ้งที่ 30 องศาเหนือ ในเขตหนาว หรือเขตอบอุ่นที่มีอุณหภูมิเย็นจัดมันสำปะหลังไม่สามารถขึ้นได้ มันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโตได้ใน พื้นที่บางแห่งที่มีปริมาณน้ำฝนต่อปีน้อยกว่า 1,000 มิลลิเมตร แต่ถ้าเป็นบริเวณที่ฝนตกน้อยกว่า 500 มิลลิเมตรต่อปี ไม่สามารถปลูกมันสำปะหลังได้ สภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมที่สุดมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ปีละ 1,200 ถึง 1,500 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ย 25 ถึง 29 องศาเซลเซียส เป็นพืชวันสั้นต้องการช่วงแสง ของวันยาว 12 ถึง 14 ชั่วโมง ฤดูปลูก มันสำปะหลังสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่เกษตรกรส่วนใหญ่ (ร้อยละ 65) จะปลูกช่วงต้นฤดูฝน (เดือนมีนาคม ถึง เดือนพฤษภาคม) และปลูกในช่วงปลายฤดูฝนหรือในฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนกุมภาพันธ์) ประมาณร้อยละ 20 ส่วนที่เหลือจะปลูกในช่วงเดือนมิถุนายนถึง

เดือนตุลาคม การปลูกในช่วงต้นฤดูฝนให้ผลผลิตหัวสดสูงกว่าการปลูกในช่วงอื่นๆ แต่ถ้าเป็นดินทราย การปลูกในช่วงฤดูแล้งจะให้ผลผลิตหัวสดสูงที่สุด (ปรารภนา และคณะ, 2560, กรมวิชาการเกษตร, 2563)

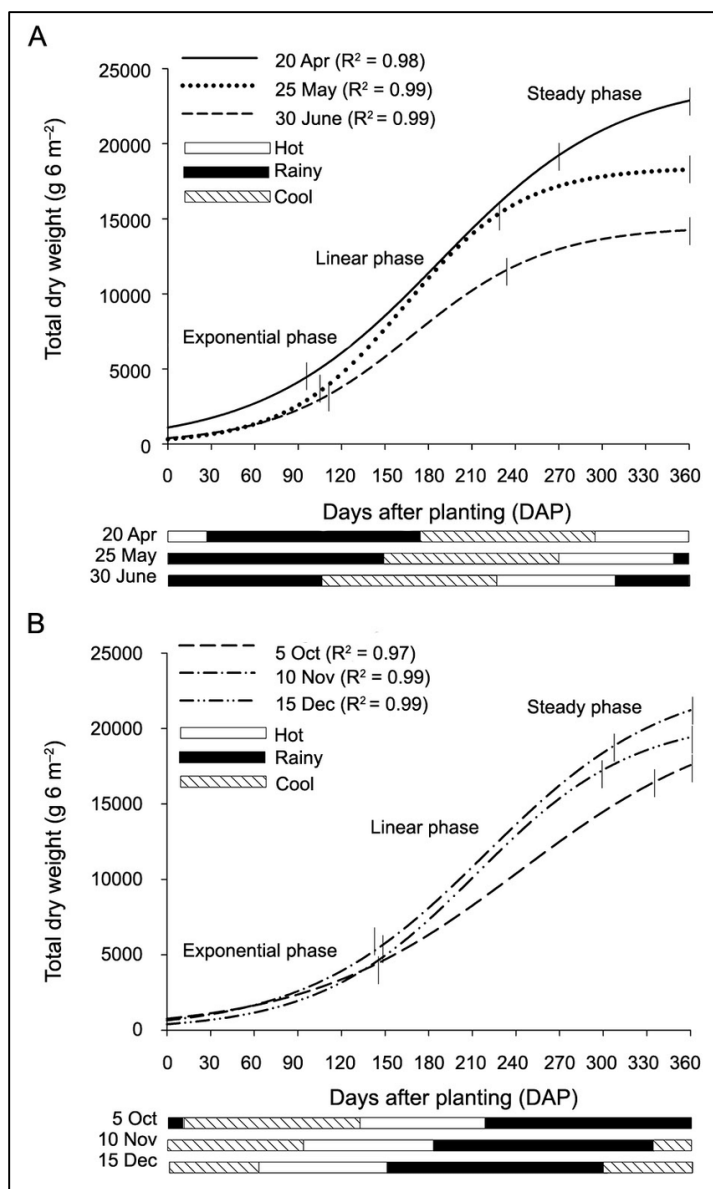
- ช่วงเวลาปลูก โดยทั่วไปช่วงเวลาปลูกที่เหมาะสมมี 2 ช่วง (ตารางที่ 1) คือ การปลูกต้นฤดูฝนโดยปลูกในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน และปลูกปลายฤดูฝนโดยปลูกในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม (ก่อนที่ฝนจะหมด) การที่เกษตรกรสามารถเตรียมแปลงปลูกได้ทันในฤดูปลูกทั้ง 2 ช่วงนี้จะได้ผลผลิตสูงกว่าปลูกในช่วงอื่นมันสำปะหลังที่ปลูกช่วงต้นฤดูฝนจะเจริญเติบโตสม่ำเสมอกว่ามันสำปะหลังที่ปลูกปลายฤดูฝน เนื่องจากการปลูกในปลายฤดูฝนมันสำปะหลังจะติดแล้งในช่วงแรกของการเจริญเติบโตมันสำปะหลังที่ปลูกต้นฤดูฝนจะมีหัวขนาดเล็ก เรียวยาว มีจำนวนหัวมาก เพราะหัวมันออกเป็นชั้นๆ ส่วนมันสำปะหลังที่ปลูกปลายฤดูฝนจะมีหัวขนาดใหญ่ป้อม แต่ไม่ค่อยดก การปลูกในช่วงปลายฤดูฝนมีข้อดี คือสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัชพืช และเป็นการอนุรักษ์ดินและป้องกันการพังทลายของดินจากอิทธิพลของเม็ดฝน และน้ำไหลบ่า แต่การปลูกปลายฤดูฝน แนะนำให้ปลูกในพื้นที่ดินทรายหรือดินร่วนปนทราย ไม่แนะนำให้ปลูกในพื้นที่ดินค่อนข้างเหนียว ซึ่งเมื่อกระทบแล้งดินจะรัดตัวแน่นแข็งทำให้มันสำปะหลังตายมาก

ตารางที่ 1 ช่วงปลูกที่เหมาะสมสำหรับมันสำปะหลังในภาคกลางและภาคตะวันตก

จังหวัด	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
กาญจนบุรี												
ชัยนาท												
นครสวรรค์												
ราชบุรี												
ลพบุรี												
สระบุรี												
สุพรรณบุรี												
อุทัยธานี												

- การเปลี่ยนแปลงด้านชีพลักษณะของมันสำปะหลัง การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังออกเป็น 5 ระยะคือ 1. ระยะแตกตา ช่วงอายุ 5 ถึง 15 วัน 2. ระยะสร้างเนื้อเยื่อใบและราก ช่วงอายุ 15 วัน ถึง 3 เดือน ซึ่งในช่วงหนึ่งเดือนแรกนี้ เนื่องจากเนื้อเยื่อใบยังพัฒนาได้ไม่เต็มที่ การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในระยะนี้จึงมิใช่จากการสังเคราะห์แสง แต่มาจากอาหารสะสมในส่วนของท่อนพันธุ์มันสำปะหลังเอง และที่ช่วง 2 ถึง 3 เดือนจะเริ่มมีการสะสมแป้งในราก 3. ระยะการเจริญทางต้นและใบ ช่วงอายุ 3 ถึง 6 เดือน ซึ่งช่วง 4 ถึง 5 เดือน มันสำปะหลังจะมีพื้นที่ใบที่จะสังเคราะห์แสงได้เต็มประสิทธิภาพมากที่สุด และการสะสมแป้งที่รากก็ยังคงดำเนินควบคู่กันไป

4. ระยะสะสมอาหารที่หัว ช่วงอายุ 6 ถึง 10 เดือน เนื่องจากการเจริญเติบโตทางต้นเพิ่มมากขึ้น ต้นเริ่มสะสมลิ้นินทำให้แข็งแรงมากขึ้น ใบบางส่วนจะร่วงเพื่อลดการสูญเสียน้ำ อัตราการสะสมอาหารที่รากในระยะนี้จะเพิ่มมากขึ้น 5. ระยะพักตัว ช่วง 10 ถึง 12 เดือน ซึ่งจะมีผลผลิตคงที่ (ปณิธิ และคณะ, 2558) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงด้านชีพวัฏจักรด้านการสะสมน้ำหนักแห้งที่ปลูกใน 2 ฤดู โดยทั่วไปจะมีลักษณะคล้ายกัน แต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงการเข้าสู่ระยะต่าง ๆ เมื่ออายุที่ต่างกัน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงด้านชีพวัฏจักรของมันสำปะหลังด้านการสะสมน้ำหนักแห้งที่ปลูกใน 2 ฤดู
 ที่มา : Phoncharoen (n.d.)

2.3) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด

สับปะรด (*Ananas comosus* (L.) Merr.) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญ สร้างมูลค่าการส่งออกให้กับประเทศไทย 23,000 ถึง 25,000 ล้านบาทต่อปี และไทยเป็นผู้ผลิตสับปะรดรายใหญ่ของโลก โดยส่งออกประมาณร้อยละ 12 ของผลผลิตทั้งโลก ส่วนใหญ่เป็นการส่งออกสับปะรดผลิตพันธุ์ ส่วนสับปะรดผลสดมีปริมาณและมูลค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณและมูลค่าการส่งออกสับปะรดทั้งหมด ซึ่งการผลิตสับปะรดของเกษตรกรยังพบปัญหาหลายด้าน เช่น ผลผลิตต่อไร่ต่ำ ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ขาดพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและคุณภาพดีกว่าพันธุ์เดิม ปัญหาการแพร่ระบาดของโรคคุณภาพผลผลิตไม่สม่ำเสมอ การกระจายการผลิตไม่สอดคล้องกับความต้องการของโรงงาน การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ การกระจายตัวของฝนไม่สม่ำเสมอ เกิดภาวะแล้งยาวนานทำให้ผลผลิตตกต่ำและไม่ได้มาตรฐาน ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้เป็นอุปสรรคสำคัญของการผลิตสับปะรด (หัตยา และ ปุณณมี, 2559; สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด มี 2 ปัจจัย คือ

2.3.1) ปัจจัยทางด้านพันธุกรรมสับปะรด (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560)

สับปะรดที่ปลูกทั่วโลกมีหลายชนิด แต่ละชนิดหรือแต่ละพันธุ์จะมีลักษณะเด่นเฉพาะตัวแตกต่างกันไป การจัดจำแนกลักษณะความแตกต่างของสับปะรด จัดแบ่งสับปะรดได้ 5 กลุ่ม คือ กลุ่ม Smooth cayenne กลุ่ม Queen กลุ่ม Spanish กลุ่ม Maipure หรือ Perolera และกลุ่ม Abacaxi หรือ Pemambuco โดยสับปะรดในแต่ละกลุ่มพันธุ์จะมีคุณลักษณะแตกต่างกัน สำหรับในประเทศไทยได้มีการจัดกลุ่มโดยยึดเกณฑ์มาตรฐานของ IBPGR ปี 1991 สามารถจัดแบ่งเป็น 3 กลุ่มพันธุ์ (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560) คือ

- กลุ่ม Smooth cayenne มี 3 พันธุ์/สายพันธุ์ คือ ปัตตาเวีย นางแล ลักกะตา พันธุ์สับปะรดกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่นิยมปลูกมากที่สุด ทั้งเพื่อใช้บริโภคสดและใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋องพันธุ์สับปะรดในกลุ่มนี้ผลมีขนาดประมาณ 1.0 ถึง 2.5 กิโลกรัม รูปร่างค่อนข้างเป็นทรงกระบอก เนื้อมีสีเหลือง มีเยื่อใย (fiber) ซึ่งพันธุ์สับปะรดในกลุ่ม Smooth cayenne ในประเทศไทยคือ พันธุ์ปัตตาเวีย นางแล ลักกะตา น้ำผึ้ง และโนห์รา โดยพันธุ์ที่สำคัญในอุตสาหกรรมแปรรูปของไทยคือ พันธุ์ปัตตาเวีย พันธุ์นี้จะมีใบสีเขียวเข้มและมีสีม่วงแดงอมน้ำตาลปนอยู่บริเวณกลางใบ ผลจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากกว่าพันธุ์อื่นๆ ด้านคุณภาพผล เนื้อมีรสชาติหวานอมเปรี้ยว สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย จัดอยู่ในกลุ่ม Smooth cayenne เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุด และส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 80 ใช้ในอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋องแต่ยังมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการบริโภค

- กลุ่ม Queen มี 5 พันธุ์/สายพันธุ์ คือ ทรายทอง ภูเก็ต สวี ปัตตานี และสิงคโปร์ปัตตาเวีย พันธุ์สับปะรดกลุ่มนี้มีขนาดของต้นและผลเล็กกว่ากลุ่ม smooth cayenne ขอบใบมีหนามเรียงชิดติดกันตลอดความยาวใบ น้ำหนักผล ประมาณ 1.0 กิโลกรัม รูปร่างทรงกระบอก ค่อนข้างนูน เปลือกหนา เนื้อมีสีเหลือง เข้มและกรอบ รสชาติหวาน มีเยื่อใยน้อยและมีกลิ่นหอม แก่นผลอ่อนนุ่มกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย สับปะรดกลุ่มนี้ในประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์ภูเก็ต (จังหวัดเชียงราย เรียกว่า พันธุ์ภูแล) พันธุ์สวี พันธุ์ทรายทอง พันธุ์ปัตตานี และพันธุ์สิงคโปร์ปัตตาเวีย

- กลุ่ม Spanish มี 2 พันธุ์/สายพันธุ์ คือ อินทรชิตแดง อินทรชิตขาว พันธุ์สับปะรดกลุ่มนี้ มีขนาดของต้นและผลอยู่ระหว่างกลางของกลุ่ม Smooth cayenne และกลุ่ม Queen ขอบใบมีหนามแหลมรูปโค้งงอ ผลมีรูปร่างกลม น้ำหนักผล 1.0-1.5 กิโลกรัม ตาขนาดของตาใหญ่กว่า กลุ่ม Smooth cayenne เนื้อสีเหลืองจาง มีเยื่อใสมาก แกนผลเหนียว กลิ่นและรสชาติแตกต่างจาก 2 กลุ่มแรก รสชาติเปรี้ยว พันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยได้แก่ พันธุ์อินทรชิตแดง และพันธุ์อินทรชิตขาว ปัจจุบันมีการปลูกลดน้อยลง

ในแถบภาคตะวันตกของประเทศสับปะรดปัตตาเวีย เป็นสับปะรดพันธุ์หนึ่งที่นิยมปลูกกันมาก โดยเฉพาะในแถบอำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี ซึ่งได้ชื่อว่า มีสภาพความเป็นกรดเป็นด่างสูง การปลูกพืชทั่วไปไม่สามารถทำได้ แต่สามารถปลูกสับปะรดพันธุ์นี้ได้และมีรสชาติพิเศษเฉพาะ ที่ผ่านมากลุ่มเกษตรกรปลูกกันในลักษณะต่างคนต่างปลูก เน้นส่งโรงงาน จังหวัดราชบุรีเป็นแหล่งผลิตสับปะรดที่มีชื่อเสียงมานาน โดยเฉพาะสับปะรดที่ปลูกในพื้นที่อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรีที่พบว่า เนื้อมีสีเหลืองสวย มีกลิ่นหอม รสชาติหวานฉ่ำไม่กัดลิ้น จึงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคจำนวนมาก ทั้งในรูปของผลสดและจำหน่ายส่งโรงงานเพื่อแปรรูป สายพันธุ์สับปะรดที่เกษตรกรจังหวัดราชบุรีนิยมปลูกในพื้นที่ ได้แก่ สายพันธุ์ปัตตาเวีย ซึ่งในปี พ.ศ. 2560 พบว่า มีพื้นที่เพาะปลูกสับปะรดโดยรวมประมาณ 58,723 ไร่ จากจำนวนเกษตรกร 1,933 ครัวเรือน (ชญาพร, 2561) กระจายอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอปากท่อ อำเภอจอมบึง อำเภอสวนผึ้ง และอำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี เนื่องจากมีลักษณะภูมิประเทศใกล้เคียงกันการผลิตสับปะรดของเกษตรกรปลูกแบบพืชเชิงเดี่ยว โดยผลิตสับปะรดร้อยละ 80 จะผลิตเพื่อจำหน่ายส่งโรงงานแปรรูป ที่เหลือร้อยละ 20 ใช้สำหรับการบริโภคผลสด (นภลัย และคณะ, 2558)

2.3.2) ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด สับปะรดเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทุกพื้นที่ แต่ปัจจัยสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพ โดยปัจจัยต่าง ๆ มีดังนี้

- สภาพแวดล้อมทั่วไป สับปะรดสามารถปลูกได้ตั้งแต่ที่ความสูงระดับน้ำทะเลขึ้นไปจนถึงระดับ 1,200 เมตร แต่ถ้าจะปลูกเป็นการค้าควรอยู่ในระดับความสูงไม่เกิน 600 เมตร เพราะถ้าระดับพื้นที่ยิ่งสูงขึ้นจะทำให้อุณหภูมิลดลงและมีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของสับปะรด สับปะรดเป็นพืชที่ต้องการแสงแดดตลอดวันและพบว่า การลดปริมาณแสงแดดลงร้อยละ 20 ทำให้ปริมาณผลผลิตลดลงร้อยละ 10 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปลูกสับปะรดช่วง 24 ถึง 30 องศาเซลเซียส สับปะรดจะหยุดชะงักเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ซึ่งแหล่งผลิตสับปะรดเป็นการค้าของโลกส่วนใหญ่จะอยู่ตามแนวพื้นที่ชายทะเลหรือมหาสมุทร หรือตามพื้นที่เกาะต่าง ๆ เช่นในประเทศไทยมีแหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชลบุรี และ ระยอง เป็นต้น สับปะรดเป็นพืชที่ทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี แต่ถ้าปริมาณน้ำฝนมีความสม่ำเสมอและกระจายตลอดปีจะทำให้สับปะรดมีการเจริญเติบโตดี การขาดน้ำอย่างรุนแรงมีผลต่อผลผลิต คือ จะทำให้ขนาดผลลดลง แหล่งปลูกสับปะรดที่ดีควรมีปริมาณน้ำฝนระหว่าง 1,000 ถึง 1,500 มิลลิเมตรต่อปี และมีการกระจายของฝนสม่ำเสมอ สับปะรดเป็นพืชที่ไม่เลือกชนิดของดินมากนัก แต่ดินปลูกที่เป็นดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายชายทะเลมักมี

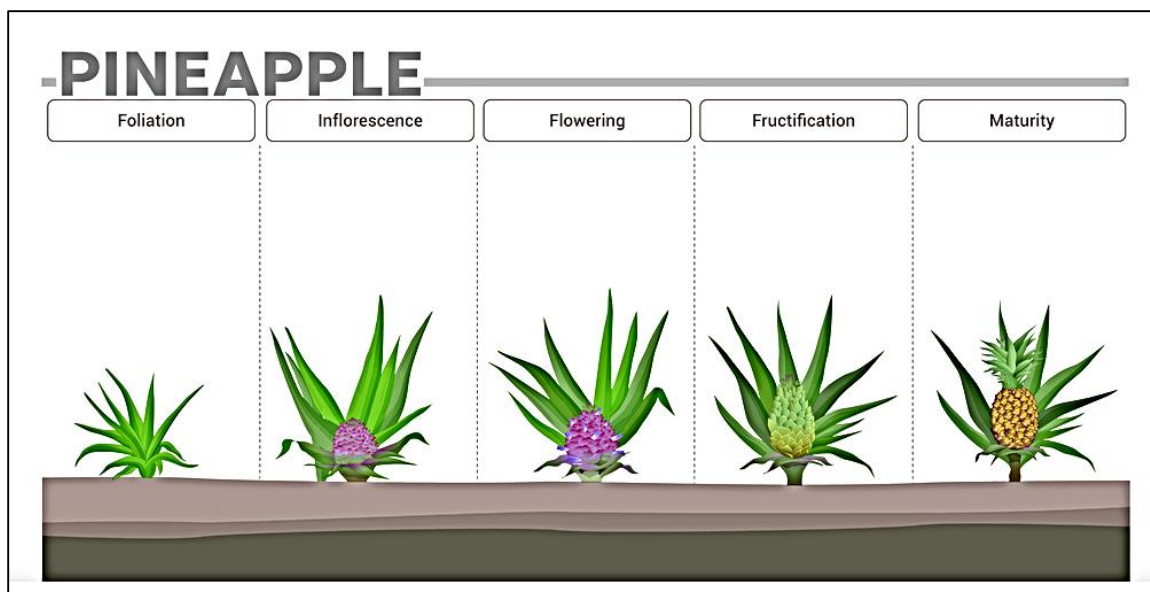
การระบายน้ำดีเหมาะกว่าดินที่มีเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียวซึ่งระบายน้ำได้ยาก ดินที่ปลูกสับปะรดควรเป็นดินร่วนหรือร่วนปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง มีอินทรีย์วัตถุไม่ต่ำกว่าร้อยละ 1.5 ความลาดเอียงร้อยละ 1 ถึง 2 การระบายน้ำและถ่ายเทอากาศดี ระดับหน้าดินลึกไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน 4.5 ถึง 5.5 และไม่ควรสูงกว่า 7.0 (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560)

- ช่วงเวลาปลูก การปลูกสับปะรดสามารถปลูกได้แบบปลูกแบบเชิงเดี่ยว และปลูกเป็นพืชแซมในสวนยางพาราเนื่องจากสับปะรดเป็นพืชที่ไม่ต้องการน้ำในการเจริญเติบโตมากนัก สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี การปลูกในฤดูฝน ต้องฝังหน่อให้เอียง 45 องศา เพื่อป้องกันน้ำขังในยอด แต่ถ้าปลูกในฤดูแล้งฝังหน่อให้ตั้งตรง การปลูกส่วนใหญ่ใช้ ระบบแถวคู่ ระยะปลูกแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่สับปะรดเป็นพืชหลายฤดู จึงต้องเตรียมพื้นที่ปลูกอย่างดีให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโต โดยพื้นที่ที่เคยปลูกสับปะรดให้สับใบและต้นสับปะรดแล้วตากทิ้งไว้ 2 ถึง 3 เดือน หลังจากนั้นไถดินตากดินทิ้งไว้ 7 ถึง 10 วัน แล้วพรวนดินอีก 1 ครั้ง แล้วคราดเศษรากเง้า ตอเก่าสับปะรดและวัชพืชทุกชนิดที่เหลือออกไปทำลายนอกแปลง ทำแนวปลูกหรือยกแนวให้สูงประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการชะล้างของดิน การเตรียมพันธุ์ มีการคัดขนาดหน่อพันธุ์และจุกพันธุ์ก่อนปลูก โดยใช้หน่อพันธุ์ หรือจุกพันธุ์ ที่มีขนาดสม่ำเสมอ หรือใกล้เคียงกัน อัตราการปลูก 7,000 ถึง 10,000 หน่อต่อไร่ (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560)

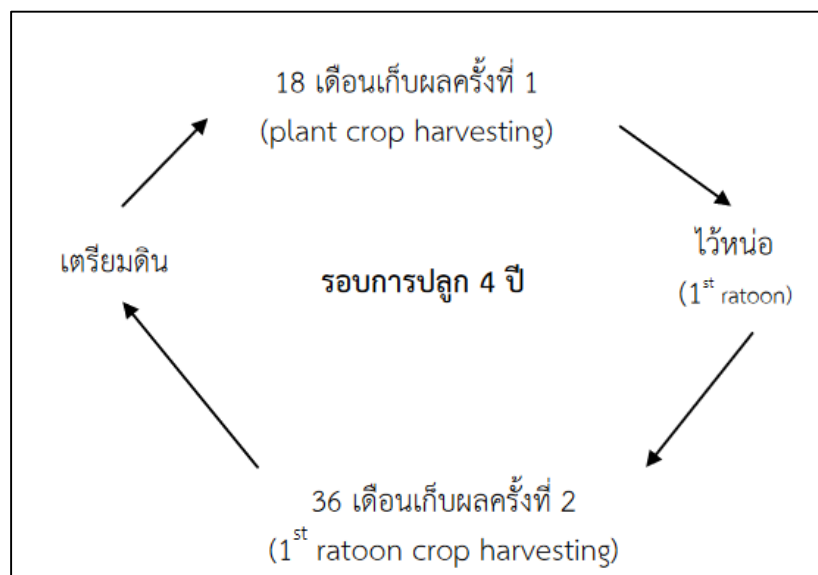
- การเปลี่ยนแปลงด้านซีพลักษณ์ของสับปะรด โดยทั่วไป การเจริญเติบโตของสับปะรดแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ 1. การเจริญเติบโตในระยะก่อนออกดอก 2. การเจริญเติบโตในระยะหลังการออกดอก และ 3. การเจริญเติบโตของหน่อที่แตกจากตาที่มุมใบบนต้นเดิม แต่เนื่องจากสับปะรดเป็นพืชหลายฤดู การเจริญเติบโตในแต่ละระยะที่ต่อเนื่องกันอาจจะมีช่วงเวลาที่ซ้อนทับกันได้บ้าง เช่นเมื่อสับปะรดสร้างดอกและผล การเจริญของใบก็ยังดำเนินไปได้อีกระยะหนึ่ง หรือหน่อจากตาข้างอาจจะเริ่มมีการเจริญเติบโตโดยที่ผลยังไม่ถึงระยะสุกแก่ การเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ และช่วงเวลาที่ซ้อนทับกันรวมไปถึงผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก (จินดารัฐ, 2541) สับปะรดเป็นพืชที่มีอายุตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวนานประมาณ 15 ถึง 18 เดือน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ของสับปะรดอายุตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว (ภาพที่ 3) ได้แก่ ระยะ foliation ระยะ inflorescence ระยะ flowering ระยะ fructification และระยะ Marturity และเนื่องจากสับปะรดหลังจากเก็บเกี่ยวผลจากต้นที่ปลูกครั้งแรก (plant crop) สามารถไว้หน่อและเก็บผลผลิตได้อีก 1 ถึง 2 รุ่น (First and Second ratoon crop) ซึ่งช่วงระยะเวลาตั้งแต่การปลูกครั้งแรกจนถึงเก็บเกี่ยวหน่อรุ่นสุดท้ายและเตรียมการปลูกครั้งต่อไปในพื้นที่เดิมเรียกว่า รอบการปลูก (crop cycle) มี 2 แบบ (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560) ได้แก่

(1) รอบการปลูก 4 ปี ไว้หน่อครั้งเดียว โดยจะเก็บผล 2 รุ่น คือ ผลจากต้นแม่ (plant crop) และเก็บผลจากหน่อรุ่นแรก (first ratoon crop) (ภาพที่ 4)

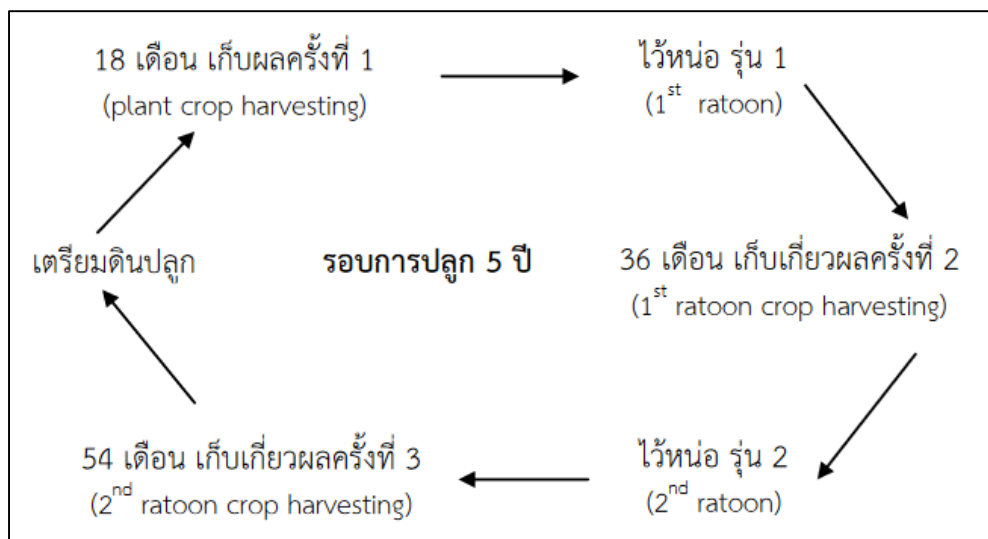
(2) รอบการปลูก 5 ปี ไว้หน่อ 2 รุ่น และสามารถเก็บผลผลิตได้ 3 รุ่น (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะของสับปะรดอายุตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว
ที่มา : SQM Nutrition Academy (n.d.)



ภาพที่ 4 รอบการปลูกสับปะรด 4 ปี ไว้หน่อ 1 รุ่น เก็บเกี่ยวผลผลิต 2 ครั้ง
ที่มา : สถาบันวิจัยพืชสวน (2560)



ภาพที่ 5 รอบการปลูกสลับประต 5 ปี ไถหน่อ 2 รุ่น เก็บเกี่ยวผลผลิต 3 ครั้ง
ที่มา : สถาบันวิจัยพืชสวน (2560)

2.4) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของยางพารา

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยอีกชนิดหนึ่ง พบว่ามีเกษตรกรตลอดจนผู้ทำธุรกิจเกี่ยวข้องกับยางพาราประมาณ 1 ล้านครอบครัว จำนวนไม่น้อยกว่า 6 ล้านคน ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกยางพาราและผลิตภัณฑ์ยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก นับตั้งแต่ พ.ศ. 2534 เป็นต้นมา โดยใน พ.ศ. 2565 ประเทศไทยมีการผลิตยางพารา จำนวน 4.82 ล้านตัน มีการส่งออก จำนวน 3.96 ล้านตัน (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดสุราษฎร์ธานี, 2565) แต่การส่งออกยางพาราส่วนใหญ่อยู่ในรูปวัตถุดิบแปรรูปขั้นต้น ซึ่งมีมูลค่าเพิ่มต่ำ เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และน้ำยางข้น ทำให้มีผลต่อการสร้างรายได้เข้าสู่ประเทศ และการยกระดับรายได้ของเกษตรกรไม่มากเท่าที่ควร และหากเรื่องนี้ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ก็จะส่งผลดีต่อประเทศ และเกษตรกรชาวสวนยางพาราอย่างมหาศาล ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของยางพารามี 2 ปัจจัย คือ

2.4.1) ปัจจัยทางด้านพันธุ์กรรมยางพารา

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ได้จัดทำคำแนะนำพันธุ์ยางแก่เกษตรกรทุก ๆ 4 ปี โดยใช้ข้อมูลจากผลงานวิจัยการปรับปรุงพันธุ์ยาง เพื่อแนะนำพันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูงเป็นหลักตั้งแต่ปี 2504 เป็นต้นมา แต่เนื่องจากปัจจุบันไม้ยางพารามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ ของประเทศ ทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนจากผลผลิตเนื้อไม้เพิ่มขึ้น ดังนั้นคำแนะนำพันธุ์ยางปี 2546 สถาบันวิจัยยางจึงได้เปลี่ยนแปลงคำแนะนำจากเดิม โดยแบ่งพันธุ์ยางแนะนำเป็น 3 กลุ่ม คือ พันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูง พันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้สูง และพันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตเนื้อไม้สูง เพื่อให้เกษตรกรเลือกพันธุ์ได้ตามวัตถุประสงค์ของการปลูก พันธุ์ยางที่แนะนำให้ปลูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามวัตถุประสงค์ของการปลูก ได้แก่ กลุ่ม 1 พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางสูง เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูงเป็นหลัก การเลือกปลูกพันธุ์ยางในกลุ่มนี้ ควรมุ่งเน้นผลผลิตน้ำยาง กลุ่ม 2 พันธุ์ยาง

ผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้สูง เป็นพันธุ์ที่ให้ทั้งผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้ โดยให้ ผลผลิตน้ำยางสูง และ มีการเจริญเติบโตดี ลักษณะลำต้นตรง ให้ปริมาตรเนื้อไม้ในส่วนลำต้นสูง กลุ่ม 3 พันธุ์ยางผลผลิตเนื้อไม้สูง เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตเนื้อไม้สูงเป็นหลัก มีการเจริญเติบโตดีมาก ลักษณะลำต้นตรง ให้ปริมาตรเนื้อไม้ ในส่วนลำต้นสูงมาก ผลผลิตน้ำยางจะอยู่ในระดับต่ำกว่าพันธุ์ยางในกลุ่มที่ 1 และ 2 เหมาะสำหรับเป็น พันธุ์ที่จะปลูกเป็นสวนป่าเพื่อการผลิตเนื้อไม้ ซึ่งพันธุ์ยางพาราที่เหมาะสมสำหรับปลูกในภาคตะวันตก ได้แก่ ยางพาราพันธุ์ RRIM 600 BPM 24 และ RRIT 25 (บัญชา และคณะ, 2561)

- พันธุ์ RRIM 600 ใบมีรูปร่างป้อมปลายใบ สีเขียวอมเหลือง ลักษณะฉัตรใบเป็นรูปกรวย มีขนาดเล็ก ในระยะ 2 ปีแรกต้นยางจะมีลักษณะลำต้นตรงแต่เร็วเล็ก การแตกกิ่งช้า ลักษณะการแตกกิ่งเป็นมุมแหลม กิ่งที่แตกค่อนข้างยาว ทรงพุ่มมีขนาดปานกลางเป็นรูปพัด เริ่มผลัดใบเร็ว ในระยะก่อนเปิดกรีด และระหว่างกรีดการเจริญเติบโตปานกลาง เปลือกเดิมบาง เปลือกงอกใหม่หนาปานกลาง ผลผลิตระยะแรกอยู่ในระดับปานกลาง แต่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในปีต่อมาให้ผลผลิต เนื้อยาง 10 ปีกรีดเฉลี่ย 289 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี อ่อนแอมากต่อโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปทรา และ โรคเส้นดำ ด้านทานโรคราแป้ง และโรคใบจุดนูนระดับปานกลาง อ่อนแอต่อโรคราสีชมพู ด้านทานลม ระดับปานกลาง การปรับตัวและให้ผลผลิตได้ดีในเกือบทุกพื้นที่ ทนทานต่อการกรีดถี่ได้มากกว่าพันธุ์อื่นๆ และมีจำนวนต้นแสดงอาการเปลือกแห้งน้อย ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไป ยกเว้นในพื้นที่ที่มีโรคใบร่วงที่เกิดจาก เชื้อไฟทอปทรา เส้นดำ และ โรคราสีชมพู ระบาดรุนแรง พื้นที่ที่มีหน้าดินตื้น และพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง

- พันธุ์ BPM 24 ใบมีรูปร่างป้อมกลางใบ สีเขียว ฉัตรใบลักษณะเป็นรูป กรวยตัด ลักษณะลำต้นตรง แตกกิ่งมาก กิ่งมีขนาดปานกลาง มีการทิ้งกิ่งน้อย พุ่มใบค่อนข้างทึบ ทรงพุ่ม มีขนาดปานกลางเป็นรูปกรวย เริ่มผลัดใบเร็วและทยอยผลัดใบ ระยะก่อนและระหว่างกรีดเจริญเติบโต ปานกลาง ความสม่ำเสมอของลำต้น ทั้งแปลงปานกลาง เปลือกเดิมหนามาก เปลือกงอกใหม่หนาปานกลาง เปลือกเรียบและกรีดง่าย ผลผลิตเนื้อยางแห้ง 10 ปี กรีดเฉลี่ย 335 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี สูงกว่าพันธุ์ RRIM 600 ร้อยละ 41 มีจำนวนต้นเปลือกแห้งปานกลาง ด้านทานโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปทรา และ เส้นดำ ระดับดี ด้านทาน โรคราแป้ง โรคใบจุดนูน และ โรคราสีชมพู ระดับปานกลาง ด้านทานลมระดับปานกลาง ผลผลิต เนื้อยางพาราสูงมากในระยะแรกของการเปิดกรีด เปลือกหนา เรียบ ทำให้กรีดง่าย ความต้านทานโรคส่วนใหญ่ อยู่ในระดับดี โดยเฉพาะโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปทรา และโรคเส้นดำ ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ที่มีการระบาดของโรค ใบร่วงไฟทอปทราและโรคเส้นดำ และสามารถปลูกได้ ในพื้นที่ลาดชัน พื้นที่ที่มีหน้าดินตื้น พื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง

- พันธุ์ RRIT 25 ใบมีรูปร่างป้อมปลายใบ ขอบใบเป็นคลื่น ใบมีสีเขียว ฉัตรใบ มีขนาดใหญ่เป็นรูปกรวย ในช่วงยางอ่อนลำต้นคด แตกกิ่งมากทั้งกิ่งขนาดกลางและขนาดใหญ่ การแตกกิ่ง ไม่สมดุล ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่เป็นรูปกลม เริ่มผลัดใบค่อนข้างช้า ระยะก่อนและระหว่างกรีดเจริญเติบโต ปานกลาง ขนาดลำต้นทั้งแปลงมีความสม่ำเสมอ ทำให้มีจำนวนต้นเปิดกรีดได้มาก เปลือกเดิมและ เปลือกงอกใหม่หนาปานกลาง ผลผลิตเนื้อยาง 10 ปีกรีดเฉลี่ย 457 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี สูงกว่าพันธุ์ RRIM 600 ร้อยละ 57 มีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย ด้านทานโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปทรา โรคราแป้ง โรคใบจุดนูน

และโรคราสีชมพูระดับปานกลาง ด้านทานโรคเส้นดำระดับดี และด้านทานลมระดับปานกลาง ผลผลิตเนื้ออย่างสูงมาก มีจำนวนต้นเปิดกรีดได้มาก ด้านทานโรคเส้นดำในระดับดี มีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย ปลุกได้ในพื้นที่ทั่วไป ยกเว้นพื้นที่ลาดชัน พื้นที่ที่มีหน้าดินตื้น พื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง และพื้นที่ลมแรง เนื่องจากทรงพุ่มมีขนาดใหญ่ แตกกิ่งไม่สมดุล

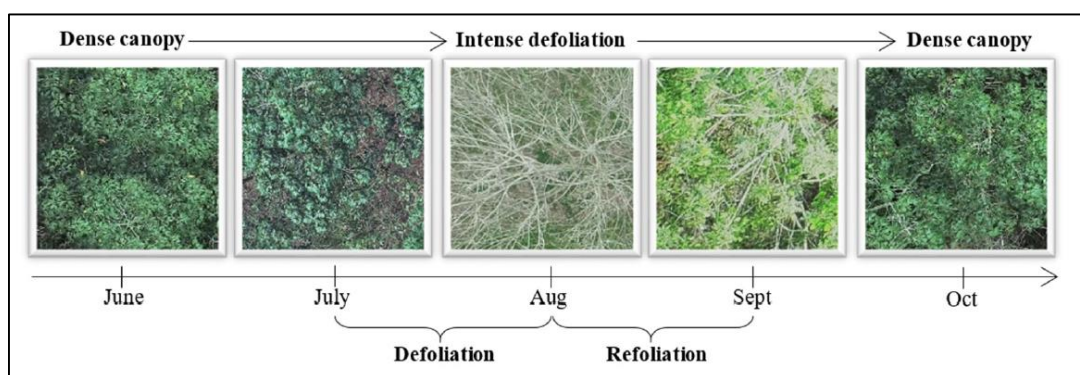
2.4.2) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของยางพารา

- สภาพแวดล้อมทั่วไป ต้นยางพาราชอบขึ้นในดินร่วน ซึ่งมีการระบายน้ำใต้ผิวดินดี และดินนั้นควรมีความเป็นกรดต่ำ ระหว่าง 4 ถึง 5.5 ต้องการฝนพอสมควร ประมาณ 2,000 ถึง 2,500 มิลลิเมตร ฝนควรตกสม่ำเสมอทุกเดือน เพราะยางพาราต้องการความชื้นสูง อุณหภูมิอยู่ในระดับ 75 ถึง 80 องศาฟาเรนไฮต์ พื้นที่ปลูกควรอยู่ในระหว่างเส้นขนาน 28 องศาเหนือ และ 28 องศาใต้ เช่นเดียวกันกับที่ขึ้นอยู่ในอเมริกากลาง และอเมริกาใต้ อันเป็นถิ่นเดิม ไม่ควรปลูกในที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 1,000 ฟุต รากของต้นยางมีรากแก้วค่อนข้างตื้น ลึกลงไปไม่เกิน 1.5 ถึง 2 เมตร มีรากเล็กแผ่หากินไปตามผิวดินเป็นส่วนใหญ่ ที่ใดมีลมจัดมักจะล้มง่าย ต้นยางพาราทั้งที่ปลูกด้วยเมล็ด หรือต้นติดตา จะกรีดเอาน้ำยางได้ตั้งแต่อายุ 5 ถึง 6 ปี ขึ้นไป ถ้ากรีดเปลือกด้วยความระมัดระวังสามารถกรีดได้มากกว่า 30 ปี

- ช่วงเวลาปลูก ควรเตรียมพื้นที่สำหรับปลูกยางพาราโดยเก็บไม้ออกจากบริเวณพื้นที่ให้เรียบร้อย ทำการไถพรวนดินและวางแผนขุดหลุมปลูก หากผสมปุ๋ยอินทรีย์รองกันหลุมด้วยควรจะดำเนินการให้เสร็จก่อนจะปลูกยางในช่วงฤดูฝน 1 เดือน และควรปลูกในช่วงต้นฤดูฝน ระหว่างเดือน พฤษภาคม ถึง กรกฎาคม โดยจะเริ่มปลูกในเดือนพฤษภาคม เมื่อพื้นที่มีความชื้นเพียงพอ โดยปลูกต้นยางชำถุง และการปลูกต้นตอควรให้มีความชื้นเต็มที่ในขณะที่ปลูกไม่น้อยกว่า 2 เดือน โดยหันแผ่นตาไปทางทิศตะวันตก ให้อยู่ต่อระหว่างรากกับตาอยู่เหนือระดับผิวดินเล็กน้อย หลังปลูก 15 วัน ถึง 1 เดือน ควรมีการปลูกซ่อม โดยต้องปลูกซ่อมให้เสร็จก่อนจะหมดฤดูฝนอย่างน้อย 2 และไม่ควรปลูกซ่อมเมื่อต้นยางอายุ 2 ปีขึ้นไป แต่ถ้าจะปลูกซ่อมควรใช้ต้นยางที่มีอายุใกล้เคียงกัน (ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2555)

- การเปลี่ยนแปลงด้านสีลักษณะของยางพารา ยางพาราเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ มีอายุยาวนานหลายร้อยปี เช่นในป่าลุ่มน้ำอะเมซอนพบยางพารามีขนาดลำต้นวัดโดยรอบได้กว่า 3 เมตร ถ้าเป็นต้นที่สมบูรณ์ และอยู่ในที่ที่ระบายน้ำได้ดี จะมีความสูงถึง 40 เมตร แต่ต้นที่เอามาปลูกในทวีปเอเชียเล็กลงมาก ลำต้นของต้นที่ปลูกด้วยเมล็ดจะโตประมาณ 1 ถึง 2 เมตร และถ้าเป็นต้นติดตาลำต้นจะโตไม่เกิน 1 เมตร ส่วนความสูงก็ลดลงเหลือเพียงประมาณ 15 ถึง 20 เมตรเท่านั้น ต้นยางมีเปลือกที่น้ำยางจะไหลออกได้หนาประมาณ 6.5 ถึง 15 มิลลิเมตร ทรงต้นที่สมบูรณ์มักจะสูงชะลูด กิ่งแยกมักแยกตั้งขึ้นไปประมาณ 45 องศาจากลำต้น ใบมักจะรวมเป็นพุ่มที่ส่วนปลายของกิ่ง แต่ละก้านใบแยกออกเป็น 3 ใบ แต่ละใบใน 3 ใบกว้างประมาณ 5 ถึง 10 เซนติเมตร และยาวประมาณ 10 ถึง 20 เซนติเมตร (มูลนิธิโครงการสาธารณสุขไทยสำหรับเยาวชน, ม.ป.ป.) ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นอายุหลายปีโตเต็มที่พร้อมให้น้ำยางเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 5 ถึง 7 ปี เมื่อยางมีอายุเต็มที่ ต้นยางจะเริ่มผลิติดอกผลหล่นาวทุกปี

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นลักษณะทางซีฟลักซ์ที่สำคัญของยางพารา คือใบไม้จะร่วงในช่วงเดือนที่อากาศแห้งก่อนที่จะมีใบไม้สดเข้ามาแทนที่ก่อนที่จะร่วง ใบสีเขียวเข้มที่ปกติแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเหลืองก่อนที่จะร่วงหล่น ใช้เวลาประมาณสามถึงสี่สัปดาห์ และระบุถึงการสิ้นสุดของฤดูปลูก ในระยะผลัดใบจะแตกใบใหม่และขยายออก ถือเป็นการเริ่มต้นฤดูปลูก การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของเรือนยอดภาพถ่ายทางอากาศเหนือทรงพุ่มของยางพาราแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของใบซึ่งบ่งบอกถึงอายุหรือความแก่ของใบ และการร่วงหล่นอย่างรุนแรง การเกิดใบใหม่ออกมาจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเขียว ซึ่งการเกิด การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์การผลัดใบนี้ (ภาพที่ 6) กระบวนการทั้งหมดของการร่วงหล่นและการผลัดใบ จะใช้เวลาประมาณหกถึงแปดสัปดาห์ และเกิดขึ้นในฤดูแล้ง โดยทั่วไป คือ เดือนพฤษภาคม ถึง เดือนกันยายน สำหรับเกาะสุมาตราใต้ ประเทศอินโดนีเซีย เมแทบอลิซึมของพืชได้รับผลกระทบอย่างมากในช่วงเวลานี้ โดยผลผลิตน้ำยางจะลดลงถึง ร้อยละ 60 จากจุดสูงสุด ระยะพีโนไลย์ในช่วงฤดูหนาวได้รับอิทธิพลอย่างมากจากปัจจัยทางภูมิอากาศ นอกจากช่วงเวลานี้แล้ว ต้นไม้ยังมีใบเต็มทรงพุ่มตลอดทั้งปี (Azizan *et al.*, 2021)



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงด้านซีฟลักซ์ระยะการผลัดใบของยางพารา

ที่มา : Azizan *et al.* (2021)

2.5) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis*) จัดอยู่ในพืชตระกูลปาล์ม (Palmae หรือ Arecacea) ตระกูลย่อยเดียวกับมะพร้าว ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นใบเลี้ยงเดี่ยวที่ผสมข้าม โดยสามารถให้ผลผลิตทะลายสดได้ตลอดปี การเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มจะเริ่มจากปาล์มที่มีอายุได้ประมาณ 30 เดือนหลังจากปลูก ซึ่งโดยปกติปาล์มจะให้ผลผลิตตั้งแต่ 12 เดือนหลังปลูกแต่ช่วงแรกยังไม่มีมีการเก็บผลผลิต และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตทะลายสดได้นานกว่า 20 ปี ซึ่งผลผลิตแต่ละช่วงจะต่างกันตามความสมบูรณ์และสภาพแวดล้อม ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน มี 2 ปัจจัย คือ

2.5.1) ปัจจัยทางด้านพันธุกรรมปาล์มน้ำมัน

พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ซึ่งสามารถแยกความแตกต่างของพันธุ์เหล่านี้ โดยพิจารณาความหนาของผลปาล์มเป็นสำคัญ

- พันธุ์ดูรา (Dura) เป็นพันธุ์ที่มีกะลาหนาประมาณ 2 ถึง 8 มิลลิเมตร มีชั้นเปลือกนอกที่ให้น้ำมัน (Mesocarp) ประมาณ 35 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผลปาล์ม พันธุ์ดูราเป็นพันธุ์ที่มีกะลาหนามาก ๆ เรียกว่า มาโครคาया (Macrocaria) คือมีกะลาหนาประมาณ 6 ถึง 8 มิลลิเมตร และมักจะพบมากในแถบตะวันออกไกล เช่น พันธุ์เดลีดูรา (Deli Dura) ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง ปัจจุบันพันธุ์ดูรามักใช้เป็นต้นแม่สำหรับปรับปรุงพันธุ์เพื่อผลิตลูกผสมเป็นการค้า

- พันธุ์พิสิเฟอร์ (Pisifera) เป็นพันธุ์ที่มีกะลาบางมาก หรือบางครั้งไม่มีกะลา เมล็ดในและผลมีขนาดเล็ก ช่อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน ผลผลิตแต่ละทะลายต่อต้นมีปริมาณต่ำ จึงไม่เหมาะที่จะปลูกเพื่อเป็นการค้าและนิยมใช้พันธุ์พิสิเฟอร์เป็นต้นพ่อสำหรับผลิตพันธุ์ลูกผสม

- พันธุ์เทนเอร่า (Tenera) เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์แม่ดูรา และพันธุ์พ่อพิสิเฟอร์ เป็นพันธุ์ที่มีกะลาบาง ประมาณ 0.5 ถึง 4 มิลลิเมตร มีปริมาณของ Mesocarp ร้อยละ 60 ถึง 90 ของน้ำหนักผลผลิตต่อทะลายสูง ในปัจจุบันจึงนิยมปลูกเป็นการค้า

2.5.2) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน

- สภาพแวดล้อมทั่วไป การปลูกปาล์มน้ำมันได้รับผลสำเร็จต้องพิจารณาถึงสภาพภูมิอากาศและศักยภาพของพื้นที่ในการปลูกให้เหมาะสม โดยการตรวจสอบพื้นที่ก่อนปลูกปาล์มน้ำมันก่อน ปัจจัยของสภาพภูมิอากาศที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันมี 5 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปริมาณแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และลม ปริมาณน้ำฝนและการกระจายตัวของฝน ถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากน้ำมีความสำคัญในการเคลื่อนย้ายของธาตุอาหารโดยปกติปาล์มที่เจริญเติบโตเต็มที่จะมีการคายน้ำ 5 ถึง 6 มิลลิเมตรต่อวัน หากมีการขาดน้ำจะทำให้มีการสร้างดอกตัวเมียน้อย ซึ่งมีผลทำให้ผลผลิตอีก 19 ถึง 22 เดือนข้างหน้าลดลง ปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมสำหรับปาล์มน้ำมันควรอยู่ระหว่าง 2,000 ถึง 3,000 มิลลิเมตรต่อปี และมีการกระจายของฝนดี โดยในแต่ละเดือนต้องมีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 100 มิลลิเมตร การกระจายของน้ำฝนจะมีความสำคัญมากโดยเฉพาะพื้นที่ซึ่งเป็นดินร่วนปนทราย เพราะดินดังกล่าวจะมีการเก็บความชื้นได้น้อย จึงทำให้ปาล์มมีโอกาสขาดน้ำได้ง่าย ดังนั้นการใช้วัสดุพืชคลุมดินจะเป็นอีกวิธี ที่จะช่วยรักษาความชื้นไว้ในดินได้พื้นที่ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 1,200 มิลลิเมตรต่อปี ปริมาณน้ำฝนจะไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันส่งผลให้ผลผลิตลดลง ในการรักษาระดับของผลผลิตของปาล์มน้ำมันที่ปลูกในพื้นที่ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนและการกระจายของฝนน้อย อาจทำได้โดยการติดตั้งระบบน้ำ ซึ่งจะช่วยรักษาระดับการให้ผลผลิตของปาล์มในช่วงฤดูแล้งได้ แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งระบบน้ำจะเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตปาล์มน้ำมัน สำหรับในพื้นที่ซึ่งมีฝนตกมากเกินไป (มากกว่า 3,000 มิลลิเมตรต่อปี) ก็ไม่เหมาะสมกับปาล์มน้ำมันเช่นเดียวกัน เนื่องจากการที่มีปริมาณฝนมากเกินไปก็จะทำให้ปริมาณแสงน้อย จึงมีการสร้างอาหารได้น้อย ซึ่งมีผลทำให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันลดลง พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์มน้ำมัน ไม่ควรมีเดือนที่ขาดน้ำ (ปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 100 มิลลิเมตรต่อเดือน) หากในพื้นที่ที่มีการขาดน้ำต่อเนื่องมากกว่า 4 เดือน (มีช่วงฤดูแล้งยาว) พื้นที่ดังกล่าวจะไม่เหมาะที่จะปลูกปาล์มน้ำมัน แต่สามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งระบบน้ำให้กับปาล์มน้ำมัน แต่หากมีสภาพการขาดน้ำในรอบปีมากก็จะทำให้จำนวนทะลาย

น้ำหนักระบาย และร้อยละของปริมาณน้ำมันลดลง ปริมาณแสงแดดเป็นปัจจัยสำคัญเช่นเดียวกับปริมาณน้ำฝน โดยปกติปาล์มน้ำมันจะต้องได้รับแสงแดดมากกว่า 5 ชั่วโมงต่อวัน (ได้รับพลังงานแสงไม่น้อยกว่า 17 MJ ต่อตารางเมตรต่อวัน) เนื่องจากแสงแดดเป็นปัจจัยสำคัญในการสังเคราะห์แสง หากปาล์มน้ำมันได้รับปริมาณแสงน้อยจะทำให้มีการสร้างอาหารน้อย ซึ่งมีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง และการสร้างดอกตัวเมียน้อยลงส่งผลให้ผลผลิตลดลง นอกจากนั้นยังทำให้สัดส่วนของผลต่อทะลายลดลง ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณน้ำมันลดลงอีกด้วย สำหรับในประเทศไทยปริมาณของแสงเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน ความสำคัญของปัจจัยของแสงจะแสดงผลให้เห็นชัดเจนเมื่อปลูกปาล์มน้ำมันไปแล้วมากกว่า 10 ปี โดยเฉพาะปาล์มน้ำมันที่ปลูกในระยะชิตจะมีการบังแสงของทางใบซึ่งเกิดจากการซ้อนทับของทางใบระหว่างต้น ทำให้เกิดการแข่งขันเพื่อแย่งปริมาณแสง และยังทำให้ต้นปาล์มน้ำมันสูงเร็วกว่าการปลูกในระยะที่ห่าง ดังนั้นจำเป็นต้องมีการจัดการอย่างถูกต้องเหมาะสมเกี่ยวกับระยะปลูกและการตัดแต่งทางใบเพื่อให้ปาล์มน้ำมันมีจำนวนใบและมีพื้นที่ใบที่จะรับแสงได้เหมาะสม ตลอดอายุของการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน พบว่าในช่วงแรกของการเจริญเติบโตการตัดแต่งทางใบไม่มีความจำเป็น เนื่องจากปาล์มน้ำมันยังได้รับแสงเพียงพอ แต่เมื่อปาล์มน้ำมันโตมากขึ้นจำเป็นต้องตัดแต่งทางใบมากขึ้น เพื่อทำให้พื้นที่ใบรับแสงแดดได้อย่างพอเพียงโดยได้มีการศึกษาพบว่า ช่วงเดือนที่มีกลางวันสั้นจะมีผลทำให้สัดส่วนเพศ (อัตราของดอกตัวเมีย) ของปาล์มน้ำมันลดลง อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันเช่นเดียวกัน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตควรจะอยู่ในช่วง 22 ถึง 32 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิปกติของเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลกระทบกับปาล์มน้อยกว่าอุณหภูมิที่ต่ำ ในสภาพอุณหภูมิที่สูงจะมีผลกับการคายน้ำของปาล์มน้ำมันเพราะทำให้ปาล์มน้ำมันขาดน้ำ แต่ในสภาพอุณหภูมิต่ำจะมีผลต่อการเจริญเติบโตเนื่องจากปาล์มน้ำมันจะมีการพัฒนาของใบช้าลงทำให้มีการสร้างทางใบน้อยกว่าปกติ มีการศึกษาพบว่า การเจริญเติบโตของกล้าปาล์มน้ำมันจะจำกัดอย่างมากเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 20 องศาเซลเซียส กล้าปาล์มน้ำมันจะเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า และมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเป็น 7 เท่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 25 องศาเซลเซียส ในทางตรงกันข้ามสภาพอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส จะทำให้ปาล์มน้ำมันมีอัตราการสร้างทางใบและการพัฒนาของทะลายช้าลง ซึ่งมีผลทำให้มีจำนวนทะลายน้อยลง ความสูงจากระดับน้ำทะเลก็มีผลกับอุณหภูมิเช่นเดียวกัน (อุณหภูมิจะลดลงประมาณ 0.6 องศาเซลเซียส เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นทุกๆ 100 เมตร) มีรายงานว่าปาล์มน้ำมันที่ปลูกในบริเวณพื้นที่ซึ่งอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลมากกว่า 500 เมตร จะให้ผลผลิตต่ำกว่าปาล์มที่ปลูกในพื้นที่ซึ่งต่ำกว่าถึงหนึ่งปีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่เจริญได้ดีในสภาพร้อนชื้น ความชื้นสัมพัทธ์จะมีผลต่อการคายน้ำ หากมีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะมีอัตราการคายน้ำลดลง นอกจากนั้นความชื้นสัมพัทธ์ยังมีผลต่ออายุของละอองเกสรและแมลงผสมเกสร โดยพบว่าในสภาพอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์น้อย (อากาศแห้ง) จะทำให้ละอองเกสรและแมลงผสมเกสรมีอายุสั้น ซึ่งมีผลให้อัตราการผสมเกสรลดลง ส่งผลให้การติดผลบนทะลายปาล์มน้อยลงและทำให้น้ำหนักทะลายลดลงด้วย ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีระบบรากเป็นรากฝอย ทำให้ไม่ทนทานต่อกระแสน้ำที่พัดแรงประกอบกับปาล์มมีทรงพุ่มใหญ่ทำให้ล้มได้ง่าย โดยเฉพาะการปลูกในพื้นที่พรุ นอกจากนั้นในพื้นที่ซึ่งมีลมแรงก็จะทำให้ใบปาล์มฉีกขาด

หรือทางใบหัก ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง ในสภาพพื้นที่ซึ่งมีลมพัดโชยอ่อนๆ โดยเฉพาะช่วงที่มีแดดจัดจะช่วยเสริมให้ปาล์มมีการหายใจได้ดีขึ้น และเป็นการช่วยระบายความร้อนแก่ใบปาล์มด้วยความเร็วลมที่เหมาะสมไม่ควรมีความเร็วมากกว่า 10 เมตรต่อวินาที

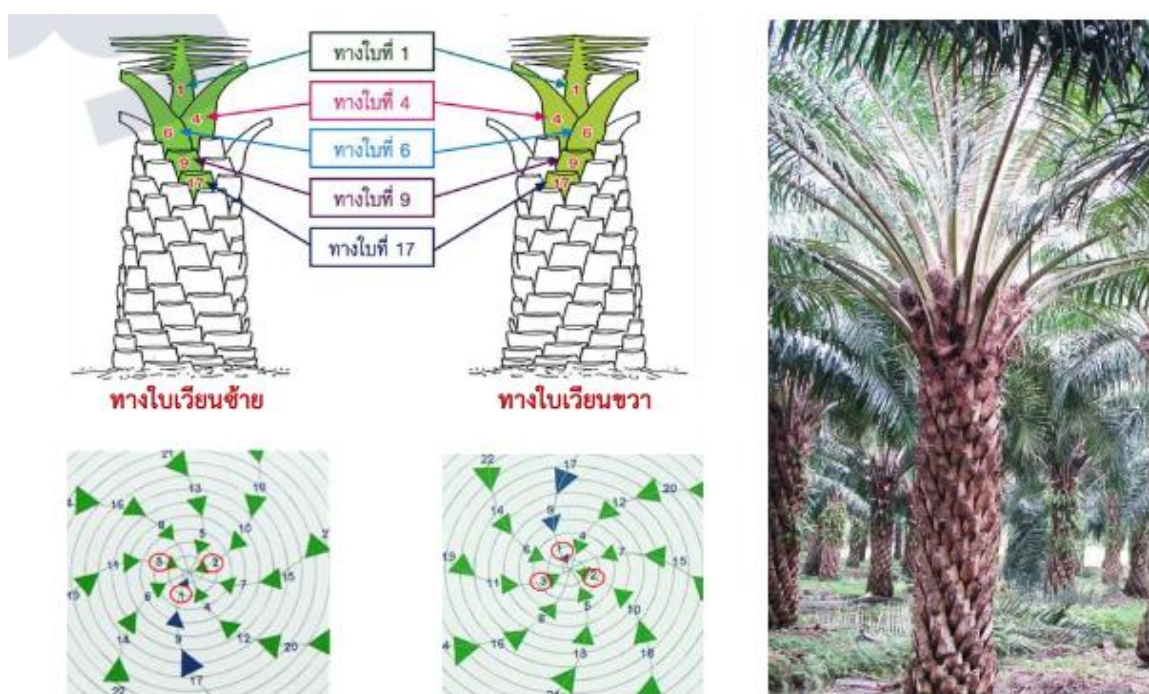
- ช่วงเวลาปลูก การปลูกปาล์มน้ำมันควรกำหนดเวลาให้ตรงกับช่วงฤดูฝน เพราะปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดการอยู่รอด และเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันคือ ความชื้นในดิน ฤดูฝนในภาคใต้ของประเทศไทยจะเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม แต่ฤดูปลูกที่เหมาะสมอยู่ในระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน ซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูฝนควรปลูกเมื่อฝนตกแล้วเพราะดินมีความชื้นการปลูกในช่วงนี้ทำให้ต้นปาล์มน้ำมัน ตั้งตัวในแปลงได้ยาวนานก่อนถึงฤดูแล้ง ปาล์มน้ำมันที่มีอายุ 1 ถึง 3 ปี ต้องตัดแต่งทางใบออกเท่าที่จำเป็น เช่น ทางใบที่แห้ง ทางใบที่เป็นโรคหรือแมลงทำลาย เป็นต้น ปาล์มน้ำมันสามารถเริ่มเก็บเกี่ยวครั้งแรกเมื่ออายุ 3 ปี ดังนั้นในช่วงก่อน 3 ปี ควรตัดดอกชุดแรกทิ้งเพื่อให้ลำต้นสะสมคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น มีการเพิ่มปริมาณราก ซึ่งจะทำให้ทะลายที่ได้มีความสมบูรณ์และขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อปาล์มน้ำมันอายุ 4 ถึง 7 ปี ควรเหลือทางใบประมาณ 3 รอบ นับจากทะลายล่างสุด อายุ 7 ถึง 14 ปี ควรเหลือทางใบประมาณ 2 รอบ นับจากทะลายล่างสุด และอายุ 12 ปีขึ้นไป ควรเหลือทางใบประมาณ 1 รอบ นับจากทะลายล่างสุด (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, ม.ป.ป.)

- การเปลี่ยนแปลงด้านสีพลักษณ์ของปาล์มน้ำมัน ลำต้นของปาล์มน้ำมันมีลักษณะตั้งตรง ไม่มีกิ่งแขนง ประกอบด้วยข้อและปล้องที่ถี่มาก แต่ละข้อมีหนึ่งทางใบเวียนรอบลำต้น โดยมีจำนวนใบ 8 ทางใบต่อรอบ การเวียนของทางใบมี 2 แบบ คือเวียนซ้ายและเวียนขวา (ภาพที่ 7) ในระยะที่ปาล์มอายุน้อย (น้อยกว่า 3 ปี) จะสังเกตเห็นทางใบอยู่ติดกับลำต้น มากกว่า 40 ทางใบ เมื่อปาล์มมีอายุมากขึ้นและเริ่มมีการตัดแต่งทางใบจะสังเกตเห็นฐานทางใบที่เป็นรอยตัดแต่งติดอยู่รอบๆ ลำต้น รอยแผลที่ฐานใบที่ติดกับลำต้นก็คือข้อของลำต้น และส่วนที่อยู่ระหว่างข้อคือปล้อง ต้นปาล์มที่อายุมาก (มากกว่า 20 ปี) อาจมีความสูงถึง 15 ถึง 18 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 30 ถึง 50 เซนติเมตร โดยทั่วไปความสูงของต้นปาล์มจะเพิ่มขึ้นปีละ 50 เซนติเมตร ซึ่งอัตราความสูงของลำต้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ปาล์ม ระยะปลูก และการตัดแต่งทางใบ โดยพบว่าปาล์มน้ำมันที่ปลูกระยะที่ชิดมากๆ หรือมีการตัดทางใบมากเกินไปจะทำให้ลำต้นสูงเร็วกว่า (ตารางที่ 2) ใบของปาล์มน้ำมันเป็นใบประกอบรูปขนนก (pinnate) ใบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแกนกลาง (Rachis) ที่มีใบย่อย (leaflets) อยู่ 2 ข้าง และส่วนก้านทางใบ (Petiole) ซึ่งมีขนาดสั้นกว่าส่วนแรก ไม่มีใบย่อย และมีหนามสั้นๆ อยู่ 2 ข้าง ใบปาล์มที่มีอายุ 6 ถึง 8 ปี แต่ละทางใบจะมีใบย่อย 100 ถึง 160 คู่ ใบย่อยแต่ละใบยาว 80 ถึง 120 เซนติเมตร กว้าง 4 ถึง 6 เซนติเมตร หากสังเกตดูใบย่อยบนทางใบจะพบว่าไม่มีใบชี้ขึ้นและใบชี้ลง เรียงสลับกันตลอดทางใบ ใบจะพัฒนาจากบริเวณเนื้อเยื่อเจริญบริเวณปลายยอดของลำต้น ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะมีใบที่กำลังพัฒนาอยู่ประมาณ 50 ใบ ที่ช่อกทางใบทุกใบจะมีการสร้างตาดอก ซึ่งดอกจะเป็นดอกตัวผู้หรือดอกตัวเมียนั้นขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ในช่วงเวลาที่กำหนดเพศ (ธีระพงศ์, 2562)

ตารางที่ 2 ลักษณะการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันเมื่ออายุ 14 ปี

ระยะปลูก (เมตร)	พื้นที่ใบ (เมตร ²)	น้ำหนักแห้งใบ (กิโลกรัม)	ความยาวทางใบ (เซนติเมตร)	ความสูง (เซนติเมตร)	เส้นรอบลำต้น (เซนติเมตร)
8 × 8 × 8	9.8	4.0	619.1	645.8	204.5
9 × 9 × 9	9.7	4.4	597.6	611.7	240.0
10 × 10 × 10	9.9	4.5	608.4	607.8	244.0

ที่มา: ชีระพงศ์ (2562)



ภาพที่ 7 ลักษณะลำต้นของปาล์มน้ำมัน

ที่มา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ้างอิงใน ชีระพงศ์ (2562)

3.1.3 การใช้ความรู้ด้านเกษตรศาสตร์ในขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาคสนาม

เนื่องจากพืชมีการเจริญเติบโตและมีการเปลี่ยนแปลงด้านสรีรวิทยาตามชีพลักษณะที่เปลี่ยนไปแต่อย่างไรก็ตามพืชที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย พืชอายุสั้น ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง และสับปะรด และพืชยืนต้น ได้แก่ ยางพารา และปาล์มน้ำมัน ดังนั้นในการเก็บข้อมูลภาคสนามมีการเก็บข้อมูลที่ต่างกัน คือ การสุ่มเก็บการเจริญเติบโตพืชตามพารามิเตอร์ที่กำหนด ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ในแปลงอ้างอิง มีความแตกต่างกันดังนี้

การวัดความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และขนาดลำต้น ของอ้อย มันสำปะหลัง และสับปะรด วัดเดือนละ 1 ครั้ง เนื่องจากในแต่ละเดือนจะมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละพารามิเตอร์อย่างชัดเจน ขณะที่ ยางพารา และ ปาล์มน้ำมัน วัดปีละ 1 ครั้ง เนื่องจากในแต่ละเดือนจะมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละ พารามิเตอร์ไม่มากนัก ส่วนการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของพืชทั้ง 5 ชนิด จะวัดในใบที่กางเต็มที่ใหม่ ที่สุด (ใบที่ 7-8) โดยวัดทุกเดือนที่ทำการสำรวจภาคสนาม เนื่องจากปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบส่วนใหญ่จะ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในรอบปี ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวลักษณะหรืออายุของพืช และ สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปในรอบปี ทั้งนี้การเก็บข้อมูลภาคสนามจะเก็บข้อมูลจำนวน 5 ซ้ำ (ต้น) โดยเลือกต้นที่มีความสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน และเป็นลักษณะการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่ในแปลง จากการเก็บข้อมูลภาคสนามพบว่าเมื่อไปถึงแปลงเก็บข้อมูลอ้างอิง บางแปลงไม่สามารถเข้าไปเก็บข้อมูลได้ เช่น มีการล้อมรั้ว ไม่พบเจ้าของแปลง การเจริญเติบโตของพืชไม่สม่ำเสมอ หรือมีการเปลี่ยนแปลงพืชปลูก ในช่วง 1 ปีที่เก็บข้อมูล เป็นต้น ทำให้ต้องตัดแปลงเหล่านั้นออกเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล

3.2 หลักการและการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศ

3.2.1 การใช้ความรู้จากหลักการและการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศในขั้นตอนการวางแผนการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ได้ตั้งข้อสมมุติฐานไว้ว่าพืชต่างชนิดกันและช่วงการเจริญเติบโตของพืช ที่ต่างกันการดูดซับและการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นที่สายตามองเห็นและมองไม่เห็นจะมีความต่างกัน ข้อมูลสำรวจระยะไกลมีการบันทึกข้อมูลภาพในหลายช่วงคลื่น ประกอบด้วยช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น และมองไม่เห็น ซึ่งส่วนใหญ่ถูกนำมาคำนวณเพื่อสร้างเป็นดัชนีพืชพรรณ การใช้ดัชนีพืชพรรณที่คำนวณ จากช่วงคลื่นต่าง ๆ มีประสิทธิภาพในการศึกษาความสัมพันธ์ต่อพารามิเตอร์ด้านการเจริญเติบโตของ พืชทำให้สามารถใช้ในการจำแนกชนิดพืช ระบุอายุพืช และอัตราการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากค่า ดัชนีพืชพรรณของพืชแต่ละชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปีโดยเฉพาะพืชไร่ที่มีการปลูก เก็บเกี่ยว และปลูกใหม่วัฏจักร เช่น ไม้ยืนต้นมีแนวโน้มที่จะมีค่าดัชนีพืชพรรณบางชนิด เช่น NDVI และ GNDVI สูงกว่าพืชไร่ พืชไร่ที่ถูกเก็บเกี่ยวกลายเป็นพื้นที่ว่างจะมีค่า NDVI และ GNDVI ต่ำ และจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เมื่อมีการปลูกใหม่และเจริญเติบโตมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในการเจริญเติบโตของช่วงของพืชเศรษฐกิจ ทั้ง 5 ชนิด ยังมีการเก็บข้อมูลด้านการสำรวจระยะไกลอยู่น้อย การศึกษาความแตกต่างของค่าดัชนีพืช พรรณในแต่ละเดือนนอกจากจะทำให้ทราบถึงระยะการเจริญเติบโตแล้ว ยังสามารถใช้เป็นสถิติอ้างอิงสำหรับ การจำแนกพื้นที่ปลูกพืชโดยใช้สายตาและโดยใช้คอมพิวเตอร์ในกรณีที่บริเวณศึกษาที่มีการปลูกพืชเป็น แปลงขนาดเล็กปะปนกันมาก โดยเฉพาะพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังและอ้อยซึ่งมักพบว่าเกษตรกรแต่ละ รายมีการปลูกสลับกันในแต่ละแปลงและปลูกหมุนเวียนกัน สามารถจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้ สายตาได้ยาก ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับจำแนกพืชสำหรับผู้ที่มีประสบการณ์ การแปลภาพถ่ายดาวเทียมน้อย และสามารถใช้อย่างเป็นช่วงค่าเกณฑ์ (threshold) สำหรับการแปลภาพ โดยใช้คอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแปลภาพแบบหลายช่วงเวลาที่ใช้โมเดลต้นไม้ตัดสินใจ (decision tree) ซึ่งจะทำให้การจัดทำแผนที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิดแม่นยำขึ้น

3.2.2 การใช้ความรู้จากหลักการและการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศในขั้นตอนการตรวจเอกสารเพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

การตรวจเอกสารเพื่อรวบรวม และกลั่นกรองข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย การกำหนดกรอบเนื้อหา เพื่อใช้รวบรวมเนื้อหาหลักการ และการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศที่สอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geoinformatics) เป็นเทคโนโลยีที่รู้จักกันมากขึ้นสำหรับหน่วยงานหรือองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการ และติดตามทรัพยากรสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นระบบสารสนเทศของข้อมูลเชิงพื้นที่ มีการจัดการข้อมูลที่เป็นระบบซึ่งช่วยให้ผู้ใช้เข้าถึงข้อมูลอันซับซ้อนของพื้นที่ได้ง่ายขึ้น ซึ่งผู้ใช้สามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวในการตอบคำถาม หรือสนับสนุนการตัดสินใจ ในการวางแผนหรือแก้ปัญหา หรือเพิ่มความรับรู้ข้อมูลในพื้นที่ที่ทำการศึกษ เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ประกอบด้วย ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS) เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) และระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System, GPS) (Liaghat and Balasundram, 2010; Nair, 2012)

(1) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นระบบสารสนเทศที่นำเอาข้อมูลมารวบรวม จัดเก็บ และวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ สามารถทำการสืบค้นข้อมูลและปรับปรุงข้อมูล รวมไปถึงการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ ได้ ข้อมูลที่นำมารวบรวมและจัดเก็บในระบบที่สามารถนำไปจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) โดยข้อมูลเชิงพื้นที่ยังมีการเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลลักษณะประจำ (Attribute data) ที่ใช้อธิบายรายละเอียดของปรากฏการณ์และคุณลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่นั้นๆ ซึ่งจะทำให้การนำข้อมูลไปใช้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น (ESRI, 2012) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้มีการพัฒนาขึ้นเมื่อต้น พ.ศ. 2503 ด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนามากขึ้นเพื่อช่วยจัดเก็บข้อมูลปริมาณมากได้ และมีการปรับปรุงประสิทธิภาพในการจัดเก็บข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ให้ดีขึ้น และในการผลิตแผนที่นั้น ความถูกต้องแม่นยำและสามารถช่วยตอบคำถามต่าง ๆ ได้นั้นต้องอาศัยทักษะในการฝึกฝนและเรียนรู้ เมื่อมนุษย์นำคอมพิวเตอร์เข้ามาผลิตแผนที่ทำให้การผลิตแผนที่เริ่มเป็นระบบมากขึ้น และนอกเหนือไปจากการผลิตแผนที่ที่สวยงามผ่านจอแสดงผลแล้ว มนุษย์ยังสามารถสอบถามข้อมูล เช่น แหล่งที่ตั้งของสถานที่ต่าง ๆ และรวมไปถึงการวิเคราะห์หาพื้นที่ที่ถูกผลกระทบหากเกิดภัยธรรมชาติ โดยสิ่งที่มนุษย์คาดการณ์ผ่านระบบแผนที่บนคอมพิวเตอร์เป็นส่วนที่ช่วยในการวางแผนพัฒนาชุมชนของตนเองได้ และสามารถเตรียมการระงับภัยของชุมชนตัวเองได้ต่อไป ซึ่งการที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้นั้น ระบบคอมพิวเตอร์ได้มีส่วนช่วยในการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทำการรวบรวม จัดเก็บ วิเคราะห์ เรียกค้นข้อมูล และการแสดงผลข้อมูล จึงทำให้ง่ายต่อการค้นข้อมูล และการประมวลผลข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (สีบพงษ์ และคณะ, 2551) วัตถุประสงค์ของการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ ใช้เป็นสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในด้านต่าง ๆ เช่น การวางแผนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ รวมถึงการจัดการสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้น ข้อมูล

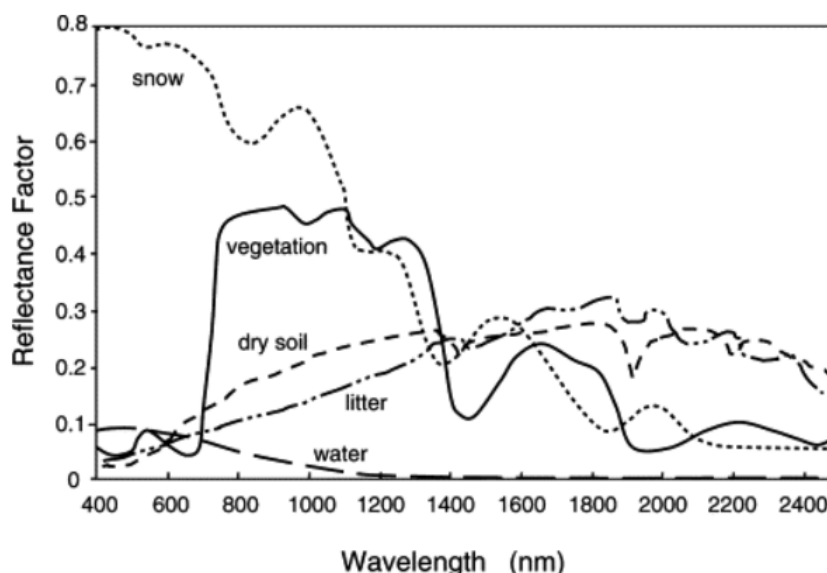
ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถตอบคำถามได้ว่า สถานที่ และสิ่งต่าง ๆ ที่ต้องการค้นหานั้นอยู่ที่ไหน และเกี่ยวข้องกับสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ข้างๆ อย่างไร นอกจากนี้ยังช่วยบอกให้รู้ว่ามีทางเลือกใดบ้าง แต่ละทางเลือกมีลักษณะอย่างไรและเปรียบเทียบหาทางเลือกที่ดีที่สุด ข้อมูลที่ได้จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งสามารถบอกตำแหน่งของข้อมูลที่เราส่งใจอ้างอิงถูกต้องกับระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์บนพื้นโลก (Geo-referenced data) ซึ่งระบบสารสนเทศนี้ประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ คือ ลักษณะทางกายภาพ สังคม ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพของสิ่งที่เรากำลังศึกษา นอกจากนี้ยังบอกถึง ตำแหน่งและเวลาของสิ่งที่เรากำลังทำการศึกษา เนื่องจากข้อมูลสภาพการใช้ที่ดินถูกจัดเก็บทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งเชื่อมโยงกับข้อมูลลักษณะประจำซึ่งมีข้อมูลเป็นจำนวนมากและสลับซับซ้อน ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาโปรแกรม ทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นจำนวนมาก เช่น ArcMap และ QGIS เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมเหล่านี้ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานนำเข้าข้อมูลได้สะดวกขึ้น อีกทั้งมีเครื่องมือมากมาย เช่น การคำนวณขนาดพื้นที่ การซ้อนทับข้อมูล (Overlay) และการรวมฐานข้อมูล (Dissolve) เป็นต้น (ESRI, 2012) ทำให้สามารถวิเคราะห์พื้นที่ และติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ได้สะดวก ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

(2) เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล

การเกษตรแบบยั่งยืนและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมีความสำคัญต่อความมั่นคงทางอาหารสำหรับประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้การเกษตรต้องเผชิญกับความท้าทายที่ไม่เคยมีมาก่อนในการผลิตพืชซึ่งนับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงขั้นตอนการผลิตพืชทั้งหมด ตั้งแต่การปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อมเฉพาะ ไปจนถึงการปรับปรุงการจัดการที่ดินเพื่อการเกษตร สิ่งสำคัญของความพยายามเหล่านี้คือการประเมินเชิงปริมาณของลักษณะของพืชที่เอื้อต่อการผลิตที่เพิ่มขึ้น และการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมามีการใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลในการศึกษาด้านชีพลักษณ์พืชเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเดิมการศึกษาดังกล่าวได้จากการสำรวจภาคสนาม แต่ทำได้ช้าและต้องใช้งบประมาณสูง การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลอาจช่วยให้การทำงานได้เร็วขึ้นและประหยัดค่าใช้จ่าย การนำเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกลมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติมีมากขึ้นเรื่อยๆ ทั้งการสำรวจระดับพื้นดิน (Ground based) ระดับอากาศ (Aerial based) และระดับอวกาศ (Satellite based) (Liaghat and Balasundram, 2010) ซึ่งการสำรวจในแต่ละระดับของการสำรวจมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน เช่น ค่าใช้จ่าย ขนาดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูล ข้อจำกัดของสภาพอากาศ และเวลาที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล การสำรวจหรือการจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดินมีการใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากการพัฒนาเซ็นเซอร์อย่างต่อเนื่อง active-light remote sensing devices หรือ on-the-go proximal system สามารถจัดเตรียมข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และใช้ประโยชน์ได้ทันที (real time) เนื่องจากข้อมูลที่ได้มานั้นมีความต่อเนื่อง ถูกต้อง และรวดเร็ว ทำให้สามารถติดตามสถานการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวโลกได้อย่างต่อเนื่อง เช่น การพยากรณ์อากาศ การติดตามความเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรธรรมชาติ ป่าไม้ การใช้ที่ดิน การติดตามข้อมูลเกี่ยวกับการเกษตร เป็นต้น

เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล หมายถึง การได้มาของข้อมูล (Data acquisition) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่อยู่ไกลออกไป และทำการสกัดสารสนเทศ (Information extraction) ต่าง ๆ จากข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้มีกระบวนการเริ่มจากการส่งพลังงานจากแหล่งพลังงานเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล การสกัดสารสนเทศต่าง ๆ ออกมาจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดไปจนถึงการนำข้อมูลไปช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ การได้มาของข้อมูล ประกอบด้วย แหล่งพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับวัตถุต่าง ๆ บนผิวโลกระบบการตรวจวัดข้อมูล และการบันทึกข้อมูล (Jensen, 2000; อมร, 2558) เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลอาศัยการจัดเก็บข้อมูลโดยใช้เซ็นเซอร์รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่พืชสะท้อนกลับ และสามารถจัดทำเป็นแผนที่ระดับแปลง

เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลใช้หลักการสะท้อนพลังงานของวัตถุ โดยวัตถุแต่ละชนิดจะสะท้อนพลังงานออกมาในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน การสำรวจข้อมูลจากระยะไกลได้นำหลักการสะท้อนและดูดซับพลังงานในแต่ละช่วงคลื่นของวัตถุมาประยุกต์ใช้ ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดจะมีการสะท้อนพลังงานที่แตกต่างกันออกไป โดยพืชพรรณธรรมชาติสะท้อนพลังงานได้ดีในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Wavelengths) (700 ถึง 1,300 นาโนเมตร) และในช่วงคลื่นมองเห็นได้จะสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นแสงสีเขียว (500 ถึง 600 นาโนเมตร) ส่วนการสะท้อนพลังงานของดินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยบางประการในดิน เช่น ความชื้นในดิน แร่ธาตุในดิน เป็นต้น และน้ำจะไม่มีการสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ พืชพรรณ ดิน และน้ำ เป็นวัตถุปกคลุมผิวโลกเป็นส่วนใหญ่ การสะท้อนพลังงานที่ความยาวช่วงคลื่นต่างกันของพืชพรรณ ดิน และน้ำ ทำให้สามารถแยกประเภทของวัตถุชนิดต่าง ๆ ได้ โดยวัตถุทั้งสามชนิดหลักนี้มี รูปแบบการตอบสนองต่อช่วงคลื่นต่าง ๆ เรียกว่า ค่าลายเส้นเชิงคลื่น (Spectral signature) โดยที่ช่วงคลื่นเดียวกัน วัตถุต่างชนิดจะให้ค่าการสะท้อนพลังงานต่างกัน ขณะที่ความยาวช่วงคลื่นต่างกัน วัตถุชนิดเดียวกันจะมีความสะท้อนเชิงสเปกตรัมต่างกัน ความยาวช่วงคลื่นต่างกัน วัตถุต่างกันจะมีความสะท้อนเชิงสเปกตรัมต่างกัน ทำให้สามารถแยกชนิดของวัตถุได้ เนื่องจากวัตถุต่าง ๆ จะมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 8) ซึ่งเรียกว่า ลายเส้นเชิงคลื่น (spectral signature) (Jensen, 2000; อมร, 2558)



ภาพที่ 8 ลายเซ็นเชิงคลื่นของพืชที่มีสุขภาพดี ดินแห้ง เศษหญ้าแห้ง น้ำ และหิมะ
ที่มา : Huete (2004)

ลายเซ็นเชิงคลื่นของพืชพรรณ ในช่วงคลื่นสายตามองเห็น คลอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานสีน้ำเงิน (0.4 ถึง 0.5 ไมโครเมตร) และสีแดง (0.6 ถึง 0.7 ไมโครเมตร) แต่สะท้อนพลังงานสีเขียว (0.5 ถึง 0.6 ไมโครเมตร) ดังนั้นดวงตามนุษย์จึงมองเห็นใบพืชเป็นสีเขียว ถ้าใบพืชมีอาการผิดปกติ เช่น แห้ง หรือเหี่ยว เป็นต้น ทำให้คลอโรฟิลล์ลดลงก็จะทำให้การสะท้อนที่คลื่นสีแดงสูงขึ้น ในช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อน (0.7 ถึง 1.3 ไมโครเมตร) การสะท้อนพลังงานของใบพืชสูงมาก คือ สะท้อนพลังงานประมาณร้อยละ 50 ของพลังงานที่ตกกระทบซึ่งลักษณะของการสะท้อนพลังงานนี้เป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างภายในใบของพืช เนื่องจากพืชก็สามารถแยกชนิดจะมีลักษณะโครงสร้างภายในที่ต่างกัันดังนั้นการสะท้อนพลังงานในช่วงนี้ก็สามารถแยกชนิดของพืชได้ แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของพืชในช่วงคลื่นสายตามองเห็นได้จะใกล้เคียงกัน ในทำนองเดียวกันการสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดสะท้อนของพืชที่มีอาการผิดปกติทางใบ จะมีความแตกต่างไปจากการสะท้อนที่มีความยาวคลื่นเดียวกันของพืชที่สมบูรณ์กว่าดังนั้นระบบการรับรู้จากระยะไกลสามารถบันทึกค่าสะท้อนของช่วงคลื่นนี้สามารถใช้สำรวจอาการผิดปกติของพืชได้ในช่วงคลื่นที่มีความยาวสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร พลังงานส่วนใหญ่จะถูกดูดกลืนหรือสะท้อนมีการส่งผ่านพลังงานน้อยมาก มักพบค่าต่ำที่ช่วงคลื่น 1.4 1.9 และ 2.7 ไมโครเมตร เพราะว่าในช่วงเหล่านี้น้ำในใบพืชจะดูดกลืนพลังงาน จึงเรียกว่า ช่วงคลื่นดูดกลืนน้ำ (Water absorption bands) ดังนั้นค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชจึงแปรผกผันกับปริมาณน้ำในใบพืชด้วย (Gates *et al.*, 1965)

ลายเซ็นเชิงคลื่นของดิน ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสะท้อนพลังงานของดิน คือ ความชื้นในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ เนื้อดินปริมาณเหล็กออกไซด์ และความขรุขระของผิวดิน ปัจจัยดังกล่าวมีความซับซ้อนและสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เช่น ลักษณะเนื้อดิน มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดิน ดินทรายหยาบมีการระบายน้ำดีจะสะท้อนพลังงานสูง ดินละเอียดมีการระบายน้ำไม่ดีหรือระบายได้น้อยจะสะท้อนพลังงานต่ำ ดินที่มี

อินทรีวัดสูงจะมีสีคล้ำดูคลืนพลังงานสูงในช่วงคลื่นสายตามองเห็นเช่นเดียวกับดินที่มีเหล็กออกไซด์ในปริมาณสูง จะปรากฏเป็นสีเข้ม เนื่องจากการสะท้อนพลังงานลดลง ความขรุขระของผิวดินมากก็จะทำให้การสะท้อนของพลังงานลดลงเช่นเดียวกัน เป็นต้น

ลายเซ็นเชิงคลื่นของน้ำ โดยทั่วไปน้ำมีคุณสมบัติดูดกลืนพลังงาน น้ำมีหลายประเภทซึ่งจะทำให้การดูดกลืนพลังงานแตกต่างกันไป การสะท้อนพลังงานของน้ำมีลักษณะต่างจากวัตถุอื่นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงคลื่นอินฟราเรด น้ำจะดูดกลืนพลังงานอย่างสมบูรณ์ทำให้สามารถเขียนขอบเขตของน้ำได้ เนื่องจากน้ำที่ปรากฏอยู่บนผิวโลกมีหลายสภาพด้วยกัน เช่น น้ำขุ่น น้ำใสหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยต่าง ๆ เจือปน ดังนั้นการสะท้อนพลังงานจึงแตกต่างกันออกไป บางครั้งพื้นที่ที่รองรับน้ำอาจมีผลต่อการสะท้อนพลังงานของน้ำ น้ำใสจะดูดกลืนพลังงานเล็กน้อยในช่วงคลื่นต่ำกว่า 0.6 ไมโครเมตร การส่งผ่านพลังงานเกิดขึ้นสูงในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน เขียว แต่น้ำที่มีตะกอนหรือมีสิ่งเจือปน การสะท้อนและการส่งผ่านพลังงานจะเปลี่ยนไป เช่น น้ำที่มีตะกอนดินแขวนลอยอยู่มาก จะสะท้อนพลังงานได้มากกว่าน้ำใส ถ้ามีสารคลอโรฟิลล์ในน้ำมากขึ้นการสะท้อนช่วงคลื่นสีน้ำเงินจะลดลงและจะเพิ่มในช่วงคลื่นสีเขียว ซึ่งอาจใช้เป็นประโยชน์ในการติดตามและคาดคะเนปริมาณสาหร่ายนอกจากนี้ข้อมูลการสะท้อนพลังงานยังเป็นประโยชน์ในการสำรวจคราบน้ำมัน และมลพิษจากโรงงานได้

จากคุณสมบัติการสะท้อนและดูดซับพลังงานที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงคลื่นของพืช จึงได้มีการนำข้อมูลจากการสำรวจจากระยะไกลที่นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาด้านการเกษตรกรรม เช่น การจำแนกประเภทพืชที่เพาะปลูก การเกษตรแบบแม่นยำ และการจัดการพืชที่เพาะปลูก โดยทั่วไปแล้วประมาณร้อยละ 10 ถึง 30 ของพลังงานแสงที่ตกกระทบกับพื้นผิวใบจะถูกสะท้อนออกมาในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ คือ ช่วงคลื่นแสงสีเขียว ส่วนในช่วงคลื่นที่เราไม่สามารถมองเห็นได้ ใบพืชจะสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดไกลออกมามากที่สุด พืชที่มีความอุดมสมบูรณ์หรือไม่นั้นจะสังเกตได้จากการสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ดังนั้นการสะท้อนพลังงานในแต่ละช่วงคลื่นของพืชจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะโครงสร้างและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช

(2.1) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืช

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกลมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มมากขึ้น โดยใช้ความแตกต่างของค่าการสะท้อนและการดูดซับพลังงานของพืชในช่วงคลื่นต่าง ๆ ที่แตกต่างกันเพื่อหาอัตราส่วน (Band Ratio) ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเรียกว่า ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices)

(2.1.1) ดัชนีพืชพรรณ เป็นการนำช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาทำการคำนวณค่าสัดส่วนต่อกัน ซึ่งค่าที่นำมาคำนวณนี้มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์กับพืชพรรณที่สะท้อนปริมาณแสงตกกระทบในพื้นที่เพาะปลูกพืชในสัดส่วนที่แตกต่างกันในช่วงเวลาที่ต่างกัน ดัชนีพืชพรรณถูกสร้างขึ้นเพื่อปรับเน้นข้อมูลให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน หรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของข้อมูลให้แสดงความชัดเจนในสิ่งที่ทำการศึกษามากขึ้น ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิว สถานะของพืชรวมถึงสภาพความแข็งแรง และความผิดปกติของพืชนั้นใน

พื้นที่แปลงปลูกพืช โดยทั่วไปค่าดัชนีพืชพรรณ สามารถประยุกต์ วิธีการคำนวณไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานได้อย่างหลากหลาย ตัวอย่างเช่น ดัชนีความต่างของพืชพรรณ (normalized difference vegetation index: NDVI) (Rouse *et al.*, 1974; Thompson *et al.*, 2015) ดัชนีความต่างของพืชพรรณด้วยช่วงคลื่นแสงสีเขียว (green normalized difference vegetation index: GNDVI) (Gitelson *et al.*, 1996) และ ดัชนีความต่างของคลื่นอินฟราเรด (Normalized Difference Infrared Index: NDII) (Hunt and Rock, 1989) เป็นต้น (ตารางที่ 3) สามารถนำมาใช้เพื่อตรวจสอบสถานะการเจริญเติบโตของพืชตามเวลาจริง การทำนายหรือประเมินคุณลักษณะของพืช เช่น พื้นที่ใบ มวลชีวภาพ ความสมบูรณ์ของพืช และความหนาแน่นของพืชซึ่งจะเป็นประโยชน์ในแง่ต่าง ๆ เช่น เพื่อวัดสถานะของต้นกล้า (ก่อนและระหว่างขั้นตอนการปลูก) เพื่อปรับใช้เทคนิคการจัดการเวลาอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อความอยู่รอดและผลผลิตของพืช หรือเพื่อส่งเสริมแนวทางปฏิบัติที่ยั่งยืนมากขึ้น การประยุกต์ใช้ดัชนีพืชพรรณที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับภัยแล้ง และเหตุการณ์รุนแรง เช่น คลื่นความร้อนซึ่งเริ่มเข้าสู่ภูมิภาคที่ขณะนี้ประสบปัญหาภัยแล้ง เป็นต้น (ชรต้น, 2540)

(a) ดัชนีความต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index : NDVI) เป็นค่าดัชนีที่นิยมใช้เป็นตัวบ่งชี้ที่แสดงความเขียว ความหนาแน่น และสุขภาพของพืชในแต่ละพิกเซลของภาพถ่ายดาวเทียม เป็นหนึ่งในดัชนีพืชพรรณที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุดในการรับรู้จากระยะไกล นับตั้งแต่เปิดตัวในปี 1970 และการเกษตรดิจิทัลก็เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ใช้ประโยชน์จากดัชนีนี้มากที่สุดเป็นการนำค่าสะท้อนของพื้นผิวดินระหว่างช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดกับช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงมาทำสัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่นเพื่อปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ ทำให้ค่า NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งจะช่วยในการแปลผลได้ง่ายขึ้น โดยที่ค่า 0 หมายถึงไม่มีพืชพรรณใบเขียวอยู่ในพื้นที่สำรวจ ในขณะที่ค่า 0.8 หรือ 0.9 หมายถึงพืชพรรณใบเขียวหนาแน่นมากในพื้นที่ดังกล่าว กรณีที่พื้นผิวดินมีพืชพรรณปกคลุมจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดสูงกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงทำให้ NDVI มีค่าเป็นบวกในขณะที่พื้นผิวดินจะมีการสะท้อนระหว่างสองช่วงคลื่นใกล้เคียงกันทำให้ NDVI มีค่าใกล้เคียง 0 ส่วนกรณีที่พื้นผิวดินเป็นน้ำจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดต่ำกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงทำให้ NDVI มีค่าติดลบทั้งนี้โดยปกติค่านี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.7 เท่านั้น ดังนั้น ดัชนีนี้จึงเหมาะสำหรับการประมาณความแข็งแรงตลอดวงจรการเพาะปลูกโดยพิจารณาจากลักษณะที่พืชสะท้อนช่วงสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าบางช่วง ช่วยให้ทราบสถานะปัจจุบัน ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับภาพชั่วคราวอื่นเพื่อสังเกตวิวัฒนาการเมื่อเวลาผ่านไปเมื่อรู้ค่า NDVI ทำงานอย่างไร เราจะเข้าใจว่ามันช่วยให้เรากำหนดว่าพืชมีสุขภาพดีหรือไม่แข็งแรงได้อย่างไร ดัชนีนี้ขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อนพลังงานและแสง ใช้แถบอินฟราเรดใกล้และแถบสีแดงของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อประเมินตัวบ่งชี้ไร้มิติระหว่าง -1 ถึง 1 ในสายตามนุษย์ พืชมีสีเขียวเพราะเม็ดสีคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในพืชนั้นสะท้อนคลื่นสีเขียวและดูดซับคลื่นสีแดง ซึ่งหมายความว่าพืชที่แข็งแรงซึ่งมีคลอโรฟิลล์และโครงสร้างเซลล์จำนวนมากจะดูดซับแสงสีแดงและสะท้อน NIR เมื่อมีการสังเคราะห์ด้วยแสง พืชพัฒนาและเติบโต และมีโครงสร้างเซลล์มากขึ้น พืชที่ไม่แข็งแรงตรงกันข้ามกับความเป็นจริง บนแพลตฟอร์มของเรา มาตราส่วนทางด้านขวาของฟิล์มเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับความแข็งแรงของพืชผล ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างแสงและ

คลอโรฟิลล์จึงเป็นวิธีที่เราสามารถใช้ NDVI เพื่อแยกความแตกต่างของพืชที่แข็งแรงจากพืชที่เป็นโรคได้ เซ็นเซอร์ดาวเทียมในอวกาศจะวัดความยาวคลื่นของแสงที่ดูดซับและสะท้อนด้วยสีเขียวพืช เป็นแหล่งข้อมูลลายเซ็นสเปกตรัมที่ยอดเยียมสำหรับการวิเคราะห์ NDVI ดัชนี NDVI ตรวจจับและวัดปริมาณพืชสีเขียวที่มีชีวิตโดยใช้แสงสะท้อนนี้ในแถบอินฟราเรดที่มองเห็นและใกล้สำหรับวิธีคำนวณดัชนี NDVI จะใช้สูตร NDVI มาตรฐาน (Gao, 1996)

(b) ดัชนีความต่างของพืชพรรณด้วยช่วงคลื่นแสงสีเขียว (Green Normalized Difference Vegetation Index: GNDVI) เป็นดัชนีวัดความเขียวของพืชโดยใช้ความแตกต่างของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) และแถบสีเขียว (GREEN) ของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งพัฒนาโดย Gitelson *et al.* (1996) ค่า GNDVI มีความไวต่อการแปรผันของคลอโรฟิลล์ในพืชมากกว่าค่า NDVI และมีจุดอิ่มตัวที่สูงกว่า สามารถใช้ในพืชที่มีทรงพุ่มหนาแน่นหรือในขั้นตอนการพัฒนาขั้นสูง ในขณะที่ค่า NDVI เหมาะสำหรับการประมาณความแข็งแรงของพืชในระยะแรก ค่า GNDVI เป็นดัชนีวัดกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นดัชนีคลอโรฟิลล์และถูกนำมาใช้มากขึ้น ในการกำหนดปริมาณน้ำและไนโตรเจนในเรือนยอดของพืชเนื่องจากมีความอิ่มตัวช้ากว่าค่า NDVI เป็นดัชนีพืชชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ปริมาณคลอโรฟิลล์เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพที่สำคัญสำหรับกระบวนการทางสรีรวิทยาหลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของพืช ความสามารถในการสังเคราะห์แสง และการตรวจจับความเครียดรวมถึงความเครียดจากภัยแล้ง ค่า GNDVI มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 เช่นเดียวกับค่า NDVI โดยค่าระหว่าง -1 ถึง 0 สัมพันธ์กับการมีน้ำหรือที่ดินว่างเปล่า ดัชนีนี้ส่วนใหญ่ใช้ในขั้นตอนกลางและขั้นสุดท้ายของวงจรการเพาะปลูก

(c) ดัชนีความต่างของคลื่นอินฟราเรด (Normalized Difference Infrared Index: NDII) เป็นดัชนีที่วัดการสะท้อนแสงโดยการหาค่าความแตกต่างระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น (shortwave infrared: SWIR) ซึ่งพัฒนาโดย Hunt and Rock (1989) ซึ่งใช้สูตรคำนวณเดียวกันกับ Normalized Difference Water Index (NDWI) ที่พัฒนาโดย Gao (1996) หรือ Normalized Difference Moisture Index (NDMI) (Sentinel Hub, 2017) ดัชนี NDII มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในเรือนยอดของพืช (Ji *et al.*, 2011) สามารถใช้ตรวจจับความเครียดในน้ำของพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามคุณสมบัติของการสะท้อนแสงอินฟราเรดคลื่นสั้น ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำในใบ เนื่องจากการดูดซับปริมาณมากโดยใบไม้ ค่าดัชนีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น ทำให้ประยุกต์ใช้ในการจัดการพืชผลทางการเกษตร การตรวจสอบเรือนยอดไม้ในป่า และการตรวจจับความเครียดของพืช (Hardisky *et al.*, 1983; Sentinel Hub, 2017) ซึ่งค่า NDII สามารถใช้ในการตรวจจับความเครียดของน้ำในบริเวณรากของพืช เนื่องจากค่า NDII ไวต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะน้ำของพืช และเนื่องจากความไวนี้เพื่อปริมาณน้ำของพืช NDII ให้ข้อมูลรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับสภาพพืชมากกว่า NDVI โดย NDII แสดงความสัมพันธ์สูงกับความชื้นในชั้นดินบนบริเวณรากในระดับภูมิภาค (Ochoa *et al.*, 2022) โดยช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรดใกล้ สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณน้ำของพืชและโครงสร้างในชั้นเมโสฟิลล์ (spongy mesophyll) ของพืช ในขณะที่ค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ได้รับผลกระทบจาก

โครงสร้างภายในใบและปริมาณวัตถุแห้งของใบไม้ แต่ไม่ได้รับผลกระทบจากปริมาณน้ำ การวิเคราะห์รวมกันของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้กับช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรดใกล้ ช่วยจัดความผันแปรที่เกิดจากโครงสร้างภายในใบและปริมาณวัตถุแห้งในใบ ทำให้ปรับปรุงความแม่นยำในการดึงข้อมูลปริมาณน้ำของพืช ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในโครงสร้างใบภายในส่วนใหญ่ควบคุมการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วง ช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรดใกล้ ดังนั้นการสะท้อนช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรดใกล้จึงสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำในใบ ทำให้ดัชนี NDII สามารถใช้เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในใบไม้ (Sentinel Hub, 2017) ซึ่งค่า NDII จะอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ซึ่งช่วงทั่วไปสำหรับพืชสีเขียวอยู่ระหว่างค่า 0.02 ถึง 0.6 (Hardisky *et al.*, 1983; Sentinel Hub, 2017)

ตารางที่ 3 ดัชนีพืชพรรณชนิดต่าง ๆ

ลำดับ	ดัชนีพืชพรรณ	สูตร	อ้างอิง
1	NDVI	$(\text{NIR} - \text{red}) / (\text{NIR} + \text{red})$	Rouse <i>et al.</i> , 1974
2	GNDVI	$(\text{NIR} - \text{Green}) / (\text{NIR} + \text{Green})$	Gitelson <i>et al.</i> , 1996
3	NDII	$(\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$	Hunt and Rock, 1989

(2.2) การใช้ค่าสะท้อนแสงจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมกับการศึกษาด้านชีพลักษณ์พืช

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมีการบันทึกอย่างต่อเนื่องทำให้สามารถศึกษาลักษณะการแสดงออกของพืชที่สัมพันธ์กับฤดูกาล เช่น การเปลี่ยนแปลงของชีพลักษณ์ของพืช ได้แก่ การเจริญเติบโตในระยะต่าง ๆ การขาดน้ำในช่วงสภาวะอากาศแห้งแล้ง การทิ้งใบของพืชที่ตอบสนองต่อปริมาณน้ำ ซึ่งลักษณะที่พืชแสดงออกนี้จะปรากฏเป็นค่าการสะท้อนที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้สามารถจำแนกลักษณะที่แตกต่างกันได้ รวมถึงการจำแนกชนิดและปริมาณของสิ่งปกคลุมดิน (แคสเสด และ ชรัตน์, 2562) ชีพลักษณ์ของพืชและการสำรวจระยะไกล ต้องการการรวบรวมข้อมูลจำนวนมาก รวมถึงการสังเกตการเปลี่ยนแปลงการดูดซับและการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นและลักษณะทางชีวเคมีหรือชีวฟิสิกส์ของพืช นักวิทยาศาสตร์ด้านชีพลักษณ์ของพืชกำลังพัฒนานวัตกรรมเพื่อจัดการข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการจัดการผลิตพืชและสถานการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช การใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา (time series) ของภาพถ่ายดาวเทียมได้ถูกนำมาใช้ในการจำแนกชนิดของพืชอย่างแพร่หลาย การจำแนกชนิดพืชโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพียงช่วงเวลาเดียว (single-date image) ที่ยังคงมีข้อจำกัด เนื่องจากพืชแต่ละชนิดต่างมีวงจรการเจริญเติบโตในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ค่าการสะท้อนเชิงช่วงคลื่นของพืชแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาจะไม่นำมาพิจารณา ซึ่งค่าดังกล่าวอาจมีประโยชน์อย่างมากในการแยกแยะชนิดของพืชที่เซนเซอร์ของดาวเทียมไม่สามารถจำแนกความแตกต่างในลักษณะเชิงช่วงคลื่นและเชิงพื้นที่ได้ ประกอบกับระบบการเพาะปลูกพืชในภาคเกษตรกรรมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งเป็นประโยชน์ในการสังเกตพัฒนาการของพืชในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น การประมาณผลผลิตพืช เป็นต้น (ดังนั้นเพื่อให้การจำแนกมีความถูกต้องและแม่นยำ จำเป็นต้องมีหลายปัจจัย ได้แก่ การเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลสนับสนุน การเลือกใช้ขั้นตอนในการจำแนกที่เหมาะสม รวมถึงทักษะการวิเคราะห์และประสบการณ์ของผู้ศึกษา การจำแนกโดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาของภาพถ่ายดาวเทียมถือเป็นวิธีการการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert system) ที่ต้องใช้วิธีการสั่งสมความรู้ และประสบการณ์ให้กับระบบคอมพิวเตอร์ในการตัดสินใจให้ถูกต้อง (Knowledge-Base

system) ซึ่งงานวิจัยด้านการใช้ระบบดังกล่าวในการจำแนกประเภทข้อมูลการใช้ที่ดินสำหรับประเทศไทยยังมีจำนวนน้อย ข้อมูลช่วงคลื่นแบบอนุกรมเวลาจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสามารถระบุลักษณะการใช้ที่ดินได้เป็นอย่างดี โดยการใช้ชุดข้อมูลในช่วงเวลาที่แตกต่างกันของชีพลักษณ์ และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของสิ่งปกคลุมดิน (Land cover dynamics) หากอุปกรณ์ตรวจจับของดาวเทียมไม่สามารถจำแนกความแตกต่างในลักษณะเชิงช่วงคลื่นและเชิงพื้นที่ได้ มีการนำข้อมูลอนุกรมเวลาของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านการสำรวจระยะไกลอย่างแพร่หลาย เช่น การทำแผนที่เพาะปลูกรายปีของไม้เศรษฐกิจแบบอัตโนมัติด้วยชุดข้อมูลอนุกรมเวลาของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat การจำแนกสิ่งปกคลุมดิน โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 แนวทางการใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลาเพื่อติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งจากสภาวะด้านชีพลักษณ์ของป่ามรสุมเขตร้อน (แคสแต และ ชรัตน์, 2562) ซึ่งการศึกษาด้านชีพลักษณ์ พืชโดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล มีดังนี้

Peña and Brenning (2015) รายงานว่า ภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา สามารถให้ข้อมูลลักษณะสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป ซึ่งสามารถใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงทางชีพลักษณ์พืชตลอดฤดูกาล และช่วยอำนวยความสะดวกในการจำแนกประเภทพืช ซึ่งคณะวิจัยได้ศึกษาในไม้ผลหลัก 4 ชนิด ใน Maipo Valley ภาคกลางของประเทศชิลี ระหว่างปีการผลิต 2013 ถึง 2014 โดยใช้ข้อมูลภาพถ่าย Landsat 8 ในคำวนดัชนี NDVI และดัชนี NDWI เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลสเปกตรัมเพื่อใช้ร่วมกับชุดข้อมูลอ้างอิงต่าง ๆ ในการจำแนกชนิดไม้ผล โดยใช้วิธี linear discriminant analysis, random forest และ support vector machine พบว่า ค่า NDWI มีความแม่นยำมากกว่าการใช้ค่า NDVI และการใช้ภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นมีความแม่นยำมากกว่าการใช้ค่า NDVI หรือ ค่า NDWI เพียงอย่างเดียว และพบว่า ภาพช่วงคลื่นสีเขียว ช่วงคลื่นสีแดง ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน และช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น (short wave infrared) ในระยะแรกที่พืชมีความเขียวสามารถจำแนกชนิดของไม้ผลได้ดีที่สุด

Bendin *et al.* (2016) ศึกษาการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 โดยคำนวณค่า EVI หลายช่วงเวลา ร่วมกับใช้ชุดข้อมูลอ้างอิง ในการจำแนกการใช้ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมในพื้นที่ Cerrado (Brazilian Savanna) รัฐเซาเปาโล ประเทศบราซิล โดยใช้วิธี Random Forest classification ในการสร้างฐานข้อมูลค่าการสะท้อนแสงในชั้นแรกได้ทำการสุ่มตัวอย่างตามชนิดพืช ได้แก่ ไม้ยืนต้น พืชล้มลุก ป่าปลูก พืชกึ่งยืนต้น ได้แก่ ระบบการปลูก 3 ชนิดพืช ใน 1 ปี ได้แก่ มันฝรั่ง ถั่ว และ ข้าวโพด ซึ่งมันฝรั่ง มีการเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงกลางเดือนสิงหาคม แล้วตามด้วยการปลูกข้าวโพดในเดือนกันยายน และเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปลูกถั่วซึ่งมีอายุสั้นช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนมีนาคม แล้วปลูกข้าวโพดตามในเดือนพฤษภาคม พบว่าการใช้ชุดข้อมูลภาคสนามตามช่วงเวลา (time series) มาทำโมเดลร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม พบว่าสามารถตรวจจับการปลูกข้าวโพดได้แต่ไม่สามารถตรวจจับการปลูกมันสำปะหลังและถั่วได้

Cilek and Berberoglu (2018) จัดทำแผนที่รูปแบบการเพาะปลูกโดยใช้เทคนิคการจำแนกตามวัตถุภายในพื้นที่เกษตรกรรมแถบเมดิเตอร์เรเนียนในประเทศตุรกี เนื่องจากพื้นที่ในแถบ

ทะเลเมดิเตอร์เรเนียนมีการเพาะปลูกพืชที่หลากหลายทำให้การแสดงลักษณะทางช่วงคลื่นที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งทำให้ยากต่อการจำแนกคุณลักษณะในพื้นที่ด้วยจุดภาพในข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอย่างง่าย ดังนั้นการจำแนกตามวัตถุจึงถูกนำมาใช้สำหรับการจำแนกสิ่งปกคลุมดินในสภาพแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งปัจจัยที่นำมาใช้เพื่อจำแนกภาพตามวัตถุในการจัดทำแผนที่ให้ถูกต้องมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งจากการวิจัยพบว่า การจำแนกตามช่วงเวลาที่แตกต่างกันสองช่วงคือฤดูหนาวและฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษาให้ความแม่นยำสูง โดยเดือนมีนาคมและเมษายนเป็นเวลาย่อยภาพที่ดีที่สุดสำหรับฤดูหนาว และระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคมเป็นเวลาย่อยภาพที่ดีที่สุดสำหรับฤดูเพาะปลูกฤดูร้อน

Anand *et al.* (2018) ประเมินการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นที่ โดยการใช้ดัชนี NDVI และคาดการณ์ค่า NDVI สำหรับปี 2028 โดยสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้สูงเท่ากับ 0.617 และพบว่าความหนาแน่นของพื้นที่ป่าลดลงใน West Singhbhum และพื้นที่ที่รกร้างว่างเปล่าและที่ดินเปล่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการศึกษานี้แสดงให้เห็นรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่า NDVI และสามารถทำนายสถานการณ์ในทศวรรษหน้าได้

Amin *et al.* (2021) การติดตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพืชผลช่วยในการจัดการด้านการเกษตรอย่างมีนัยสำคัญ และมีบทบาทสำคัญในการทำนายผลผลิตของพืชผล การสังเกตการณ์ผ่านดาวเทียมแบบหลายช่วงเวลาช่วยให้สามารถวิเคราะห์พลวัตตามฤดูกาลของพืชในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้โดยใช้ดัชนีพืชพรรณหรือตัวแปรทางชีวกายภาพ สามเหลี่ยมปากแม่น้ำไนล์ตอนเหนือเป็นพื้นที่เกษตรกรรมประมาณครึ่งหนึ่งของอียิปต์ ในภูมิภาคนี้ ระบบการทำฟาร์มแบบเข้มข้นมีความสำคัญมากกว่า ซึ่งแปลเป็นแรงกดดันต่อความต้องการน้ำประปา ยิ่งไปกว่านั้น แผนการปลูกพืชหมุนเวียนสองครั้งกำลังเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องมีการตรวจสอบความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงพื้นที่สูงเพื่อบันทึกวงจรการเจริญเติบโตของพืชที่ต่อเนื่องกัน การศึกษานี้แนะนำเสนอกรอบการทำงานสำหรับการแสดงลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพืชผลตามอนุกรมเวลาที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงเวลาสูงของดัชนีพื้นที่ใบสีเขียว (LAI) โดยเฉพาะของนาข้าว

Fortes *et al.* (2015) ศึกษาการใช้ดัชนี NDVI เพื่อทำแผนที่คาดการณ์ผลผลิตของมะเขือเทศพันธุ์โรงงาน โดยแผนที่ดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการแบ่งโซนในการใช้ปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ย ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับผลผลิตมะเขือเทศสูง และสามารถทำแผนที่แสดงความแปรปรวนของผลผลิตในแปลงปลูกได้

Caturegli *et al.* (2016) ใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (UAVs) ที่ติดตั้ง multispectral sensor ศึกษาในระดับไนโตรเจน ในหญ้าสนาม พบว่า ค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนในต้นหญ้าสูงมาก ($r^2 = 0.95$) ซึ่งค่าสัมพัทธ์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้กำหนดค่าความต้องการไนโตรเจนของหญ้าแต่ละชนิดได้

Guan *et al.* (2019) ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างภาพของดัชนี NDVI รายละเอียดสูงกับอัตราปุ๋ยและผลผลิตข้าวและข้าวสาลี โดยการบันทึกข้อมูลรีโมทเซ็นซึ่งได้ใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (UAVs) ที่ติดตั้ง multispectral sensor ผลการศึกษาพบว่า ค่า NDVI

สามารถแสดงค่าความแตกต่างการได้รับปุ๋ยในอัตราที่ต่างกันของข้าวและข้าวสาลี และค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับผลผลิตโดยมีค่า r^2 อยู่ระหว่าง 0.601 ถึง 0.809

Santillan and Santillan (2018) ศึกษาการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์การสะท้อนแสงเชิงคลื่นของสาขและปาล์มชนิดอื่นๆ ได้แก่ มะพร้าว และปาล์มน้ำมัน เพื่อใช้จำแนกชนิดของพืชแต่ละชนิด ชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยค่าลายเซ็นต์เชิงคลื่นเฉลี่ยของปาล์มแต่ละชนิดที่วัดได้ภายในช่วงความยาวคลื่น 345 ถึง 1045 นาโนเมตร โดยใช้สเปกโตรมิเตอร์ไฟเบอร์ออปติกขนาดเล็กของ Ocean Optics USB4000-VIS-NIR ข้อมูลการสะท้อนแสงในแหล่งกำเนิดนี้ยังได้รับการสุ่มตัวอย่างใหม่เพื่อให้ตรงกับ การตอบสนองกับช่วงคลื่นของดาวเทียม ALOS AVNIR-2 แถบช่วงคลื่นที่ 4 ดาวเทียม ASTER VNIR แถบช่วงคลื่นที่ 3 ดาวเทียม Landsat 7 ETM+ แถบช่วงคลื่นที่ 4 ดาวเทียม Landsat 8 แถบช่วงคลื่นที่ 5 และดาวเทียม Worldview-2 8 แถบช่วงคลื่น การตรวจสอบลายเซ็นต์เชิงคลื่นแสดงให้เห็นว่าบริเวณอินฟราเรดใกล้ โดยเฉพาะที่ 770 800 และ 875 นาโนเมตร ให้ความยาวคลื่นที่ดีที่สุดที่สามารถแยกต้นสาขออกจากต้นปาล์มชนิดอื่นได้ การสุ่มตัวอย่างใหม่ของการสะท้อนแสงในแหล่งกำเนิดเพื่อให้ตรงกับ การตอบสนองทางสเปกตรัมของเซ็นเซอร์ออปติคัลทำให้สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของการสะท้อนแสงของ สาข และปาล์มอื่นๆ ในแถบต่าง ๆ ของเซ็นเซอร์ได้ โดยรวมแล้วความรู้ที่ได้รับจากการวิเคราะห์จะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมเชิงคลื่น โดยเฉพาะในการพิจารณาว่าแถบใดที่จะรวมหรือไม่รวม หรือจะใช้แถบทั้งหมดของเซ็นเซอร์ในการแยกแยะและทำแผนที่ต้นสาข

Htitiou *et al.* (2019) ใช้ข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลเพื่อศึกษาศักยภาพของข้อมูลอนุกรมเวลา Sentinel 2 A (S2) และ Landsat 8 (L8) โดยคำนวณดัชนี NDVI ซึ่งประเมินโดยใช้การจำแนกประเภท Random Forest (RF) เพื่อจำแนกและจัดทำแผนที่ชนิดพืชต่าง ๆ ในประเทศโมร็อกโก อนุกรมเวลาของดัชนี NDVI ซึ่งเป็นตัวชี้วัดทางชีวลักษณ์ ป็นตัวแปรสำหรับการจำแนกประเภทพื้นที่เพาะปลูก วิธีการจัดประเภทที่ใช้ขึ้นเกี่ยวข้องกับการใช้ตัวแยกประเภท Random Forest (RF) ที่มีการควบคุมดูแล ผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงความสามารถของภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดระดับปานกลางถึงสูง (10 ถึง 30 เมตร) ในการบันทึกภาพระยะทางชีวลักษณ์ของระบบการปลูกพืชต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา ซึ่งการจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลภาพถ่าย Sentinel 2 ให้ความแม่นยำโดยรวมที่สูงกว่าร้อยละ 93 และค่าสัมประสิทธิ์ค้ำปาที่ 0.91 ซึ่งสูงกว่าการใช้ข้อมูลภาพถ่าย Landsat 8 ซึ่งอยู่ที่ร้อยละ 90 และค่า สัมประสิทธิ์ค้ำปาที่ 0.88 กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ค่าชีวลักษณ์ที่ได้จากข้อมูลอนุกรมเวลา ข้อมูลภาพถ่าย Sentinel 2 มีศักยภาพสูงสำหรับการจำแนกประเภทพืชผลทางการเกษตรในพื้นที่กึ่งแห้งแล้ง และดังนั้นจึงสามารถเป็นเครื่องมือสำหรับการตัดสินใจในการจัดการและติดตามในสภาพพื้นที่ที่ซับซ้อน เช่น พื้นที่ชลประทาน

ยศธร (2562) ศึกษาการใช้เทคนิค NDVI และ NDWI ในการจำแนกชนิดป่าไม้ในเขตอำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก พบว่า การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมกับเทคนิคอัตราส่วนช่วงคลื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง NDVI และ NDWI สามารถเพิ่มความถูกต้องในการจำแนกชนิดป่าได้ ซึ่งค่า NDVI และ NDWI ของป่าแต่ละชนิดที่จำแนกออกมานั้น ค่าเฉลี่ยของ NDVI และ NDWI แตกต่างกัน เช่น ค่า NDVI ของป่าเบญจพรรณกับป่าดิบเขานั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนป่าไผ่กับสวนป่าสัสนั้น

มีค่าที่ใกล้เคียงกันจึงแยกออกจากกันไม่ได้ ส่วนค่าของ NDWI ของป่าเบญจพรรณกับป่าดิบเขานั้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าของป่าที่ใกล้เคียงกันของ NDWI นั้น คือ ป่าเบญจพรรณกับป่าทุ่ง ป่าเบญจพรรณกับป่าพื้นที่ตามธรรมชาติ และ ป่าทุ่งกับป่าพื้นที่ตามธรรมชาติ

ทศนัศว์ และ เชษฐรุจ (2564) รายงานว่า ข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้อากาศยาน ไร้คนขับ (โดรน) ที่ติดกล้องชนิด multispectral และ ทำการคำนวณค่า NDVI พบว่า ต้นยูคาลิปตัสที่มีอายุ ต่างกัน มีค่าเฉลี่ย NDVI ที่แตกต่างกัน โดยพบว่า ต้นยูคาลิปตัสที่มีอายุ 8 ปี มีค่าเฉลี่ย NDVI สูงสุด เท่ากับ 0.42 รองลงมา ได้แก่ ต้นยูคาลิปตัสที่มีอายุ 10 4 และ 6 ปี ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Qiao et al. (2016) ซึ่งรายงานค่า NDVI ของแปลงปลูกต้นยูคาลิปตัสที่มีอายุ 1 ถึง 7 ปี อยู่ในช่วงระหว่าง 1.5 ถึง 0.6 โดยค่า NDVI จะเปลี่ยนไปตามอายุของต้นยูคาลิปตัส นอกจากนี้ยังรายงานค่า NDVI ของแปลง ปลูกต้นยูคาลิปตัสลดลงต่ำสุดเมื่อถึงอายุที่มีการตัด หลังจากนั้นค่า NDVI จะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อ ต้นยูคาลิปตัสมีการงอกกล้าต้นใหม่ขึ้นมา

(2.3) การใช้ค่าสะท้อนแสงจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมกับการศึกษาพืชเศรษฐกิจของไทย 5 ชนิด

(2.3.1) อ้อย

Rahma et al. (2004) ศึกษาการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อย และสภาพ การเจริญเติบโตของอ้อยโดยใช้ข้อมูลภาพถ่าย NDVI ที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม IRS LISS II ขนาด จดภาพ 36.25 เมตร ที่บันทึกในวันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2542 เปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม คือ ดัชนีพื้นที่ ใบสูงสุด (maximum leaf area index) ของอ้อยที่มีอายุ 6 เดือน โดยเก็บข้อมูลภาคสนามหลังจากมีการ ถ่ายภาพ 2 สัปดาห์ พบว่า ค่าสะท้อนแสงของแปลงปลูกอ้อยจะเปลี่ยนแปลงตามการเจริญเติบโต (phenology) ระยะการเจริญเติบโต และสุขภาพของพืช โดยดัชนี NDVI สามารถจำแนกพื้นที่ที่ปลูกอ้อยออก จากพืชชนิดอื่นแต่ยังมีข้อจำกัดสำหรับการจำแนกออกจากแปลงไม้ผลเนื่องจากในช่วงนี้ค่าดัชนี NDVI ของ อ้อยมีค่าใกล้เคียงกับไม้ผล ค่าดัชนี NDVI ของอ้อยอยู่ในช่วง 0.23 ถึง 0.56 โดยอ้อยที่มีสุขภาพแย่มาก ปานกลาง ดี และดีมาก ค่าดัชนี NDVI อยู่ในช่วง 0.23 ถึง 0.24 0.24 ถึง 0.28 0.28 ถึง 0.38 และ 0.38 ถึง 0.56 ตามลำดับ

Abyanta et al. (2022) การวิเคราะห์สุขภาพของอ้อยโดยใช้การเปรียบเทียบ ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 หลายช่วงเวลา ได้แก่ ข้อมูลภาพที่บันทึกใน เดือนพฤษภาคม และ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 และใน เดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และมิถุนายน พ.ศ. 2565 ในอำเภอบางบาล จังหวัดลพบุรี ประเทศอินโดนีเซีย โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจะถูกคำนวณดัชนี NDVI ซึ่งเป็นดัชนีที่สามารถประมาณระดับ ของคลอโรฟิลล์ในใบ และ ดัชนี NDMI ซึ่งเป็นดัชนีที่สามารถประมาณระดับความชื้นในใบ โดยผลการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงของดัชนี NDVI และ NDMI มีลักษณะคล้ายกัน คือ ค่า NDVI และ NDWI ของอ้อย มีค่าสูงในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และมิถุนายน พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 แต่มีค่าต่ำในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 ซึ่งเป็นช่วงที่อ้อยมีสุขภาพแย่มาก เนื่องจากมีบางแปลงอยู่ในช่วงเก็บเกี่ยว ต้นของอ้อยเข้าสู่ระยะใบมี ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง โดยการจำแนกสุขภาพของอ้อย ตามช่วงค่า NDVI เป็น 4 ระดับ คือ สุขภาพแย่มาก ปกติ ดี และดีมาก มีค่า NDVI อยู่ในช่วง น้อยกว่า 0.392 0.392 ถึง 0.57 0.571 ถึง 0.726 และ มากกว่า 0.7276

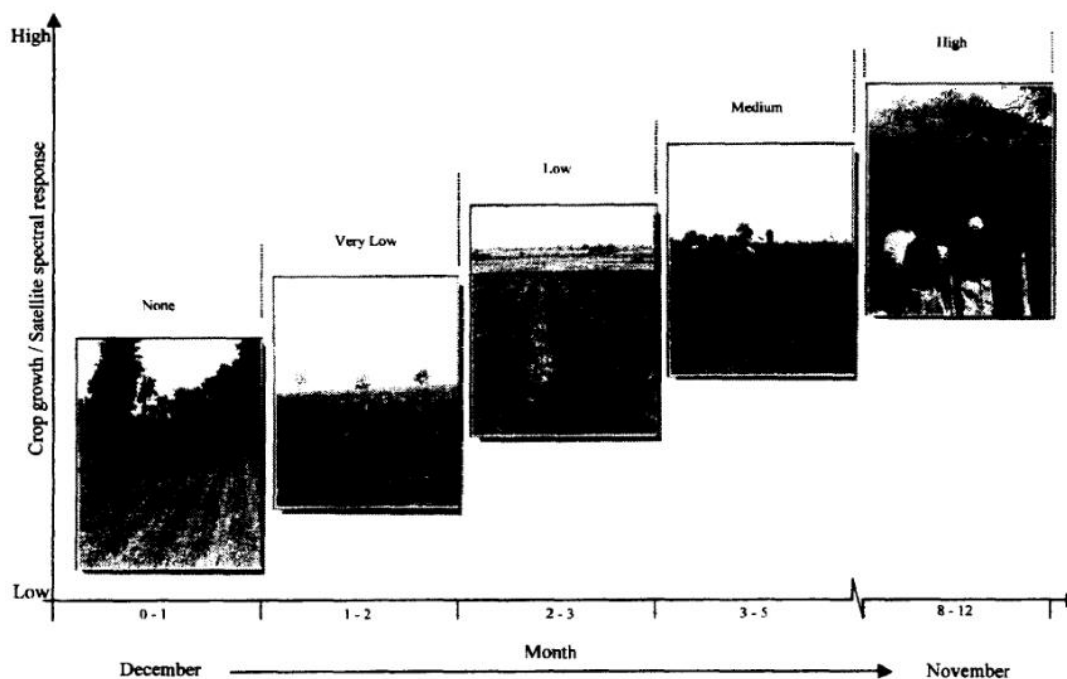
ตามลำดับ และจำแนกตามช่วงค่า NDWI เป็น 5 ระดับ คือ สุขภาพแย่มาก แย่ ปกติ ดี และดีมาก มีค่า NDWI อยู่ในช่วง น้อยกว่า 0 0.01 ถึง 0.20 0.21 ถึง 0.30 และ 0.31 ถึง 0.40 และ มากกว่า 0.40

Chen *et al.* (2020) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า NDVI ตลอดทั้งปีในพื้นที่ปลูกอ้อยและพืชอื่นๆ ในเมืองฟูซู่ มณฑลกว่างสี ประเทศจีน โดยดัชนี NDVI คำนวณจากข้อมูลภาพที่ได้จากการหลอม (fusion) ข้อมูลภาพดาวเทียม HJ-1 CCD และดาวเทียม MODIS โดยใช้โมเดล multi-source remote sensing data ESTRAFM ทำให้มีรายละเอียดจุดภาพ 30 เมตร ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า NDVI มีการเพิ่มขึ้นและลดลงตามช่วงเวลา เนื่องจากการปลูกอ้อยในพื้นที่ศึกษาเริ่มปักท่อนพันธุ์ในกลางเดือนมีนาคม เริ่มงอกในปลายเดือนมีนาคม แตกหน่อในกลางเดือนพฤษภาคม ระยะยืดปล้องในปลายเดือนมิถุนายน ระยะโตเต็มที่ในกลางเดือนพฤศจิกายน สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า NDVI คือ ช่วงเดือนมกราคมถึงกลางเดือนมีนาคม (1 ถึง 113 วัน) ซึ่งมีอ้อยปกคลุมน้อยจะมีค่า NDVI เปลี่ยนแปลงน้อย ตั้งแต่กลางเดือนมีนาคมถึงปลายเดือนมิถุนายนเป็นช่วงเริ่มต้นของการยืดลำต้น (113 ถึง 177 วัน) และ ค่า NDVI เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ปลายเดือนมิถุนายนถึงต้นเดือนตุลาคมเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงจากการยืดลำต้นไปสู่ช่วงการสะสมน้ำตาล (177 ถึง 273 วัน) และ ค่า NDVI เพิ่มขึ้นช้า หลังจากต้นเดือนตุลาคม (273 วัน) อ้อยเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนจากการสะสมน้ำตาลไปสู่ช่วงการหมักสมบูรณ์ทางเทคนิค และ ค่า NDVI เริ่มลดลง ขณะที่พืชอื่นเช่น ข้าวโพดฤดูร้อน ค่า NDVI เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ต้นเดือนเมษายนถึงต้นเดือนพฤษภาคม (97 ถึง 129 วัน) และลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ต้นเดือนพฤษภาคมถึงปลายเดือนกรกฎาคม (129 ถึง 209 วัน) สำหรับข้าวฟ่างฤดูใบไม้ผลิ ค่า NDVI เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่กลางเดือนมกราคมถึงปลายเดือนมิถุนายน (17 ถึง 177 วัน) และลดลงตั้งแต่ปลายเดือนมิถุนายนถึงปลายเดือนกรกฎาคม (177 ถึง 209 วัน) ค่า NDVI ของป่าสูง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาการเจริญเติบโตทั้งหมด ในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตทั้งหมดอ้อยแสดงระดับความแตกต่างที่สำคัญเมื่อเทียบกับ ข้าวในช่วงต้นฤดูปลูก ข้าวโพดในช่วงใบอ่อน และป่าตั้งแต่ปลายเดือนเมษายนถึงสิ้นเดือนพฤษภาคม (113 ถึง 145 วัน) ซึ่งเป็นเวลา 1 เดือน หลังจากเริ่มงอก และเกือบครึ่งเดือนหลังจากการแตกหน่อ แต่อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลานี้มีข้อจำกัดด้านสภาพอากาศทำให้ยากมากที่จะได้รับข้อมูลที่ชัดเจนที่มีความละเอียดสูง นอกจากนี้บางช่วงเวลาก็ไม่สามารถจำแนกพืชบางชนิดออกจากกันได้ เช่น ข้าว ข้าวโพด และป่า ในปลายเดือนกรกฎาคม (209 วัน) ดัชนีค่า NDVI ของ ข้าวโพดและข้าว มีค่าต่ำ ซึ่งการแก้ปัญหาในการจำแนกได้ใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ช่วยในการจำแนก โดยแบ่งลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ เนินเขา และ ภูเขา โดยความแม่นยำในการระบุพื้นที่ปลูกอ้อยในการจำแนกในบริเวณที่ราบ เนินเขา และภูเขา เท่ากับร้อยละ 95.61 91.84 และ 83.80 ตามลำดับ

(2.3.2) มั่นสำปะหลัง

Eiumnoh and Shrestha (1999) ศึกษาการทำแผนที่พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ข้อมูลภาพดาวเทียม NOAA-AVHRR ซึ่งได้จากดาวเทียม NOAA-14 มีขนาดตามมาตราส่วนแผนที่ เท่ากับ scale 1:250,000 ในฤดูกาลปลูก ปี พ.ศ. 2538 และ 2539 พบว่า ข้อมูลภาพดาวเทียม NOAA-AVHRR สามารถใช้ในการจัดทำแผนที่ปลูกมันสำปะหลังในระดับภูมิภาค

ในประเทศไทยได้ โดยมันสำปะหลังจะเริ่มปลูกในเดือนธันวาคมและใช้เวลาในการปลูก 12 เดือน ซึ่งพบว่า ค่าการสะท้อนแสงของมันสำปะหลังจะเพิ่มสูงขึ้นตามการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 ระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่มีการตอบสนองด้านค่าการสะท้อนแสงในข้อมูลดาวเทียม

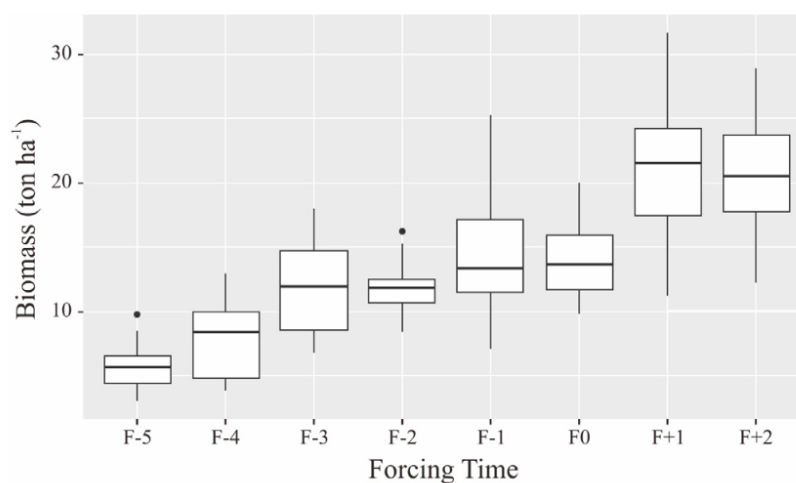
ที่มา : Eiumnoh and Shrestha (1999)

ชัตติยานี และคณะ (2561) ศึกษาค่าสะท้อนพลังงานของมันสำปะหลังจากข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 จำนวน 4 ช่วงคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง และอินฟราเรดใกล้ ที่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตแล้ว และเก็บข้อมูลระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง 4 ช่วง ระยะการเจริญเติบโต ประกอบด้วยระยะที่ 1 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น ระยะที่ 2 ระยะพัฒนารากสะสมอาหาร และลงหัว และระยะที่ 3 ระยะเก็บเกี่ยว ผลการศึกษา พบว่า ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นของมันสำปะหลังในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นมีการสะท้อนต่ำเนื่องจากคลอโรฟิลล์จะมีอิทธิพลต่อการดูดกลืนพลังงานมาก และในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้พืชจะสะท้อนพลังงานสูงเนื่องจากคลอโรฟิลล์ที่อยู่ในใบพืชสามารถตอบสนองพลังงานที่มาจากกระแทกในช่วงคลื่นนี้ได้ดี การจัดทำสเปกตรัมไลบรารีของมันสำปะหลัง พบว่า ลักษณะของลายเซ็นต์เชิงคลื่นที่ขึ้นลงแตกต่างกันตามช่วงความยาวคลื่น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่มีผลต่อการสะท้อนพลังงานของพืชพรรณ โดยค่าการสะท้อนพลังงานที่แท้จริงของมันสำปะหลังในช่วงระยะการเจริญเติบโต ระยะที่ 1 ช่วงอายุ 1 เดือน เท่ากับ 0.0399 ถึง 0.3566 และ ช่วงอายุ 2 เดือน เท่ากับ 0.0287 ถึง 0.3404 ระยะที่ 2 ช่วงอายุ 6 เดือน เท่ากับ 0.0265 ถึง 0.5709 และ ระยะที่ 3 ช่วงอายุ 9 เดือน เท่ากับ 0.0273 ถึง 0.4573

(2.3.3) สับปะรด

บุษราวัลย์ และ ปรีชา (2559) ศึกษาการประมาณเนื้อที่เพาะปลูก สับปะรดโรงงาน อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ที่บันทึกในช่วงเวลาที่มีการเพาะปลูกสับปะรดโรงงานที่กำลังเจริญเติบโตเต็มที่ ช่วงเดือนมกราคม ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 โดยคำนวณดัชนีพืชพรรณ 3 ดัชนี ได้แก่ ดัชนี Simple Division (IRR) ดัชนี Vegetation Index (VEGINDEX) และดัชนี NDVI และสัมพันธ์ข้อมูลในพื้นที่เพาะปลูกสับปะรดโรงงาน จำนวน 30 แปลง พบว่า มีค่า IRR อยู่ระหว่าง 0.28 ถึง 1.51 ค่า VEGINDEX อยู่ระหว่าง 10 ถึง 45 และค่า NDVI อยู่ระหว่าง 0.27 ถึง 0.43 เมื่อนำค่าดัชนีพืชพรรณมาหาความสัมพันธ์กับผลผลิตที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม แสดงให้เห็นว่า ค่า IRR มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r^2) เท่ากับ 0.20 และค่า VEGINDEX กับค่า NDVI มีค่า r^2 เท่ากับ 0.02 และ 0.16 ตามลำดับ

Putra *et al.* (2021) ใช้ข้อมูลภาพทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ศึกษาการเจริญเติบโตของสับปะรด ในประเทศอินโดนีเซีย โดยข้อมูลภาพทางอากาศถูกคำนวณดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ GDVI, NDVI, OSAVI (Optimize Soil Adjusted Vegetation Index) และ TDVI (Transformed Difference Vegetation Index) และแบ่งระยะที่เก็บข้อมูลตามช่วงอายุของสับปะรดที่อยู่ระหว่างก่อนการบังคับให้ออกดอก 5 เดือน ถึง 2 เดือนหลังการบังคับ แบ่งออกเป็น 8 ระยะ ได้แก่ F-5, F-4, F-3, F-2, F-1, F0, F+1, และ F+2 พบว่า ข้อมูลภาพทางอากาศสามารถใช้ในการศึกษาประมาณมวลชีวภาพและความแปรปรวนปริมาณมวลชีวภาพของสับปะรดในแต่ละช่วงอายุได้ โดยพบว่า ความแปรปรวนปริมาณมวลชีวภาพของสับปะรดในแต่ละช่วงอายุจะแตกต่างกัน (ภาพที่ 10) ดัชนี GNDVI สามารถใช้ในการประมาณปริมาณมวลชีวภาพได้ที่ระยะ F-5, F-4, F-3, and F+1 stage ดัชนี OSAVI สามารถใช้ในการประมาณปริมาณมวลชีวภาพได้ที่ระยะ F-2, F-1 และ F + 2 และ ดัชนี TDVI สามารถใช้ในการประมาณปริมาณมวลชีวภาพได้ที่ระยะ F0



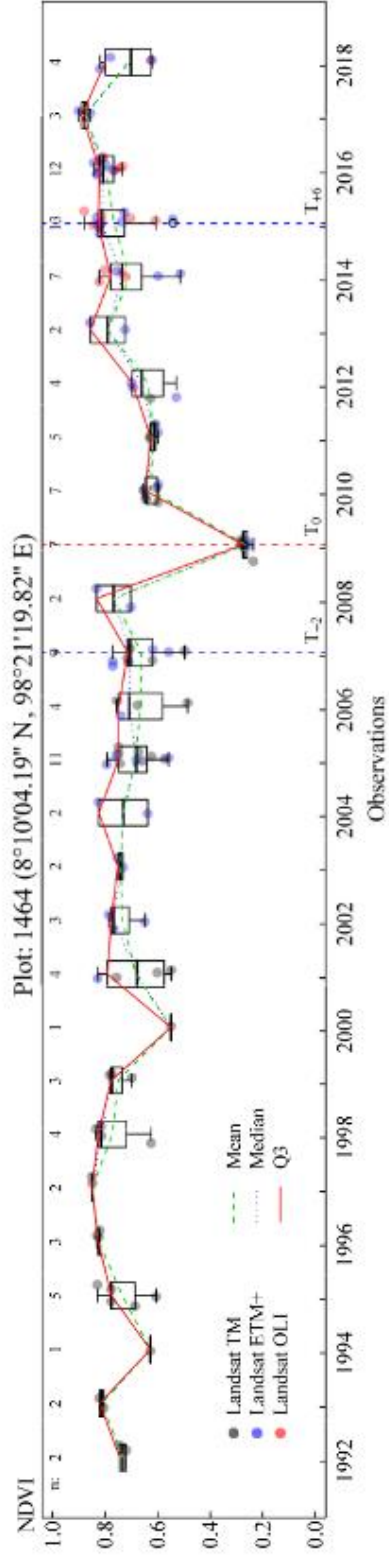
ภาพที่ 10 แผนภาพ Box Plot แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพกับช่วงอายุของสับปะรด
ที่มา : Putra *et al.* (2021)

(2.3.4) ยางพารา

Chen *et al.* (2018) ศึกษาการใช้ชุดภาพดาวเทียม Landsat ตามอนุกรมเวลา ในการประมาณอายุของต้นยางพาราในบริเวณรอยต่อของประเทศจีน พม่า และลาว โดยขั้นตอนการสร้างแผนที่ปลูกยางพาราเริ่มโดยการคัดเลือกจุดภาพที่มีค่า NDVI ที่มีค่าน้อยกว่า 0.4 และกำหนดให้เป็นพื้นที่ว่างเปล่า หรือพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมน้อย จากนั้นจึงใช้ค่า NDVI เป็นข้อมูลป้อนเข้าในโมเดลการเจริญเติบโตของยางพารา (rubber tree growth model) จำนวน 3 โมเดล แล้วสร้างแผนที่ประมาณอายุต้นยางพารา และพบว่า ค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับโมเดลการเจริญเติบโตของยางพารา โดยค่า r^2 มีค่าระหว่าง 0.62 ถึง 0.94

Sayavong *et al.* (2019) ศึกษาการจัดทำแผนที่จำแนกอายุยางพาราในแขวงหลวงน้ำทา ประเทศลาว และศึกษาศักยภาพการใช้คลื่นเดี่ยว ได้แก่ แบนด์ 4 (RED) แบนด์ 5 (NIR) และ แบนด์ 7 (SWIR) และดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ ดัชนี NDVI และ ดัชนี Land Surface Water Index (LSWI) โดยใช้ข้อมูลภาพ Landsat ในการจำแนกพื้นที่ปลูกยางพารากับพื้นที่ที่ไม่ได้ปลูกยางพารา และประมาณอายุของยางพารา โดยได้แบ่งอายุของยางพารออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ อายุต่ำกว่า 7 ปี อายุระหว่าง 7 ถึง 12 ปี และอายุมากกว่า 12 ปี พบว่าการจำแนกมีความแม่นยำสูงถึงร้อยละ 92 และ 0.89 ตามลำดับสำหรับความแม่นยำรวมและค่า Kappa coefficient ความแม่นยำของผลผลิตและผู้ใช้ของอายุต้นยางพารา คือ ร้อยละ 75 ถึง 92 และ 75 ถึง 91 ตามลำดับ สำหรับกลุ่มอายุทั้งสาม ความแม่นยำรวมและค่า Kappa coefficients สำหรับดัชนี NDVI และ LSWI คือ ร้อยละ 87 และ 80 และ 0.79 และ 0.67 ตามลำดับ และยังพบว่าค่า LSWI มีค่ามากกว่า NDVI เมื่อต้นยางพารามีอายุมากกว่า 7 ปี แต่ NDVI แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำรวมที่ดีกว่า LSWI ในช่วงเริ่มต้นที่ต้นยางมีการผลิใบ

Somching (2019) ศึกษาศักยภาพของการใช้ข้อมูลภาพดาวเทียมตามอนุกรมเวลา ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1992 ถึง 2018 จากชุดภาพดาวเทียม Landsat ที่คำนวณดัชนี NDVI เพื่อระบุอายุของยางพาราในพื้นที่ราบของอำเภอถลุงเหล็ก จังหวัดภูเก็จ ซึ่งการศึกษาพบว่า ค่า NDVI ของแปลงยางพารา มีการเปลี่ยนแปลงตามอายุของยางพารา โดยแปลงยางพาราที่ถูกโค่นจะมีค่า NDVI ลดลงและมีค่าต่ำ ยางพาราที่ปลูกใหม่ค่า NDVI จะสูงขึ้นตามอายุของต้นยางพารา และมีแนวโน้มคงที่เมื่อยางพาราโตเต็มที่ แต่อย่างไร NDVI จะลดลงอีกครั้งเมื่อต้นยางพาราโตถูกโค่นเพื่อปลูกใหม่ (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงของค่า NDVI ตามข้อมูลอนุกรมเวลาของแปลงปลูกยางพาราเปรียบเทียบกับภาพถ่ายระยะเียดสูง

จาก Google Earth Pro TM

ที่มา : Somching (2519)

(2.3.5) ปาล์มน้ำมัน

Shashikant *et al.* (2012) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของดัชนี NDVI ที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 ของแปลงปลูกปาล์มน้ำมันในประเทศมาเลเซียเพื่อใช้ในการบริหารจัดการแปลงปลูกปาล์มน้ำมัน พบว่า ค่า NDVI ของปาล์มน้ำมันในแปลงศึกษาที่มีอายุอยู่ในช่วง 6 ถึง 24 ปี มีค่าอยู่ในช่วง 0.656 ถึง 0.722 โดยปาล์มน้ำมันที่มีอายุ 6 8 10 12 14 18 และ 24 ปี มีค่า NDVI เท่ากับ 0.673 0.682 0.717 0.722 0.656 0.702 และ 0.648 ตามลำดับ ซึ่งดัชนี NDVI จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 มีศักยภาพในการประเมินความเขียวของใบซึ่งสามารถใช้ในการกำหนดอัตราการให้ปุ๋ย

Balasundram *et al.* (2013) ศึกษาการพัฒนาโมเดลสำหรับคาดการณ์ผลผลิตปาล์มน้ำมันโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม QuickBird ที่บันทึกจำนวน 1 วันหาความสัมพันธ์กับชุดข้อมูลผลผลิตตามอนุกรมเวลา ซึ่งข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม QuickBird ได้ถูกคำนวณดัชนีพืชพรรณ 4 ดัชนี ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI ดัชนี Ratio Vegetation Index (RVI) และ ดัชนี Modified Soil-Adjusted Ratio Vegetation Index (MSAVI) โดยพบว่า ดัชนีพืชพรรณทั้ง 4 ดัชนีมีความสัมพันธ์กับผลผลิตปาล์มน้ำมันที่แบ่ง 4 ช่วง ได้แก่ ค.ศ. 1990-2002 (12 ปี) ค.ศ. 1990 ถึง 1997 (ปาล์มที่มีอายุ 8 ถึง 15 ปี) ค.ศ. 1998 ถึง 1999 (ปาล์มที่มีอายุ 6 ถึง 7 ปี) และ ค.ศ. 2000 ถึง 2002 (ปาล์มที่มีอายุ 3-5 ปี) พบว่า ดัชนีพืชพรรณ 4 ดัชนีมีความสัมพันธ์กับผลผลิตปาล์มน้ำมันทั้ง 4 ช่วง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ (r) ระหว่างผลผลิตปาล์มน้ำมันกับดัชนีพืชพรรณของปาล์มน้ำมันที่ปลูกต่างช่วง

Planting year	n	RVI		NDVI		MSAVI		GNDVI	
1990-2002	56	0.789**		0.762**		0.744**		0.713**	
1990-1997	17	0.380		0.522*		0.398		0.311	
1998-1999	12	0.895**		0.831**		0.761**		0.884**	
2000-2002	27	0.617**		0.599**		0.611**		0.559**	

ที่มา : Balasundram *et al.* (2013)

Foong *et al.* (2019) โครงการนี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการคำนวณดัชนี NDVI และ SAVI เพื่อใช้ประเมินสุขภาพของพืช และศึกษาความสัมพันธ์ของดัชนี NDVI และ SAVI ต่ออุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนโดยใช้โมเดลการถดถอย พบว่า ดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์กับสุขภาพของพืช และ SAVI มีความสัมพันธ์กับปริมาณของไนโตรเจน ดัชนี NDVI และ SAVI มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิสูงมากแต่ไม่มีความสัมพันธ์หรือมีความสัมพันธ์น้อยมากกับปริมาณน้ำฝน โดยค่า NDVI ที่มีสุขภาพดีจะอยู่ในช่วง 0.45 ถึง 0.57 โดยต้นที่มีสุขภาพดีกว่ามีค่า NDVI สูงกว่า และปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงจะมีค่า SAVI อยู่ในช่วง 0.68 ถึง 0.86

(2.4) ดาวเทียม Sentinel 2

ดาวเทียม Sentinel เป็นชุดดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติที่พัฒนาโดยคณะกรรมการอวกาศยุโรป (European Space Agency: ESA) พัฒนาชุดภารกิจสังเกตการณ์โลกยุคหน้า ในนามของโคเปอร์นิคัสผู้ริเริ่มร่วม/คณะกรรมการธิการยุโรป (European Commission) เป้าหมายของโปรแกรม Sentinel คือการแทนที่ภารกิจสำรวจโลกแบบเก่าที่เลิกใช้แล้ว เช่น ภารกิจ ERS และ Envisat หรือกำลังใกล้สิ้นสุดอายุการใช้งาน สิ่งนี้จะช่วยให้มั่นใจได้ถึงความต่อเนื่องของข้อมูล เพื่อไม่ให้มีช่องว่างในการศึกษาที่กำลังดำเนินอยู่ แต่ละภารกิจมุ่งเน้นไปที่แง่มุมต่าง ๆ ของการสังเกตการณ์โลก การตรวจสอบชั้นบรรยากาศ มหาสมุทรและผืนดิน ข้อมูลถูกนำไปใช้ในหลายๆ แอปพลิเคชัน (European Space Agency, 2022) ดาวเทียม Sentinel 2 เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ Copernicus ซึ่งเป็นโครงการสังเกตการณ์โลก (Earth Observation Program) ที่ใหญ่ที่สุด กำกับโดยคณะกรรมการธิการยุโรป (European Commission) ร่วมกับ ESA ภายใต้โครงการ Global Monitoring for Environment and Security (GMES) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างขีดความสามารถของสหภาพยุโรปในการจัดหา และใช้ประโยชน์สารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมและความมั่นคง ดาวเทียม Sentinel 2 เป็นดาวเทียมวงโคจรกว้าง (Wide-swath) ถูกสร้างขึ้นเพื่อบันทึกภาพพื้นผิวโลกต่อเนื่องจากดาวเทียม Landsat และ SPOT ดาวเทียม Sentinel 2 ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศเมื่อพ.ศ. 2556 ประกอบด้วย ประกอบด้วยดาวเทียมสังเกตการณ์โลกสองดวง ได้แก่ ดาวเทียม Sentinel 2A และดาวเทียม Sentinel 2B ที่ใช้บันทึกข้อมูลการสะท้อนของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นผิวโลก ซึ่งอยู่ในวงโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ ปฏิบัติงานภายในวงโคจรเดียวกันแต่ตำแหน่งของดาวเทียมต่างกัน 180 องศา โดยแบ่งระยะที่ 180 องศา ซึ่งกันและกัน ที่ระดับความสูง 786 กิโลเมตร โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบความแปรปรวนของสภาพพื้นผิวดินความกว้างแนวบันทึกภาพ 290 กิโลเมตร และเวลาการกลับมาในบริเวณเดิมอีกครั้ง (ใช้เวลา 10 วัน ที่เส้นศูนย์สูตร หากใช้ดาวเทียม 1 ดวง และ 5 วัน หากใช้ดาวเทียม 2 ดวงภายใต้สภาวะที่ไม่มีเมฆ และใช้เวลา 2 ถึง 3 วัน ที่บริเวณกึ่งกลางของละติจูด) ทำให้ช่วยในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวโลก (European Space Agency, 2022) ทำให้ภารกิจของ Sentinel 2 สามารถเก็บรวบรวมภาพอย่างต่อเนื่อง จากซึ่งสามารถส่งข้อมูลภาพไปยังสถานที่ที่ตั้งบนโลกทุกๆ 5 ถึง 7 วัน สามารถใช้ตรวจสอบทางบกและทางทะเล การทำแผนที่ภัยธรรมชาติ และการสังเกตการณ์ตรวจจับเรือในทะเล ระบบในการบันทึกถึงค่าการสะท้อนแสงของกลุ่มดาวเทียม โครงการนี้ให้ข้อมูลหลากหลายเนื่องจากมีระบบบันทึกภาพ Multispectral Instrument (MSI) ครอบคลุมคลื่น 13 ช่วงคลื่น ประกอบด้วย ช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น โดยมีค่าความละเอียดภาพเชิงพื้นที่ตั้งแต่ 10 เมตรถึง 60 เมตร Sentinel 2 เก็บรวบรวมภาพอย่างต่อเนื่องจากดาวเทียมสังเกตการณ์โลกสองดวงซึ่งสามารถส่งข้อมูลภาพไปยังสถานีฐานที่ตั้งบนโลกทุก 5 ถึง 7 วัน ดาวเทียม Sentinel 2 แบ่งกลุ่มตามความละเอียดจุดภาพ (ตารางที่ 5) ได้แก่ ความละเอียดจุดภาพ 10 เมตร มีจำนวน 4 ช่วงคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่นที่ 2 3 4 และ 8 ความละเอียดจุดภาพ 20 เมตร มีจำนวน 6 ช่วงคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่นที่ 5

6 7 8 11 และ 12 และความละเอียดจุดภาพ 60 เมตร มีจำนวน 3 ช่วงคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่นที่ 1 9 และ 10 (European Space Agency, 2022)

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของข้อมูลดาวเทียม Sentinel 2

ช่วงคลื่น	ค่ากึ่งกลางช่วงคลื่น (ไมโครเมตร)	รายละเอียดจุดภาพ (เมตร)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.708	20
Band 6- Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7- Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	2

ที่มา : European Space Agency (2022)

(3) ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก คือ ระบบดาวเทียมนำร่องโลก (Global Navigation Satellite System : GNSS) เพื่อระบุข้อมูลของตำแหน่งและเวลาโดยอาศัยการคำนวณจากความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากตำแหน่งของดาวเทียมต่าง ๆ ที่โคจรรอบโลกทำให้สามารถระบุตำแหน่ง ณ จุดที่สามารถรับสัญญาณได้ทั่วโลกและในทุกสภาพอากาศ รวมถึงสามารถคำนวณความเร็วและทิศทางเพื่อนำมาใช้ร่วมกับแผนที่ในการนำทางได้ ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก (El-Rabbany, 2002) คือ

(3.1) ส่วนอวกาศ ประกอบด้วยเครือข่ายดาวเทียม ซึ่งปัจจุบันมีหลายเครือข่าย แต่มี 3 เครือข่ายหลัก ที่นิยมใช้ ได้แก่ เครือข่ายของสหรัฐอเมริกา เครือข่ายของยุโรป และเครือข่ายของรัสเซีย

(3.1.1) เครือข่ายของสหรัฐอเมริกา ชื่อ NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging GPS) มีดาวเทียม 28 ดวง ใช้งานจริง 24 ดวง อีก 4 ดวงเป็นตัวสำรอง บริหารงานโดย Department

of Defenses มีรัศมีวงโคจรจากพื้นโลก 20,162.81 กิโลเมตร หรือ 12,600 ไมล์ ดาวเทียมแต่ละดวงใช้เวลาในการโคจรรอบโลก 12 ชั่วโมง

(3.1.2) เครือข่ายของยุโรป ชื่อ Galileo มี 27 ดวง บริหารงานโดย ESA หรือ European Satellite Agency จะพร้อมใช้งานในปี ค.ศ. 2008

(3.1.3) เครือข่ายของรัสเซีย ชื่อ GLONASS หรือ Global Navigation Satellite บริหารโดย Russia VKS (Russia Military Space Force)

ซึ่งในขณะนี้ภาคประชาชนทั่วโลกสามารถใช้ข้อมูลจากดาวเทียมของสหรัฐอเมริกา (NAVSTAR) ได้ฟรี เนื่องจากนโยบายสิทธิการเข้าถึงข้อมูลและข่าวสารสำหรับประชาชนของรัฐบาลสหรัฐอเมริกาจึงเปิดให้ประชาชนทั่วไปสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในระดับความแม่นยำที่ไม่เป็นภัยต่อความมั่นคงของรัฐ กล่าวคือมีความแม่นยำในระดับบวก/ลบ 10 เมตร

(3.2) ส่วนควบคุม ประกอบด้วยสถานีภาคพื้นดิน สถานีใหญ่อยู่ที่ Falcon Air Force Base ประเทศสหรัฐอเมริกา และศูนย์ควบคุมย่อยอีก 5 จุด กระจายไปยังภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก

(3.3) ส่วนผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานต้องมีเครื่องรับสัญญาณที่สามารถรับคลื่นและแพร่หีสจากดาวเทียมเพื่อนำมาประมวลผลให้เหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ

การทำงานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ทำงานโดยการรับสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวง โดยสัญญาณดาวเทียมนี้ประกอบไปด้วยข้อมูลที่ระบุตำแหน่งและเวลาขณะส่งสัญญาณ ตัวเครื่องรับสัญญาณ GPS จะต้องประมวลผลความแตกต่างของเวลาในการรับสัญญาณเทียบกับเวลาจริง ณ ปัจจุบันเพื่อแปลเป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งได้ระบุมีตำแหน่งของดาวเทียมมากับสัญญาณดังกล่าวข้างต้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำ ในการค้นหาตำแหน่งด้วยดาวเทียม ต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อบอกตำแหน่งบนผิวโลก ซึ่งระยะห่างจากดาวเทียมทั้ง 3 กับเครื่อง GPS จะสามารถระบุตำแหน่งบนผิวโลกได้ หากพื้นโลกอยู่ในแนวระนาบแต่ในความเป็นจริงพื้นโลกมีความโค้งเนื่องจากสัณฐานของโลกมีลักษณะกลม ดังนั้นดาวเทียมดวงที่ 4 จะทำให้สามารถคำนวณเรื่องความสูงเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้ความแม่นยำของการระบุตำแหน่งนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง กล่าวคือ ถ้าระยะห่างระหว่างดาวเทียมที่ใช้งานอยู่ห่างกันย่อมให้ค่าที่แม่นยำกว่าที่อยู่ใกล้กัน และยังมีจำนวนดาวเทียมที่รับสัญญาณได้มากก็ยิ่งให้ความแม่นยำมากขึ้น ความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศชั้นบรรยากาศประกอบด้วยประจุไฟฟ้า ความชื้น อุณหภูมิ และความหนาแน่นที่แปรปรวนตลอดเวลา คลื่นเมื่อตกกระทบ กับวัตถุต่าง ๆ จะเกิดการหักเหทำให้สัญญาณที่ได้อ่อนลง และสิ่งแวดล้อมในบริเวณรับสัญญาณเช่นมีการบดบังจากกระจก ละอองน้ำ ใบไม้ จะมีผลต่อค่าความถูกต้องของความแม่นยำ เนื่องจากถ้าสัญญาณจากดาวเทียมมีการหักเหก็จะทำให้ค่าที่คำนวณได้จากเครื่องรับสัญญาณเพี้ยนไป และสุดท้ายก็คือประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณว่ามีความไวในการรับสัญญาณแค่ไหนและความเร็วในการประมวลผลด้วยการวัดระยะห่างระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับทำได้โดยใช้สูตรคำนวณ ระยะทาง = ความเร็ว x ระยะเวลา วัดระยะเวลาที่คลื่นวิทยุส่งจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ GPS คูณด้วยความเร็วของคลื่นวิทยุจะเท่ากับระยะทางที่เครื่องรับ อยู่ห่างจากดาวเทียม โดยเวลาที่วัดได้

มาจากนาฬิกาของดาวเทียมที่มีความแม่นยำสูงมีความละเอียดถึงนาโนวินาที และมีการสอบทวนสม่ำเสมอ กับสถานีภาคพื้นดิน องค์ประกอบสุดท้ายก็คือตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวงในขณะที่ยิงสัญญาณมาว่าอยู่ที่ใด (Almanac) มายังเครื่องรับ GPS โดยวงโคจรของดาวเทียมได้ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าแล้วเมื่อถูกส่งขึ้นสู่อวกาศ สถานีควบคุมจะคอยตรวจสอบการโคจรของดาวเทียมอยู่ตลอดเวลาเพื่อทวนสอบความถูกต้อง ระบบดาวเทียมนำทางโลกจะรับสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อหาตำแหน่ง ณ จุดใดๆ บนโลก อ้างอิงกับระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ ได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่จำกัดสภาพอากาศแต่อย่างใด จึงนับได้ว่าเป็นระบบนำทางที่ดีในปัจจุบัน ระบบดาวเทียมนำทางโลกทำงานได้โดยอาศัยการรับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวง ซึ่งสามารถคำนวณตำแหน่งที่อยู่ในแบบ 2 มิติ คือ เฉพาะค่าในแนวราบ และหากระบบดาวเทียมนำทางโลกรับดาวเทียมได้ 4 ดวงขึ้นไป จะทราบตำแหน่งที่อยู่ในแบบ 3 มิติ คือ ตำแหน่ง และความสูง (อมร, 2558; El-Rabbany, 2002) ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ใช้ประโยชน์จากระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกเพื่อใช้ในการนำทาง และจับพิกัดเพื่อระบุตำแหน่งของพื้นที่ขณะออกปฏิบัติงานสำรวจภาคสนาม

3.2.3 การใช้ความรู้จากหลักการและการประยุกต์ใช้ภูมิสารสนเทศในขั้นตอนการเก็บข้อมูลภาคสนาม

การเก็บข้อมูลภาคสนามประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่

(1) การรวบรวมฐานข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ ฐานข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดิน ฐานข้อมูลแผนที่เขตดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน และฐานข้อมูลแผนที่ขอบเขตการปกครอง จากกรมการปกครอง เมื่อรวบรวมฐานข้อมูลครบแล้ว ได้มีการตรวจสอบข้อมูลโดยการนำฐานข้อมูลแผนที่ต่าง ๆ มาซ้อนทับกันโดยใช้โปรแกรมด้านภูมิสารสนเทศ เพื่อตรวจสอบว่าระบบพิกัดตรงกันหรือไม่ ซึ่งขั้นตอนนี้ได้ใช้ความรู้และประสบการณ์ด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

(2) การเตรียมข้อมูลประกอบด้วยการเตรียมข้อมูลในรูปของฐานข้อมูลข้อมูลเชิงเส้น ได้แก่ แผนที่ต่าง ๆ และฐานข้อมูลเชิงภาพ ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ต่อไป เช่น การวางแผนการเก็บข้อมูล การเก็บข้อมูลภาคสนาม การวิเคราะห์ข้อมูล และจัดทำรายงาน เป็นต้น

(2.1) การเตรียมฐานข้อมูลข้อมูลเชิงเส้น ได้ใช้ความรู้ด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ได้แก่ การต่อแผนที่ (merge) เนื่องจากกลุ่มน้ำลำภาชีครอบคลุมพื้นที่ของจังหวัดราชบุรีและกาญจนบุรี จึงทำให้ต้องนำแผนที่การใช้ที่ดินของทั้ง 2 จังหวัดที่ได้จากกรมพัฒนาที่ดินมาต่อกันเพื่อให้เป็นฐานข้อมูลแผนที่เดียวกัน จากนั้นทำการการคัดเลือก (select) และการตัด (clip) โดยเลือกขอบเขตลุ่มน้ำเป็นตัวกำหนดขอบเขตกำหนดพื้นที่ศึกษา ทำการเลือกการใช้ที่ดิน 5 ประเภท ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมัน โดยเลือกแปลงที่มีขนาด 10-50 ไร่ เนื่องจากจากการตรวจสอบเบื้องต้นโดยการซ้อนทับกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแปลงปลูกพืช แล้วพบว่า แปลงที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไร่ ไม่เหมาะต่อการเก็บข้อมูลในแปลงปลูกพืชชนิดไม้ยืนต้น และ ไม้ผล เนื่องจากแปลงมีขนาดเล็ก และแปลงที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 ไร่ แปลงปลูกพืชไร่ มักมีการเจริญเติบโตของพืชที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าข้อมูลดัชนีพืชพรรณในแปลงนั้นๆ มีความแปรปรวนสูงไม่เหมาะที่จะนำมาศึกษา

(2.2) การเตรียมข้อมูลฐานข้อมูลเชิงภาพ ประกอบด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ได้ใช้ความรู้ด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ได้แก่ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และ เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล เนื่องจากข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel 2 ที่ใช้ในการปฏิบัติงานมีทั้งข้อมูลเชิงเลข และข้อมูลเชิงภาพ การเตรียมข้อมูลดาวเทียม มีขั้นตอนการดำเนินการ ได้แก่ การดาวน์โหลดข้อมูลและเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 โดยการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และ ดัชนี NDII และภาพสีผสมจริงและสีผสมเท็จ ผ่านแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน โดยใช้ขอบเขตลุ่มน้ำเป็นตัวกำหนดขอบเขตการดาวน์โหลดข้อมูล

(3) การเก็บข้อมูลภาคสนาม ขั้นตอนนี้ได้ใช้ความรู้ด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ได้แก่ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล และระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก โดยการใช้แผนที่แปลงอ้างอิงซ้อนทับบนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงพร้อมระบุเลขที่แปลงและข้อมูลรายละเอียดของแปลงเพื่อใช้ตรวจสอบและเก็บข้อมูลว่าตรงกับแปลงที่คัดเลือกไว้หรือไม่ ซึ่งการเดินทางเพื่อเก็บข้อมูลจะใช้เครื่อง GPS ในการนำทางและอ่านค่าพิกัดแปลงเพื่อตรวจสอบว่าตรงกับแปลงที่คัดเลือกไว้

(4) การนำเข้าข้อมูลการสำรวจภาคสนามสู่ระบบเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ โดยการเตรียมข้อมูลที่สำรวจมาจัดเตรียมในรูปแบบตารางที่เป็นดิจิทัลไฟล์ แล้วทำการเชื่อมไฟล์เข้ากับฐานข้อมูลเชิงเส้นแปลงอ้างอิง เพื่อใช้ในการซ้อนทับเชิงแผนที่กับข้อมูลอื่นๆ โดยขั้นตอนนี้ดำเนินการโดยใช้โปรแกรมเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ซึ่งเมื่อข้อมูลการสำรวจภาคสนามถูกเชื่อมเข้ากับฐานข้อมูลเชิงเส้นแปลงอ้างอิงแล้วจะสามารถแสดงค่าได้ในเชิงแผนที่ และสามารถซ้อนทับกับการเตรียมข้อมูลฐานข้อมูลเชิงภาพ ได้แก่ แผนที่ภาพค่าดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และ ดัชนี NDII และภาพสีผสมจริงและสีผสมเท็จ ซึ่งฐานข้อมูลเชิงเส้นแปลงอ้างอิงที่มีการเชื่อมข้อมูลภาคสนามแล้วจะถูกซ้อนทับบนแผนที่ภาพค่าดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และ ดัชนี NDII เพื่อสกัดค่าดัชนีนั้นๆ เพื่อให้ได้ค่าดัชนีนั้นๆ ในแต่ละแปลง และหลอมรวมให้เป็นฐานข้อมูลเดียวกัน เพื่อทำการวิเคราะห์ด้านสถิติต่อไป

3.3 ความรู้ด้านสถิติ

3.3.1 การใช้ความรู้ด้านสถิติในขั้นตอนการวางแผนการศึกษา

การสร้างแบบจำลองโดยการหาความสัมพันธ์จากสมการถดถอยเป็นวิธีการหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืช เช่น ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม เป็นต้น กับข้อมูลสำรวจระยะไกลจากข้อมูลแปลงอ้างอิง เพื่อใช้ศึกษาการเจริญเติบโตหรือประมาณค่าผลผลิต โดยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตพืชจะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรตามและค่าข้อมูลสำรวจระยะไกลจะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ แบบจำลองความสัมพันธ์ที่ได้สามารถนำมาใช้ประมาณค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตพืชที่ถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรตามในสมการของแบบจำลองในแปลงข้างเคียง โดยการนำค่าดัชนีพืชพรรณของแต่ละแปลงที่ต้องการประมาณค่ามาแทนค่าเป็นตัวแปรตามในสมการของแบบจำลองที่ต้องการทราบค่าของพารามิเตอร์นั้นๆ ของการเจริญเติบโตพืชในสมการของแบบจำลองที่สร้างขึ้น ทำให้ช่วยลดเวลา และค่าใช้จ่ายทั้งในการเก็บตัวอย่างภาคสนาม

และเนื่องจากสภาพดาวเทียมมีการบันทึกข้อมูลที่ได้ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ สามารถวิเคราะห์ได้ง่ายโดยใช้โปรแกรมเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ทำให้เหมาะที่จะนำมาศึกษาความผิดปกติของพืชในพื้นที่ขนาดใหญ่ และคาดการณ์การเจริญเติบโตและผลผลิตพืชได้เร็ว ทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลที่ใกล้เคียงกับเวลาปัจจุบัน (near real time) ไปใช้ในการบริหารจัดการด้านต่าง ๆ เช่น การจัดการแปลง การใช้ปัจจัยการผลิต การจัดการผลผลิต เป็นต้น ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3.2 การใช้ความรู้ด้านสถิติในขั้นตอนการตรวจสอบเอกสารเพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

การตรวจสอบเอกสารเพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย การกำหนดกรอบเนื้อหาเพื่อใช้รวบรวม และกลั่นกรองเนื้อหาด้านสถิติที่สอดคล้องกับงานวิจัยครั้งนี้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

(1) การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection) คือ การเก็บข้อมูลขึ้นมาใหม่ และการรวบรวมข้อมูลของตัวแปร หรือเหตุการณ์ที่เราสนใจอย่างเป็นระบบ เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์หาคำตอบที่ถูกต้อง ในรูปแบบที่เหมาะสมอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การทำแบบสอบถาม การสัมภาษณ์ การสังเกตการณ์ เป็นต้น

(1.1) แหล่งที่มาของข้อมูล

(1.1.1) ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) คือ ข้อมูลที่เก็บจากแหล่งกำเนิดข้อมูลโดยตรง ซึ่งจะใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิด้วยการออกแบบสอบถาม การสัมภาษณ์ การสำรวจ การสังเกตการณ์ เป็นต้น ทำให้ได้รายละเอียดตามที่นักการตลาด ผู้วิจัย หรือผู้สอบถามข้อมูลต้องการ แต่ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลค่อนข้างมาก และมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าการเก็บข้อมูลแบบทุติยภูมิ

(1.1.2) ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) คือ ข้อมูลที่ผู้ต้องการใช้ไม่ได้ทำการเก็บรวบรวมเอง แต่ได้จากผู้อื่นที่ทำการรวบรวมข้อมูลไว้ก่อนแล้ว ซึ่งวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจะได้รับการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ เช่น รายงานที่ตีพิมพ์แล้ว การเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติ กราฟต่าง ๆ เป็นต้น มีข้อดี คือ ค่อนข้างง่าย ช่วยย่นระยะเวลาในการเก็บข้อมูล แต่ก็มีข้อจำกัด คือ ข้อมูลอาจไม่ตรงกับที่ต้องการทั้งหมด หรือเสี่ยงต่อการใช้ข้อมูลที่ไม่ถูกต้องได้ง่ายด้วย

(2) หลักการและขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย

(2.2.1) กำหนดเป้าหมายในการรวบรวมข้อมูล จากวัตถุประสงค์ หรือเป้าหมายจากปัญหานานาวิจัยที่ต้องการศึกษา

(2.2.2) ออกแบบเครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการรวบรวมข้อมูลที่ต้องการ

(2.2.3) ระบุกลุ่มตัวอย่างที่จะทำการสำรวจข้อมูล จำนวนการสำรวจ เทคนิคการสุ่มตัวอย่าง รวมถึงแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่จะต้องสำรวจ

(2.2.4) จัดทำแผนรวบรวมข้อมูล โดยกำหนดวันเวลาสำรวจ ทีมสำรวจ ระยะเวลาสำรวจ เป็นต้น

(2.2.5) จัดหาทีมสำรวจแล้วทำการอบรมให้เข้าใจวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง การอธิบายแบบสอบถาม และวิธีการสำรวจ

(2.2.6) ดำเนินการรวบรวมข้อมูล จากกลุ่มตัวอย่างหรือสถานที่ตามที่กำหนดไว้

(2.2.7) รวบรวมแบบสอบถามที่ตอบแล้ว รวมถึงข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิ เพื่อนำมาวิเคราะห์ (data analysis) และหาผลลัพธ์หรือข้อสรุปในการทำวิจัย จัดทำทำรายงาน จัดทำค่าสถิติ เป็นต้น

(3) การนำเสนอข้อมูล (รินทร์หทัย, ม.ป.ป.) เป็นระเบียบวิธีการทางสถิติที่เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมด้วยวิธีการต่าง ๆ มาจัดระเบียบใหม่ เพื่อแสดงรายละเอียดของข้อมูล ทำให้อ่านได้อย่างสะดวกและง่ายขึ้น โดยการนำเสนอข้อมูลทางสถิติสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลและวัตถุประสงค์ของการนำเสนอ เช่น การนำเสนอในรูป บทความ ตาราง แผนภูมิ และกราฟ เป็นต้น

(3.1) การนำเสนอข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยข้อมูลเชิงคุณภาพ คือ ข้อมูลที่ไม่ได้วัดออกมาเป็นตัวเลขแต่จะแสดงถึงคุณลักษณะของสิ่งนั้น เช่น ความคิดเห็นที่อยู่ในลักษณะข้อความ ระดับการศึกษา อาชีพ เป็นต้น วิธีการนำเสนอข้อมูลเชิงคุณภาพที่นิยมใช้กันคือ

(3.1.1) การนำเสนอข้อมูลในรูปบทความ เป็นการนำเสนอโดยการบรรยายข้อมูลสถิติเป็นข้อความ การนำเสนอแบบนี้ใช้ในกรณีที่ข้อมูลมีจำนวนไม่มาก มักจะเห็นในหนังสือพิมพ์ รายการวิทยุ หรือสรุปรายงานต่าง ๆ

(3.1.2) การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตาราง เป็นการจัดข้อมูลให้อยู่รูปของแถวและสดมภ์ เพื่อให้ข้อมูลง่ายต่อการอ่าน และยังสามารถเปรียบเทียบข้อมูลได้ง่าย โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบ หมายเลขตาราง ชื่อเรื่อง ส่วนของตาราง หมายเหตุ ที่มาหรือแหล่งข้อมูล เป็นต้น

(3.1.3) การนำเสนอข้อมูลด้วยแผนภูมิหรือรูปภาพ เป็นการนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟหรือแผนภูมิ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ได้ดี เพราะรูปภาพที่แสดงข้อมูลจะทำให้เกิดความน่าสนใจ ทำให้อ่านเข้าใจได้ง่าย และรวดเร็วกว่าวิธีอื่น ๆ การนำเสนอด้วยกราฟหรือแผนภูมิมีหลายลักษณะ เช่น แผนภูมิแท่งหรือกราฟแท่ง (Bar Chart) กราฟเส้น (Line Graphs) แผนภูมิวงกลม (Pie Chart) และ แผนภูมิภาพ (Pictogram) เป็นต้น

(3.2) การนำเสนอข้อมูลเชิงปริมาณ ในการรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณไม่ว่าจะรวบรวมโดยวิธีใดก็ตาม โดยปกติแล้วข้อมูลที่ได้จะมีจำนวนมาก ทำให้บางครั้งในการวิเคราะห์อาจทำความเข้าใจลักษณะของข้อมูลเบื้องต้นได้ยาก ซึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติขั้นสูงนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะของข้อมูลเสียก่อน ดังนั้นผู้วิเคราะห์จึงจำเป็นต้องจัดระบบของข้อมูลเสียก่อน ซึ่งรูปแบบที่นิยมใช้ในการจัดระบบของข้อมูลกรณีที่ข้อมูลมีจำนวนมาก คือ การสร้างตารางแจกแจงความถี่ (Frequency table)

(3) การวิเคราะห์ข้อมูล คือ การนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาจัดกระทำให้เป็นหมวดหมู่ วิเคราะห์ตัวแปรตามวัตถุประสงค์การวิจัยและตอบคำถามการวิจัยที่กำหนดไว้ การวิเคราะห์ข้อมูลจะดำเนินการหลังจาก ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือ ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือและเก็บรวบรวมข้อมูลแล้ว โดยการนำข้อมูลเหล่านั้นมาจัดระบบให้เป็นหมวดหมู่ ลักษณะของการจัดหมวดหมู่และหาข้อสรุปดังกล่าว เรียกว่า การวิเคราะห์ข้อมูล โดยในการวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยต้องมีความสามารถในการเลือกทำแผนการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ต้องมีเทคนิคการวิเคราะห์และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณที่ต้องเลือกใช้สถิติให้ถูกต้องตรงตามจุดมุ่งหมายของการวิจัย สถิติที่ใช้บรรยายคุณลักษณะของกลุ่มที่ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวม

ข้อมูลกลุ่มนั้น เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างแล้วบรรยายคุณลักษณะของประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างให้ผู้อ่านงานวิจัยได้เห็นภาพของประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างที่รวบรวมได้ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ดังกล่าวไม่สามารถที่จะไปอ้างอิงไปสู่กลุ่มอื่นได้ ในกรณีที่เก็บรวบรวมข้อมูลจากประชากร ค่าที่ได้เรียกว่า ค่าพารามิเตอร์ (Parameter) สถิติที่ใช้ ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ค่ามัชฌิมเลขคณิต และการหาความสัมพันธ์

การแจกแจงความถี่ การแจกแจงความถี่เป็นการนำข้อมูลที่เป็นค่าของตัวแปรที่เราสนใจมาจัดเรียงตามลำดับความถี่น้อย และแบ่งเป็นช่วงเท่าๆกัน จำนวนข้อมูลในแต่ละช่วงคะแนนเรียกว่า ความถี่ ในกรณีที่ความแตกต่างระหว่างคะแนนสูงสุดกับคะแนนต่ำสุดไม่มาก ไม่จำเป็นต้องแบ่งช่วงคะแนนเป็นกลุ่ม ในแต่ละช่วงมี 1 คะแนนก็ได้ การแจกแจงความถี่มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ทราบภาพรวมของการแจกแจงข้อมูลทั้งหมดอย่างเป็นระบบ การจัดระบบและนำเสนอข้อมูลในเบื้องต้น สามารถนำเสนอข้อมูลในรูปของตารางและแผนภูมิ ในที่นี้จะขอแยกเป็น 2 ส่วนในการนำเสนอ คือ ตารางแจกแจงความถี่ และกราฟและแผนภูมิแบบต่าง ๆ (เอมอร์, ม.ป.ป.)

ค่ามัชฌิมเลขคณิต หรือค่าเฉลี่ย (mean) เป็นการหาค่ากลางของข้อมูลชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการเฉลี่ย ข้อมูลทั้งหมด (ธนวัฒน์, 2560)

การหาความสัมพันธ์ ระหว่างข้อมูลเชิงปริมาณ 2 ชุด หรือมากกว่านั้นสามารถบอกได้ว่าข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันนั้นมีความสัมพันธ์กันในทิศทางใด การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับใด และมีความสัมพันธ์ในทิศทางใด เช่นความสูงกับความกว้างทรงพุ่มของต้นไม้มีความสัมพันธ์กันมากหรือน้อย และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันหรือตรงกันข้าม เรียกว่า การหาสหสัมพันธ์ (Correlation) แบ่งเป็นสหสัมพันธ์อย่างง่าย (simple correlation) เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปร 2 ตัว และการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปรมากกว่า 2 ตัว เรียกว่า สหสัมพันธ์เชิงพหุ (multiple correlation)

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นการศึกษาลึกลับความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะประมาณหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรหนึ่ง จากตัวแปรอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ โดยจะต้องมีการกำหนดหรือทราบค่าของตัวแปรอื่น ๆ ล่วงหน้า ในที่นี้เรียกว่าตัวแปรอิสระ (Independence Variable) จึงจะทำให้ทราบค่าของตัวแปรอีกตัวหนึ่ง ซึ่งในที่นี้เรียกว่าตัวแปรตาม (Dependence Variable) เช่น เมื่อทราบว่าราคาที่ดินกับขนาดของที่ดินมีความสัมพันธ์กันแล้วและคิดว่าราคาที่ดินขึ้นอยู่กับขนาดของที่ดินหรือขนาดของที่ดินมีผลต่อราคาที่ดิน นั่นคือขนาดที่ดินเป็นตัวแปรอิสระ และราคาที่ดินเป็นตัวแปรตาม หมายความว่าเมื่อกำหนดขนาดของที่ดินจะ ทำให้ประมาณหรือพยากรณ์ราคาที่ดินนั้นได้ และสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงของราคาที่ดินเมื่อขนาดของที่ดินเปลี่ยนแปลงไป โดยอาศัยหลักการของการวิเคราะห์การถดถอย ดังนั้นวัตถุประสงค์ของ การวิเคราะห์การถดถอย คือพยากรณ์ค่าตัวแปรตามในอนาคต เมื่อกำหนดค่าตัวแปรอิสระ ซึ่งโดยทั่วไปมักให้ตัวแปรอิสระแทนด้วย X และตัวแปรตามแทนด้วย Y

หลักการของการวิเคราะห์การถดถอย คือ ใช้ข้อมูลเมื่อกำหนดค่าตัวแปรอิสระ (X) แล้วทำให้เกิดค่าตัวแปรตาม (Y) ในอดีตนำมาสร้างสมการเชิงเส้นที่เหมาะสมที่สุด เพื่อพยากรณ์ค่า Y ในอนาคต โดยสมการถดถอยเชิงเส้นสามารถใช้ประโยชน์ในการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร X กับ Y ใน 2 ประการ คือ

- ใช้ในการประมาณค่า (estimation) เช่น ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ หมึกที่ใช้กับความเร็วที่พิมพ์ ถ้าให้ Y แทนปริมาณหมึกที่ใช้ X แทนความเร็วในการพิมพ์ เราอาจทำการทดลองหาปริมาณหมึกที่ใช้ในแต่ละระดับของความเร็วในการพิมพ์แล้วนำมาใช้ในการหาสมการประมาณค่าปริมาณหมึกที่ใช้ในระดับความเร็วต่าง ๆ

- ใช้ในการพยากรณ์ (forecasting) เช่น ถ้า X คือปี พ.ศ. Y คือปริมาณการส่งออกของผลไม้ไทย การบันทึกปริมาณการส่งออกของผลไม้ไทยในปีต่าง ๆ ที่ผ่านมา ทำให้เราสามารถใชสมการถดถอยพยากรณ์ปริมาณการส่งออกของผลไม้ไทยใน 5 หรือ 10 ปีข้างหน้าได้

- การแปลผลการวิเคราะห์การถดถอย สามารถดูลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลหรือตัวแปรสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) และ ค่า p-value เป็นต้น

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination : r-square : r^2)

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ หมายถึง สัดส่วนที่ตัวแปร T สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y ได้ ดังนั้น ถ้า r^2 มีค่ามาก แสดงว่า Y และ T มีความสัมพันธ์กันมากหรือ T สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้มากโดยที่

$$r^2 = \frac{\text{ความแปรปรวนของ Y ที่เกิดจาก T}}{\text{ความแปรปรวนของ Y ทั้งหมด}}$$

การพิจารณาค่า r^2 ถ้าค่า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า เปอร์เซนต์ที่ตัวแปร T จะสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y มีค่ามาก หรือตัวแปร T และตัวแปร Y มีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าเปอร์เซนต์ที่ตัวแปร T จะสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y มีค่าน้อย (ประภาพรรณ, 2550) โดยเกณฑ์ในการแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีดังนี้ (Bachelor Print, 2023)

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 0 หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.20 หมายถึง มีความสัมพันธ์น้อยมาก โดยตัวแปรตามการผันแปรตามตัวแปรอื่นๆ น้อยมาก

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าตั้งแต่ 0.21 ถึง 0.40 หมายถึง มีความสัมพันธ์ปานกลาง โดยตัวแปรตามการผันแปรตามตัวแปรอื่นๆ ปานกลาง

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าตั้งแต่ 0.41 ถึง 0.60 หมายถึง มีความสัมพันธ์สูง โดยตัวแปรตามการผันแปรตามตัวแปรอื่นๆ สูง

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าตั้งแต่ 0.61 ถึง 0.80 หมายถึง มีความสัมพันธ์สูงมาก โดยตัวแปรตามการผันแปรตามตัวแปรอื่นๆ สูงมาก

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่า เท่ากับ 0.80 ถึง 1 หมายถึง มีความสัมพันธ์สมบูรณ์ โดยตัวแปรตามการผันแปรตามตัวแปรอื่นๆ ได้สมบูรณ์

ค่า p-value เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้พิจารณาถึงประสิทธิภาพของสมการการถดถอย ซึ่งเป็นค่าการยอมรับตามหลักการทางสถิติของสัมประสิทธิ์การถดถอย (Mielniczuk and Teisseyre, n.d.) โดยค่า p value จะเป็นค่าที่ได้ค่าจากชุดของข้อมูลตัวอย่าง มีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนดภายใต้สมมติฐานหลักที่เป็นจริง เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปในสมมติฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ตั้งขึ้น ในการทดสอบสมมติฐาน เมื่อค่า P-Value มีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ (Alpha level) ที่กำหนดไว้ เช่น P-Value เท่ากับ 0.00 หมายความว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม (พัชรี และ ยงยุทธ, 2555) ค่า P-value ที่น้อยสามารถทำให้เราสรุปได้ว่ามีหลักฐานทางสถิติที่สนับสนุนให้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แต่ไม่ได้บอกว่าสมมติฐานทางเลือกนั้นเป็นจริง เช่น ถ้ากำหนดระดับนัยสำคัญไว้ที่ 0.05 นั้นหมายความว่า มีโอกาส 5 เปอร์เซ็นต์ ที่จะเกิดการปฏิเสธสมมติฐานหลักทั้งๆที่ สมมติฐานนั้นเป็นจริง (การตัดสินใจผิดพลาด)

2.3) การวิเคราะห์สมการถดถอยในโปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS for windows version 16.0 สามารถวิเคราะห์ได้หลายรูปแบบ (ตารางที่ 6) แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาในครั้งนี้จะทำการศึกษารูปแบบสมการถดถอย 4 รูปแบบ คือ สมการรูปแบบเชิงเส้น (Linear model) รูปแบบลอการิทึม (Logarithmic model) รูปแบบยกกำลัง (Power model) และรูปแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential model) เนื่องจากมีการทดสอบความเหมาะสม (fit) ของข้อมูลเบื้องต้น พบว่าทั้ง 4 โมเดลแล้วมีความเหมาะสมกับข้อมูลมากที่สุด

ตารางที่ 6 รูปแบบสมการถดถอยในโปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS for windows version 16.0

รูปแบบ (Model)	สมการ (Equation)	การแปลงให้อยู่ในรูปเชิงเส้น (Linear Equation)
1. Linear	$y = \beta_0 + \beta_1 x$	
2. Logarithmic	$y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x)$	
3. Inverse	$y = \beta_0 + (\beta_1/x)$	
4. Quadratic	$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2$	
5. Cubic	$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3$	
6. Compound	$y = \beta_0 (\beta_1)^x$	$\ln(y) = \ln(\beta_0) + [\ln(\beta_1)]x$
7. Power	$y = \beta_0 (x^{\beta_1})$	$\ln(y) = \ln(\beta_0) + \beta_1 \ln(x)$
8. S-curve	$y = \beta_0 (\beta_1 + \beta_2 / x)$	$\ln(y) = \ln(\beta_0) + (\beta_1/x)$
9. Growth	$y = \beta_0 (\beta_1 + \beta_2 x)$	$\ln(y) = \ln(\beta_0) + (\beta_1 x)$
10. Exponential	$y = \beta_0 (x^{\beta_1})$	$\ln(y) = \ln(\beta_0) + \beta_1 x$
11. Logistic	$y = 1 / [(1/\beta_0) + \beta_1 (x^{\beta_2})]$	$\ln[(1/y) - (1/\beta_0)] = \ln(\beta_0) + [\ln(\beta_1)]x$

ที่มา : ประภาพรณ (2550)

3.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ทางสถิติและจัดทำรายงาน

ขั้นตอนนี้ได้ใช้ความรู้ด้านสถิติ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ สถิติเบื้องต้น เช่น การหาค่าเฉลี่ย การสร้างกราฟ เพื่อดูทิศทางของข้อมูล และการวิเคราะห์ regression model โดยพิจารณาค่าความสัมพันธ์จากค่า p-value และ r-square โดยใช้โปรแกรมประมวลผลทางสถิติ เพื่อดูความสัมพันธ์ของแต่ละพารามิเตอร์และความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ซึ่งจากขั้นตอนการเตรียมข้อมูล และตรวจสอบข้อมูล พบว่าข้อมูลที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้มีจำนวน ดังนี้ อ้อย 40 แปลง มันสำปะหลัง 80 แปลง สับปะรด 30 แปลง ยางพารา 60 แปลง และ ปาล์มน้ำมัน 40 แปลง

4. สรุปสาระสำคัญ ขั้นตอนการดำเนินการ และเป้าหมายของงาน

4.1 สรุปสาระสำคัญ

การศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 บริเวณลุ่มน้ำลำภาชีจำนวน 5 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565 และสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลด้านชีพลักษณ์พืช ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ ของพืชเศรษฐกิจที่สำคัญภายในลุ่มน้ำ 5 ชนิด ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และ ปาล์มน้ำมัน ซึ่งข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลด้านชีพลักษณ์พืชถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเบื้องต้น เช่น ค่าเฉลี่ย การสร้างแผนภูมิการเปลี่ยนแปลง และการใช้สมการถดถอย (regression) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลด้านชีพลักษณ์พืชซึ่งแสดงถึงศักยภาพที่จะนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาจัดทำเป็นแบบจำลองสำหรับประมาณการด้านการเจริญเติบโตพืชต่อไป ซึ่งสาระสำคัญในการดำเนินการ ได้แก่

4.1.1 หลักการและเหตุผล

การใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลซึ่งการได้มาของข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมค่าการสะท้อนแสงของวัตถุต่าง ๆ บนพื้นโลก มีความสำคัญมากในการบริหารจัดการและปรับปรุงงานด้านเกษตรกรรมและธุรกิจเกษตรในประเทศไทย โดยในปัจจุบันเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลได้มีก้าวหน้าอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในภาพถ่ายดาวเทียมและอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ที่มีการพัฒนารายละเอียดภาพสูงขึ้น และสามารถจัดเก็บข้อมูลได้ในหลายช่วงคลื่น ทำให้สามารถเลือกใช้ช่วงคลื่นที่เหมาะสมต่อการศึกษาด้านต่าง ๆ ได้มากขึ้น ข้อมูลจากเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลเป็นข้อมูลเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในรูปแบบดิจิทัลที่สำคัญสำหรับการติดตามด้านสิ่งแวดล้อมและพืชผล เนื่องจากมีคุณภาพสูง สามารถวิเคราะห์ได้ตามช่วงเวลา และเป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญสำหรับการจัดทำและปรับปรุงฐานข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ที่ดินทั่วประเทศ

ณ ปัจจุบัน ประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณ 321 ล้านไร่ โดยมีพื้นที่สำหรับการเกษตรประมาณ 138 ล้านไร่ หรือร้อยละ 43 ของเนื้อที่ประเทศ โดยภาคเกษตรมีบทบาทสำคัญในเศรษฐกิจ โดยรายได้จากภาคเกษตรคิดเป็นร้อยละ 6 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ และมีการจ้างงานถึงเกือบ 1 ใน 3 ของกำลังแรงงาน พืชเศรษฐกิจของประเทศไทยมีความสำคัญในการส่งออกและที่ลำดับต้นของโลก เช่น อ้อย ที่เป็นผู้ส่งออกน้ำตาลอันดับที่ 2 ของโลก มันสำปะหลัง ที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

สับปะรด ที่มีส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร ยางพารา และปาล์มน้ำมัน ที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทำให้เกษตรกรไทยได้รับรายได้จากการจำหน่ายผลผลิตพืชเหล่านี้

ในยุคไทยแลนด์ 4.0 เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลเข้ามามีบทบาทสำคัญในการจัดการด้านเกษตรกรรมและธุรกิจเกษตร ซึ่งช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถติดตามและบริหารจัดการการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยความสามารถของเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลในการวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลทางการเกษตร ประเทศไทยสามารถพัฒนาและสร้างความมั่นคงทางรายได้ให้กับเกษตรกร และภาคธุรกิจเกษตรได้มากขึ้น และเป็นประโยชน์ทั้งในด้านการบริหารจัดการ การศึกษาจัดทำข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อช่วยในการวิเคราะห์และตรวจสอบพื้นที่ปลูกและการเจริญเติบโตของพืชที่สำคัญในเศรษฐกิจไทย ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมัน จะทำให้ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการพืชดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อเกษตรกรที่จะสามารถเพิ่มรายได้จากการจัดการที่ดีขึ้น ภาครัฐและเอกชนจะสามารถบริหารจัดการพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจดังกล่าว ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.1.2 วัตถุประสงค์

- 1) สร้างฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลในรอบปีของพืชเศรษฐกิจจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม
- 2) ศึกษารูปแบบการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี
- 3) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะข้อมูลการเจริญเติบโตที่ได้จากการ

สำรวจภาคสนาม

4.1.3 ขอบเขตการวิจัย

การดำเนินการวิจัยได้กำหนดขอบเขตการวิจัย 4 ด้าน คือ ขอบเขตด้านประชากร ขอบเขตเชิงพื้นที่ ขอบเขตเชิงเนื้อหา และ ขอบเขตเชิงระยะเวลา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ขอบเขตด้านประชากร ประชากรที่เป็นเป้าหมายในการวิจัย พืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมัน

2) ขอบเขตเชิงเนื้อหา ครอบคลุม 3 ประเด็นหลัก ได้แก่

2.1) การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด โดยการสำรวจภาคสนามจากการสุ่มเก็บข้อมูลจากแปลงของเกษตรกร

2.2) การศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปีของพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิดโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2

2.3) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะข้อมูลการเจริญเติบโตที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

3) ขอบเขตเชิงระยะเวลา โครงการวิจัยได้ดำเนินการจัดเก็บข้อมูลดังนี้

3.1) การสำรวจภาคสนามเพื่อวัดการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน 2564 ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565

3.2) การศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปีโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ค่าเฉลี่ยรายเดือน จำนวน 5 ปี เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม 2561 ถึง เดือนธันวาคม 2565

4) ขอบเขตเชิงพื้นที่ พื้นที่ศึกษา ได้แก่ แปลงของเกษตรกรผู้ปลูกพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด กระจายครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำลำภาชี

4.1.3 สมมติฐานของการศึกษา

- 1) ค่าสะท้อนแสงและค่าดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของวัตถุที่ต่างกันมีค่าที่ต่างกัน
- 2) ค่าสะท้อนแสงและค่าดัชนีพืชพรรณของพืชมีการเปลี่ยนแปลงในรอบปีขึ้นกับฤดูกาล
- 3) ค่าสะท้อนแสงและค่าดัชนีพืชพรรณของพืชมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์ของพืช

4.2 อุปกรณ์และขั้นตอนการดำเนินการ

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาศักยภาพในการใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดปานกลาง Sentinel 2 ในการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปีของพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 และศึกษาความสัมพันธ์กับข้อมูลภาคสนามโดยขั้นตอนและวิธีการมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 อุปกรณ์

อุปกรณ์และข้อมูลที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้

- 1) ฐานข้อมูลแผนที่เชิงเลขขอบเขตการปกครอง ปี 2556 กรมการปกครอง
- 2) ฐานข้อมูลแผนที่เชิงเลขภูมิประเทศเชิงเลข มาตราส่วน 1:50,000 กรมแผนที่ทหาร
- 3) ฐานข้อมูลแผนที่เชิงเลขชุดดิน มาตราส่วน 1:25,000 กรมพัฒนาที่ดิน
- 4) ฐานข้อมูลแผนที่เชิงเลขขอบเขตลุ่มน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน
- 5) ฐานข้อมูลแผนที่เชิงเลขพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด มาตราส่วน 1:25,000 กรมพัฒนาที่ดิน
- 6) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากแหล่งต่าง ๆ
- 7) โปรแกรมประมวลผลด้านรีโมทเซนซิง
- 8) โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)
- 9) โปรแกรมวิเคราะห์ทางด้านสถิติ
- 10) เครื่องมือระบุพิกัดของพื้นที่ (GPS)
- 11) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และคอมพิวเตอร์พกพา
- 12) กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
- 13) เครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ไม้บรรทัด สายวัดระยะ เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper) แอปพลิเคชันในโทรศัพท์มือถือสำหรับการวัดความสูงไม้ยืนต้น

4.2.2 ขั้นตอนการดำเนินการ (ภาพที่ 12)

- 1) คัดเลือกพื้นที่ดำเนินการ โดยคัดเลือกลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด ได้แก่ อ้อย มันสำหรั่ง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมัน เป็นหลัก ได้แก่ ลุ่มน้ำลำภาชี
- 2) รวบรวมฐานข้อมูลแผนที่เชิงเลข และข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการปลูกพืชเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด เช่น ปฏิทินการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจแต่ละชนิดภายในลุ่มน้ำลำภาชี

3) ปรับปรุงฐานข้อมูลแผนที่พื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด ในลุ่มน้ำที่ทำการศึกษให้เป็นปัจจุบันโดยวิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียมและการสำรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

4) คัดเลือกแปลงศึกษาในลุ่มน้ำที่ทำการศึกษาเพื่อใช้เป็นแปลงข้อมูลอ้างอิงสำหรับการศึกษาลายเซ็นดิจิทัลและการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืชที่เปลี่ยนแปลงในรอบปี โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1) คัดเลือกแปลงข้อมูลอ้างอิงสำหรับแปลงปลูกอ้อย มันสำปะหลัง และปลูกสับปะรด โดยสุ่มคัดเลือกแปลงตัวอย่างแบบมีระบบ (systematic sampling) ตามชนิดพืชให้กระจายทั่วลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา

4.2) คัดเลือกแปลงข้อมูลอ้างอิง (reference plots) ของพืชแต่ละชนิดแบบจำเพาะเจาะจง (purposive sampling) โดยพิจารณาเลือกแปลงที่มีขนาด 10 ถึง 50 ไร่ ลักษณะที่ไม่มีความแปรปรวน (homogenous) ไม่มีสิ่งปกคลุมดินชนิดอื่นปะปนหรือมีน้อยมาก เช่น ไม้พุ่ม การปลูกพืชอื่นผสม หรือมีสิ่งปลูกสร้าง โดยพิจารณาจากภาพถ่ายดาวเทียมและการสำรวจภาคสนาม กระจายทั่วลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 13) โดยการคัดเลือกแปลงที่มีขนาด 10 ถึง 50 ไร่ เนื่องจากจากการตรวจสอบเบื้องต้นโดยการซ้อนทับกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแปลงปลูกพืช แล้วพบว่า แปลงที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไร่ ไม่เหมาะต่อการเก็บข้อมูลในแปลงปลูกพืชชนิดไม้ยืนต้น และ ไม้ผล เนื่องจากแปลงมีขนาดเล็ก และแปลงที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 ไร่ แปลงปลูกพืชไร่ มักมีการเจริญเติบโตของพืชที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าข้อมูลดัชนีพืชพรรณในแปลงนั้นๆ มีความแปรปรวนสูงไม่เหมาะที่จะนำมาศึกษา ซึ่งการคัดเลือกแปลงข้อมูลอ้างอิงเบื้องต้นจากสำนักงานคัดเลือกไว้ชนิดละ 80 ถึง 150 แปลง เพื่อเป็นการสำรองกรณีแปลงที่คัดเลือกไว้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูล เช่น มีการเปลี่ยนแปลงชนิดพืชปลูกตั้งแต่เริ่มดำเนินการและระหว่างดำเนินการ แปลงไม่สามารถเข้าไปเก็บข้อมูลได้เนื่องจากมีรั้วล้อม หรือเข้าไปในแปลงได้ยาก แปลงมีวัชพืชปกคลุมมากเกินไป หรือเมื่อสกัดค่าดัชนีพืชพรรณแล้วค่ามีความผิดปกติเนื่องจากมีเมฆปกคลุม เป็นต้น

5) รวบรวมข้อมูลและเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

5.1) รวบรวมข้อมูลและเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ชนิด COPERNICUS/S2 บริเวณลุ่มน้ำลำภาชีผ่าน <https://code.earthengine.google.com/> ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนของทุกเดือนในปีที่ศึกษาเพื่อใช้ในการศึกษาค่าการสะท้อนแสง ลายเซ็นดิจิทัล และความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตโดยใช้คำสั่ง

```
var sentinel2 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2");
//var Phashe = ee.FeatureCollection("geometry");
var Phashe = ee.FeatureCollection("users/totsanatrkt/Phashe");
// Filter the image collection using filterBounds() and filterDate() method.
// Sort the collection by cloud cover metadata
// Create the mosaic image and clip it to Phashe boundary
var image_dry = sentinel2
    .filterBounds(Phashe)
    .filterDate('2022-09-01', '2022-09-30')
    .sort('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', false)
```

```
.mosaic()
```

```
.clip(Phashe);
```

5.2) เตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และ ดัชนี NDII ผ่าน <https://code.earthengine.google.com/> โดยใช้คำสั่ง

```
var ndvi = image_dry.normalizedDifference(['B8', 'B4']);
```

```
var gndvi = image_dry.normalizedDifference(['B8', 'B3']);
```

```
var ndii = image_dry.normalizedDifference(['B8', 'B11']);
```

6) เก็บข้อมูลภาคสนาม ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลพืชในแปลงข้อมูลอ้างอิง ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยใช้เครื่องวัดคลอโรฟิลล์ SPAD-502 บริษัท Konica Minolta มีรายละเอียดดังนี้

6.1) การสุ่มเก็บข้อมูลพืชในแปลงข้อมูลอ้างอิง โดยทำการวัดจากพืช 5 ต้นต่อแปลง เพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยต้นที่สุ่มจะเลือกต้นที่มีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกันทั้งแปลงและสุ่มเก็บหลายจุดให้กระจายทั่วทั้งแปลง

6.2) การวัดความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และขนาดลำต้นของพืชแต่ละชนิด ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง และสับปะรด วัดเดือนละ 1 ครั้ง โดย พ.ศ. 2564 เริ่มวัดในเดือนเมษายนถึงเดือนธันวาคม และ พ.ศ. 2565 วัดในเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนและเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤษภาคม โดยใช้สายวัด การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของอ้อยและมันสำปะหลัง ที่ระดับความสูง 15 เซนติเมตรเหนือผิวดิน โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์

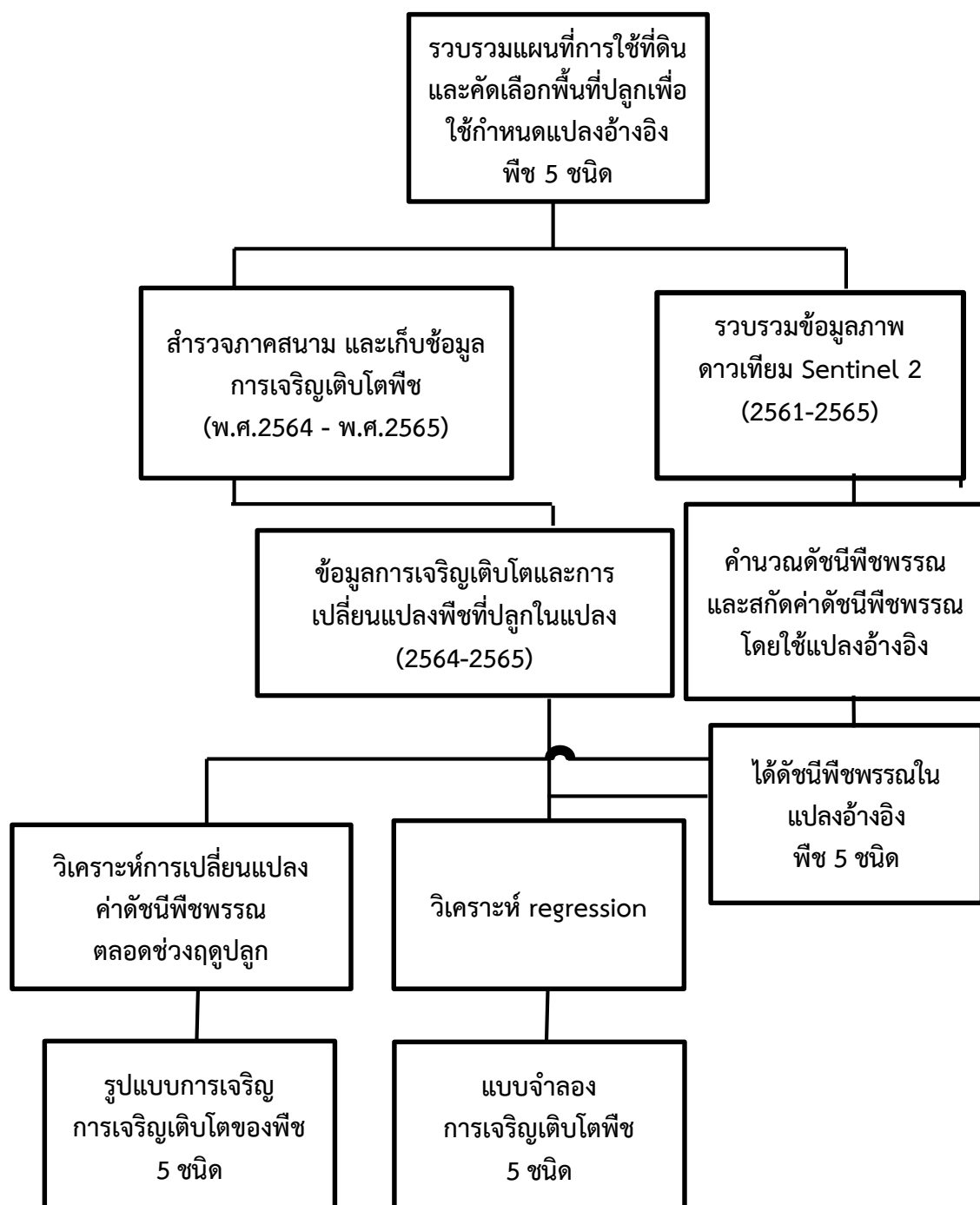
6.3) การวัดความสูง ความกว้างทรงพุ่มและขนาดลำต้นของยางพาราและปาล์มน้ำมันวัดปีละ 1 ครั้ง โดยวัดในเดือนเมษายนทั้ง พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 ความสูงวัดโดยแอปพลิเคชันวัดความสูงในโทรศัพท์มือถือ ความกว้างทรงพุ่มและขนาดรอบลำต้นใช้สายวัดขนาด

6.4) การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ ของพืชทั้ง 5 ชนิด วัดเดือนละ 1 ครั้ง โดย พ.ศ. 2564 เริ่มวัดในเดือนพฤษภาคม ถึง เดือนธันวาคม และ พ.ศ. 2565 วัดในเดือนมกราคม ถึง เดือนเมษายน และ เดือนตุลาคมถึง เดือนพฤษภาคม โดยวัดในใบที่แก่เต็มที่ใหม่ที่สุดจำนวน 3 ใบ และหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแปลง

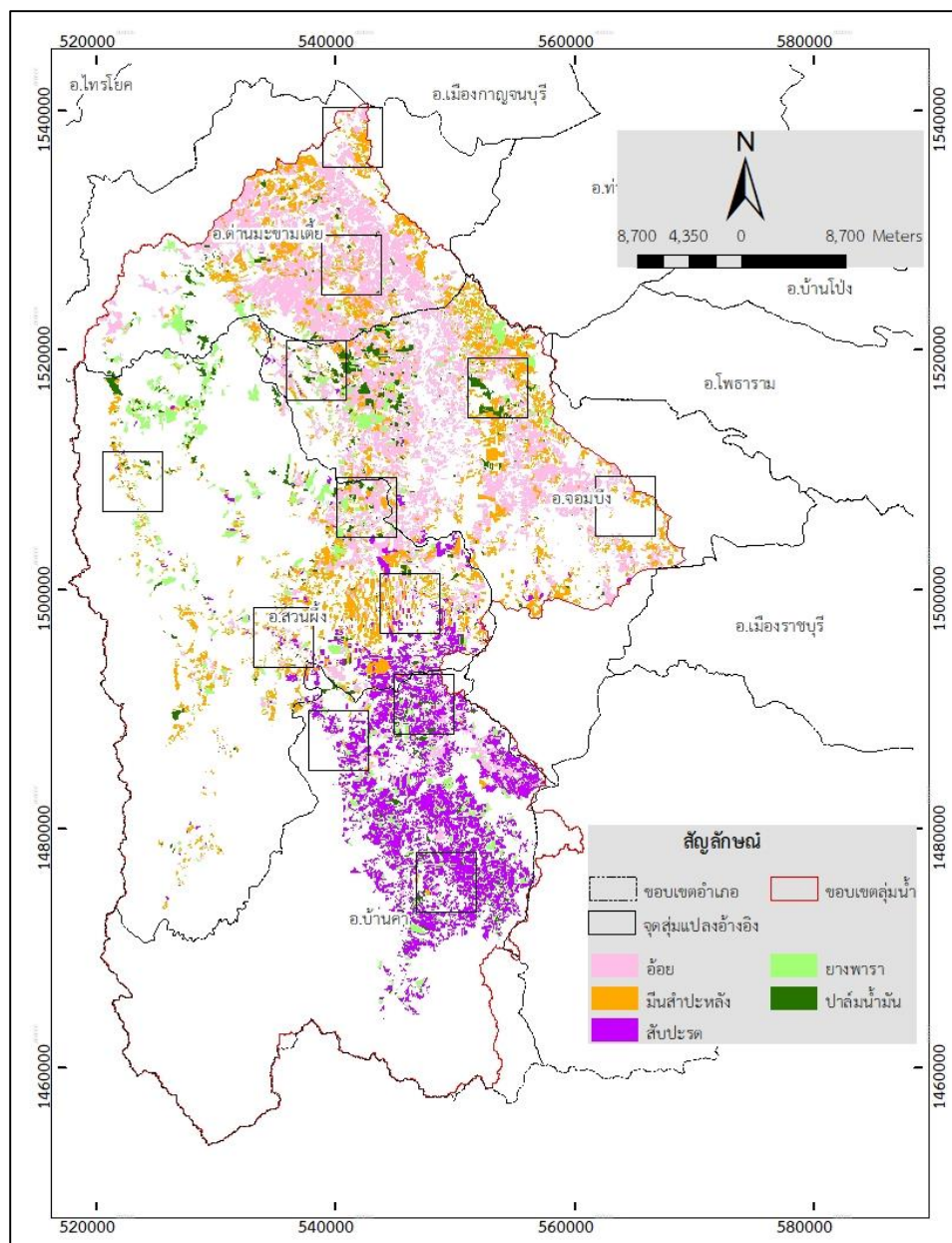
7) นำเข้าข้อมูลภาคสนามเข้าสู่ระบบ GIS

8) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่าการสะท้อนแสงกับข้อมูลภาคสนาม โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ regression model โดยพิจารณาค่าความสัมพันธ์จากค่า p-value และ r-square โดยใช้โปรแกรมประมวลผลทางสถิติ โดยเมื่อทำการตรวจสอบข้อมูลจากแปลงอ้างอิงที่คัดเลือกไว้ ได้นำค่าจากแปลงที่คัดเลือกไว้ จำนวนดังนี้ อ้อย 40 แปลง มันสำปะหลัง 80 แปลง สับปะรด 30 แปลง ยางพารา 60 แปลง และ ปาล์มน้ำมัน 40 แปลง มาทำการวิเคราะห์

9) ศึกษากระบวนการจำแนกพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจในระดับลุ่มน้ำโดยการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา (multi-temporal) โดยการพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนแสงในรอบปีและจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น



ภาพที่ 12 ขั้นตอนการดำเนินการ



ภาพที่ 13 จุดสุ่มคัดเลือกแปลงข้อมูลอ้างอิงของพืชแต่ละชนิดแบบจำเพาะเจาะจง

4.3 เป้าหมายของงาน

4.3.1 ได้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลในรอบปีของพืชเศรษฐกิจจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการวิเคราะห์และจัดทำแผนที่พื้นที่ และการเจริญเติบโตพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด

4.3.2 ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลที่ได้สามารถนำไปพัฒนาต่อเป็นฐานข้อมูลค่าการสะท้อนแสงในการวิเคราะห์ และจัดทำแผนที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด และต่อยอดเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ

แบบอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ได้ในอนาคต เพื่อให้การจัดทำแผนที่การปลูกพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด จัดทำได้เร็วขึ้น ถูกต้องแม่นยำขึ้น และลดค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบภาคสนาม

4.3.3 สามารถพัฒนาฐานข้อมูลค่าการสะท้อนแสงในการวิเคราะห์อายุ และการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด เพื่อวางแผนด้านการปลูก ดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยว ทำให้เกษตรกรสามารถจัดการแปลงปลูกได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ภาครัฐและเอกชนสามารถให้คำแนะนำการปลูก ดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยว โดยการแบ่งโซนตามการเจริญเติบโตของพืชตามการวิเคราะห์ และทำแผนที่การเจริญเติบโตจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และสมการแบบจำลองที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมกับข้อมูลการเจริญเติบโตพืช

4.3.4 สามารถพัฒนาฐานข้อมูลค่าการสะท้อนแสงเพื่อช่วยในการพัฒนาระบบปลูกพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด เช่น การวางแผนกำหนดพื้นที่เพาะปลูก ประมาณการพื้นที่และผลผลิตที่จะเก็บเกี่ยว เพื่อให้เกิดความเป็นธรรมด้านราคาแก่เกษตรกร รวมถึงภาครัฐและเอกชนสามารถบริหารจัดการผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การกำหนดราคารับซื้อ การกำหนดโซนการเก็บเกี่ยวจากการวิเคราะห์แผนที่การเพาะปลูกและการเจริญเติบโตที่จัดทำโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

5. ผลสำเร็จของงาน (เชิงปริมาณ/คุณภาพ)

ผลสำเร็จของงานหลังการดำเนินงานประกอบด้วย ผลสำเร็จของงานเชิงปริมาณ ได้แก่ การจัดทำฐานข้อมูลต่าง ๆ เพิ่มเติม เช่น 1. ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากภาพถ่ายเทียมในการประเมินพื้นที่ปลูกอ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมันในพื้นที่ศึกษา 1 ชั้นข้อมูล ประกอบด้วย รายละเอียดพร้อมแผนที่ที่จัดเก็บในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 2.แนวทางในการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลในการจัดทำแผนที่การปลูก และการเจริญเติบโตของอ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมัน 3. เอกสารวิชาการการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากภาพถ่ายเทียมในการประเมินพื้นที่ปลูกอ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมัน ในรูปแบบสิ่งพิมพ์ และสื่ออิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 1 ชุด และ ผลสำเร็จของงานเชิงคุณภาพ ได้แก่ 1. ได้ฐานข้อมูลไว้ใช้เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากภาพถ่ายเทียมในการประเมินพื้นที่ปลูกอ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมัน ได้ทั้งการแปลภาพถ่ายโดยใช้สายตา และแปลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ 2. สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ระยะการเจริญเติบโตและสุขภาพพืชในแปลง ทำให้สามารถคำนวณเนื้อที่การปลูก อัตราการเจริญเติบโต และคาดการณ์ผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพและ 3. ภาครัฐ เอกชน และเกษตรกร สามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ได้ในการบริหารจัดการแปลง เช่น การกำหนดจำนวนพื้นที่ปลูก ตำแหน่งแปลง การดูแลรักษา เนื้อที่การปลูก การกำหนดราคาที่เป็นธรรมจากการวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโต และการคาดการณ์ผลผลิต ซึ่งผลสำเร็จของงานมีรายละเอียดดังนี้

5.1.2 ลักษณะภูมิประเทศ แบ่งได้เป็น 3 ส่วน (เอกสิทธิ์ และคณะ, 2561) คือ

- 1) ภูเขาลูกคลื่นลอนลาดและที่ราบ พื้นที่ภูเขาอยู่บริเวณทิศใต้และทิศตะวันตกของลุ่มน้ำซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำ
- 2) พื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดอยู่ทางทิศตะวันออกซึ่งเป็นส่วนต่อระหว่างลุ่มน้ำลำภาชีกับที่ราบแม่น้ำแม่กลอง
- 3) พื้นที่ราบเป็นพื้นที่บริเวณจุดบรรจบกับแม่น้ำแควน้อยแถบอำเภอด่านมะขามเตี้ยและที่ราบในร่องเขาบริเวณตอนกลางของพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งเป็นที่ราบแคบ ๆ ตามลำน้ำสาขาของลำภาชี

5.1.3 ลักษณะภูมิอากาศ สภาพอากาศทั่วไปของลุ่มน้ำลำภาชี อ้างอิงจากสภาพภูมิอากาศทั่วไปของจังหวัดราชบุรี (สำนักงานจังหวัดราชบุรี, 2560, สถานีอุตุนิยมวิทยาราชบุรี, 2565) มีรายละเอียดดังนี้

1) ฤดูกาล ลุ่มน้ำลำภาชีได้รับอิทธิพลของลมมรสุมที่พัดเวียนประจำฤดูกาล 2 ชนิด คือ พัดจากทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือในฤดูหนาวเรียกว่าลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ อิทธิพลของลมนี้ทำให้บริเวณจังหวัดราชบุรี มีอากาศหนาวเย็นและแห้งแล้ง กับมรสุมอีกชนิดหนึ่งคือมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งพัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นส่วนใหญ่ในฤดูฝน ทำให้อากาศชุ่มชื้นและมีฝนตกทั่วไป และเมื่อพิจารณาตามลักษณะลมฟ้าอากาศของประเทศไทย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู ดังนี้

1.1) ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม เป็นฤดูที่มีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดจากมหาสมุทรอินเดียปกคลุมประเทศไทย ลมนี้เป็นลมร้อนและชื้นจึงทำให้มีฝนชุกทั่วไป และมีอากาศ ชุ่มชื้น เดือนที่มีฝนตกมากที่สุดคือเดือนตุลาคม ฤดูฝนของลุ่มน้ำลำภาชี แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงแรก ประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคมช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงที่สอง ประมาณเดือนกันยายนถึงกลางเดือนพฤศจิกายน ช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากร่องมรสุมที่เลื่อนลงมาจากทางภาคเหนือมาปะทะแนวเทือกเขาตะนาวศรี

1.2) ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ระยะนี้เป็นช่วงว่างของฤดูมรสุมจะมีลมจากทิศใต้และลมตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุม ทำให้มีอากาศร้อนอบอ้าวทั่วไป เดือนเมษายน เป็นเดือนที่มีอากาศร้อนอบอ้าวที่สุดในรอบปี เนื่องจากดวงอาทิตย์ได้โคจรจากซีกโลกใต้มาอยู่ในละติจูดที่ตั้งฉากกับ ประเทศไทย จึงได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์เต็มที่

1.3) ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือความกดอากาศสูงจากประเทศจีนซึ่งมีคุณสมบัติหนาวเย็นและแห้ง จะแผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทย ทำให้อากาศเย็นและแห้งแล้ง โดยในเดือนธันวาคมและมกราคมมีอากาศหนาวจัดในรอบปี

2) อุณหภูมิ จากข้อมูลอุณหภูมิ ช่วง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565 (ตารางที่ 7) ซึ่งจากข้อมูลของข้อมูลอุณหภูมิจังหวัดราชบุรีที่เป็นจังหวัดในภาคกลางใกล้อ่าวไทย อุณหภูมิโดยเฉลี่ยจึงไม่สูงมากนัก อากาศไม่ร้อนอบอ้าวมากในฤดูร้อน และไม่หนาวมากในฤดูหนาว ในรอบ 5 ปีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 26.06 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่า 33.64 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 18.48 องศาเซลเซียส

3) ปริมาณน้ำฝน พื้นที่ลุ่มน้ำลำภาชีได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากมหาสมุทรอินเดีย มีปริมาณน้ำฝน ระหว่าง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565 ปริมาณฝนเฉลี่ยทั้งปี 1,027.0 มิลลิเมตร (ตารางที่ 8 และภาพที่ 15) โดยฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม เดือนที่มีปริมาณฝนมากที่สุด วัดได้ 284.5 มิลลิเมตร เมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีมากที่สุด วัดได้ 1184.1 มิลลิเมตร เมื่อ พ.ศ. 2564 และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีน้อยที่สุด วัดได้ 827.6 มิลลิเมตร เมื่อ พ.ศ. 2562

ตารางที่ 7 ข้อมูลอุณหภูมิจังหวัดราชบุรี ช่วง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565

ข้อมูลอุณหภูมิจังหวัดราชบุรี (เซลเซียส) รายเดือน พ.ศ.2561													
ข้อมูล อุตุนิยมวิทยา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ทั้งปี
เฉลี่ย	26.9	27.5	29.6	29.6	29.9	29.2	29.3	28.9	29.1	28.9	28	27.8	28.73
เฉลี่ยสูงสุด	32	33.1	35.1	34.9	34.7	33.3	33.3	32.8	33.7	32.8	32.1	31.8	33.3
เฉลี่ยต่ำสุด	21.8	21.8	24.1	24.3	25.1	25	25.2	24.9	24.5	25	23.9	23.8	24.1
ข้อมูลอุณหภูมิจังหวัดราชบุรี (เซลเซียส) รายเดือน พ.ศ.2562													
เฉลี่ย	26.75	29.25	29.3	31.7	32.2	31.05	30.25	29.65	29.5	29.3	27.4	25.9	29.35
เฉลี่ยสูงสุด	34.8	36.1	39.4	39.7	40.4	37.4	36.8	34.9	35.5	35.5	34.5	35.2	36.68
เฉลี่ยต่ำสุด	18.7	22.4	19.2	23.7	24	24.7	23.7	24.4	23.5	23.1	20.3	16.6	22.03
ข้อมูลอุณหภูมิจังหวัดราชบุรี (เซลเซียส) รายเดือน พ.ศ.2563													
เฉลี่ย	27.05	27.4	30.1	31.1	31.95	30.45	30.2	30.55	30.05	28.15	27.3	26.2	29.21
เฉลี่ยสูงสุด	35.9	36.6	39.1	38.5	39.4	36.8	36.6	37.3	36.4	33.8	35	34.5	36.66
เฉลี่ยต่ำสุด	18.2	18.2	21.1	23.7	24.5	24.1	23.8	23.8	23.7	22.5	19.6	17.9	21.76
ข้อมูลอุณหภูมิจังหวัดราชบุรี (เซลเซียส) รายเดือน พ.ศ.2564													
เฉลี่ย	24.3	27.7	29.75	30.7	30.45	30.55	30.5	30	28.95	28.85	27.8	25.05	28.72
เฉลี่ยสูงสุด	34.5	38.2	37.9	38	37.9	37.4	37.1	36	34.2	35.1	33.9	33.2	36.12
เฉลี่ยต่ำสุด	14.1	17.2	21.6	23.4	23	23.7	23.9	24	23.7	22.6	21.7	16.9	21.32
ข้อมูลอุณหภูมิจังหวัดราชบุรี (เซลเซียส) รายเดือน พ.ศ.2565													
เฉลี่ย	26.85	27.8	30.45	28	29.45	30.2	30.1	29.45	29.55	29.35	26.45	25.35	28.58
เฉลี่ยสูงสุด	35.8	35	37	35.6	35.9	36.3	35.7	35.6	35.6	34.3	34	33.5	35.36
เฉลี่ยต่ำสุด	17.9	20.6	23.9	20.4	23	24.1	24.5	23.3	23.5	24.4	18.9	17.2	21.81
ข้อมูลอุณหภูมิจังหวัดราชบุรี (เซลเซียส) รายเดือน เฉลี่ย 5 ปี พ.ศ.2561- พ.ศ.2565													
เฉลี่ย	26.37	27.93	29.84	30.22	30.79	30.29	30.07	29.71	29.43	28.91	27.39		26.06
เฉลี่ยสูงสุด	34.6	35.8	37.7	37.34	37.66	36.24	35.9	35.32	35.08	34.3	33.9		33.64
เฉลี่ยต่ำสุด	18.14	20.04	21.98	23.1	23.92	24.32	24.22	24.08	23.78	23.52	20.88		18.48

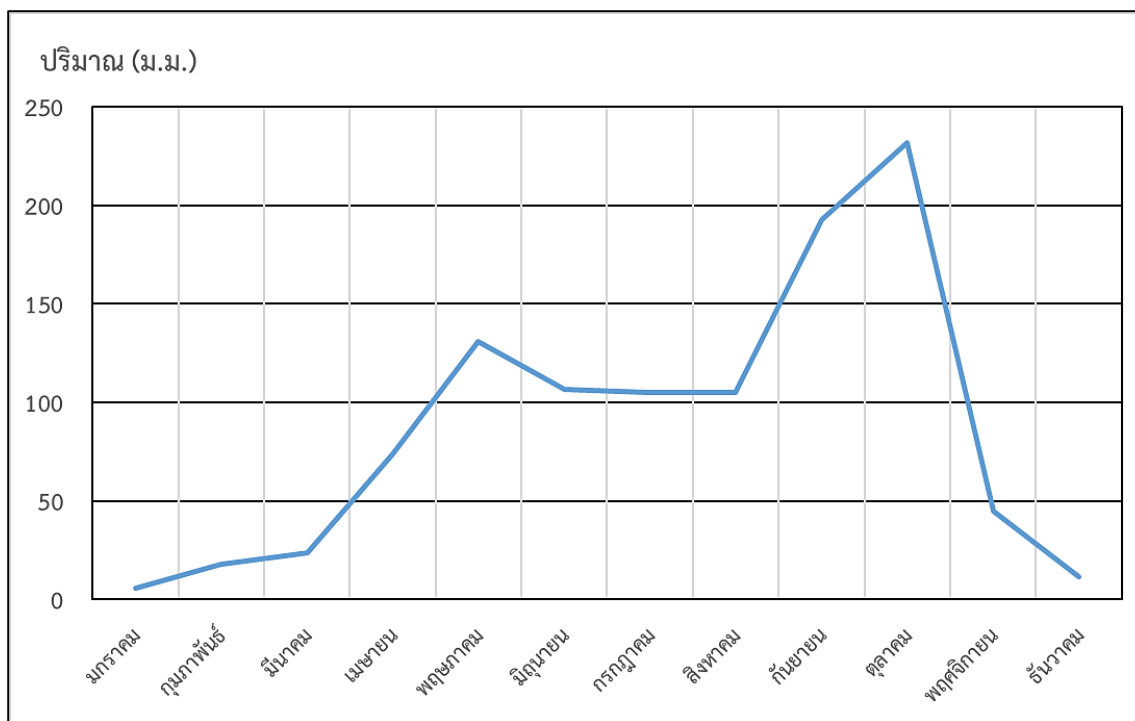
ที่มา : สถาบันนวัตกรรมและฐานภูมิบาลข้อมูล (2566)

ตารางที่ 8 ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) เฉลี่ยรายปี ของจังหวัดราชบุรี ช่วง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565

ปี เดือน	2561	2562	2563	2564	2565	เฉลี่ย
มกราคม	7.50	4.40	0.20	0	17.40	5.90
กุมภาพันธ์	14.40	6.70	0.90	5.30	63.30	18.10
มีนาคม	43.50	5.90	16.1	21.30	31.50	23.70
เมษายน	114.70	6.60	42.40	123.20	81.60	73.70
พฤษภาคม	137.10	181.50	73.80	120.30	141.50	130.80
มิถุนายน	76.60	133.30	161.40	61.30	101.50	106.80
กรกฎาคม	41.10	63.20	146.80	154.00	120.50	105.10
สิงหาคม	59.00	104.70	113.60	143.80	n.d.	105.30
กันยายน	176.30	190.70	198.20	206.20	n.d.	192.90
ตุลาคม	266.30	113.30	284.50	262.80	n.d.	231.70
พฤศจิกายน	27.90	17.30	52.10	81.30	n.d.	44.70
ธันวาคม	38.70	0.00	3.20	4.60	n.d.	11.60
รวม	1,003.10	827.60	1,093.26	1,184.10	n.d.	1,027.00

หมายเหตุ : n.d. = ไม่มีข้อมูล

ที่มา : สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล องค์การมหาชน (2566)



ภาพที่ 15 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน จังหวัดราชบุรี ช่วง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565

ที่มา: ดัดแปลงจากฐานข้อมูลสำนักงานพัฒนาทรัพยากรน้ำแห่งชาติ องค์การมหาชน (2566)

4) ทรัพยากรน้ำ

ลุ่มน้ำลำภาชี แบ่งออกเป็น 10 ลุ่มน้ำตามจุดเชื่อมต่อของแม่น้ำในลุ่มน้ำ (ตารางที่ 7) ได้แก่ แม่น้ำลำภาชี ห้วยท่าเคย ห้วยบ้านบ่อ ห้วยคลุม ห้วยลำสีเสียด และห้วยลำขลุง รวมเนื้อที่ 2,641 ตารางกิโลเมตร ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายฤดู ฤดูแล้ง 50.03 ล้านลูกบาศก์เมตร และฤดูฝน 421.99 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณน้ำท่าทั้งลุ่มน้ำเฉลี่ยรายปี 472.01 ล้านลูกบาศก์เมตร ต่อปี (อมรเทพ และคณะ, 2562) โครงการแหล่งน้ำในลุ่มน้ำลำภาชี ประกอบด้วยโครงการขนาดเล็ก โครงการขนาดกลาง และโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า โดยโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กมีทั้งหมด 63 โครงการ ความจุเก็บกักรวม 8.62 ล้านลูกบาศก์เมตร มีพื้นที่ชลประทานรวม 54,777 ไร่ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลางมีทั้งหมด 7 โครงการ ความจุเก็บกักรวม 32.88 ล้านลูกบาศก์เมตร มีพื้นที่ชลประทาน 28,400 ไร่ และโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า มีทั้งหมด 3 สถานี มีพื้นที่ส่งน้ำ รวม 3,172 ไร่ ทั้งนี้มีโครงการอ่างเก็บน้ำที่มีศักยภาพจำนวน 14 โครงการ (อมรเทพ และคณะ, 2562) (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำลำภาชี

ลำดับ ที่	ชื่อลุ่มน้ำย่อย	เนื้อที่ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายฤดู (ล้าน ลบ.ม.ต่อฤดู)		ปริมาณน้ำท่า เฉลี่ยรายปี (ล้าน ลบ.ม.ต่อปี)
			ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	
1	ลำภาชีจากต้นน้ำถึงจุดบรรจบ ห้วยท่าเคย	545.05	10.62	89.56	100.18
2	ห้วยท่าเคยจากต้นน้ำถึงจุดบรรจบ ลำภาชี	653.65	13.07	110.26	123.33
3	ลำภาชีจากจุดบรรจบห้วยท่า เคยถึงจุดบรรจบห้วยคลุม	16.42	0.19	1.63	1.82
4	ห้วยบ้านบ่อจากต้นน้ำถึงจุด บรรจบลำภาชี	138.02	2.21	18.60	20.81
5	ห้วยคลุมจากต้นน้ำถึงจุด บรรจบลำภาชี	236.2	15.13	127.58	142.71
6	ลำภาชีจากจุดบรรจบห้วยคลุม ถึงจุดบรรจบห้วยสีเสียด	742.55	4.08	34.40	38.48
7	ห้วยสีเสียดจากต้นน้ำถึงจุด บรรจบลำภาชี	131.14	0.10	0.80	0.90
8	ลำภาชีจากจุดบรรจบห้วย สีเสียดถึงจุดบรรจบห้วยลำขลุง	8.86	2.08	17.55	19.63
9	ห้วยลำขลุงจากต้นน้ำถึงจุด บรรจบลำภาชี	122.17	1.92	16.18	18.10
10	ลำภาชีจากจุดบรรจบห้วยลำขลุง ถึงจุดบรรจบแม่น้ำแควน้อย	46.94	0.64	5.41	6.06
รวมลุ่มน้ำลำภาชี		2,641.00	50.03	421.99	472.01

ที่มา : ดัดแปลงจากอมรเทพ และคณะ (2562)

ตารางที่ 10 โครงการอ่างเก็บน้ำศักยภาพในกลุ่มน้ำลำภาชี

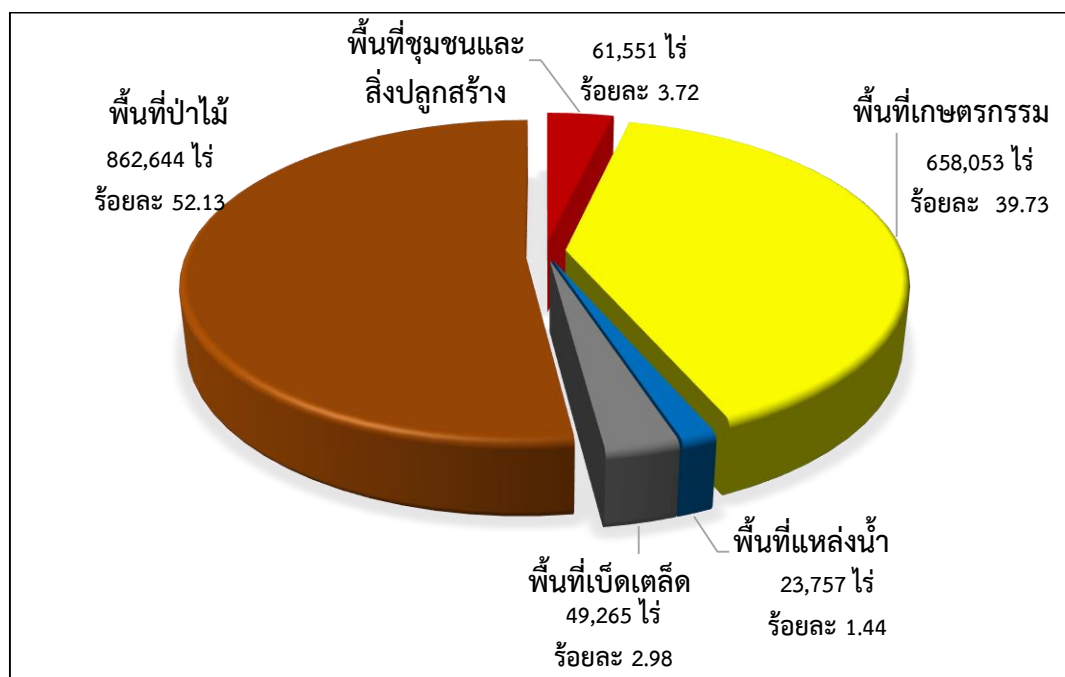
ลำดับที่	ชื่อโครงการ	ความจุอ่างเก็บน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)
1	อ่างเก็บน้ำบ้านหนองตาต้ง	49.95
2	อ่างเก็บน้ำบ้านตะเคียนทอง	76.40
3	อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำขุ่น	11.53
4	อ่างเก็บน้ำห้วยหุบไทร	1.45
5	อ่างเก็บน้ำหุบพุดอน	0.98
6	อ่างเก็บน้ำบ้านห้วยหนึ่ง	0.90
7	อ่างเก็บน้ำบ้านหนองกระทุ่ม	1.25
8	อ่างเก็บน้ำบ้านทุ่งเจดีย์	0.50
9	อ่างเก็บน้ำลำบัวทอง	5.20
10	อ่างเก็บน้ำบ้านทับตะโกใน	2.97
11	อ่างเก็บน้ำบ้านทุ่งรี	2.05
12	อ่างเก็บน้ำบ้านบ่อเก่า	3.86
13	อ่างเก็บน้ำบ้านหนองพวง	2.25
14	อ่างเก็บน้ำบ้านไผ่ล้อมรัก	1.60

ที่มา : อมรเทพ และคณะ (2562)

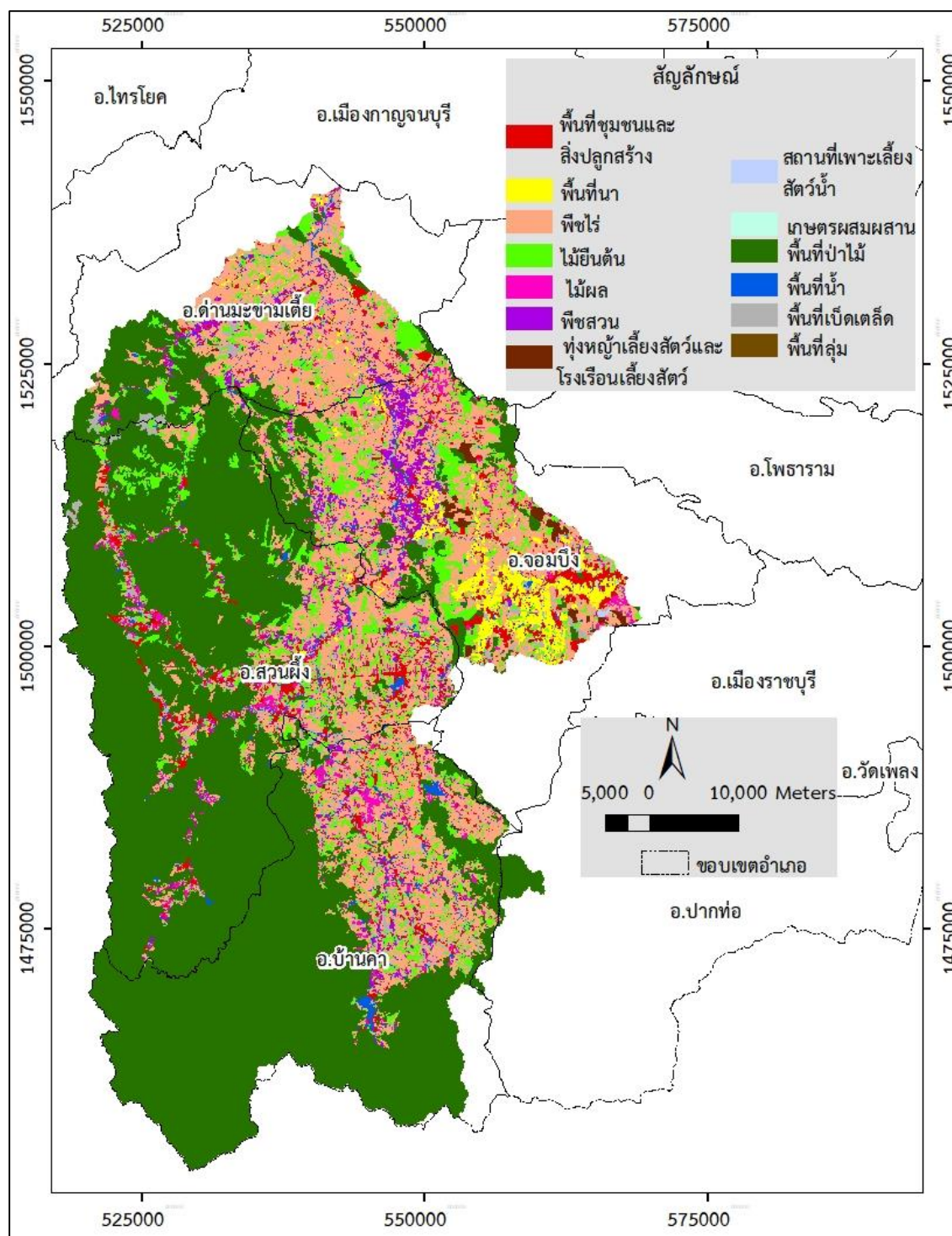
5) การใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากฐานข้อมูลการใช้ที่ดิน มาตราส่วน 1:25,000 ปี กรมพัฒนาที่ดิน สามารถจำแนกประเภทการใช้ที่ดินของ ลุ่มน้ำลำภาชี ใน พ.ศ. 2564 ได้ดังนี้ พื้นที่ทั้งหมด 1,655,270 ไร่ แบ่งประเภทการใช้ที่ดิน ได้ออกเป็น 5 ประเภทหลัก คือ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (U) มีพื้นที่ 61,551 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.72 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่เกษตรกรรม (A) มีพื้นที่ 658,053 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 39.73 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ป่าไม้ (F) มีพื้นที่ 862,644 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 52.13 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่แหล่งน้ำ (W) มีพื้นที่ 23,757 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.44 ของพื้นที่ทั้งหมด และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M) มีพื้นที่ 49,265 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.98 ของพื้นที่ทั้งหมด (ภาพที่ 16) โดยการใช้ประโยชน์ในพื้นที่แต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้ (ภาพที่ 17)

พื้นที่เกษตรกรรม (A) ประกอบด้วยพื้นที่นาข้าว (A1) 35,204 ไร่ หรือร้อยละ 2.13 ของพื้นที่ทั้งหมด พืชไร่ (A2) มีพื้นที่ 378,680 ไร่ หรือร้อยละ 22.87 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกอ้อย 176,283 ไร่ หรือร้อยละ 10.65 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 93,312 ไร่ หรือร้อยละ 5.64 ของพื้นที่ทั้งหมด และพื้นที่ปลูกสับปะรด 86,517 ไร่ หรือร้อยละ 5.23 ของพื้นที่ทั้งหมด ไม้ยืนต้น (A3) มีพื้นที่ 151,487 ไร่ หรือร้อยละ 9.16 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกยางพารา มีพื้นที่ 50,056 ไร่ หรือร้อยละ 3.03 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน มีพื้นที่ 23,862 ไร่ หรือร้อยละ 1.45 ของพื้นที่ทั้งหมด และยูคาลิปตัส 56,036 ไร่ หรือร้อยละ 3.39 ของพื้นที่ทั้งหมด



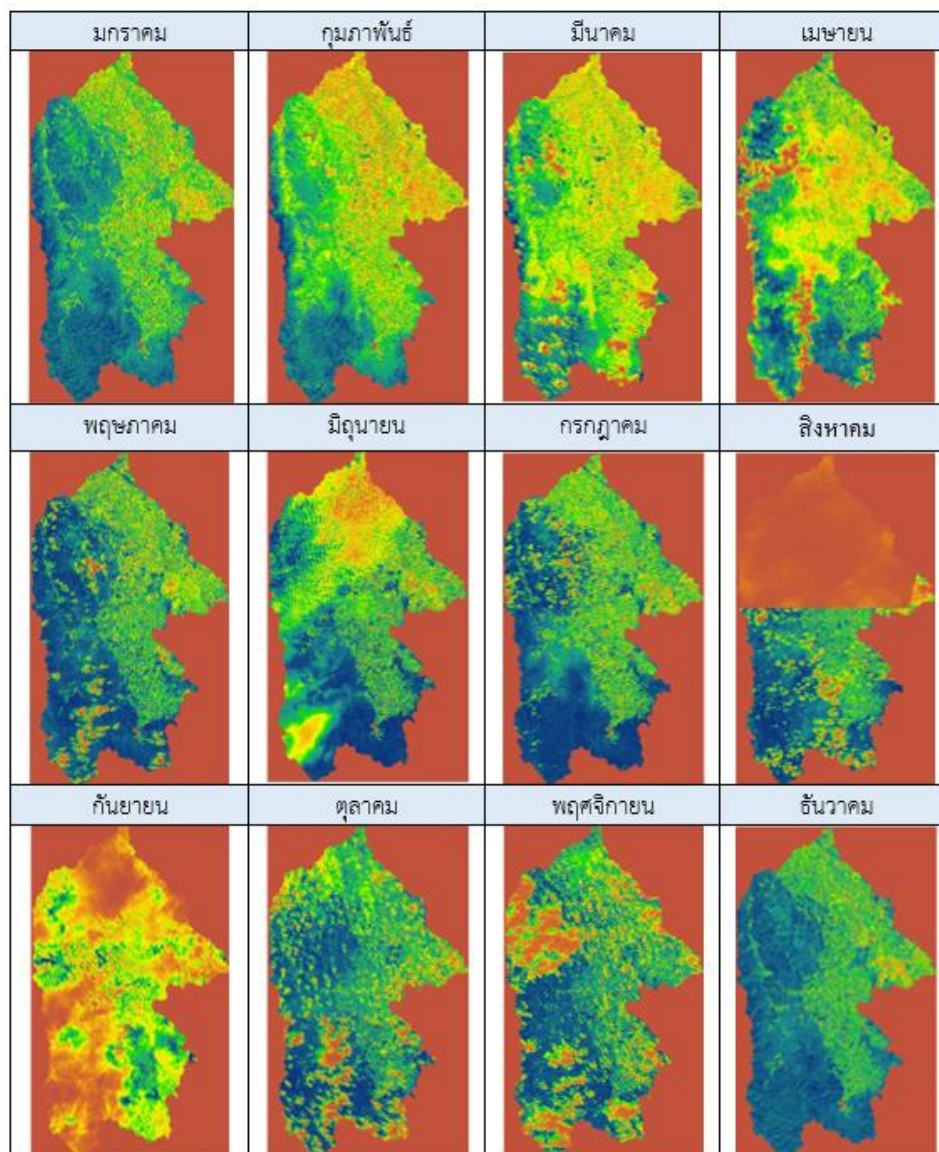
ภาพที่ 16 การใช้ที่ดิน ลุ่มน้ำลำภาชี 5 ประเภทหลัก พ.ศ. 2564



ภาพที่ 17 แผนที่การใช้ที่ดิน ลุ่มน้ำลำภาชี พ.ศ. 2564

5.2 ผลการศึกษาและวิจารณ์

5.2.1 การสร้างฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลในรอบปีของพืชเศรษฐกิจจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม การศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ชนิด COPERNICUS/S2 บริเวณลุ่มน้ำลำภาชี ผ่าน <https://code.earthengine.google.com/> เนื่องจากในการถ่ายภาพของ Sentinel 2 จะใช้ดาวเทียม 2 ดวง ทำให้สามารถถ่ายภาพได้ทุก 5 ถึง 7 วัน ของทุกเดือน ทำให้ในบางบริเวณอาจมีภาพที่ใช้ประโยชน์ได้ในแต่ละเดือน 1 ถึง 3 ภาพ ดังนั้นการรวบรวมข้อมูลภาพในครั้งนี้จึงใช้วิธี โมเสกภาพ (mosaic) เพื่อให้ได้ภาพรายเดือนในบริเวณที่ศึกษามากที่สุด ซึ่งค่าที่ได้ในแต่ละจุดภาพจะเป็น ค่าเฉลี่ยรายเดือนของจุดภาพในแต่ละภาพที่ซ้อนทับกัน การเก็บรวบรวมภาพเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม 2561 ถึง เดือนธันวาคม 2565 และมีการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และ ดัชนี NDII เพื่อใช้ในการศึกษาค่าการสะท้อนแสง ลายเซ็นต์เชิงคลื่น และความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต โดยภาพที่ทำการจัดเตรียมนี้จะต้องมีเมฆปกคลุมน้อยและสามารถใช้สกัดค่าในบริเวณแปลงศึกษาได้ ซึ่งจากการรวบรวมภาพถ่าย พบว่า ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 มีข้อมูลภาพถ่ายที่สามารถนำมาใช้ ประโยชน์ได้เพียงบางเดือน และในบางเดือนมีเมฆปกคลุมในบริเวณแปลงศึกษาทำให้ไม่สามารถนำ ข้อมูลในแปลงที่มีเมฆปกคลุมมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ ทั้งนี้เกิดจากดาวเทียม Sentinel 2 เป็นดาวเทียม ในระบบ passive sensor system คือเป็นดาวเทียมที่อาศัยแหล่งพลังงานจากภายนอกคือดวงอาทิตย์เป็นหลัก ซึ่งในบางเดือนที่มีเมฆปกคลุมมากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่สามารถส่งลงมาผ่านเมฆได้ หรือ หากส่งลงมาได้เมื่อสะท้อนกลับอาจไปกระทบเมฆทำให้เซ็นเซอร์ของดาวเทียมไม่สามารถจัดเก็บข้อมูล ในบริเวณนั้นได้ ซึ่งเมฆและเงาเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักของปัญหาในขณะที่ยังทำงานการสำรวจระยะไกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำงานในพื้นที่เขตร้อน ทำให้จุดข้อมูลในภาพหายไป ซึ่งอาจเป็นปัจจัยข้อจำกัดหลัก ต่อความสอดคล้องเชิงพื้นที่และเชิงเวลาของการทำแผนที่และการติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เนื่องจากข้อมูลในบริเวณที่มีเมฆและเงาปกคลุมนี้ มีอิทธิพลต่อกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลหลายอย่าง เช่น การแก้ไขบรรยากาศที่ไม่ถูกต้อง ดัชนีพืชพรรณผิดเพี้ยนไป ทำให้เกิดความผิดพลาดในการจำแนกประเภท สิ่งปกคลุมดิน และการตรวจพบการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินที่ผิดพลาด ภาพโมเสก ที่สร้างบนคลาวด์ เช่น google earth engine จะถูกสร้างขึ้นด้วยกฎพื้นฐานความรู้ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าซึ่ง สร้างขึ้นจากลายเซ็นสเปกตรัม โดยการรวมภาพ (composite) โดยใช้คำมีฐานของการสะท้อนแสงของ ชุดข้อมูลภาพ ภาพโมเสกไร้รอยต่อและไร้เมฆซึ่งจะมีประโยชน์มากในบริเวณที่มีเมฆปกคลุม (Zhu et al., 2018) ซึ่งจากการรวบรวมภาพผ่านระบบคลาวด์ของที่มีการโมเสกและรวมภาพ ซึ่งภาพตัวอย่างของภาพ Sentinel 2 ที่บันทึกภาพ ใน พ.ศ. 2564 (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 ตัวอย่างภาพดาวเทียม Sentinel 2 ที่มีการคำนวณค่า NDVI ในเดือนต่าง ๆ พ.ศ. 2564

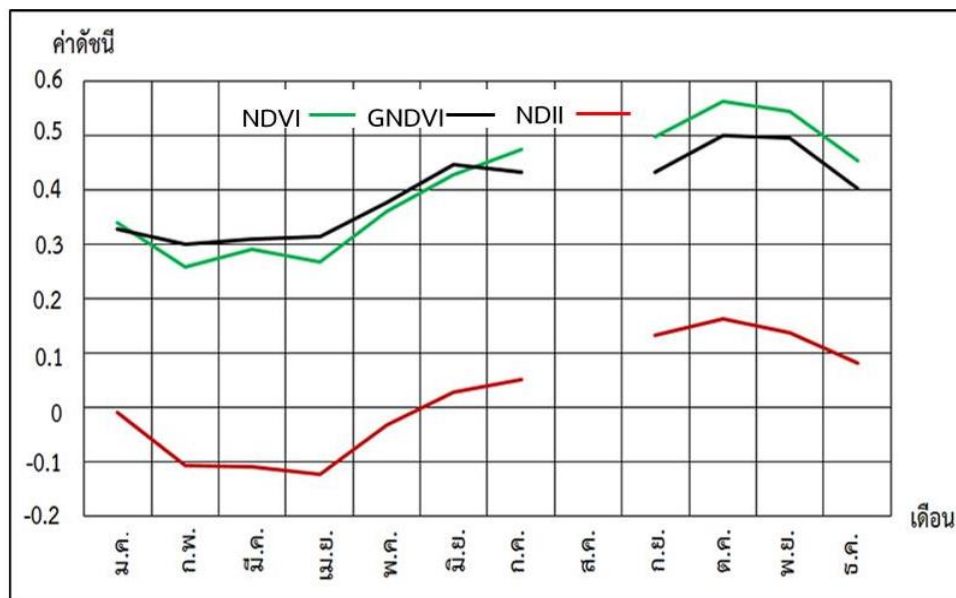
1) การสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของอ้อยจากข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel 2

จากการสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของอ้อยที่ได้จากการคำนวณดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII โดยใช้ข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel 2 รายเดือน จำนวน 5 ปี และสกัดค่าโดยใช้ขอบเขตแปลงเก็บข้อมูลอ้างอิง ซึ่งจำนวนแปลงที่ใช้สกัดค่าในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากัน เนื่องจากบางแปลงมีเมฆปกคลุม พบว่าค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด (ภาพที่ 19 และ ตารางที่ 11) มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปีและมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันคือ มีค่าต่ำในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนเมษายน และค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน และค่อยๆ ลดลง

ในเดือนธันวาคม ซึ่งอาจเกิดจากเกษตรกรรมเริ่มทยอยเก็บเกี่ยวอ้อยตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนและในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนแปลงอ้อยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่ต่ออ้อยคืออ้อยที่เก็บเกี่ยวแล้ว และรอให้เจริญเติบโตขึ้นมาใหม่จึงทำให้ค่า NDVI และ GNDVI ต่ำเนื่องจากมีพืชปกคลุมน้อย ขณะที่ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมเป็นช่วงที่พืชค่อยๆ เจริญเติบโต ซึ่งค่า NDVI และ GNDVI ของพืชที่เป็นชนิดเดียวกันต้นที่มีขนาดใหญ่กว่าแข็งแรงกว่าจะมีค่าสูงกว่า (Simms and Ward, 2013) และพบว่าเดือนตุลาคมจะมีค่าดัชนีพืชพรรณสูงที่สุดเนื่องจากอ้อยเจริญเติบโตเต็มที่รอการเก็บเกี่ยว ซึ่งเห็นได้ว่าค่าดัชนีพืชพรรณจะเริ่มลดต่ำลงเรื่อยๆ ในเดือนพฤศจิกายนเนื่องจากเกษตรกรรมเริ่มเก็บเกี่ยว และจะลดต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์อีกครั้งเนื่องจากอ้อยส่วนใหญ่ถูกเก็บแล้ว และเมื่อถึงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน แปลงอ้อยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่ต่ออ้อยที่รอเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่จึงทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดมีค่าต่ำเนื่องจากมีพืชปกคลุมน้อย ขณะที่ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม เป็นช่วงที่พืชค่อยๆ เจริญเติบโต ซึ่งค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดหากเป็นพืชที่เป็นชนิดเดียวกันต้นที่มีขนาดใหญ่กว่า แข็งแรงกว่าจะมีค่าสูงกว่า และพบว่าเดือนตุลาคมจะมีค่าดัชนีพืชพรรณสูงที่สุดเนื่องจากอ้อยเจริญเติบโตเต็มที่รอการเก็บเกี่ยว ซึ่งเห็นได้ว่าค่าดัชนีพืชพรรณจะเริ่มลดต่ำลงเรื่อยๆ ในเดือนพฤศจิกายนเนื่องจากเกษตรกรรมเริ่มเก็บเกี่ยว และจะลดต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์เนื่องจากอ้อยส่วนใหญ่ถูกตัดแล้ว คล้ายการศึกษาของ Scarpore (n.d.) ซึ่งแสดงค่าดัชนี EVI ของอ้อยที่เปลี่ยนแปลงในรอบปี และ Chen *et al.* (2020) ที่รายงานค่า NDVI ในพื้นที่ปลูกอ้อยมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยในช่วงที่อ้อยถูกเก็บเกี่ยวจะมีค่า NDVI ต่ำที่สุด

ค่า NDII มีค่าต่ำกว่า ค่า NDVI และค่า GNDVI ตลอดทั้งปี ทั้งนี้เกิดจากค่า NDII คำนวณสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรดโดยใช้สมการ $(NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$ ขณะที่ NDVI คำนวณสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นแสงสีแดงโดยใช้สมการ $(NIR - red) / (NIR + red)$ และ GNDVI คำนวณสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นแสงสีเขียวโดยใช้สมการ $(NIR - green) / (NIR + green)$ โดยทั่วไปพืชจะสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มากกว่าช่วงคลื่นแสงสีเขียวและช่วงคลื่นแสงสีแดงตามลำดับเมื่อค่าต่าง ๆ แล้วจึงเห็นว่าในบริเวณที่มีพืชปกคลุมสูงจะมีค่า NDVI สูงกว่าค่า GNDVI และค่า NDII ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม GNDVI มีค่าสูงกว่า NDVI ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน แต่ GNDVI มีค่าต่ำกว่า NDVI ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน เนื่องจากในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนเป็นช่วงที่มีพืชปกคลุมอยู่น้อย ทำให้การดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงคลื่นต่ำคล้ายลายเซ็นต์เชิงคลื่นของดินคือดินจะมีการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีเขียวและอินฟราเรดใกล้ต่ำกว่าพืชทำให้เมื่อนำมาคำนวณแล้วมีค่าต่ำ ขณะที่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายนเป็นช่วงที่มีพืชปกคลุมอยู่น้อย ทำให้การดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงคลื่นสูงโดยเฉพาะช่วงคลื่นสีแดง (Rouse *et al.*, 1974; Gitelson *et al.*, 1996; Hunt and Rock, 1989) ซึ่งค่า NDVI และ GNDVI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับขนาดทรงพุ่ม ขนาดพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพ คือ ค่า NDVI และ GNDVI จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดทรงพุ่ม ขนาดพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น (Rouse *et al.*, 1974; Gitelson *et al.*, 1996; Simms and Ward, 2013) ซึ่งจากความแตกต่างนี้อาจใช้เป็นเกณฑ์ในการ

จำแนกระยะเติบโตของอ้อยโดยสันนิษฐานว่าเมื่อค่า NDVI สูงกว่าค่า GNDVI เป็นช่วงที่อ้อยเจริญเติบโต
คลุมพื้นที่โดยเหลือพื้นที่ว่างซึ่งเป็นดินน้อยลง



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกอ้อย

ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของอ้อย

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2561	มกราคม	0.202	0.546	0.375	0.239	0.425	0.312	-0.199	0.246	0.045
	กุมภาพันธ์	0.202	0.441	0.297	0.227	0.372	0.270	-0.247	0.209	-0.061
	มีนาคม	0.250	0.607	0.404	0.320	0.476	0.395	-0.2	0.291	-0.021
	เมษายน	0.174	0.525	0.344	0.186	0.456	0.351	-0.256	0.129	-0.079
	พฤษภาคม	0.237	0.629	0.42	0.234	0.533	0.391	-0.192	0.214	-0.004
	มิถุนายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.389	0.721	0.505	0.364	0.584	0.434	-0.079	0.318	0.067
	ตุลาคม	0.455	0.632	0.549	0.368	0.507	0.446	0.044	0.312	0.159
	พฤศจิกายน	0.473	0.657	0.56	0.369	0.522	0.457	0.058	0.278	0.174
	ธันวาคม	0.198	0.611	0.478	0.299	0.486	0.404	-0.218	0.217	0.067

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2562	มกราคม	0.182	0.479	0.327	0.221	0.387	0.291	-0.273	0.176	-0.043
	กุมภาพันธ์	0.146	0.496	0.279	0.222	0.415	0.295	-0.284	0.142	-0.126
	มีนาคม	0.164	0.429	0.262	0.265	0.398	0.321	-0.252	0.009	-0.152
	เมษายน	0.152	0.468	0.24	0.252	0.434	0.307	-0.27	0.015	-0.188
	พฤษภาคม	0.148	0.544	0.377	0.214	0.478	0.361	-0.132	0.124	-0.031
	มิถุนายน	0.196	0.557	0.395	0.261	0.477	0.376	-0.1	0.195	0.032
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.545	0.545	0.545	0.431	0.431	0.431	0.185	0.185	0.185
	ตุลาคม	0.454	0.682	0.574	0.246	0.554	0.469	-0.011	0.404	0.165
	พฤศจิกายน	0.315	0.65	0.527	0.343	0.530	0.452	-0.104	0.249	0.099
	ธันวาคม	0.226	0.523	0.437	0.294	0.451	0.391	-0.167	0.162	0.06
2563	มกราคม	0.150	0.452	0.316	0.220	0.384	0.304	-0.22	0.106	-0.052
	กุมภาพันธ์	0.139	0.392	0.23	0.234	0.373	0.306	-0.239	0.018	-0.159
	มีนาคม	0.140	0.314	0.202	0.208	0.316	0.256	-0.277	-0.06	-0.198
	เมษายน	0.096	0.327	0.181	0.120	0.275	0.195	-0.255	-0.065	-0.194
	พฤษภาคม	0.125	0.465	0.257	0.189	0.414	0.305	-0.298	0.031	-0.152
	มิถุนายน	0.253	0.611	0.406	0.287	0.529	0.406	-0.204	0.182	-0.023
	กรกฎาคม	0.236	0.627	0.468	0.275	0.507	0.434	-0.232	0.192	0.028
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.000	0.72	0.576	0.507	0.629	0.548	0.046	0.292	0.167
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ธันวาคม	0.222	0.687	0.564	0.284	0.556	0.471	-0.205	0.306	0.141

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2564 (ต่อ)	มกราคม	0.249	0.595	0.435	0.294	0.486	0.396	-0.151	0.243	0.032
	กุมภาพันธ์	0.175	0.508	0.284	0.260	0.420	0.307	-0.278	0.187	-0.118
	มีนาคม	0.149	0.371	0.231	0.208	0.365	0.257	-0.249	0.041	-0.167
	เมษายน	0.147	0.518	0.324	0.217	0.461	0.334	-0.257	0.043	-0.11
	พฤษภาคม	0.164	0.684	0.422	0.278	0.566	0.408	-0.267	0.236	-0.014
	มิถุนายน	0.344	0.644	0.48	0.384	0.542	0.454	-0.103	0.188	0.076
	กรกฎาคม	0.225	0.633	0.48	0.289	0.529	0.430	-0.121	0.226	0.074
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ธันวาคม	0.224	0.645	0.517	0.300	0.517	0.442	-0.181	0.266	0.102
2565	มกราคม	0.125	0.378	0.242	0.193	0.364	0.241	-0.151	0.15	-0.032
	กุมภาพันธ์	0.108	0.322	0.201	0.152	0.266	0.199	-0.193	0.107	-0.07
	มีนาคม	0.021	0.394	0.243	0.071	0.333	0.239	-0.144	0.135	-0.006
	เมษายน	0.123	0.351	0.251	0.142	0.316	0.249	-0.153	0.088	-0.039
	พฤษภาคม	0.261	0.361	0.329	0.272	0.322	0.302	-0.06	0.097	0.042
	มิถุนายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.271	0.434	0.366	0.247	0.362	0.312	0.003	0.19	0.107
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ธันวาคม	0.173	0.348	0.273	0.122	0.298	0.241	-0.074	0.114	0.033

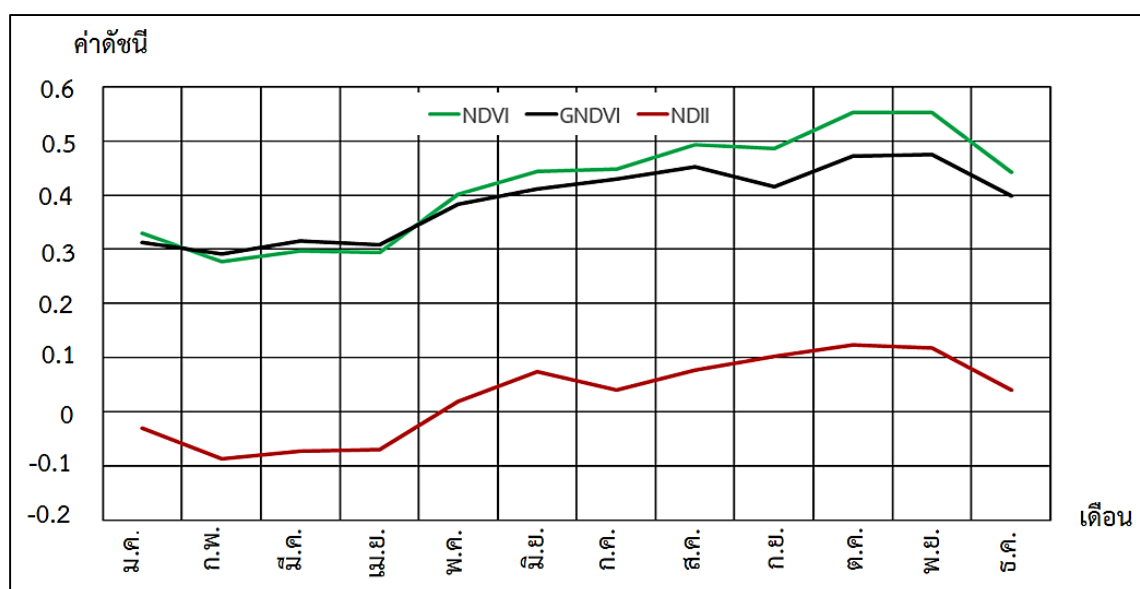
ตารางที่ 11 (ต่อ)

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
เฉลี่ย 5 ปี	มกราคม	0.182	0.490	0.339	0.255	0.376	0.328	-0.199	0.184	-0.010
	กุมภาพันธ์	0.154	0.432	0.258	0.230	0.331	0.299	-0.248	0.133	-0.107
	มีนาคม	0.036	0.351	0.290	0.214	0.351	0.309	-0.224	0.083	-0.109
	เมษายน	0.138	0.438	0.268	0.181	0.352	0.313	-0.238	0.042	-0.122
	พฤษภาคม	0.187	0.537	0.361	0.270	0.410	0.377	-0.190	0.140	-0.032
	มิถุนายน	0.264	0.604	0.427	0.355	0.444	0.446	-0.136	0.188	0.028
	กรกฎาคม	0.231	0.630	0.474	0.282	0.518	0.432	-0.177	0.209	0.051
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.301	0.605	0.498	0.416	0.502	0.431	0.039	0.246	0.132
	ตุลาคม	0.455	0.657	0.562	0.471	0.377	0.500	0.017	0.358	0.162
	พฤศจิกายน	0.394	0.654	0.544	0.448	0.433	0.494	-0.023	0.264	0.137
	ธันวาคม	0.209	0.563	0.454	0.288	0.430	0.402	-0.169	0.213	0.081

2) การสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของม่นสำปะหลังจากข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel 2

จากการสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของม่นสำปะหลังที่ได้จากการคำนวณดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII จากข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel 2 ทุกเดือน จำนวน 5 ปี และสกัดค่าโดยใช้ขอบเขตแปลงเก็บข้อมูลอ้างอิง ซึ่งจำนวนแปลงที่ใช้สกัดค่า (N) ในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากันเนื่องจากบางแปลงมีเมฆปกคลุม (ภาพที่ 20 และ ตารางที่ 12) พบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี และมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน คือ มีค่าต่ำในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน และค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน และค่อยๆ ลดลงในเดือนธันวาคม และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าช่วงเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคมเกษตรกรส่วนใหญ่มีการพักแปลง และเตรียมแปลงสำหรับปลู่ม่นสำปะหลัง แล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้งตั้งแต่เดือนเมษายน ซึ่งม่นสำปะหลังส่วนใหญ่เริ่มงอก และเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ จึงทำให้ค่า NDVI และ GNDVI ยังคงต่ำเนื่องจากมีพืชปกคลุมน้อย ขณะที่ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมเป็นช่วงที่พืชค่อยๆ เจริญเติบโต ซึ่งค่า NDVI และ GNDVI ของพืชที่เป็นชนิดเดียวกันต้นที่มีขนาดใหญ่กว่าแข็งแรงกว่าจะมีค่าสูงกว่า (Simms and Ward, 2013) และพบว่าเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน จะมีค่าดัชนีพืชพรรณสูงที่สุดเนื่องจากม่นสำปะหลังเจริญเติบโตเต็มที่พร้อมการเก็บเกี่ยว ซึ่งเห็นได้ว่าค่าดัชนีพืชพรรณจะเริ่มลดต่ำลงเรื่อยๆ ในเดือนธันวาคม ซึ่งอาจเกิดจากเกษตรกรเริ่มปล่อยให้ม่นสำปะหลังสะสมแป้งทำให้ต้นม่นสำปะหลังมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ใบเริ่มร่วง ประกอบกับเกษตรกรเริ่มทยอยเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม

ค่า NDII มีค่าต่ำกว่า ค่า NDVI และค่า GNDVI ตลอดทั้งปี ทั้งนี้เกิดจากค่า NDII คำนวณสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรดโดยใช้สมการ $(NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$ ขณะที่ NDVI คำนวณสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นแสงสีแดงโดยใช้สมการ $(NIR - red) / (NIR + red)$ และ GNDVI คำนวณสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นแสงสีเขียวโดยใช้สมการ $(NIR - green) / (NIR + green)$ โดยทั่วไปพืชจะสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มากกว่าช่วงคลื่นแสงสีเขียวและช่วงคลื่นแสงสีแดงตามลำดับเมื่อค่าต่าง ๆ แล้วจึงเห็นว่าในบริเวณที่มีพืชปกคลุมสูงจะมีค่า NDVI สูงกว่าค่า GNDVI และค่า NDII ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม GNDVI มีค่าสูงกว่า NDVI ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน แต่ GNDVI มีค่าต่ำกว่า NDVI ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน เนื่องจากในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนเป็นช่วงที่มีพืชปกคลุมอยู่น้อย ทำให้การดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงคลื่นต่ำคล้ายลายเซ็นต์เชิงคลื่นของดินคือดินจะมีการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีเขียวและอินฟราเรดใกล้ต่ำกว่าพืชทำให้เมื่อนำมาคำนวณแล้วมีค่าต่ำ ขณะที่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายนเป็นช่วงที่มีพืชปกคลุมอยู่น้อย ทำให้การดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงคลื่นสูงโดยเฉพาะช่วงคลื่นสีแดง (Rouse *et al.*, 1974; Gitelson *et al.*, 1996; Hunt and Rock, 1989) ซึ่งค่า NDVI และ GNDVI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับขนาดทรงพุ่ม ขนาดพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพคือ ค่า NDVI และ GNDVI จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดทรงพุ่ม ขนาดพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น (Rouse *et al.*, 1974; Gitelson *et al.*, 1996; Simms and Ward, 2013) ซึ่งจากความแตกต่างนี้อาจใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกระยะเติบโตของманสำปะหลังโดยสันนิษฐานว่าเมื่อค่า NDVI สูงกว่าค่า GNDVI เป็นช่วงที่สำปะหลังเจริญเติบโตคลุมพื้นที่โดยเหลือพื้นที่ว่างซึ่งเป็นดินน้อยลง



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกมันสำปะหลัง

ตารางที่ 12 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของม่นสำปะหลัง

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2561	มกราคม	0.245	0.579	0.395	0.243	0.465	0.341	-0.181	0.366	0.060
	กุมภาพันธ์	0.172	0.541	0.341	0.188	0.461	0.31	-0.232	0.302	-0.008
	มีนาคม	0.235	0.622	0.448	0.318	0.533	0.429	-0.161	0.342	0.044
	เมษายน	0.169	0.637	0.406	0.247	0.528	0.393	-0.221	0.284	0.015
	พฤษภาคม	0.229	0.682	0.477	0.302	0.571	0.434	-0.167	0.333	0.065
	มิถุนายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.248	0.690	0.501	0.297	0.568	0.443	-0.171	0.370	0.055
	ตุลาคม	0.189	0.676	0.543	0.267	0.544	0.462	-0.150	0.349	0.133
	พฤศจิกายน	0.252	0.681	0.558	0.309	0.565	0.476	-0.135	0.361	0.144
	ธันวาคม	0.233	0.613	0.478	0.278	0.507	0.419	-0.209	0.259	0.053
2562	มกราคม	0.188	0.502	0.329	0.212	0.431	0.302	-0.241	0.209	-0.042
	กุมภาพันธ์	0.161	0.485	0.301	0.222	0.404	0.312	-0.263	0.181	-0.098
	มีนาคม	0.161	0.454	0.285	0.273	0.446	0.342	-0.222	0.139	-0.105
	เมษายน	0.113	0.541	0.275	0.263	0.474	0.33	-0.246	0.098	-0.120
	พฤษภาคม	0.148	0.634	0.431	0.214	0.54	0.403	-0.216	0.179	0.024
	มิถุนายน	0.196	0.654	0.442	0.261	0.577	0.408	-0.163	0.210	0.094
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.354	0.605	0.489	0.304	0.467	0.396	0.094	0.125	0.110
	ตุลาคม	0.308	0.702	0.563	0.355	0.586	0.481	-0.101	0.289	0.115
	พฤศจิกายน	0.205	0.655	0.499	0.324	0.555	0.452	-0.155	0.258	0.050
	ธันวาคม	0.230	0.606	0.430	0.322	0.509	0.403	-0.148	0.229	0.024

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2563	มกราคม	0.138	0.436	0.308	0.012	0.389	0.303	-0.209	0.341	-0.063
	กุมภาพันธ์	0.165	0.429	0.274	0.264	0.442	0.332	-0.208	0.105	-0.117
	มีนาคม	0.132	0.379	0.236	0.218	0.372	0.279	-0.238	0.018	-0.155
	เมษายน	0.129	0.422	0.199	0.131	0.373	0.21	-0.256	0.059	-0.151
	พฤษภาคม	0.096	0.570	0.309	0.076	0.501	0.342	-0.228	0.138	-0.087
	มิถุนายน	0.149	0.688	0.455	0.267	0.572	0.437	-0.214	0.262	0.034
	กรกฎาคม	0.222	0.719	0.468	0.229	0.614	0.441	-0.176	0.227	0.052
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.437	0.735	0.590	0.429	0.613	0.515	0.001	0.241	0.137
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	0.216	0.701	0.563	0.207	0.571	0.483	-0.012	0.265	0.105
	ธันวาคม	0.256	0.730	0.530	0.317	0.599	0.462	-0.193	0.385	0.079
2564	มกราคม	0.164	0.606	0.390	0.263	0.506	0.383	-0.184	0.249	-0.032
	กุมภาพันธ์	0.164	0.479	0.286	0.232	0.42	0.309	-0.213	0.180	-0.119
	มีนาคม	0.149	0.359	0.242	0.208	0.365	0.264	-0.235	0.107	-0.149
	เมษายน	0.150	0.551	0.334	0.209	0.465	0.344	-0.231	0.162	-0.074
	พฤษภาคม	0.146	0.667	0.448	0.276	0.544	0.428	-0.184	0.233	0.028
	มิถุนายน	0.243	0.698	0.489	0.328	0.612	0.464	-0.171	0.298	0.074
	กรกฎาคม	0.121	0.651	0.428	0.194	0.547	0.416	-0.158	0.223	0.028
	สิงหาคม	0.357	0.714	0.493	0.379	0.604	0.452	-0.050	0.262	0.077
	กันยายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	0.279	0.720	0.592	0.221	0.575	0.489	0.043	0.297	0.171
	ธันวาคม	0.204	0.735	0.515	0.285	0.606	0.46	-0.163	0.246	0.059

ตารางที่ 12 (ต่อ)

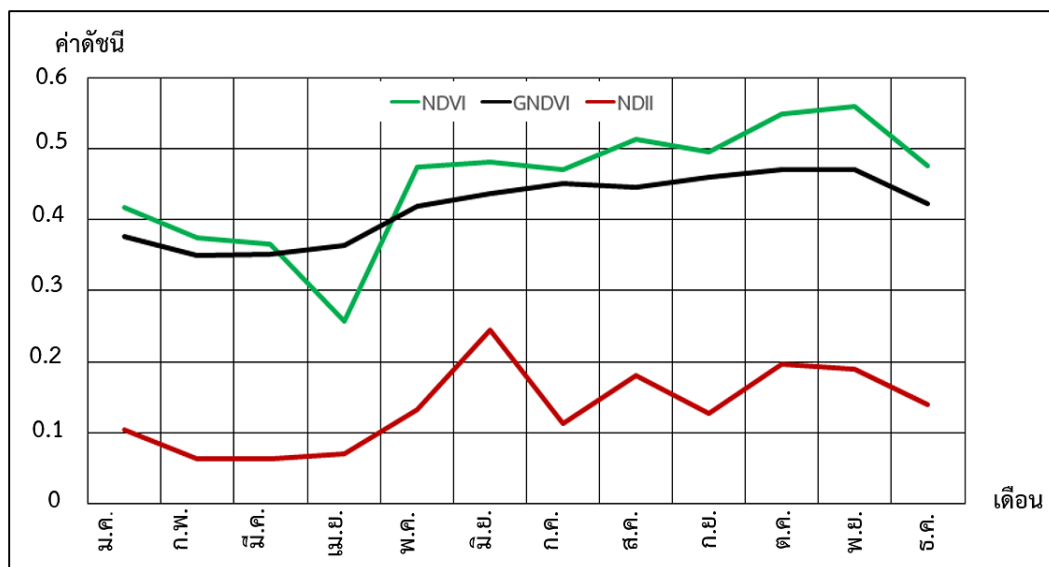
ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2565	มกราคม	0.086	0.457	0.223	0.163	0.429	0.238	-0.196	0.040	-0.071
	กุมภาพันธ์	0.090	0.274	0.189	0.149	0.257	0.199	-0.216	0.019	-0.092
	มีนาคม	0.096	0.412	0.276	0.167	0.352	0.266	-0.123	0.123	0.004
	เมษายน	0.131	0.410	0.261	0.198	0.358	0.263	-0.130	0.141	-0.022
	พฤษภาคม	0.206	0.431	0.345	0.234	0.355	0.307	-0.017	0.118	0.065
	มิถุนายน	0.343	0.439	0.390	0.3	0.37	0.338	0.019	0.141	0.098
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.267	0.452	0.364	0.045	0.369	0.305	0.003	0.190	0.105
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ธันวาคม	0.112	0.398	0.259	0.175	0.339	0.252	-0.165	0.135	-0.015
เฉลี่ย 5 ปี	มกราคม	0.164	0.516	0.329	0.179	0.444	0.313	-0.202	0.241	-0.030
	กุมภาพันธ์	0.150	0.442	0.278	0.211	0.397	0.292	-0.226	0.157	-0.087
	มีนาคม	0.155	0.445	0.297	0.237	0.414	0.316	-0.196	0.146	-0.072
	เมษายน	0.138	0.512	0.295	0.210	0.440	0.308	-0.217	0.149	-0.070
	พฤษภาคม	0.165	0.597	0.402	0.220	0.502	0.383	-0.162	0.200	0.019
	มิถุนายน	0.233	0.620	0.444	0.289	0.533	0.412	-0.132	0.228	0.075
	กรกฎาคม	0.172	0.685	0.448	0.212	0.581	0.429	-0.167	0.225	0.040
	สิงหาคม	0.357	0.714	0.493	0.379	0.604	0.452	-0.050	0.262	0.077
	กันยายน	0.327	0.621	0.486	0.269	0.504	0.415	-0.018	0.232	0.102
	ตุลาคม	0.249	0.689	0.553	0.311	0.565	0.472	-0.126	0.319	0.124
	พฤศจิกายน	0.238	0.689	0.553	0.265	0.567	0.475	-0.065	0.295	0.118
	ธันวาคม	0.207	0.616	0.442	0.275	0.512	0.399	-0.176	0.251	0.040

3) การสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของสับประดจากข้อมูลดาวเทียม Sentinel 2

จากการสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของสับประดที่ได้จากการคำนวณดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII จากข้อมูลดาวเทียม Sentinel 2 ทุกเดือน จำนวน 5 ปี และสกัดค่าโดยใช้ขอบเขตแปลงเก็บข้อมูลอ้างอิง ซึ่งจำนวนแปลงที่ใช้สกัดค่า (N) ในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากัน เนื่องจากบางแปลงมีเมฆปกคลุม (ภาพที่ 21 และ ตารางที่ 13) พบว่า ค่าดัชนีต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนจะมีค่าดัชนีพืชพรรณต่ำและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนพฤศจิกายนและเริ่มลดลงอีกครั้งในเดือนธันวาคมและลดต่อเนื่องในเดือนมกราคมจนถึงเดือนเมษายนในปีถัดไป และพบว่า NDVI มีค่าสูงกว่า GNDVI และ NDII ตลอดทั้งปี ทั้งนี้เนื่องจากการปลูกสับประดส่วนใหญ่จะเป็นการปลูกต่อเนื่อง 4 ถึง 5 ปีจึงมีการรื้อแปลง (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560) แปลงที่เก็บข้อมูลส่วนใหญ่เป็นแปลงที่มีการปลูกต่อเนื่องมีเพียง 2 ถึง 3 แปลงที่มีการรื้อแปลงแล้วปลูกใหม่จึงทำให้แปลงมีพืชปกคลุมตลอดเวลา ซึ่งโดยทั่วไปในบริเวณที่มีพืชปกคลุมจะมีค่า NDVI สูงกว่าค่า GNDVI พืชจะมีค่าสะท้อนคลื่นแสงสีแดงต่ำกว่าคลื่นแสงสีเขียวเมื่อมีการนำมาคำนวณกับค่าการสะท้อนคลื่นอินฟราเรดใกล้จึงทำให้มีค่าสูงกว่า (Simms and Ward, 2013)

พบว่าค่าดัชนีต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยทั้ง 3 คล้ายกัน คือมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์และค่อนข้างคงที่ถึงเดือนเมษายนแล้วค่าดัชนีพืชพรรณเริ่มสูงขึ้นจนถึงเดือนมิถุนายนแล้วลดลงเล็กน้อยในเดือนกรกฎาคม แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนสิงหาคมและเพิ่มต่อเนื่องและสูงสุดในเดือนตุลาคม แล้วลดลงอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายนต่อเนื่องถึงเดือนธันวาคมและเดือนมกราคมในปีถัดไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีลักษณะคล้ายการเพิ่มขึ้น และลดลงของปริมาณน้ำฝนในแต่ละช่วงของจังหวัดราชบุรี ซึ่งฝนในจังหวัดราชบุรี มี 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเริ่มตกในเดือนกุมภาพันธ์และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสูงสุดของช่วงแรกในเดือนพฤษภาคม จากนั้นปริมาณฝนตกลงในเดือนมิถุนายนและปริมาณฝนค่อนข้างคงที่ถึงเดือนสิงหาคม จากนั้นฝนเริ่มตกเพิ่มขึ้นในเดือนกันยายน และตกสูงสุดในช่วงที่ 2 ในเดือนตุลาคม และลดลงอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายนต่อเนื่องถึงเดือนธันวาคม

ดัชนี NDVI มีค่าสูงกว่าดัชนี GNDVI และ ดัชนี NDII เกือบทุกเดือน ซึ่งอาจเกิดจากสับประดเป็นพืชที่มีการปลูกต่อเนื่องหลายปี และแปลงที่ทำการศึกษาส่วนใหญ่เป็นการปลูกข้ามปี ทำให้ไม่มีช่วงที่มีการรื้อแปลงค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จึงเป็นดัชนีพืชพรรณของพืชซึ่งโดยปกติจะมีค่าสูง และนอกจากนี้สับประดเป็นพืชที่ไม่มีการผลัดใบทำให้มีใบสำหรับสังเคราะห์ดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง แต่ในเดือนเมษายนพบว่าค่า NDVI ต่ำกว่าค่า GNDVI อาจเกิดจากเป็นช่วงหน้าแล้งพืชมีการชะงักการเจริญเติบโต



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกสับปะรด

ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกสับปะรด

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2561	มกราคม	0.235	0.559	0.451	0.268	0.460	0.384	-0.152	0.344	0.161
	กุมภาพันธ์	0.265	0.576	0.464	0.301	0.495	0.411	-0.116	0.347	0.142
	มีนาคม	0.272	0.645	0.528	0.344	0.559	0.481	-0.064	0.405	0.190
	เมษายน	0.318	0.621	0.515	0.355	0.523	0.454	-0.030	0.349	0.169
	พฤษภาคม	0.327	0.621	0.537	0.349	0.528	0.463	0.017	0.358	0.193
	มิถุนายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.156	0.689	0.524	0.160	0.585	0.459	-0.115	0.412	0.181
	ตุลาคม	0.381	0.668	0.537	0.375	0.556	0.46	-0.036	0.421	0.220
	พฤศจิกายน	0.369	0.686	0.569	0.367	0.571	0.488	-0.069	0.439	0.212
	ธันวาคม	0.407	0.631	0.515	0.385	0.523	0.443	-0.004	0.344	0.138
2562	มกราคม	0.202	0.505	0.406	0.241	0.431	0.355	-0.190	0.304	0.100
	กุมภาพันธ์	0.220	0.523	0.414	0.266	0.448	0.376	-0.177	0.256	0.065
	มีนาคม	0.211	0.494	0.383	0.274	0.47	0.395	-0.136	0.212	0.032
	เมษายน	0.180	0.538	0.400	0.278	0.468	0.392	-0.167	0.182	0.026
	พฤษภาคม	0.341	0.571	0.473	0.353	0.46	0.422	-0.007	0.244	0.107
	มิถุนายน	0.332	0.520	0.432	0.316	0.449	0.387	0.025	0.253	0.149
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.418	0.418	0.418	0.431	0.431	0.431	0.037	0.037	0.037
	ตุลาคม	0.485	0.644	0.558	0.428	0.534	0.481	0.090	0.308	0.173
	พฤศจิกายน	0.290	0.595	0.496	0.343	0.542	0.453	-0.084	0.292	0.112
	ธันวาคม	0.288	0.537	0.447	0.330	0.496	0.418	-0.086	0.273	0.100

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2563	มกราคม	0.233	0.423	0.342	0.257	0.393	0.321	-0.143	0.187	0.026
	กุมภาพันธ์	0.221	0.434	0.321	0.224	0.445	0.327	-0.136	0.137	-0.006
	มีนาคม	0.221	0.457	0.345	0.272	0.402	0.344	-0.195	0.141	-0.004
	เมษายน	0.112	0.529	0.279	0.186	0.393	0.317	-0.182	0.127	-0.006
	พฤษภาคม	0.224	0.485	0.366	0.125	0.437	0.334	-0.136	0.335	0.083
	มิถุนายน	0.273	0.545	0.458	0.340	0.486	0.427	-0.083	0.232	0.092
	กรกฎาคม	0.119	0.657	0.467	0.371	0.55	0.447	-0.069	0.278	0.129
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.452	0.715	0.544	0.424	0.597	0.488	0.050	0.313	0.166
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ธันวาคม	0.446	0.633	0.547	0.411	0.536	0.476	0.016	0.385	0.185
2564	มกราคม	0.343	0.611	0.469	0.366	0.534	0.438	-0.109	0.308	0.123
	กุมภาพันธ์	0.269	0.565	0.398	0.298	0.493	0.38	-0.163	0.268	0.062
	มีนาคม	0.229	0.441	0.315	0.236	0.374	0.29	-0.187	0.238	0.013
	เมษายน	0.255	0.547	0.379	0.229	0.47	0.362	-0.148	0.222	0.080
	พฤษภาคม	0.404	0.628	0.518	0.400	0.52	0.457	-0.024	0.319	0.146
	มิถุนายน	0.463	0.680	0.554	0.423	0.571	0.495	-0.103	0.188	0.076
	กรกฎาคม	0.256	0.598	0.473	0.337	0.529	0.454	-0.123	0.271	0.099
	สิงหาคม	0.255	0.648	0.513	0.261	0.556	0.445	0.025	0.340	0.181
	กันยายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	0.472	0.676	0.615	n.d.	n.d.	n.d.	0.062	0.404	0.245
	ธันวาคม	0.370	0.670	0.562	0.395	0.574	0.493	-0.065	0.433	0.205

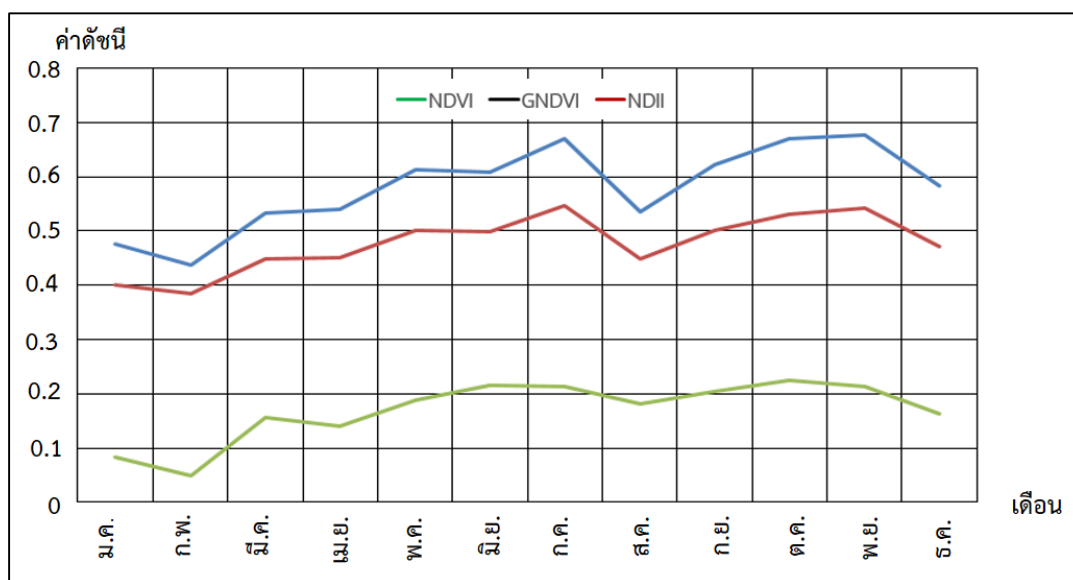
ตารางที่ 13 (ต่อ)

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2565	มกราคม	0.187	0.633	0.418	0.226	0.544	0.383	-0.105	0.421	0.114
	กุมภาพันธ์	0.167	0.385	0.275	0.181	0.332	0.254	-0.105	0.253	0.058
	มีนาคม	0.186	0.492	0.365	0.102	0.329	0.244	-0.030	0.201	0.082
	เมษายน	0.179	0.390	0.324	0.225	0.344	0.297	-0.083	0.214	0.088
	พฤษภาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	มิถุนายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ธันวาคม	0.169	0.369	0.306	0.182	0.341	0.278	-0.066	0.186	0.070
เฉลี่ย 5 ปี	มกราคม	0.240	0.546	0.417	0.272	0.472	0.376	-0.140	0.313	0.105
	กุมภาพันธ์	0.228	0.497	0.374	0.254	0.443	0.350	-0.139	0.252	0.064
	มีนาคม	0.186	0.492	0.365	0.246	0.427	0.351	-0.122	0.239	0.063
	เมษายน	0.209	0.525	0.379	0.255	0.440	0.364	-0.122	0.219	0.071
	พฤษภาคม	0.324	0.576	0.474	0.307	0.486	0.419	-0.038	0.314	0.132
	มิถุนายน	0.356	0.582	0.481	0.360	0.502	0.436	-0.171	0.298	0.074
	กรกฎาคม	0.188	0.628	0.470	0.354	0.540	0.451	-0.096	0.275	0.114
	สิงหาคม	0.255	0.648	0.513	0.261	0.556	0.445	0.025	0.340	0.181
	กันยายน	0.342	0.607	0.495	0.338	0.538	0.459	-0.009	0.254	0.128
	ตุลาคม	0.433	0.656	0.548	0.402	0.545	0.471	0.027	0.365	0.197
	พฤศจิกายน	0.377	0.652	0.560	0.355	0.557	0.471	-0.030	0.378	0.190
	ธันวาคม	0.336	0.568	0.475	0.341	0.494	0.422	-0.041	0.324	0.140

4) การสร้างฐานข้อมูลสายเซ็นต์เชิงคลื่นของยางพาราจากข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel 2

จากการสร้างฐานข้อมูลสายเซ็นต์เชิงคลื่นของยางพาราที่ได้จากการคำนวณดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII จากข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel 2 ทุกเดือน จำนวน 5 ปี (ภาพที่ 22 และ ตารางที่ 14) พบว่าค่าดัชนีต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยทั้ง 3 คล้ายกัน คือมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์และค่อนข้างคงที่ถึงเดือนเมษายนแล้วค่าดัชนีพืชพรรณเริ่มสูงขึ้นจนถึงเดือนมิถุนายนแล้วลดลงเล็กน้อยในเดือนกรกฎาคม แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนสิงหาคมและเพิ่มต่อเนื่องและสูงสุดในเดือนตุลาคม แล้วลดลงอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายนต่อเนื่องถึงธันวาคม และมกราคมในปีถัดไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีลักษณะคล้ายการเพิ่มขึ้นและลดลงในแต่ละช่วงของจังหวัดราชบุรี ซึ่งฝนในจังหวัดราชบุรีมี 2 ช่วง โดยช่วงแรกเริ่มตกในเดือนกุมภาพันธ์ เฉลี่ย มิลลิเมตรและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสูงสุดของช่วงแรกในเดือนพฤษภาคมจากนั้นปริมาณฝนตกลงในมิถุนายนและปริมาณฝนค่อนข้างคงที่ถึงเดือนสิงหาคม จากนั้นฝนเริ่มตกเพิ่มขึ้นในเดือนกันยายน และต่ำสุดในช่วงที่ 2 ในเดือนตุลาคม และลดลงในเดือนพฤศจิกายนต่อเนื่องถึงเดือนธันวาคม

ดัชนี NDVI มีค่าสูงกว่าดัชนี GNDVI และดัชนี NDII ในทุกเดือน แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากยางพาราเป็นไม้ยืนต้นที่มีการผลัดใบทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณใบสำหรับสังเคราะห์ดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ค่าดัชนีต่าง ๆ มีแนวโน้มลดลงในบางเดือน เช่น ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน และพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม ช่วงดังกล่าวมีฝนตกน้อยทำให้พืชมีน้ำใช้สำหรับการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตน้อยลงซึ่งมีผลต่อการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วง โดยเฉพาะช่วงคลื่นแสงสีแดงและแสงสีเขียว ประกอบกับยางพาราเป็นพืชที่มีการผลัดใบในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งการผลัดใบของยางพาราจะทำให้ต้นยางพารามีใบน้อยลง (Azizan *et al.*, 2021) พื้นที่ใบในการดูดซับพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าน้อยลงทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณลดลง (Rouse *et al.*, 1974; Gitelson *et al.*, 1996; Simms and Ward, 2013)



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกยางพารา

ตารางที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกยางพารา

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2561	มกราคม	0.353	0.639	0.519	0.302	0.501	0.410	-0.074	0.250	0.123
	กุมภาพันธ์	0.290	0.651	0.482	0.136	0.531	0.398	-0.121	0.456	0.089
	มีนาคม	0.484	0.812	0.678	0.446	0.655	0.564	-0.011	0.368	0.223
	เมษายน	0.445	0.787	0.661	0.423	0.640	0.543	0.007	0.308	0.196
	พฤษภาคม	0.495	0.815	0.695	0.387	0.664	0.560	0.030	0.312	0.214
	มิถุนายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.395	0.792	0.650	0.269	0.649	0.524	0.084	0.339	0.201
	ตุลาคม	0.491	0.734	0.652	0.312	0.594	0.522	0.106	0.326	0.219
	พฤศจิกายน	0.528	0.750	0.664	0.452	0.607	0.535	0.085	0.304	0.213
	ธันวาคม	0.426	0.736	0.616	0.394	0.581	0.493	-0.038	0.258	0.141
2562	มกราคม	0.317	0.537	0.408	0.291	0.476	0.362	-0.119	0.128	0.005
	กุมภาพันธ์	0.223	0.602	0.406	0.313	0.503	0.387	-0.203	0.201	-0.044
	มีนาคม	0.362	0.777	0.609	0.381	0.635	0.511	-0.075	0.365	0.178
	เมษายน	0.354	0.768	0.614	0.345	0.629	0.516	-0.131	0.297	0.127
	พฤษภาคม	0.477	0.755	0.648	0.415	0.598	0.526	0.018	0.294	0.197
	มิถุนายน	0.364	0.699	0.574	0.336	0.546	0.474	0.050	0.306	0.220
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.457	0.791	0.660	0.367	0.660	0.536	0.154	0.289	0.228
	ตุลาคม	0.580	0.758	0.688	0.175	0.610	0.539	0.102	0.317	0.231
	พฤศจิกายน	0.478	0.769	0.672	0.433	0.635	0.544	0.002	0.295	0.188
	ธันวาคม	0.415	0.722	0.605	0.391	0.596	0.494	-0.019	0.294	0.178

ตารางที่ 14 (ต่อ)

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2563	มกราคม	0.214	0.673	0.446	0.099	0.535	0.380	-0.085	0.219	0.077
	กุมภาพันธ์	0.352	0.698	0.522	0.305	0.597	0.452	-0.094	0.284	0.119
	มีนาคม	0.261	0.655	0.502	0.278	0.526	0.425	-0.157	0.282	0.096
	เมษายน	0.200	0.615	0.425	0.186	0.494	0.350	-0.151	0.272	0.088
	พฤษภาคม	0.208	0.770	0.585	0.252	0.629	0.479	-0.083	0.367	0.149
	มิถุนายน	0.422	0.810	0.673	0.358	0.658	0.542	0.076	0.313	0.208
	กรกฎาคม	0.091	0.805	0.641	0.098	0.664	0.519	0.032	0.328	0.215
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.530	0.808	0.693	0.445	0.646	0.564	0.114	0.297	0.210
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	0.673	0.758	0.707	0.539	0.605	0.563	0.172	0.288	0.230
	ธันวาคม	0.492	0.755	0.658	0.425	0.595	0.523	0.027	0.282	0.198
2564	มกราคม	0.385	0.697	0.577	0.363	0.549	0.471	-0.072	0.237	0.136
	กุมภาพันธ์	0.297	0.580	0.435	0.285	0.486	0.399	-0.134	0.241	0.016
	มีนาคม	0.228	0.604	0.470	0.254	0.490	0.390	-0.167	0.299	0.132
	เมษายน	0.326	0.723	0.574	0.278	0.603	0.482	-0.062	0.301	0.153
	พฤษภาคม	0.560	0.795	0.695	0.468	0.663	0.571	0.056	0.307	0.221
	มิถุนายน	0.262	0.824	0.710	0.256	0.685	0.589	0.045	0.330	0.219
	กรกฎาคม	0.429	0.816	0.698	0.405	0.672	0.573	0.005	0.308	0.212
	สิงหาคม	0.048	0.722	0.536	0.066	0.596	0.448	0.054	0.301	0.182
	กันยายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	0.528	0.756	0.670	0.356	0.599	0.530	0.067	0.313	0.221
	ธันวาคม	0.363	0.750	0.668	0.375	0.614	0.541	-0.062	0.286	0.195

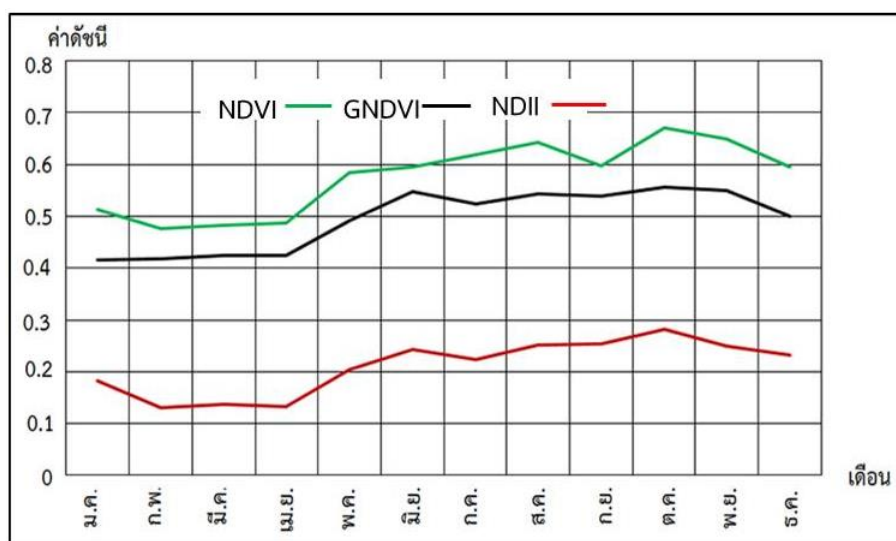
ตารางที่ 14 (ต่อ)

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2565	มกราคม	0.202	0.708	0.436	0.220	0.576	0.379	-0.108	0.264	0.077
	กุมภาพันธ์	0.204	0.476	0.336	0.201	0.396	0.291	-0.100	0.226	0.061
	มีนาคม	0.209	0.55	0.413	0.135	0.466	0.357	0.016	0.233	0.148
	เมษายน	0.254	0.511	0.424	0.246	0.435	0.366	-0.053	0.215	0.136
	พฤษภาคม	0.355	0.508	0.435	0.282	0.422	0.365	0.084	0.236	0.163
	มิถุนายน	0.468	0.493	0.477	0.380	0.399	0.388	n.d.	n.d.	n.d.
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.475	0.494	0.483	0.337	0.401	0.378	0.171	0.198	0.180
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ธันวาคม	0.243	0.438	0.373	0.207	0.365	0.311	-0.015	0.166	0.103
เฉลี่ย 5 ปี	มกราคม	0.294	0.651	0.477	0.255	0.527	0.400	-0.092	0.220	0.084
	กุมภาพันธ์	0.273	0.601	0.436	0.248	0.503	0.385	-0.130	0.282	0.048
	มีนาคม	0.309	0.680	0.534	0.299	0.554	0.449	-0.079	0.309	0.155
	เมษายน	0.316	0.681	0.540	0.296	0.560	0.451	-0.078	0.279	0.140
	พฤษภาคม	0.419	0.729	0.612	0.361	0.595	0.500	0.021	0.303	0.189
	มิถุนายน	0.379	0.707	0.609	0.333	0.572	0.498	0.057	0.316	0.216
	กรกฎาคม	0.260	0.811	0.670	0.252	0.668	0.546	0.019	0.318	0.214
	สิงหาคม	0.048	0.722	0.536	0.066	0.596	0.448	0.054	0.301	0.182
	กันยายน	0.464	0.721	0.622	0.355	0.589	0.501	0.131	0.281	0.205
	ตุลาคม	0.536	0.746	0.670	0.244	0.602	0.531	0.104	0.322	0.225
	พฤศจิกายน	0.552	0.758	0.678	0.445	0.612	0.543	0.082	0.300	0.213
	ธันวาคม	0.388	0.680	0.584	0.358	0.550	0.472	-0.021	0.257	0.163

5) การสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของปาล์มน้ำมันจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2

จากการสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของปาล์มน้ำมันที่ได้จากการคำนวณดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ทุกเดือน จำนวน 5 ปี (ภาพที่ 23 และ ตารางที่ 15) พบว่าค่าดัชนีต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยทั้ง 3 ดัชนีมีลักษณะคล้ายกัน คือมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์และก่อนช่วงที่จนถึงเดือนเมษายน แล้วค่าดัชนีพืชพรรณเริ่มสูงขึ้นจนถึงเดือนมิถุนายนแล้วลดลงเล็กน้อยในเดือนกรกฎาคม แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนสิงหาคมและเพิ่มต่อเนื่องและสูงสุดในเดือนตุลาคมแล้วลดลงอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายนต่อเนื่องถึงธันวาคม และมกราคมในปีถัดไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีลักษณะคล้ายการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณน้ำฝนในแต่ละช่วงของจังหวัดราชบุรี ซึ่งฝนในจังหวัดราชบุรีมี 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเริ่มตกในเดือนกุมภาพันธ์ และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสูงสุดของช่วงแรกในเดือนพฤษภาคมจากนั้นปริมาณฝนตกลงในมิถุนายนและปริมาณฝนก่อนช่วงที่ถึงเดือนสิงหาคม จากนั้นฝนเริ่มตกเพิ่มขึ้นในเดือนกันยายนและตกสูงสุดในช่วงที่ 2 ในเดือนตุลาคม และลดลงในเดือนพฤศจิกายนต่อเนื่องจนถึงเดือนธันวาคม

ดัชนี NDVI มีค่าสูงกว่าดัชนี GNDVI และดัชนี NDII ในทุกเดือนเนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นไม้ยืนต้นที่ไม่มีการผลัดใบทำให้มีใบสำหรับสังเคราะห์ดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง แต่อย่างไรก็ตามค่าดัชนีต่าง ๆ มีแนวโน้มลดลงในบางเดือน เช่น ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน และเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม ช่วงดังกล่าวมีฝนตกน้อยทำให้พืชมีน้ำใช้สำหรับการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตน้อยลงซึ่งมีผลต่อการมีผลต่อการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วง โดยเฉพาะช่วงคลื่นแสงสีแดงและแสงสีเขียว (Rouse *et al.*, 1974; Gitelson *et al.*, 1996; Simms and Ward, 2013) แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ไม่ผลัดใบในฤดูแล้งจึงทำให้ความแตกต่างของค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันตลอดทั้งปี



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกปาล์มน้ำมัน

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2561	มกราคม	0.391	0.657	0.546	0.342	0.528	0.441	-0.013	0.340	0.196
	กุมภาพันธ์	0.315	0.656	0.490	0.282	0.553	0.405	-0.077	0.333	0.140
	มีนาคม	0.435	0.745	0.620	0.424	0.644	0.540	-0.006	0.371	0.198
	เมษายน	0.449	0.735	0.618	0.412	0.610	0.521	0.012	0.360	0.205
	พฤษภาคม	0.572	0.769	0.685	0.403	0.645	0.561	0.136	0.365	0.261
	มิถุนายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.465	0.806	0.650	0.252	0.684	0.538	0.066	0.398	0.252
	ตุลาคม	0.522	0.756	0.665	0.454	0.630	0.550	0.107	0.382	0.282
	พฤศจิกายน	0.540	0.759	0.667	0.414	0.642	0.553	0.153	0.415	0.286
	ธันวาคม	0.454	0.732	0.638	0.403	0.614	0.527	0.000	0.377	0.223
2562	มกราคม	0.331	0.631	0.506	0.312	0.519	0.416	-0.051	0.345	0.172
	กุมภาพันธ์	0.313	0.645	0.518	0.317	0.536	0.442	-0.078	0.323	0.133
	มีนาคม	0.335	0.736	0.545	0.361	0.631	0.485	-0.060	0.352	0.140
	เมษายน	0.306	0.757	0.566	0.330	0.621	0.492	-0.090	0.337	0.132
	พฤษภาคม	0.538	0.749	0.637	0.462	0.609	0.523	0.125	0.345	0.232
	มิถุนายน	0.477	0.761	0.589	0.414	0.631	0.491	0.163	0.371	0.249
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.362	0.745	0.605	0.252	0.637	0.495	0.205	0.370	0.281
	ตุลาคม	0.454	0.787	0.676	0.429	0.658	0.562	0.002	0.406	0.282
	พฤศจิกายน	0.485	0.769	0.668	0.448	0.646	0.564	0.028	0.397	0.249
	ธันวาคม	0.432	0.728	0.605	0.417	0.596	0.510	-0.003	0.386	0.239

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2563	มกราคม	0.328	0.674	0.495	0.316	0.546	0.417	-0.083	0.287	0.160
	กุมภาพันธ์	0.345	0.674	0.517	0.325	0.564	0.464	-0.090	0.286	0.122
	มีนาคม	0.279	0.617	0.461	0.309	0.506	0.406	-0.129	0.278	0.083
	เมษายน	0.192	0.569	0.352	0.184	0.475	0.295	-0.140	0.251	0.065
	พฤษภาคม	0.320	0.678	0.508	0.217	0.559	0.442	-0.096	0.310	0.111
	มิถุนายน	0.422	0.750	0.631	0.367	0.613	0.530	0.036	0.393	0.215
	กรกฎาคม	0.073	0.752	0.566	0.094	0.636	0.482	-0.026	0.427	0.203
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.586	0.803	0.701	0.516	0.653	0.581	0.180	0.405	0.288
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	0.518	0.715	0.611	0.447	0.589	0.531	0.111	0.320	0.214
	ธันวาคม	0.507	0.767	0.661	0.466	0.629	0.548	0.044	0.393	0.264
2564	มกราคม	0.433	0.722	0.597	0.414	0.591	0.504	-0.003	0.385	0.219
	กุมภาพันธ์	0.365	0.631	0.501	0.367	0.527	0.430	-0.048	0.330	0.140
	มีนาคม	0.317	0.516	0.417	0.275	0.410	0.350	-0.077	0.269	0.098
	เมษายน	0.422	0.613	0.508	0.371	0.519	0.437	-0.019	0.237	0.119
	พฤษภาคม	0.573	0.764	0.661	0.494	0.625	0.549	0.099	0.373	0.237
	มิถุนายน	0.519	0.794	0.703	0.604	0.639	0.622	0.481	0.671	0.591
	กรกฎาคม	0.492	0.775	0.669	0.470	0.651	0.563	0.072	0.372	0.242
	สิงหาคม	0.430	0.751	0.643	0.353	0.631	0.543	0.110	0.360	0.252
	กันยายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ธันวาคม	0.514	0.759	0.672	0.480	0.642	0.565	0.040	0.422	0.270

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2565	มกราคม	0.318	0.723	0.428	0.254	0.409	0.304	0.034	0.412	0.163
	กุมภาพันธ์	0.282	0.477	0.354	0.047	0.408	0.346	-0.005	0.282	0.121
	มีนาคม	0.186	0.492	0.365	0.302	0.415	0.346	0.050	0.250	0.164
	เมษายน	0.340	0.489	0.397	0.320	0.428	0.374	0.037	0.245	0.145
	พฤษภาคม	0.364	0.514	0.435	0.374	0.404	0.386	0.114	0.278	0.181
	มิถุนายน	0.437	0.472	0.455	0.000	0.000	n.d.	0.171	0.221	0.190
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	กันยายน	0.392	0.471	0.437	n.d.	n.d.	n.d.	0.174	0.214	0.189
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤศจิกายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	ธันวาคม	0.330	0.479	0.400	0.305	0.414	0.344	0.043	0.282	0.169
เฉลี่ย 5 ปี	มกราคม	0.360	0.681	0.514	0.328	0.519	0.416	-0.023	0.354	0.182
	กุมภาพันธ์	0.324	0.617	0.476	0.268	0.518	0.417	-0.060	0.311	0.131
	มีนาคม	0.310	0.621	0.482	0.334	0.521	0.425	-0.044	0.304	0.137
	เมษายน	0.342	0.633	0.488	0.323	0.531	0.424	-0.040	0.286	0.133
	พฤษภาคม	0.473	0.695	0.585	0.390	0.568	0.492	0.076	0.334	0.204
	มิถุนายน	0.464	0.694	0.595	0.462	0.628	0.548	0.084	0.381	0.242
	กรกฎาคม	0.283	0.764	0.618	0.282	0.644	0.523	0.023	0.400	0.223
	สิงหาคม	0.430	0.751	0.643	0.353	0.631	0.543	0.110	0.360	0.252
	กันยายน	0.451	0.706	0.598	0.340	0.658	0.538	0.156	0.347	0.253
	ตุลาคม	0.488	0.772	0.671	0.442	0.644	0.556	0.055	0.394	0.282
	พฤศจิกายน	0.514	0.748	0.649	0.436	0.626	0.549	0.097	0.377	0.250
	ธันวาคม	0.447	0.693	0.595	0.414	0.579	0.499	0.025	0.372	0.233

5.2.2 การศึกษารูปแบบการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี

1) รูปแบบการเพาะปลูกอ้อยจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี

จากการศึกษาการเจริญเติบโตอ้อยโดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางซีพลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ของอ้อยจำนวน 40 แปลง (ตารางที่ 16) พบว่า เกษตรกรมีการปลูกอ้อย 2 แบบ ได้แก่ เริ่มต้นปลูกใหม่ และตัดแล้วปล่อยให้อ้อยเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ซึ่งเรียกว่า อ้อยต่อ ซึ่งเกษตรกรจะปล่อยให้อ้อยเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ 2 ถึง 5 ครั้งแล้วจึงรื้อแปลงปลูกใหม่ สำหรับอ้อยที่เริ่มปลูกใหม่จะมีการปลูก 2 ช่วง ได้แก่ เดือนเมษายน ถึง เดือนกรกฎาคม และเดือนตุลาคม ถึง เดือนมีนาคม และเกษตรกรเริ่มเก็บเกี่ยวในเดือนธันวาคม ถึง เดือนเมษายน ซึ่งการเริ่มต้นวันปลูกที่ต่างกันให้อ้อยปีที่ 1 และตัดแล้วปล่อยให้อ้อยเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ในช่วงเวลาที่ต่างกันส่งผลให้ระยะเวลาการเจริญเติบโตของอ้อยในแปลงที่ต่างกันส่งผลต่ออายุต้นในวันเก็บ แต่อย่างไรก็ตามอ้อยในแปลงศึกษาเป็นอ้อยต่อที่มีเก็บเกี่ยวเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคมซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางซีพลักษณะต่าง ๆ ของอ้อยมีดังนี้

1.1) ความสูง ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 24) ความสูงเฉลี่ยของอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565 และพบว่าในช่วงเดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนมีนาคม 2565 ค่าความสูงมีความแปรปรวนสูงเนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเกษตรกรมีการทยอยเก็บเกี่ยวอ้อย และความแปรปรวนเริ่มลดลงในเดือนเมษายนซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเกษตรกรส่วนใหญ่เก็บเกี่ยวแล้วและปล่อยให้อ้อยงอกขึ้นมาใหม่

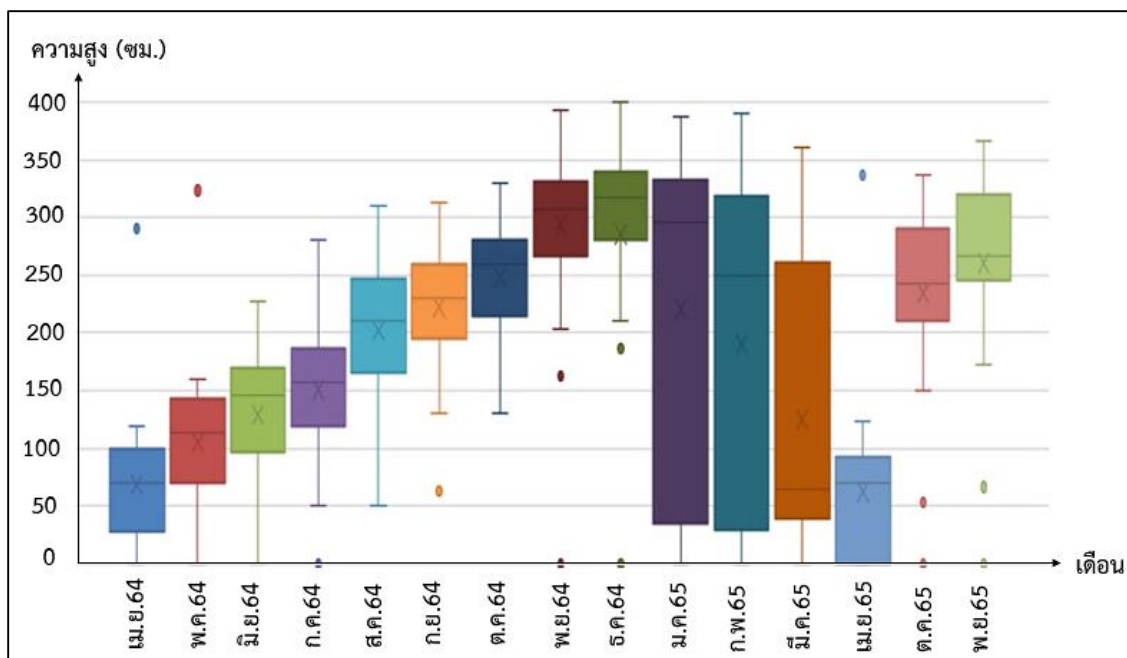
1.2) ความกว้างทรงพุ่ม มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูงคือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 25) ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยของอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565 และพบว่าความกว้างทรงพุ่มของอ้อยมีความแปรปรวนสูงในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน เนื่องจากในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมอ้อยบางส่วนถูกเก็บเกี่ยวและยังไม่มีการงอกขึ้นมาใหม่ ขณะที่ในเดือนเมษายนมีอ้อยบางส่วนเริ่มงอกและเติบโตทำให้สามารถวัดขนาดทรงพุ่มได้อีกครั้ง

1.3) ขนาดลำต้น มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูงคือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 26) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565 และพบว่าขนาดลำต้นของอ้อยมีความแปรปรวนสูงในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน เนื่องจากในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมอ้อยบางส่วนถูกเก็บเกี่ยวและยังไม่มีการงอกขึ้นมาใหม่ ขณะที่ในเดือนเมษายนมีอ้อยบางส่วนเริ่มงอกและเติบโตทำให้สามารถวัดขนาดลำต้นได้อีกครั้ง

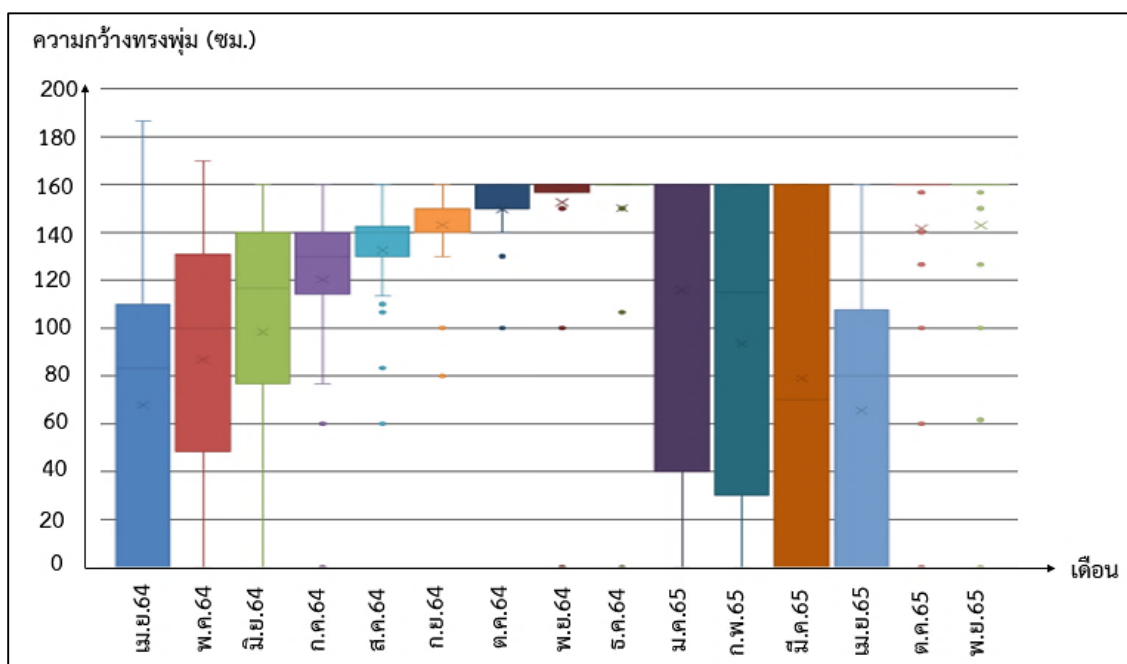
1.4) ปริมาณคลอโรฟิลล์ มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูงคือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 27) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565

จากการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงทางชีพลักษณ์ต่าง ๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้าง ทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม มีความแปรปรวนสูง เนื่องจากความแตกต่างของอายุพืชในแปลงข้อมูลอ้างอิงระหว่างแปลงแต่ละแปลงมีค่าสูง คือ มีหลายช่วงอายุตั้งแต่แปลงที่มีการเก็บเกี่ยวแล้วซึ่งทำให้ค่าชีพลักษณ์ต่าง ๆ มีค่าเป็นศูนย์ และแปลงที่ยังไม่ได้เก็บเกี่ยว ซึ่งอ้อยบางแปลงยังมีการเจริญเติบโตเต็มที่พร้อมเก็บเกี่ยวทำให้ค่าชีพลักษณ์ต่าง ๆ มีค่าสูง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีพืชพรรณโดยการนำค่าความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ มาปรับมาตราส่วน เพื่อใช้ดูลักษณะแนวโน้ม พบว่าค่าชีพลักษณ์ต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีต่าง ๆ ในรอบปี (ภาพที่ 28) คือ ค่าการสะท้อนแสงมีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในแต่ละช่วงของปี โดยช่วงที่มีเก็บเกี่ยวเสร็จแล้วและรอเพื่อออกขึ้นมาใหม่หรือปลูกใหม่ (เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนมีนาคม) ค่าดัชนีพืชพรรณจะมีค่าต่ำที่สุด และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่ออ้อยเริ่มงอก (เดือนเมษายน ถึง เดือนพฤษภาคม) จนถึงระยะเจริญเติบโต (เดือนมิถุนายน ถึง เดือนกันยายน) ดัชนีพืชพรรณสูงสุดเมื่อใกล้เก็บเกี่ยว (เดือนตุลาคม ถึง เดือนพฤศจิกายน) แล้วลดลงในช่วงที่มีการเก็บเกี่ยว (เดือนธันวาคม ถึง เดือนมกราคม) และต่ำสุดอีกครั้งเมื่อเก็บเกี่ยวเสร็จแล้วเป็นวัฏจักรของแต่ละปี แต่อย่างไรก็ตามค่าทางชีพลักษณ์ต่าง ๆ และค่าการสะท้อนแสงของอ้อยมีความแปรปรวนมากในช่วงเดือนมกราคม-เดือนมีนาคม เนื่องจากอ้อยบางแปลงถูกเก็บเกี่ยวแล้วแต่บางแปลงยังไม่เก็บเกี่ยว การเปลี่ยนแปลงของค่าทางชีพลักษณ์ต่าง ๆ และค่าการสะท้อนแสงของอ้อยมีรูปแบบที่ชัดเจนทั้งนี้เกิดจากการปลูกอ้อยมีช่วงการเพาะปลูกที่ชัดเจน เนื่องจากต้องเป็นไปตามกำหนดเวลาของโรงงานที่มีการเปิดรับซื้อเป็นช่วงเวลา ดังนั้นจึงสามารถนำค่าการสะท้อนแสงมาใช้ในการศึกษาวัฏจักรการปลูกอ้อย และจำแนกพื้นที่อ้อยที่งอกใหม่ ยืนต้น เก็บเกี่ยว และรองอกใหม่ ในลุ่มน้ำลำภาชีได้โดยการกำหนดช่วงค่าเกณฑ์ของค่าดัชนีต่ำสุดและสูงสุดของแต่ละเดือนและจัดทำกราฟเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีพืชพรรณตามช่วงเวลา โดยการกำหนดค่าเกณฑ์ของค่าดัชนีต่ำสุดและสูงสุดใช้ค่าเฉลี่ย 5 ปี ของแต่ละเดือน จากตารางที่ 11 เช่น การกำหนดช่วงของดัชนี NDVI เดือนมกราคม เท่ากับ 0.182 ถึง 0.490 เดือนกุมภาพันธ์ เท่ากับ 0.154 ถึง 0.432 เป็นต้น

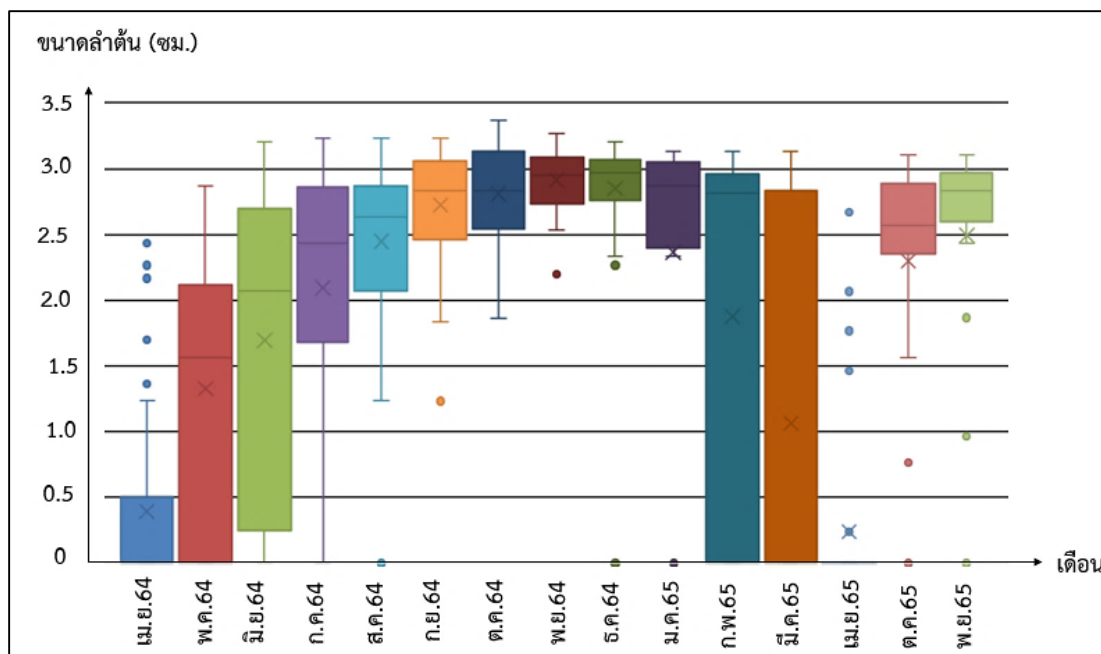
นอกจากนี้การเก็บข้อมูลภาคสนามสามารถเก็บข้อมูลได้เพียงบางเดือน เนื่องจากต้องใช้แรงงาน เวลา และค่าใช้จ่ายสูง การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ในการสำรวจการเจริญเติบโตของอ้อยจะช่วยลดการใช้แรงงาน เวลา และค่าใช้จ่าย ในการออกภาคสนามได้ เนื่องจากสามารถให้ข้อมูลได้ทุก 10 วัน แม้การศึกษามีความจำเป็นต้องใช้ค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณรายเดือน และค่าเฉลี่ย 5 ปี ของแปลงข้อมูลอ้างอิง เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดของข้อมูลจากสภาพอากาศที่ไม่เหมือนกันในแต่ละปี และในบางบริเวณมีเมฆปกคลุม แต่อย่างไรก็ตามก็ยังพบว่าช่วงเดือนสิงหาคม ไม่สามารถหาภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ศึกษาได้ เนื่องจากดาวเทียม Sentinel 2 เป็นดาวเทียมในระบบ passive sensor มีข้อจำกัดในการจัดเก็บข้อมูลในบริเวณที่มีเมฆปกคลุม เดือนดังกล่าวอยู่ในช่วงหน้าฝน มีเมฆปกคลุมมาก นอกจากนี้ค่าเกณฑ์ของค่าดัชนีต่ำสุดและสูงสุดเฉลี่ย 5 ปี ของแต่ละเดือนอาจช่วยในการตัดสินใจในการแปลภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้สายตาของผู้ปฏิบัติงานในการทำแผนที่พื้นที่ปลูกอ้อย



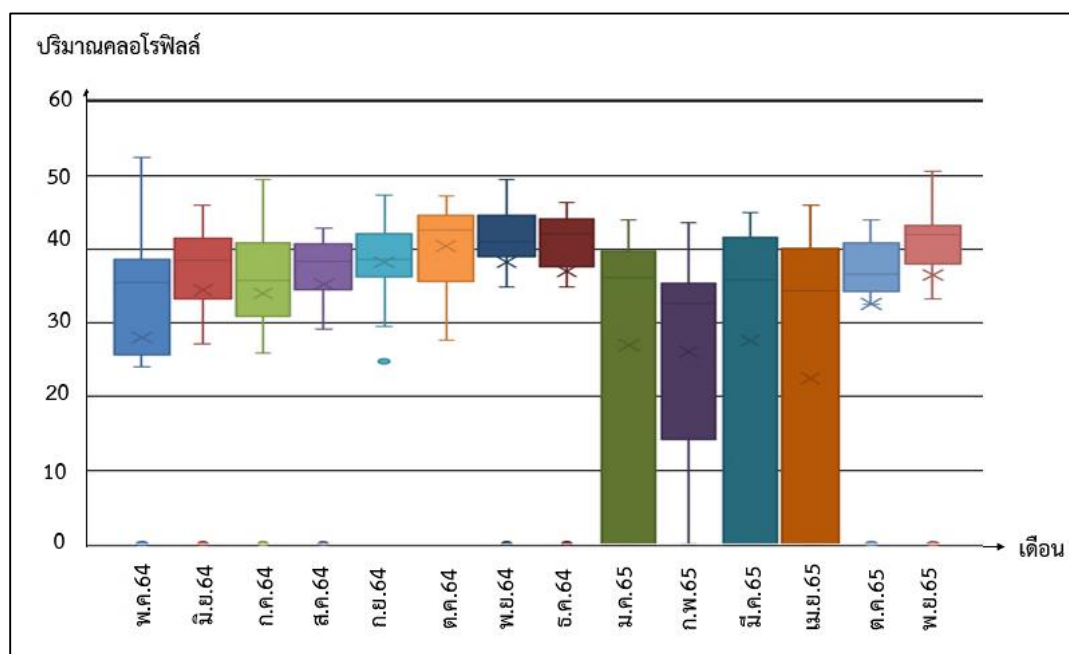
ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะด้านความสูงของอ้อย ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



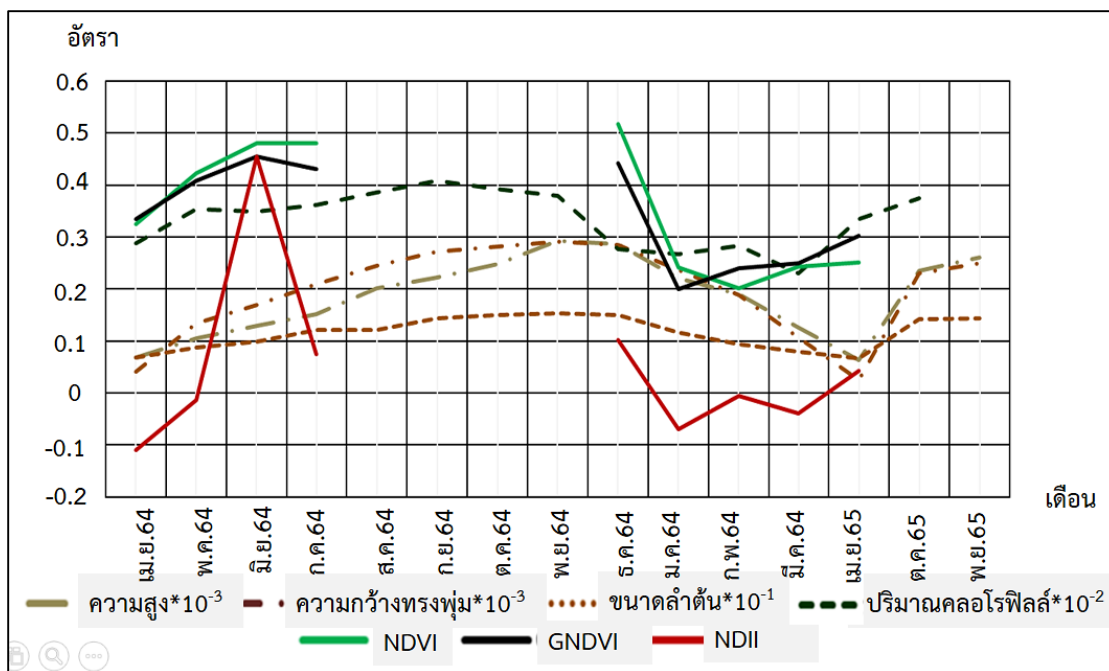
ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณะด้านความกว้างทรงพุ่มของอ้อย ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงชีพลัษณ์ด้านขนาดลำต้นของอ้อย ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงชีพลัษณ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ของอ้อย ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์และค่าดัชนีพืชพรรณของอ้อย ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

ตารางที่ 16 การเจริญเติบโตของอ้อย ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

ปี	เดือน	ความสูง (ซ.ม.)			ความกว้างทรงพุ่ม (ซ.ม.)			ขนาดลำต้น (ซ.ม.)			ปริมาณคลอโรฟิลล์		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2564	เมษายน	0.00	290.00	68.62	0.00	186.67	67.86	0.00	2.43	0.40	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤษภาคม	0.00	323.33	105.62	0.00	170.00	86.83	0.00	2.87	1.33	0.00	52.37	28.75
	มิถุนายน	0.00	226.67	129.35	0.00	160.00	98.42	0.00	3.20	1.69	0.00	45.97	35.28
	กรกฎาคม	0.00	280.00	151.08	0.00	160.00	120.25	0.00	3.23	2.09	0.00	49.43	34.86
	สิงหาคม	50.00	310.00	201.8	60.00	160.00	120.25	0.00	3.23	2.45	0.00	42.83	36.14
	กันยายน	63.33	313.33	222.07	80.00	160.00	143.08	1.23	3.23	2.72	24.83	47.27	38.57
	ตุลาคม	130.00	33.00	248.29	100.00	160.00	149.75	1.87	3.37	2.81	27.67	47.20	40.76
	พฤศจิกายน	0.00	393.33	293.33	0.00	160.00	152.58	0.00	3.27	2.91	0.00	49.47	39.20
	ธันวาคม	0.00	400.00	285.68	0.00	160.00	150.17	0.00	3.20	2.85	0.00	46.37	37.89
2565	มกราคม	0.00	386.67	220.74	0.00	160.00	115.79	0.00	3.13	2.37	0.00	43.90	27.63
	กุมภาพันธ์	0.00	390.00	190.15	0.00	160.00	93.25	0.00	3.13	1.88	0.00	43.63	26.74
	มีนาคม	0.00	360.00	125.28	0.00	160.00	78.97	0.00	3.13	1.06	0.00	44.97	28.27
	เมษายน	0.00	336.67	62.45	0.00	160.00	65.61	0.00	2.67	0.24	0.00	45.97	23.07
	ตุลาคม	0.00	336.67	234.17	0.00	160.00	141.62	0.00	3.10	2.30	0.00	43.97	33.37
	พฤศจิกายน	0.00	366.67	260.54	0.00	160.00	142.88	0.00	3.10	2.49	0.00	50.53	37.38

2) รูปแบบการเพาะปลูกมันสำปะหลังจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี

จากการศึกษาการเจริญเติบโตมันสำปะหลังโดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางซีฟลักซ์ต่าง ๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ จำนวน 80 แปลง พบว่า มันสำปะหลังไม่มีช่วงปลูกที่แน่นอน คือ เกษตรกรมีการปลูก เก็บเกี่ยว และปล่อยแปลงว่างรอปลูกใหม่ ตลอดทั้งปี และบางแปลงมีการเก็บเกี่ยวขณะที่มันสำปะหลังมีอายุน้อย (6 เดือน) จากเหตุนี้จึงทำให้ค่าซีฟลักซ์ต่าง ๆ ในแต่ละเดือนมีความแปรปรวนสูง โดย พบว่า เดือนเมษายน 2564 เป็นเดือนที่มีจำนวนแปลงอ้างอิงที่มีต้นมันสำปะหลังยืนต้นน้อยที่สุด คือ จำนวน 38 แปลง และเดือนกันยายน 2564 เป็นเดือนที่มีจำนวนแปลงอ้างอิงที่มีต้นมันสำปะหลังยืนต้นมากที่สุด คือ จำนวน 68 แปลง (ตารางที่ 17) ซึ่งอาจเกิดจากในเดือนเมษายนเป็นฤดูแล้งทำให้เกษตรกรไม่นิยมปลูกมันสำปะหลัง แต่เกษตรกรบางรายปลูกมันสำปะหลังในเดือนเมษายนเนื่องจากปลูกเพื่อรอฤดูฝน และมันสำปะหลังเป็นพืชที่ทนแล้ง โดยการเปลี่ยนแปลงทางซีฟลักซ์ต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

2.1) ความสูง ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 29) ความสูงเฉลี่ยของมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนเมษายน 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนตุลาคม ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565 และพบว่าในช่วงเดือนธันวาคม 2564 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2565 ค่าความสูงมีความแปรปรวนสูงเนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเกษตรกรมีการทยอยเก็บเกี่ยวและความแปรปรวนเริ่มลดลงในเดือนมีนาคมซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเกษตรกรเริ่มปลูกมันสำปะหลังในเดือนกุมภาพันธ์ และเริ่มออกในเดือนธันวาคม

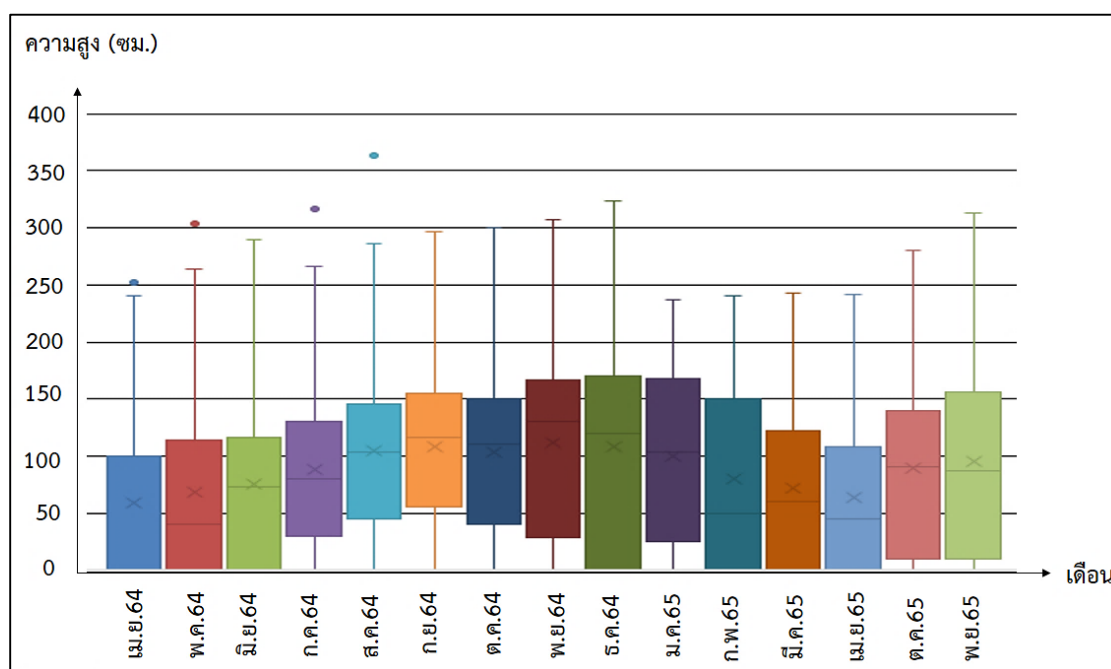
2.2) ความกว้างทรงพุ่ม มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูง คือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 30) ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยของมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนกุมภาพันธ์ 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565

2.3) ขนาดลำต้น มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูงคือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 31) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565

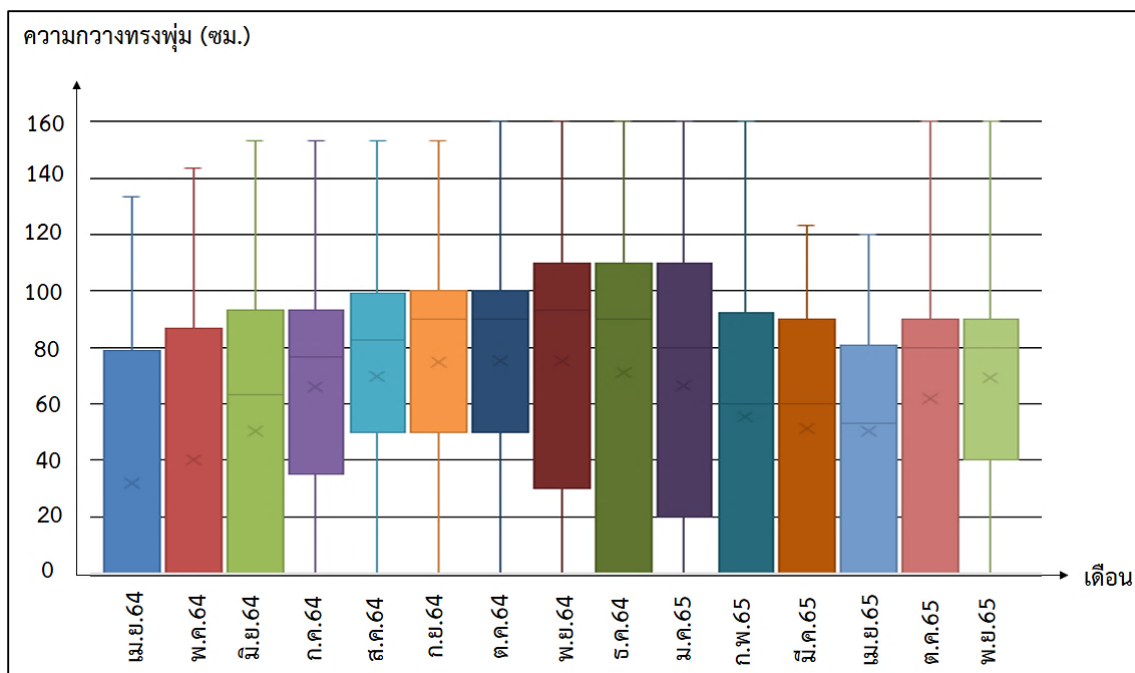
2.4) ปริมาณคลอโรฟิลล์ มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูงคือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 32) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565

จากการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงทางซีฟลักซ์ต่าง ๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมมีความแปรปรวนสูง เนื่องจากมีหลายช่วงอายุตั้งแต่แปลงที่มีการเก็บเกี่ยวแล้วจนถึงแปลงที่กำลังเจริญเติบโตเต็มที่ แปลงที่มีการเก็บเกี่ยวแล้วค่าซีฟลักซ์ต่าง ๆ จะมีค่าเป็นศูนย์ และแปลงที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่

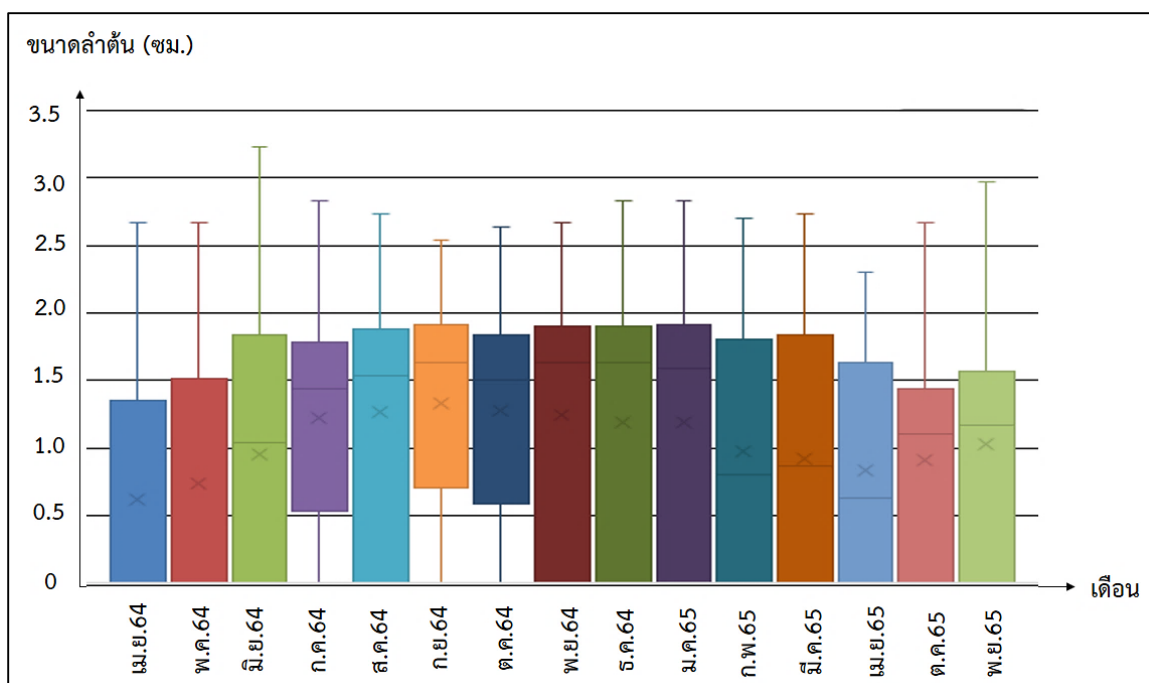
พร้อมเก็บเกี่ยวจะมีค่าชีพลักษณ์ต่าง ๆ สูง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีพืชพรรณโดยการนำค่าความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ มาปรับมาตราส่วน เพื่อใช้ดูลักษณะแนวโน้ม ซึ่งพบว่าค่าชีพลักษณ์ต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีต่าง ๆ ในรอบปี (ภาพที่ 33) การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยเฉพาะ Sentinel 2 ซึ่งสามารถให้ข้อมูลได้ทุก 10 วัน โดยการหาค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณ 5 ปี รายเดือน ของแปลงข้อมูลอ้างอิง สามารถนำมาศึกษาวงจรการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังได้เช่นเดียวกับการศึกษาในอ้อย โดยพบว่าช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เดือนเมษายน เป็นช่วงที่ค่าดัชนีพืชพรรณในแปลงปลูกมันสำปะหลังมีค่าต่ำสุด ซึ่งเกิดจากในช่วงนี้เกษตรกรส่วนใหญ่ยังไม่มีการปักชำท่อนพันธุ์มันสำปะหลัง หรือมีการปักชำท่อนพันธุ์มันสำปะหลังแต่มันสำปะหลังยังไม่งอก ทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณในช่วงนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับค่าการสะท้อนแสงหรือดัชนีพืชพรรณของดิน ค่าดัชนีพืชพรรณเริ่มเพิ่มขึ้นตั้งแต่เดือนพฤษภาคม-เดือนพฤษภาคมเนื่องจากช่วงนี้ยังมีดินมันสำปะหลังซึ่งกำลังเจริญเติบโตอยู่ในแปลง และเริ่มค่าดัชนีพืชพรรณลดตั้งแต่เดือนธันวาคม-เดือนมกราคมเนื่องจากเกษตรกรเริ่มเก็บเกี่ยว และลดต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์เนื่องจากมันสำปะหลังถูกเก็บเกี่ยวหมดแล้ว จากการศึกษาความสอดคล้องระหว่างค่าทางชีพลักษณ์ต่าง ๆ กับค่าดัชนีพืชพรรณทำให้เราสามารถจำแนกพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังโดยการกำหนดค่าเกณฑ์ของค่าดัชนีต่ำสุดและสูงสุดเฉลี่ย 5 ปี ของแต่ละเดือนจากตาราง ที่ 12 เช่น การกำหนดช่วงของดัชนี NDVI เดือนมกราคม เท่ากับ 0.164 ถึง 0.516 เดือนกุมภาพันธ์ เท่ากับ 0.150 ถึง 0.442 เป็นต้น ซึ่งจะลดการใช้แรงงาน เวลา และค่าใช้จ่ายในการออกภาคสนาม หรือช่วยในการตัดสินใจในการแปลภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้สายตาของผู้ปฏิบัติงานในการทำแผนที่พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง



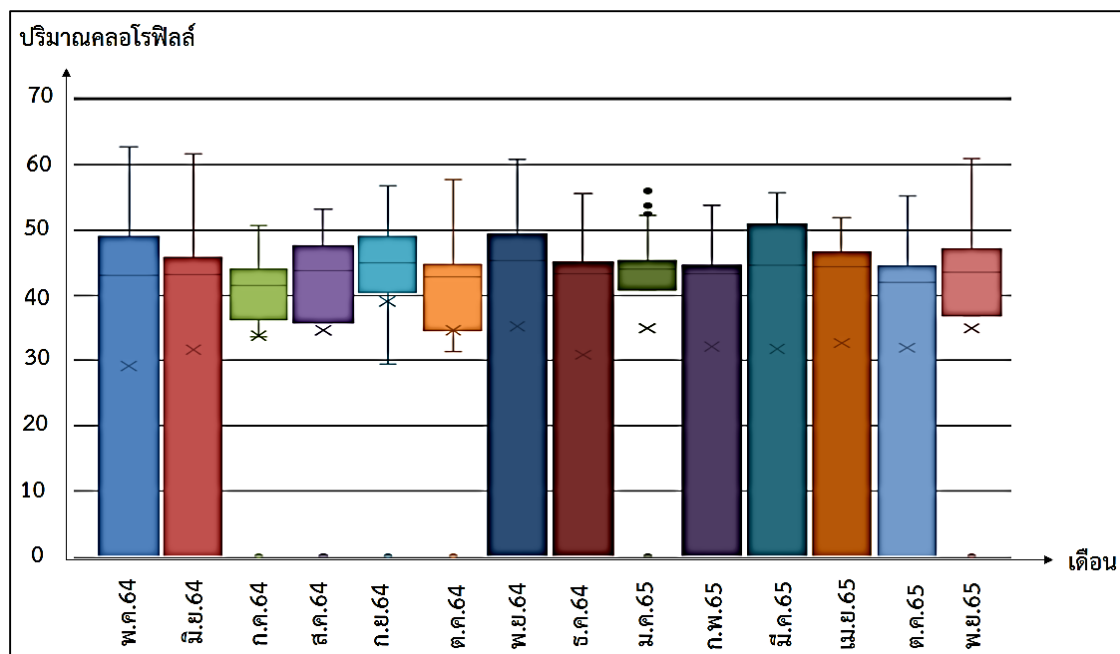
ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณ์ด้านความสูงของมันสำปะหลัง ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



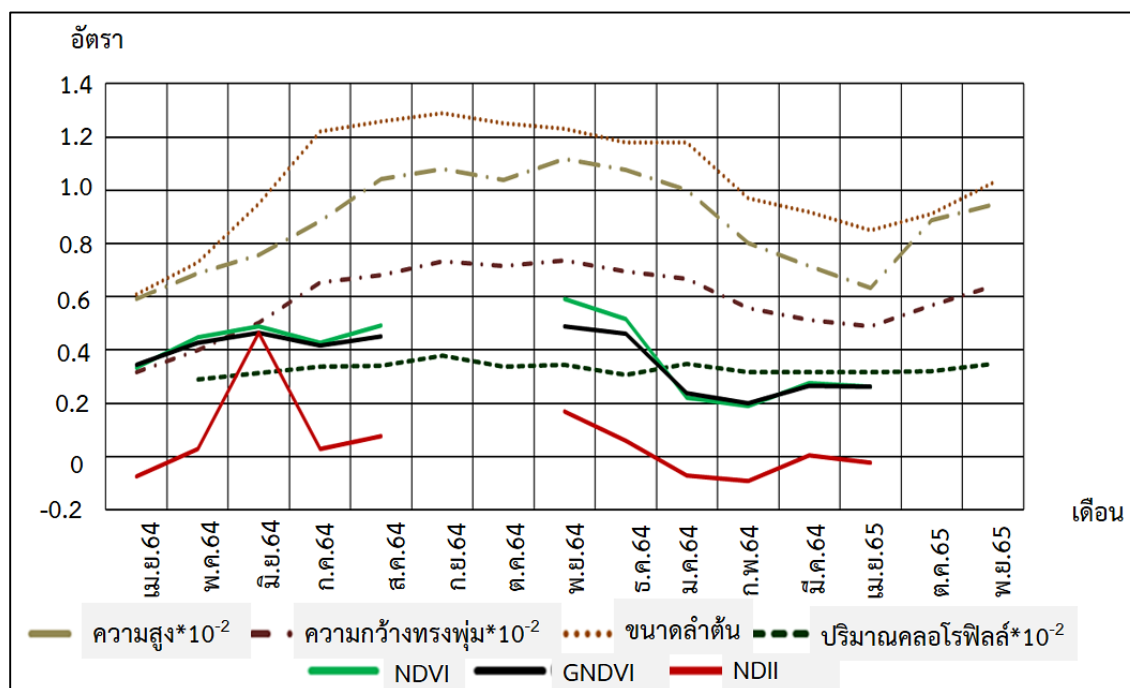
ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของไม้สำปะหลัง ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ด้านขนาดลำต้นของไม้สำปะหลัง ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ของน้ำสาปะหลัง ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์และค่าดัชนีพืชพรรณของน้ำสาปะหลัง ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

ตารางที่ 17 การเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

ปี	เดือน	ความสูง (ซ.ม.)			ความกว้างทรงพุ่ม (ซ.ม.)			ขนาดลำต้น (ซ.ม.)			ปริมาณคลอโรฟิลล์		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2564	เมษายน	0.00	251.67	59.37	0.00	133.33	31.71	0.00	2.67	0.61	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤษภาคม	0.00	303.33	68.74	0.00	143.33	40.06	0.00	2.67	0.73	0.00	62.80	29.15
	มิถุนายน	0.00	290.00	75.78	0.00	153.33	50.45	0.00	3.23	0.95	0.00	61.67	31.24
	กรกฎาคม	0.00	316.67	88.33	0.00	153.33	65.45	0.00	2.83	1.22	0.00	50.73	33.78
	สิงหาคม	0.00	363.33	104.18	0.00	153.33	68.06	0.00	2.73	1.26	0.00	53.20	34.18
	กันยายน	0.00	296.67	108.04	0.00	153.33	73.24	0.00	2.53	1.29	0.00	56.77	38.10
	ตุลาคม	0.00	300.00	103.72	0.00	160.00	71.55	0.00	2.63	1.25	0.00	57.77	33.76
	พฤศจิกายน	0.00	306.67	111.62	0.00	160.00	73.72	0.00	2.67	1.23	0.00	60.83	34.36
	ธันวาคม	0.00	323.33	107.66	0.00	160.00	69.44	0.00	2.83	1.18	0.00	55.57	30.87
2565	มกราคม	0.00	236.67	100.09	0.00	160.00	66.63	0.00	2.83	1.18	0.00	56.00	34.92
	กุมภาพันธ์	0.00	240.00	80.11	0.00	160.00	55.62	0.00	2.7	0.97	0.00	53.77	31.73
	มีนาคม	0.00	243.33	71.65	0.00	123.33	51.47	0.00	2.73	0.92	0.00	55.70	31.79
	เมษายน	0.00	241.67	63.25	0.00	120.00	49.03	0.00	2.33	0.85	0.00	51.87	31.84
	ตุลาคม	0.00	280.00	88.86	0.00	160.00	56.86	0.00	2.67	0.91	0.00	55.23	31.95
	พฤศจิกายน	0.00	313.33	94.59	0.00	160.00	64.19	0.00	2.97	1.03	0.00	61.00	34.93

3) รูปแบบการเพาะปลูกสับปะรดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี

จากการศึกษาการเจริญเติบโตสับปะรดโดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางซีฟลักซ์ต่าง ๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ จำนวน 30 แปลง พบว่า สับปะรดมีช่วงปลูกที่ไม่แน่นอนคล้ายมันสำปะหลัง คือ เกษตรกรมีการปลูก เก็บเกี่ยว และปล่อยแปลงว่างรอปลูกใหม่ตลอดทั้งปี โดยการเปลี่ยนแปลงทางซีฟลักซ์ต่าง ๆ มีดังนี้

3.1) ความสูง (ตารางที่ 18 และ ภาพที่ 34) ความสูงของสับปะรดเมื่อโตเต็มที่จะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักคืออยู่ระหว่าง 80 ถึง 96.67 เซนติเมตร ความสูงเฉลี่ยของสับปะรด อยู่ในช่วง 47.15 ถึง 55.97 เซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตามพบว่าความสูงของสับปะรดของแปลงอ้างอิงมีความแตกต่างกันระหว่างแปลงค่อนข้างมาก ทำให้ความแปรปรวนของค่าความสูงค่อนข้างสูง เมื่อดูจากกราฟ box plot เนื่องจากมีหลายช่วงอายุตั้งแต่แปลงที่มีการเก็บเกี่ยวและรื้อแปลงทำให้ค่าความสูงมีค่าเป็นศูนย์ และแปลงที่มีการเจริญเติบโตเต็ม แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากสับปะรดมีช่วงปลูก 4 ถึง 5 ปี ทำให้บางแปลงไม่มีการรื้อและปล่อยให้สับปะรดเจริญเติบโตต่อไป ปีถัดไป ความสูงของสับปะรดมีความสูงเฉลี่ยไม่คงที่ตลอดทั้งปี อาจเกิดจากปริมาณน้ำฝนและสภาพอากาศในแต่ละเดือนเนื่องจากเกษตรกรปลูกสับปะรดโดยอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก

3.2) ความกว้างทรงพุ่ม (ภาพที่ 35) คือ ความกว้างทรงพุ่มของสับปะรดเมื่อโตเต็มที่ประมาณ 120.00 ถึง 126.67 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยในแต่ละเดือน อยู่ในช่วง 56.26 ถึง 67.36 เซนติเมตร การเปลี่ยนแปลงความกว้างทรงพุ่ม มีลักษณะคล้ายการเปลี่ยนแปลงด้านความสูง ความกว้างทรงพุ่มของสับปะรดของแปลงอ้างอิงมีความแตกต่างกันระหว่างแปลงค่อนข้างมาก ทำให้ความแปรปรวนของค่าความสูงค่อนข้างสูง เนื่องจากมีหลายช่วงอายุ ค่าเฉลี่ยความกว้างทรงพุ่มของสับปะรดในแต่ละเดือนไม่คงที่ตลอดทั้งปี อาจเกิดจากปริมาณน้ำฝนและสภาพอากาศในแต่ละเดือนเนื่องจากเกษตรกรปลูกสับปะรดโดยอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก

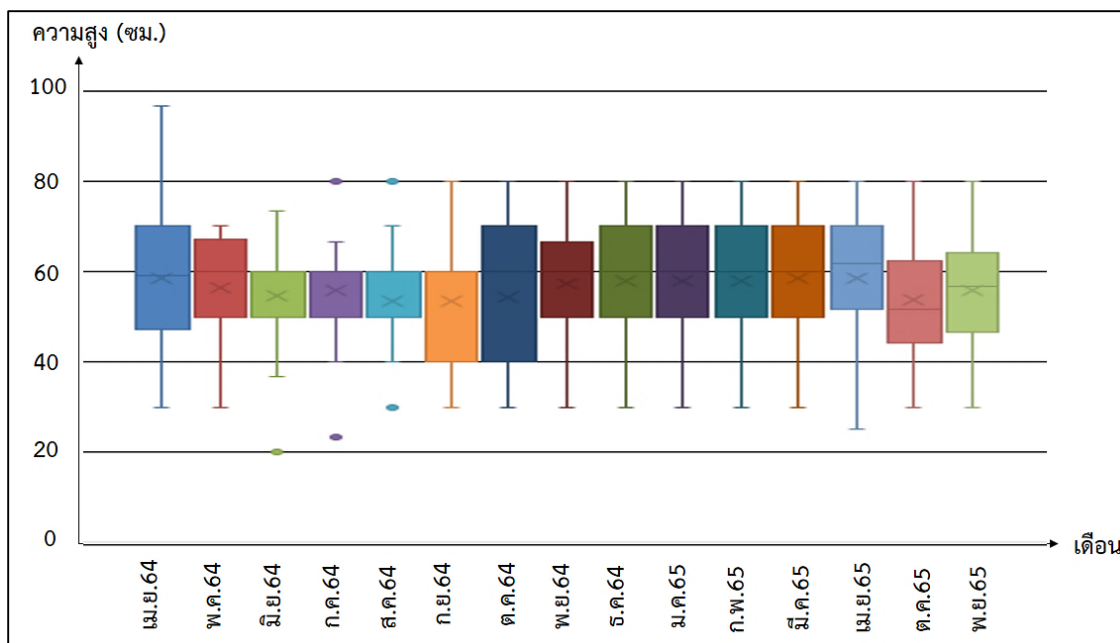
3.3) ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ภาพที่ 36) ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบสับปะรดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปีและในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกันมากอย่างเห็นได้ชัด โดยเดือนมีฝนตก ได้แก่ เดือนพฤษภาคม-เดือนกันยายน สับปะรดจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบสูงกว่า เดือนที่มีฝนตกน้อย ได้แก่ เดือนเมษายน เดือนตุลาคม และเดือนพฤษภาคม ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบสับปะรด ซึ่งเกิดจากสับปะรดส่วนใหญ่ไม่มีระบบการให้น้ำ อาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียวจึงทำให้มีน้ำในการเจริญเติบโตน้อย จึงทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ในช่วงแล้ง

จากการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงทางซีฟลักซ์ต่าง ๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ มีความแปรปรวนสูง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างแปลงข้อมูลอ้างอิงแต่ละแปลงในช่วงนั้นๆ คือ แปลงข้อมูลอ้างอิงมีหลายช่วงอายุ บางแปลงอยู่ในช่วงที่มีการเก็บเกี่ยวไปแล้วทำให้ค่าซีฟลักซ์ต่าง ๆ มีค่าเป็นศูนย์ และบางแปลงซึ่งอยู่ในช่วงที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ค่าซีฟลักซ์ต่าง ๆ จะสูง และพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบสับปะรดมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนตามปริมาณน้ำฝนในแต่ละเดือน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีพืชพรรณที่ทำการปรับมาตรฐานโดยการนำ

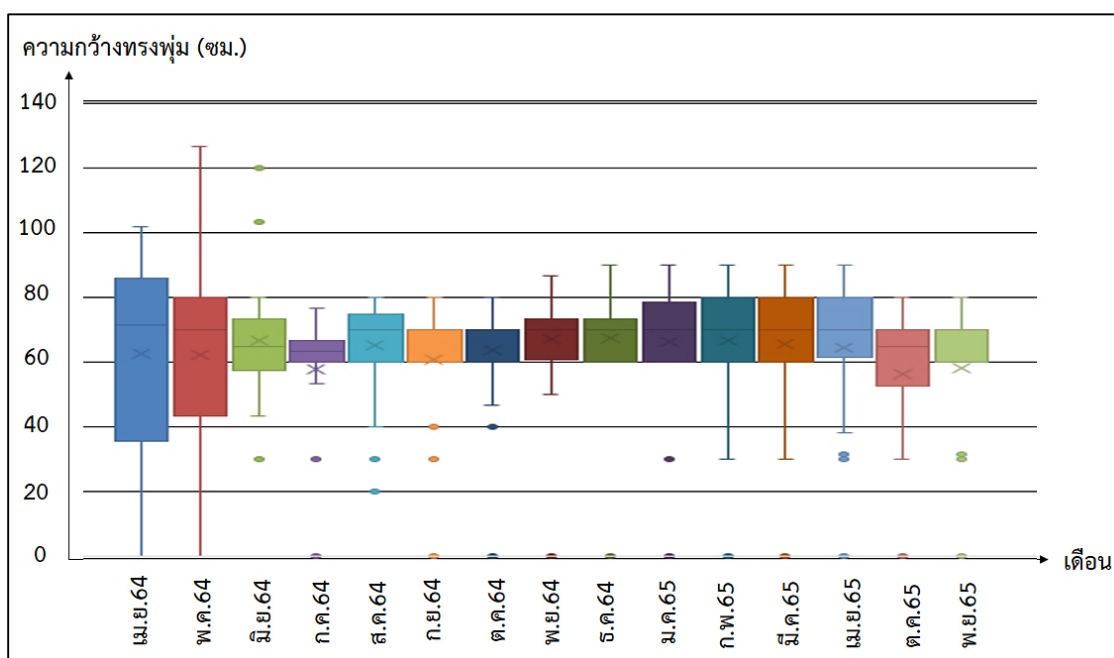
ค่าความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ คูณ 10^{-2} เพื่อใช้ดูลักษณะ แนวโน้ม ซึ่งพบว่าค่าชี้พลักษณ์ต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีต่าง ๆ ในรอบปี (ภาพที่ 37) โดยเฉพาะค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ และเมื่อเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงหรือดัชนีพืชพรรณเฉลี่ย 5 ปีในแต่ละเดือนของสับปะรดกับค่าดัชนีพืชพรรณของเฉลี่ย 5 ปีในแต่ละเดือนอ้อยและมันสำปะหลัง พบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณของสับปะรดมีแนวโน้มสูงกว่า คือ ค่า NDVI อยู่ในช่วง 0.365 ถึง 0.560 ค่า GNDVI อยู่ในช่วง 0.350 ถึง 0.471 ค่า NDII อยู่ในช่วง 0.063 ถึง 0.197 และพบว่าค่าดัชนีพืชพรรณของสับปะรดมีแนวโน้มสูงในเดือนที่มีฝนตกมากและต่ำในเดือนที่มีฝนตกน้อยเช่นเดียวกันกับปริมาณคลอโรฟิลล์ ดังนั้นจึงอาจมีแนวโน้มว่าค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดอาจมีศักยภาพในการประมาณค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ใบสับปะรด และใช้คาดการณ์ภาวะขาดน้ำและความต้องการน้ำของสับปะรดได้

การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยเฉพาะ Sentinel 2 ซึ่งสามารถให้ข้อมูลได้ทุก 10 วัน โดยการหาค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณ 5 ปี รายเดือน ของแปลงข้อมูลอ้างอิง สามารถนำมาศึกษาวงจรการเจริญเติบโตของสับปะรดได้เช่นเดียวกับการศึกษาในอ้อยและมันสำปะหลัง โดยเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณ 5 ปี รายเดือน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เดือนเมษายน เป็นช่วงที่ค่าดัชนีพืชพรรณในแปลงปลูกสับปะรดมีค่าต่ำ ค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI อยู่ในช่วง 0.365 ถึง 0.374 ค่าเฉลี่ยดัชนี GNDVI อยู่ในช่วง 0.350 ถึง 0.364 ค่าเฉลี่ยดัชนี NDII อยู่ในช่วง 0.063 ถึง 0.071 เนื่องจากช่วงนี้เป็นช่วงฤดูแล้ง และเป็นช่วงที่เกษตรกรเก็บเกี่ยวอผลผลิตเพื่อให้สับปะรดเจริญเติบโตต่อไป หรือรื้อแปลงเพื่อปลูกใหม่ และช่วงเดือนพฤษภาคม ถึง เดือนมกราคม เป็นช่วงที่ค่าดัชนีพืชพรรณในแปลงปลูกสับปะรดมีค่าสูง ค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI อยู่ในช่วง 0.417 ถึง 0.560 ค่าเฉลี่ยดัชนี GNDVI อยู่ในช่วง 0.376 ถึง 0.471 ค่าเฉลี่ยดัชนี NDII อยู่ในช่วง 0.105 ถึง 0.197 ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าคลอโรฟิลล์ในใบในแต่ละเดือน

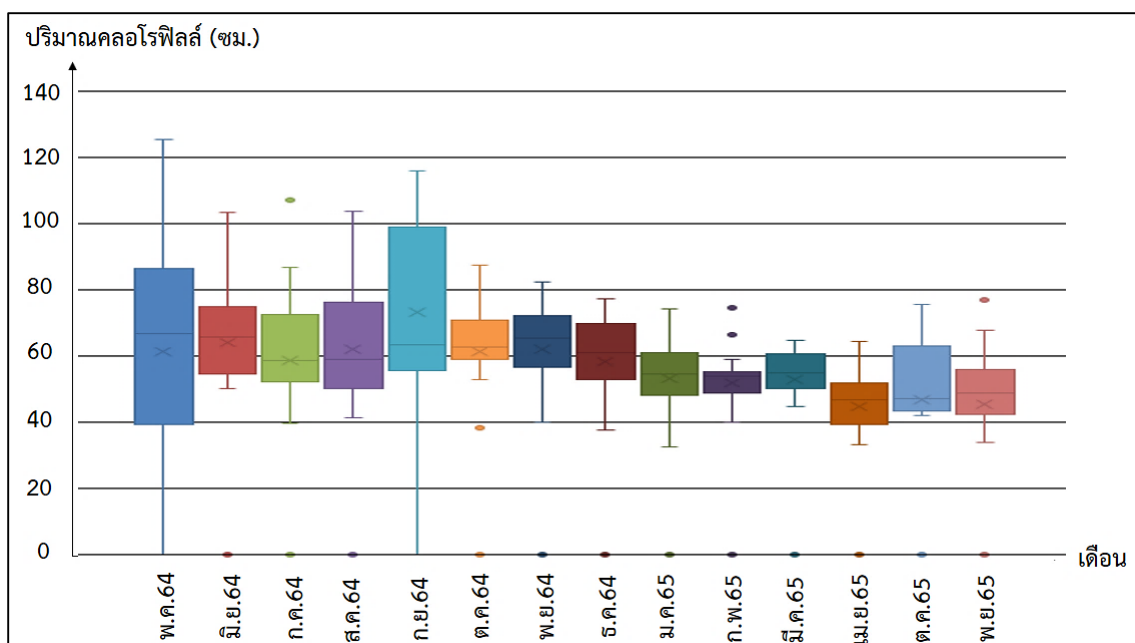
การกำหนดค่าเกณฑ์ของค่าดัชนีต่ำสุดและสูงสุดเฉลี่ย 5 ปี ของแต่ละเดือนจากตาราง ที่ 13 เช่น การกำหนดช่วงของดัชนี NDVI เดือนมกราคม เท่ากับ 0.240 ถึง 0.546 เดือนกุมภาพันธ์ เท่ากับ 0.228 ถึง 0.497 เป็นต้น ซึ่งจะลดการใช้แรงงาน เวลา และค่าใช้จ่ายในการออกภาคสนาม หรือช่วยในการตัดสินใจในการแปลภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้สายตาของผู้ปฏิบัติงานในการทำแผนที่พื้นที่ปลูกสับปะรด นอกจากนี้ยังพบว่าค่าดัชนีต่ำสุดเฉลี่ย 5 ปี ของแต่ละเดือน ของสับปะรดจะมีค่าสูงกว่าของอ้อยและมันสำปะหลัง ดังนั้นการใช้เกณฑ์ของค่าดัชนีต่ำสุดและสูงสุดอาจสามารถช่วยจำแนกระหว่างพื้นที่ปลูกอ้อย มันสำปะหลังและสับปะรด ได้ดีขึ้น



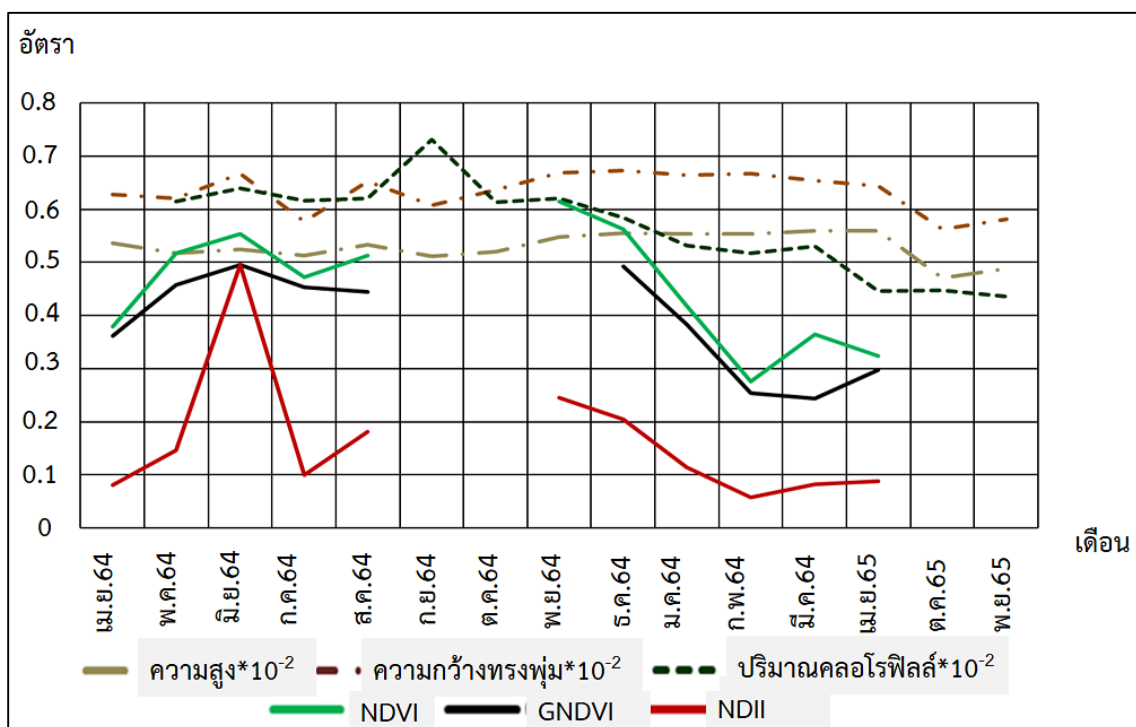
ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ด้านความสูงของสับปะรด ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของสับปะรด ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของสับปะรด ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 37 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์และค่าดัชนีพืชพรรณของสับปะรด ช่วง พ.ศ.2564 ถึง พ.ศ.2565

ตารางที่ 18 การเจริญเติบโตของสับปะรด ช่วง เดือนเมษายน 2564 ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565

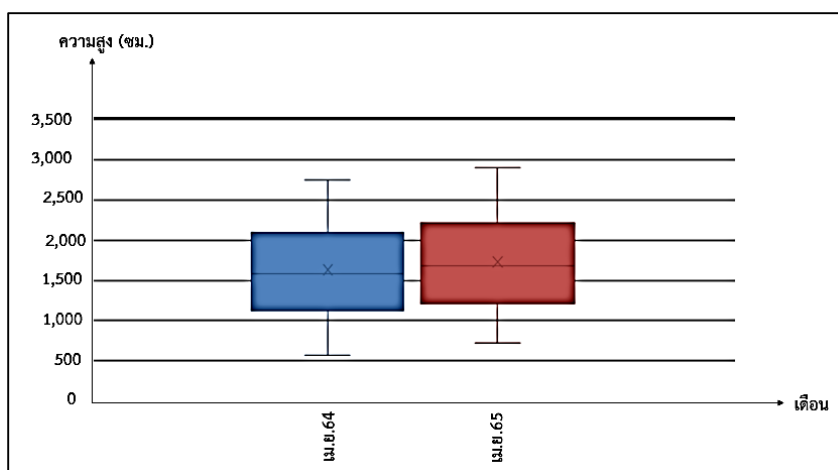
ปี	เดือน	ความสูง (ซ.ม.)			ความกว้างทรงพุ่ม (ซ.ม.)			ปริมาณคลอโรฟิลล์		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2564	เมษายน	0.00	96.67	53.68	0.00	101.67	62.74	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤษภาคม	0.00	70.00	51.67	0.00	126.67	62.08	0.00	125.40	61.45
	มิถุนายน	0.00	73.33	52.50	30.00	120.00	66.81	0.00	103.53	63.93
	กรกฎาคม	0.00	80.00	51.25	0.00	76.67	57.64	0.00	107.20	61.59
	สิงหาคม	30.00	80.00	53.33	20.00	80.00	65.28	0.00	103.63	62.07
	กันยายน	0.00	80.00	51.11	0.00	80.00	60.83	0.00	116.00	73.19
	ตุลาคม	0.00	80.00	52.08	0.00	80.00	63.61	0.00	87.40	61.30
	พฤศจิกายน	0.00	80.00	54.86	0.00	86.67	66.94	0.00	82.40	62.09
	ธันวาคม	0.00	80.00	55.56	0.00	90.00	67.36	0.00	77.13	58.48
2565	มกราคม	0.00	80.00	55.42	0.00	90.00	66.39	0.00	74.30	53.20
	กุมภาพันธ์	0.00	80.00	55.42	0.00	90.00	66.67	0.00	74.63	51.81
	มีนาคม	0.00	80.00	55.97	0.00	90.00	65.42	0.00	64.87	53.02
	เมษายน	0.00	80.00	55.97	0.00	90.00	64.38	0.00	64.53	44.63
	ตุลาคม	0.00	80.00	47.15	0.00	80.00	56.25	0.00	75.50	44.70
	พฤศจิกายน	0.00	80.00	48.82	0.00	80.00	58.13	0.00	77.00	43.56

4) รูปแบบการเพาะปลูกยางพาราจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี

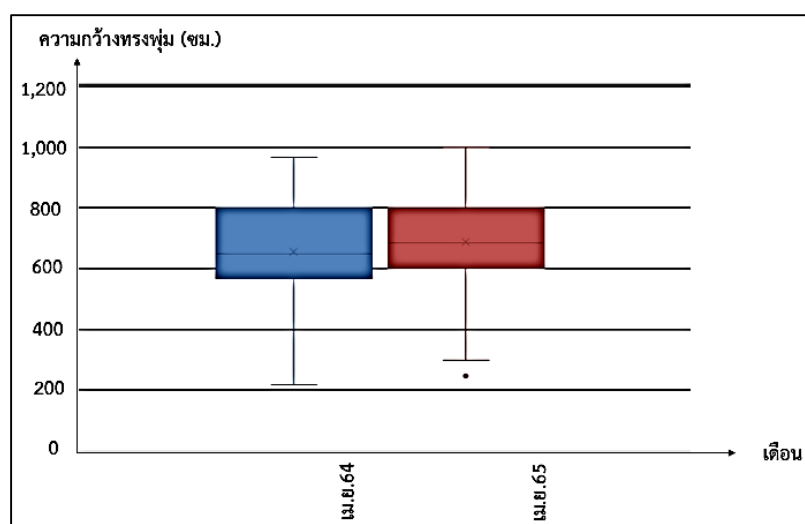
จากการศึกษาการเจริญเติบโตยางพาราโดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางซีพลักษณ์ต่าง ๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ จำนวน 60 แปลง (ภาพที่ 38 ถึง ภาพที่ 41 และ ตารางที่ 19) พบว่า ค่าเฉลี่ยความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และขนาดลำต้นของยางพาราเพิ่มขึ้นจากเดือนเมษายน 2564 ถึง เมษายน 2565 และค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยช่วงฤดูฝนยางพาราจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าฤดูแล้งและยางพารามีการผลัดใบในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งการผลัดใบของยางพาราจะทำให้ต้นยางพารามีใบน้อยลง (Azizan et al., 2021)

จากการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของยางพารามีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี มีความสอดคล้องกับค่าการสะท้อนแสงหรือดัชนีพืชพรรณ และมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเช่นเดียวกับพืชอื่นๆ การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยเฉพาะ Sentinel 2 ซึ่งสามารถให้ข้อมูลได้ทุก 10 วัน โดยการหาค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณ 5 ปี รายเดือน ของแปลงข้อมูลอ้างอิงสามารถนำมาศึกษาการเจริญเติบโตของยางพาราได้เช่นเดียวกับการศึกษาในพืชอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยค่าดัชนีพืชพรรณของยางพาราในช่วงเดือนมกราคม-เดือนเมษายนจะมีค่าเฉลี่ยของดัชนี NDVI มีค่าต่ำ โดยอยู่ในช่วง 0.436 ถึง 0.540 และสอดคล้องกับค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบที่มีค่าต่ำกว่าในช่วงอื่นๆ เนื่องจากเป็นช่วงฤดูแล้ง ใบยางพารามีการเปลี่ยนสี และร่วง ค่าดัชนีพืชพรรณของยางพาราค่อยๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึง เดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีฝนตกยางพารามีการผลัดใบใหม่ ใบและต้นของยางพาราเจริญเติบโตได้ดีเนื่องจากมีน้ำเพียงพอ และใบมีการสะสมคลอโรฟิลล์สูง โดยดัชนี NDVI มีค่าอยู่ในช่วง 0.536 ถึง 0.678 แต่ในเดือนสิงหาคมค่าเฉลี่ย 5 ปี ของดัชนี NDVI ลดลงและน้อยอาจเกิดจากปริมาณฝนลดลงในช่วงเดือนมิถุนายน-เดือนสิงหาคมซึ่งส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ยางพาราได้รับอาจทำให้ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของยางพาราในช่วงนั้น

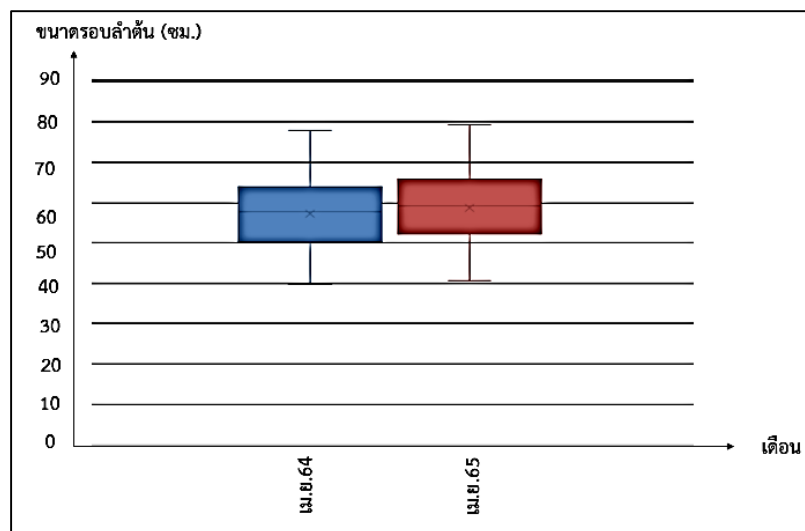
เนื่องจากยางพาราเป็นไม้ยืนต้นแต่มีวัฏจักรการเจริญเติบโต สอดคล้องกับฤดูกาลและปริมาณน้ำที่ได้รับเช่นเดียวกับสับปะรดผลการศึกษาที่ได้อาจมีศักยภาพในการประมาณค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ใบ และใช้คาดการณ์ภาวะขาดน้ำและความต้องการน้ำของยางพาราได้ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าดัชนีพืชพรรณของยางพาราสูงกว่าอ้อย มันสำปะหลัง และสับปะรด การกำหนดค่าเกณฑ์ของค่าดัชนีต่ำสุดและ สูงสุดเฉลี่ย 5 ปี ของแต่ละเดือนจากตารางที่ 14 เช่น การกำหนดช่วงของดัชนี NDVI เดือนมกราคม เท่ากับ 0.294 ถึง 0.651 เดือนกุมภาพันธ์ เท่ากับ 0.273 ถึง 0.601 เป็นต้น และทำการจำแนกโดยใช้วิธีการต้นไม้ตัดสินใจ จะช่วยให้สามารถจำแนกพื้นที่ปลูกยางพาราออกจากพื้นที่อ้อย มันสำปะหลัง และสับปะรด ซึ่งเป็นต้นไม้ขนาดเล็ก ค่าดัชนีพืชพรรณมีค่าต่ำ ได้ดีขึ้น ซึ่งจะลดการใช้แรงงาน เวลา และค่าใช้จ่ายในการออกภาคสนาม หรือช่วยในการตัดสินใจในการแปลภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้สายตาของผู้ปฏิบัติงานในการทำแผนที่



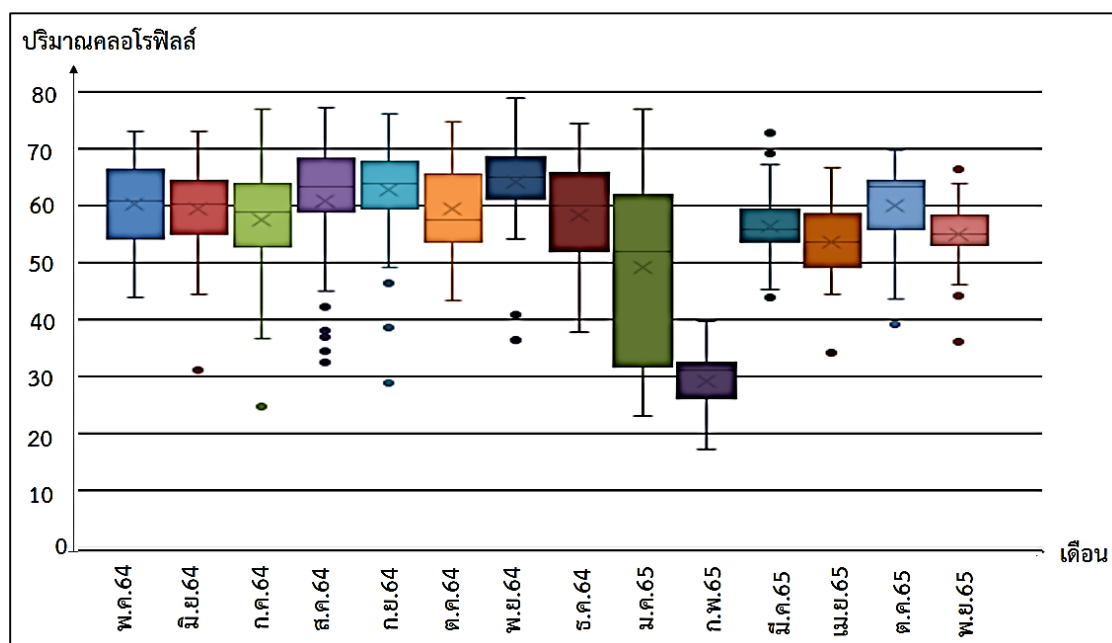
ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษ์ด้านความสูงของยางพารา ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของยางพารา ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงชีพลัษณ์ด้านขนาดรอบลำต้นของยางพารา ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงชีพลัษณ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบยางพารา ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

ตารางที่ 19 การเจริญเติบโตของยางพารา ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

ปี	เดือน	ความสูง (ซ.ม.)			ความกว้างทรงพุ่ม (ซ.ม.)			ขนาดลำต้น (ซ.ม.)			ปริมาณคลอโรฟิลล์		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2564	เมษายน	570.00	2753.33	1630.29	216.70	966.67	655.46	17.67	78.00	56.43	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤษภาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	44.00	73.07	60.28
	มิถุนายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	31.03	73.07	59.57
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	24.70	76.97	57.62
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	32.60	77.13	60.92
	กันยายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	28.97	76.13	62.70
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	43.47	74.63	59.32
	พฤศจิกายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	36.33	78.77	64.04
	ธันวาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	37.80	74.50	58.44
2565	มกราคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	23.17	76.80	49.11
	กุมภาพันธ์	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	17.27	39.70	29.23
	มีนาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	43.93	72.63	56.51
	เมษายน	723.33	2900.00	1731.13	246.66	1000.00	688.58	18.00	79.44	57.96	34.30	66.67	53.70
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	39.20	69.80	59.91
	พฤศจิกายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	36.13	67.07	55.04

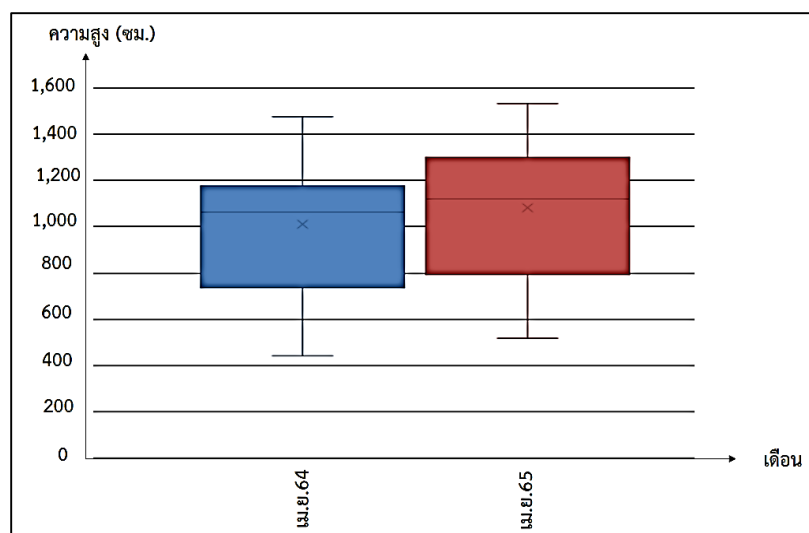
5) รูปแบบการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี

จากการศึกษาการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ของปาล์มน้ำมันจำนวน 40 แปลง (ตารางที่ 20 และ ภาพที่ 42 ถึง ภาพที่ 45) พบว่า ค่าเฉลี่ยความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และขนาดลำต้นของปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นจากเดือนเมษายน 2564 ถึง เมษายน 2565 และค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี และเมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์มาเปรียบเทียบกับค่าดัชนีต่าง ๆ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันตลอดทั้งปี (ภาพที่ 46) แต่ปริมาณแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งอาจเกิดจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีใบเขียวเข้มตลอดทั้งปีและไม่มีการผลัดใบ และพบว่าค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในแต่ละแปลงแตกต่างกันมากซึ่งอาจเกิดจากอายุของปาล์ม การใส่ปุ๋ย และการดูแลรักษาและให้น้ำในแต่ละแปลงแตกต่างกัน

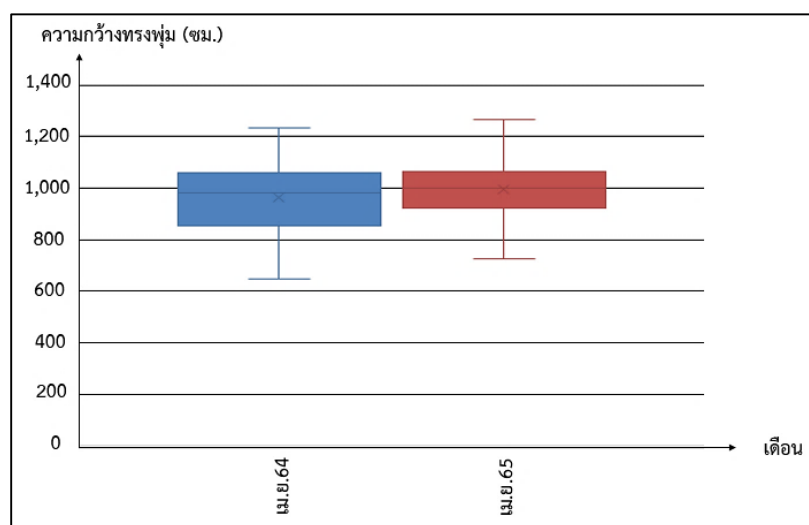
จากการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของปาล์มน้ำมัน มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี มีความสอดคล้องกับค่าการสะท้อนแสงหรือดัชนีพืชพรรณ และมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเช่นเดียวกับพืชอื่นๆ การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยเฉพาะ Sentinel 2 ซึ่งสามารถให้ข้อมูลได้ทุก 10 วัน โดยการหาค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณ 5 ปี รายเดือน ของแปลงข้อมูลอ้างอิงสามารถนำมาศึกษาวงจรการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันได้เช่นเดียวกับการศึกษาในพืชอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยค่าดัชนีพืชพรรณของปาล์มน้ำมันในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เดือนเมษายนจะมีค่าเฉลี่ยของดัชนี NDVI ต่ำ โดยอยู่ในช่วง 0.476 ถึง 0.488 และสอดคล้องกับค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบที่มีค่าต่ำกว่าในช่วงอื่นๆ เนื่องจากเป็นช่วงฤดูแล้ง ปริมาณน้ำอาจไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน ค่าดัชนีพืชพรรณของปาล์มน้ำมันค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่เดือนพฤษภาคม-เดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีฝนตก ใบและต้นของปาล์มน้ำมันเจริญเติบโตได้ดีเนื่องจากมีน้ำเพียงพอ และใบมีการสะสมคลอโรฟิลล์สูง

เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นไม้ยืนต้น มีวัฏจักรการเจริญเติบโต สอดคล้องกับฤดูกาลและปริมาณน้ำที่ได้รับเช่นเดียวกับสับปะรดและยางพารา ผลการศึกษาที่ได้อาจมีศักยภาพในการประมาณค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ใบ และใช้คาดการณ์ภาวะขาดน้ำและความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมันได้ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าดัชนีพืชพรรณของปาล์มน้ำมันสูงกว่าอ้อย มันสำปะหลัง และสับปะรด ซึ่งเป็นพืชที่มีขนาดเล็ก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีพืชพรรณของยางพาราซึ่งเป็นไม้ยืนต้นเหมือนกัน ช่วงฤดูแล้งค่าดัชนีพรรณของปาล์มน้ำมันมีแนวโน้มสูงกว่าค่าดัชนีพืชพรรณของยางพารา นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าเฉลี่ย 5 ปี ดัชนี NDII ของปาล์มน้ำมันสูงกว่าพืชอื่นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเกิดจากปาล์มน้ำมันมีขนาดทรงพุ่มใหญ่ ไม่ผลัดใบ ทำให้มีใบปกคลุมแปลงตลอดเวลาดัชนี NDII จึงมีค่าสูง

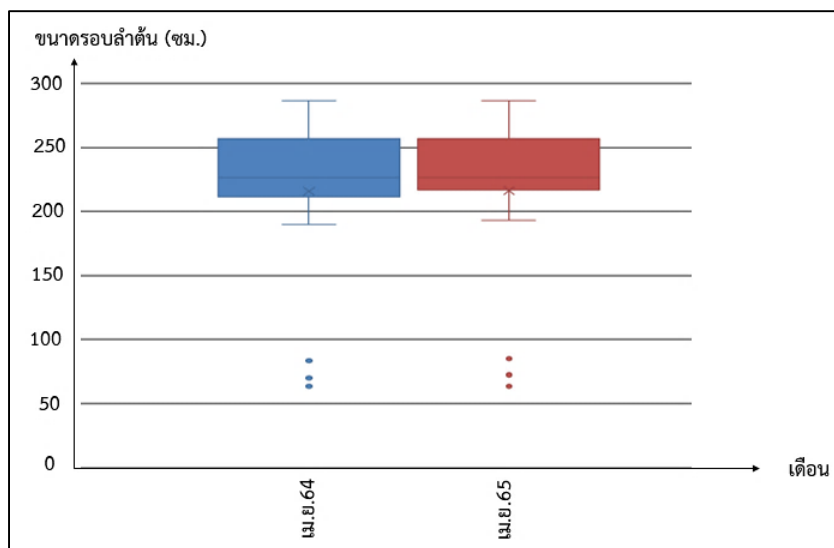
การกำหนดค่าเกณฑ์ของค่าดัชนีต่ำสุดและสูงสุดเฉลี่ย 5 ปี ของแต่ละเดือนจากตารางที่ 15 เช่น การกำหนดช่วงของดัชนี NDVI เดือนมกราคม เท่ากับ 0.360 ถึง 0.681 เดือนกุมภาพันธ์ เท่ากับ 0.324 ถึง 0.617 เป็นต้น และทำการจำแนกโดยใช้วิธีการต้นไม้ตัดสินใจ อาจช่วยให้สามารถจำแนกพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันออกจากพื้นที่ปลูกพืชชนิดอื่นได้ดีขึ้น ซึ่งจะลดการใช้แรงงาน เวลา และค่าใช้จ่ายในการออกภาคสนาม หรือช่วยในการตัดสินใจในการแปลภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้สายตาของผู้ปฏิบัติงานในการทำแผนที่



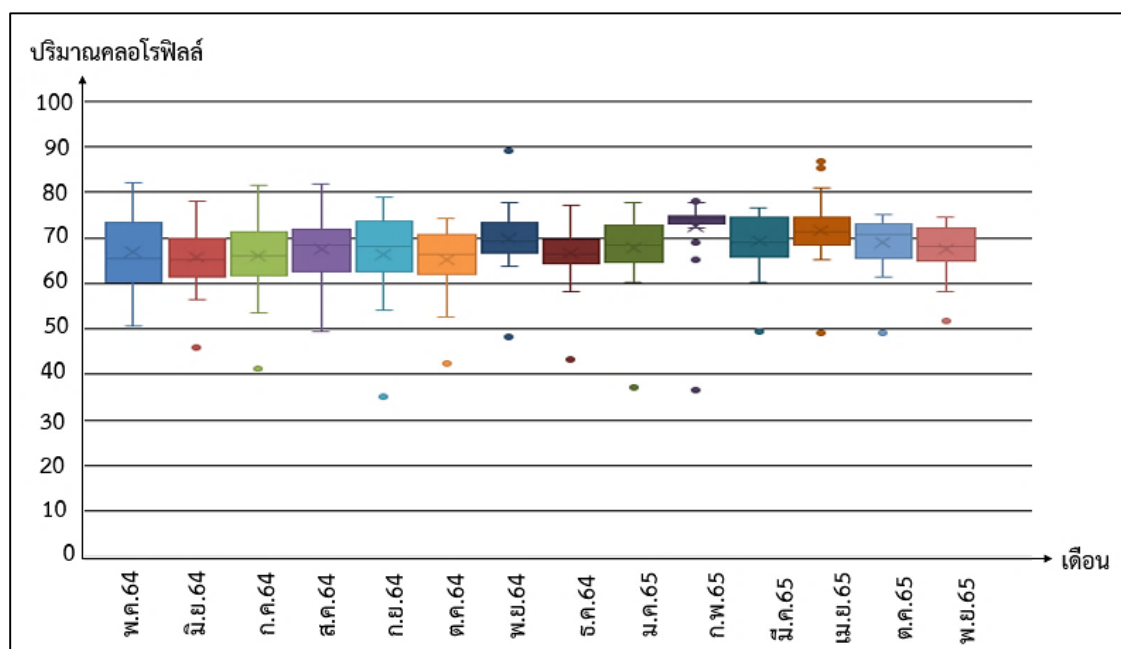
ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษ์ด้านความสูงของปาล์มน้ำมัน ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



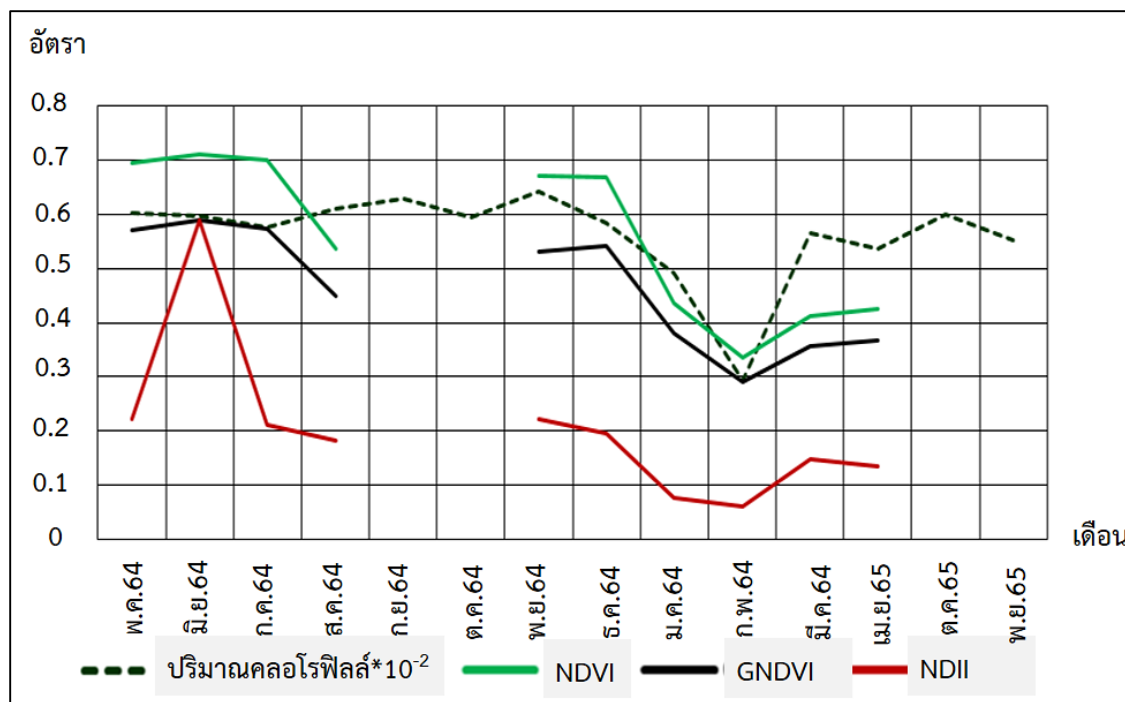
ภาพที่ 43 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของปาล์มน้ำมัน ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 44 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษ์ด้านขนาดรอบลำต้นของปาล์มน้ำมัน ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 45 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมัน ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565



ภาพที่ 46 การเปลี่ยนแปลงชีพลักษณ์และค่าดัชนีพืชพรรณของปาล์มน้ำมัน ช่วง พ.ศ.2564 ถึง พ.ศ.2565

ตารางที่ 20 การเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

ปี	เดือน	ความสูง (ซ.ม.)			ความกว้างทรงพุ่ม (ซ.ม.)			ขนาดลำต้น (ซ.ม.)			ปริมาณคลอโรฟิลล์		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2564	เมษายน	440.00	1476.67	1013.10	646.67	962.74	962.74	63.33	286.67	215.71	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤษภาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	50.50	82.10	67.12
	มิถุนายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	45.90	78.17	65.79
	กรกฎาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	41.30	81.53	65.99
	สิงหาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	49.30	81.93	67.47
	กันยายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	35.03	78.87	66.54
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	42.43	74.37	65.19
	พฤศจิกายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	48.20	89.17	69.94
	ธันวาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	43.33	77.07	66.65
2565	มกราคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	37.03	77.87	67.90
	กุมภาพันธ์	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	36.63	78.03	72.36
	มีนาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	49.57	76.63	69.23
	เมษายน	516.67	1533.33	1082.38	726.67	995.00	995.00	63.67	286.67	216.29	49.17	86.67	71.67
	ตุลาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	49.03	75.27	69.05
	พฤศจิกายน	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	51.87	74.63	67.43

5.2.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะชีพลักษณ์พืชที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

1) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะชีพลักษณ์ของอ้อย

ค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 มีความสัมพันธ์กับลักษณะชีพลักษณ์ของอ้อยในบางเดือน (ตารางที่ 21 ถึง ภาพที่ 24) ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

1.1) ความสูง พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 พบความสัมพันธ์ในบางเดือนแต่อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ขณะที่ พ.ศ. 2565 ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์สูงในบางเดือน (ตารางที่ 21)

1.1.1) เดือนเมษายน 2564 ความสัมพันธ์สูงสุด ได้แก่ ค่า GNDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Power โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.48 และค่า p-value เท่ากับ 0.04

1.1.2) เดือนพฤษภาคม 2564 ความสัมพันธ์สูงสุด ได้แก่ ค่า NDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Logarithmic โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.30 และค่า p-value เท่ากับ 0.01

1.1.3) เดือนกุมภาพันธ์ 2565 ดัชนี NDII ความสัมพันธ์แบบ Linear ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.47 และค่า p-value เท่ากับ 0.00

1.2) ความกว้างทรงพุ่ม ค่าดัชนีพืชพรรณทุกชนิดมีความสัมพันธ์ต่ำทุกเดือนใน พ.ศ. 2564 และพบความสัมพันธ์ในบางเดือนแต่อยู่ในระดับต่ำถึงสูงใน พ.ศ. 2565 (ตารางที่ 22) โดยเดือนกุมภาพันธ์ 2565 ดัชนี NDVI และ ดัชนี NDII มีความสัมพันธ์กับความกว้างทรงพุ่มระดับปานกลาง โดยความสัมพันธ์สูงสุด ได้แก่ ค่า NDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Logarithmic มีค่า r^2 เท่ากับ 0.52 และค่า p-value เท่ากับ 0.00

1.3) ความหนาแน่น พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 พบความสัมพันธ์ต่ำมากในทุกเดือนที่ศึกษา

1.4) ปริมาณคลอโรฟิลล์ พ.ศ. 2564 พบความสัมพันธ์ต่ำมากและ พ.ศ. 2565 พบความสัมพันธ์ระดับสูงในเมษายน โดยค่า GNDVI มีความสัมพันธ์แบบ Power มีค่า r^2 เท่ากับ 0.59 และค่า p-value เท่ากับ 0.00

จากการศึกษาพบว่าชีพลักษณ์ของอ้อยมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณเพียงบางเดือนซึ่งสอดคล้องกับ Cilek and Berberoglu (2018) ที่รายงานว่าค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืชในบางฤดูกาล ดังนั้นจากการศึกษาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม sentinel 2 ในเดือนเมษายน 2564 เดือนพฤษภาคม 2564 และเดือนกุมภาพันธ์ 2565 มีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าความสูงของอ้อย การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะชีพลักษณ์ของอ้อยครั้งนี้ทำให้ได้แบบจำลองสำหรับการคาดการณ์ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ซึ่งอาจใช้สำหรับการประมาณค่าเจริญเติบโตของอ้อยในแปลงอื่นๆ เช่น การประมาณค่าความสูงของอ้อยสามารถใช้สมการจากแบบจำลองของเดือนเมษายน 2564 หรือ เดือนกุมภาพันธ์ 2565 ความกว้างทรงพุ่มใช้สมการจากแบบจำลองของเดือนกุมภาพันธ์ 2565 และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบใช้สมการจากแบบจำลองของกุมภาพันธ์ 2565 เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามหากต้องการเพิ่มความแม่นยำในการคาดการณ์ในเดือนอื่นๆ อาจจำเป็นต้องศึกษาการใช้ค่าดัชนีพืชพรรณชนิดอื่นที่มีการใช้ช่วงคลื่นแสงอื่นมาใช้ในการคำนวณ เป็นต้น

ตารางที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงอ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	$H = 148.41\text{NDVI} + 47.665$	0.07	0.38
		Exponential	$H = 36.866e^{2.4136\text{NDVI}}$	0.04	0.10
		Logarithmic	$H = 61.354\ln(\text{NDVI}) + 167.76$	0.11	0.26
		Power	$H = 241.36\text{NDVI}^{0.9325}$	0.07*	0.04
	GNDVI	Linear	$H = -421.46\text{GNDVI} + 244.33$	0.26	0.07
		Exponential	$H = 287.24e^{-3.431\text{GNDVI}}$	0.35*	0.03
		Logarithmic	$H = -163.4\ln(\text{GNDVI}) - 78.657$	0.34	0.07
		Power	$H = 21.82\text{GNDVI}^{-1.283}$	0.48*	0.04
	NDII	Linear	$H = 354.53\text{NDII} + 129.68$	0.21	0.10
		Exponential	$H = 110.86e^{3.2812\text{NDII}}$	0.24	0.09
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
พฤษภาคม 2564	NDVI	Linear	$H = 378.88\text{NDVI} - 37.009$	0.29*	0.01
		Exponential	$H = 19.385e^{4.1079\text{NDVI}}$	0.25**	0.00
		Logarithmic	$H = 155.56\ln(\text{NDVI}) + 260.18$	0.30*	0.01
		Power	$H = 513.68\text{NDVI}^{1.7491}$	0.27**	0.00
	GNDVI	Linear	$H = 552.11\text{GNDVI} - 108.37$	0.24	0.06
		Exponential	$H = 5.8585e^{7.0467\text{GNDVI}}$	0.19*	0.01
		Logarithmic	$H = 220.5\ln(\text{GNDVI}) + 316.4$	0.25	0.05
		Power	$H = 1389.1\text{GNDVI}^{2.866}$	0.21**	0.00
	NDII	Linear	$H = 216.65\text{NDII} + 127.71$	0.15	0.09
		Exponential	$H = 116.57e^{2.7677\text{NDII}}$	0.11*	0.01
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 21 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
มิถุนายน 2564	NDVI	Linear	$H = -24.601NDVI + 164.49$	0.01	0.91
		Exponential	$H = 160.41e^{-0.142NDVI}$	0.01	0.94
		Logarithmic	$H = -19.32\ln(NDVI) + 138.56$	0.02	0.85
		Power	$H = 136.89NDVI^{-0.124}$	0.02	0.88
	GNDVI	Linear	$H = -157.47GNDVI + 225.76$	0.11	0.61
		Exponential	$H = 254.69e^{-1.141GNDVI}$	0.11	0.63
		Logarithmic	$H = -77.32\ln(GNDVI) + 92.83$	0.12	0.58
		Power	$H = 97.074GNDVI^{-0.562}$	0.13	0.60
	NDII	Linear	$H = -157.47NDII + 225.76$	0.11	0.61
		Exponential	$H = 254.69e^{-1.141NDII}$	0.11	0.63
		Logarithmic	$H = -77.32\ln(NDII) + 92.83$	0.12	0.58
		Power	$H = 97.074NDII^{-0.562}$	0.13	0.60
กรกฎาคม 2564	NDVI	Linear	$H = 115.33NDVI + 94.488$	0.05	0.27
		Exponential	$H = 73.928e^{1.3025NDVI}$	0.05	0.12
		Logarithmic	$H = 51.739\ln(NDVI) + 189.32$	0.06	0.09
		Power	$H = 216.65NDVI^{0.5898}$	0.06	0.24
	GNDVI	Linear	$H = 131.22GNDVI + 93.63$	0.02	0.51
		Exponential	$H = 69.982e^{1.5872GNDVI}$	0.02	0.31
		Logarithmic	$H = 42.649\ln(GNDVI) + 186.44$	0.01	0.60
		Power	$H = 225.37GNDVI^{0.5708}$	0.02	0.37
	NDII	Linear	$H = 158.93GNDVI + 137.93$	0.06	0.22
		Exponential	$H = 121.72e^{1.6899NDII}$	0.06	0.10
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 21 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
ธันวาคม 2564	NDVI	Linear	$H = -221.47NDVI + 421.83$	0.05	0.29
		Exponential	-	-	-
		Logarithmic	$H = -107.2\ln(NDVI) + 234.99$	0.06	0.25
		Power	-	-	-
	GNDVI	Linear	$H = -94.043GNDVI + 358.88$	0.01	0.65
		Exponential	$H = 344.6e^{-0.21GNDVI}$	0.01	0.57
		Logarithmic	$H = -49\ln(GNDVI) + 277.02$	0.02	0.77
		Power	$H = 284.8GNDVI^{-0.119}$	0.02	0.69
	NDII	Linear	$H = -50.51NDII + 322.83$	0.01	6.71
		Exponential	$H = 317.97e^{-0.115NDII}$	0.01	0.77
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มกราคม 2565	NDVI	Linear	$H = 182.25NDVI + 237.96$	0.01	0.69
		Exponential	$H = 182.41e^{1.2551NDVI}$	0.01	0.71
		Logarithmic	$H = 49.328\ln(NDVI) + 353.05$	0.02	0.63
		Power	$H = 387.6NDVI^{0.3118}$	0.02	0.67
	GNDVI	Linear	$H = 94.545GNDVI + 261.65$	0.00	0.89
		Exponential	$H = 213.62e^{0.6725GNDVI}$	0.00	0.89
		Logarithmic	$H = 27.182\ln(GNDVI) + 323.29$	0.00	0.88
		Power	$H = 322.38GNDVI^{0.1745}$	0.00	0.90
	NDII	Linear	$H = 187.75NDII + 286.22$	0.02	0.55
		Exponential	$H = 254e^{1.1583NDII}$	0.02	0.60
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 21 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
กุมภาพันธ์ 2565	NDVI	Linear	$H = 1944.6\text{NDVI} - 197.89$	0.42**	0.00
		Exponential	-	-	-
		Logarithmic	$H = 412.51\ln(\text{NDVI}) + 864.49$	0.44**	0.00
		Power	-	-	-
	GNDVI	Linear	$H = 2127.9\text{GNDVI} - 212.52$	0.12	0.17
		Exponential	$H = 4.8616e^{16.976\text{GNDVI}}$	0.11	0.14
		Logarithmic	$H = 445.77\ln(\text{GNDVI}) + 932.83$	0.12	0.18
		Power	$H = 46021\text{GNDVI}^{3.5675}$	0.12	0.14
	NDII	Linear	$H = 1213.3\text{NDII} + 287.77$	0.47**	0.00
		Exponential	$H = 252.81e^{8.9989\text{NDII}}$	0.30**	0.00
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มีนาคม 2565	NDVI	Linear	$H = -437.12\text{NDVI} + 271.08$	0.07	0.19
		Exponential	$H = 216.31e^{-2.676\text{NDVI}}$	0.06	0.24
		Logarithmic	$H = -26.02\ln(\text{NDVI}) + 122.78$	0.01	0.63
		Power	$H = 84.248\text{NDVI}^{-0.183}$	0.01	0.62
	GNDVI	Linear	$H = -1238.4\text{GNDVI} + 482.84$	0.24*	0.02
		Exponential	$H = 758.52e^{-7.37\text{GNDVI}}$	0.20*	0.04
		Logarithmic	$H = -202\ln(\text{GNDVI}) - 112.43$	0.21*	0.03
		Power	$H = 21.878\text{GNDVI}^{-1.205}$	0.16	0.06
	NDII	Linear	$H = 163.51\text{NDII} + 178.39$	0.01	0.72
		Exponential	-	-	-
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 21 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
เมษายน 2565	NDVI	Linear	$H = -74.449NDVI + 111.19$	0.01	0.64
		Exponential	$H = 87.439e^{-0.258NDVI}$	0.01	0.83
		Logarithmic	$H = -8.743\ln(NDVI) + 79.729$	0.01	0.71
		Power	$H = 74.16NDVI^{-0.067}$	0.01	0.71
	GNDVI	Linear	$H = 392.85GNDVI - 3.4308$	0.03	0.46
		Exponential	$H = 12.17e^{7.5034GNDVI}$	0.02	0.08
		Logarithmic	$H = 110.55\ln(GNDVI) + 248.31$	0.04	0.43
		Power	$H = 1371.7GNDVI^{2.0498}$	0.03	0.06
	NDII	Linear	$H = 38.662NDII + 99.759$	0.00	0.94
		Exponential	$H = 89.519e^{1.6566NDII}$	0.00	0.51
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างทรงพุ่มอ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	$W = 57.302NDVI + 76.217$	0.02	0.63
		Exponential	$W = 71.013e^{0.6018NDVI}$	0.02	0.65
		Logarithmic	$W = 22.739\ln(NDVI) + 121.34$	0.03	0.54
		Power	$W = 120.3NDVI^{0.2848}$	0.04	0.49
	GNDVI	Linear	$W = -14.476GNDVI + 99.868$	0.00	0.93
		Exponential	$W = 99.339e^{-0.412GNDVI}$	0.00	0.85
		Logarithmic	$W = 3.1728\ln(GNDVI) + 98.498$	0.00	0.98
		Power	$W = 82.001GNDVI^{-0.048}$	0.00	0.94
	NDII	Linear	$W = 125.85NDII + 102.66$	0.06	0.88
		Exponential	-	-	-
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
พฤษภาคม 2564	NDVI	Linear	$W = 92.161NDVI + 72.625$	0.09	0.21
		Exponential	$W = 58.481e^{1.3998NDVI}$	0.14	0.10
		Logarithmic	$W = 50.188\ln(NDVI) + 155.83$	0.14	0.10
		Power	$W = 204NDVI^{0.7457}$	0.22*	0.03
	GNDVI	Linear	$W = 123.41GNDVI + 61.802$	0.06	0.33
		Exponential	$W = 44.247e^{2.1547GNDVI}$	0.12	0.14
		Logarithmic	$W = 64.314\ln(GNDVI) + 170.44$	0.09	0.21
		Power	$W = 282.33GNDVI^{1.0749}$	0.19	0.06
	NDII	Linear	$W = 65.87NDII + 113.01$	0.06	0.28
		Exponential	$W = 108.16e^{1.1287NDII}$	0.13	0.11
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 22 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
มิถุนายน 2564	NDVI	Linear	$W = 2.426NDVI + 129.1$	0.00	0.97
		Exponential	$W = 128.87e^{0.0117NDVI}$	0.00	0.98
		Logarithmic	$W = -2.853\ln(NDVI) + 128.35$	0.00	0.96
		Power	$W = 127.24NDVI^{-0.027}$	0.00	0.95
	GNDVI	Linear	$W = -42.701GNDVI + 150.33$	0.03	0.80
		Exponential	$W = 154.35e^{-0.373GNDVI}$	0.04	0.78
		Logarithmic	$W = -23.02\ln(GNDVI) + 112.72$	0.04	0.76
		Power	$W = 111.39GNDVI^{-0.198}$	0.05	0.74
	NDII	Linear	$W = -42.701NDII + 150.33$	0.03	0.80
		Exponential	$W = 154.35e^{-0.373NDII}$	0.04	0.78
		Logarithmic	$W = -23.02\ln(NDII) + 112.72$	0.04	0.76
		Power	$W = 111.39NDII^{-0.198}$	0.05	0.74
กรกฎาคม 2564	NDVI	Linear	$W = 112.3NDVI + 68.27$	0.18*	0.03
		Exponential	$W = 65.242e^{1.2372NDVI}$	0.22*	0.02
		Logarithmic	$W = 50.563\ln(NDVI) + 160.76$	0.21*	0.02
		Power	$W = 180.53NDVI^{0.5555}$	0.25*	0.01
	GNDVI	Linear	$W = 114.84GNDVI + 74.759$	0.06	0.23
		Exponential	$W = 69.871e^{1.2714GNDVI}$	0.08	0.18
		Logarithmic	$W = 44.35\ln(GNDVI) + 161.98$	0.06	0.26
		Power	$W = 183.95GNDVI^{0.4938}$	0.07	0.20
	NDII	Linear	$W = 136.98NDII + 111.75$	0.18*	0.03
		Exponential	$W = 105.68e^{1.464NDII}$	0.20*	0.02
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 22 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
ธันวาคม 2564	NDVI	Linear	$W = 10.412NDVI + 151.97$	0.01	0.72
		Exponential	$W = 150.66e^{0.0784NDVI}$	0.01	0.72
		Logarithmic	$W = 2.8814\ln(NDVI) + 159.35$	0.00	0.82
		Power	$W = 159.27NDVI^{0.0218}$	0.00	0.82
	GNDVI	Linear	$W = 2.5179GNDVI + 156.34$	0.00	0.97
		Exponential	$W = 156.09e^{0.0133GNDVI}$	0.00	0.99
		Logarithmic	$W = -0.148\ln(GNDVI) + 157.35$	0.00	0.98
		Power	$W = 156.6GNDVI^{-0.003}$	0.00	0.97
	NDII	Linear	$W = 25.899NDII + 154.53$	0.04	0.36
		Exponential	$W = 153.57e^{0.196NDII}$	0.04	0.36
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มกราคม 2565	NDVI	Linear	$W = 148.17NDVI + 109.12$	0.06	0.34
		Exponential	$W = 96.914e^{1.4049NDVI}$	0.04	0.42
		Logarithmic	$W = 34.773\ln(NDVI) + 195.39$	0.06	0.32
		Power	$W = 218.03NDVI^{0.3246}$	0.04	0.41
	GNDVI	Linear	$W = 175.26GNDVI + 104.17$	0.02	0.54
		Exponential	$W = 93.861e^{1.5994GNDVI}$	0.01	0.63
		Logarithmic	$W = 44.573\ln(GNDVI) + 210.18$	0.02	0.54
		Power	$W = 246.16GNDVI^{0.4045}$	0.01	0.63
	NDII	Linear	$W = 113.23NDII + 147.86$	0.05	0.32
		Exponential	$W = 139.96e^{1.0905NDII}$	0.04	0.40
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 22 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
กุมภาพันธ์ 565	NDVI	Linear	$W = 809.49\text{NDVI} - 50.114$	0.49**	0.00
		Exponential	$W = 15.681e^{8.9448\text{NDVI}}$	0.47**	0.00
		Logarithmic	$W = 172.63\ln(\text{NDVI}) + 393.74$	0.52**	0.00
		Power	$W = 2093.6\text{NDVI}^{1.901}$	0.49**	0.00
	GNDVI	Linear	$W = 973.43\text{GNDVI} - 77.206$	0.15	0.11
		Exponential	$W = 10.967e^{11.045\text{GNDVI}}$	0.15	0.11
		Logarithmic	$W = 205.17\ln(\text{GNDVI}) + 448.75$	0.15	0.12
		Power	$W = 4325.7\text{GNDVI}^{2.334}$	0.15	0.12
	NDII	Linear	$W = 506.42\text{GNDVI} + 148.8$	0.50**	0.00
		Exponential	$W = 141.09e^{5.5788\text{NDII}}$	0.47**	0.00
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มีนาคม 2565	NDVI	Linear	$W = -87.245\text{NDVI} + 127.61$	0.03	0.40
		Exponential	$W = 119.71e^{-0.835\text{NDVI}}$	0.03	0.40
		Logarithmic	$W = -3.213\ln(\text{NDVI}) + 101.34$	0.00	0.86
		Power	$W = 91.433\text{NDVI}^{-0.043}$	0.00	0.79
	GNDVI	Linear	$W = -344.97\text{GNDVI} + 197.73$	0.18	0.05
		Exponential	$W = 222.53e^{-3.098\text{GNDVI}}$	0.16	0.06
		Logarithmic	$W = -55.6\ln(\text{GNDVI}) + 32.9$	0.15	0.07
		Power	$W = 50.327\text{GNDVI}^{-0.504}$	0.14	0.09
	NDII	Linear	$W = 47.912\text{NDII} + 112.92$	0.01	0.74
		Exponential	$W = 103.89e^{0.5253\text{NDII}}$	0.01	0.70
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 22 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2565	NDVI	Linear	$W = 217.81NDVI + 40.289$	0.13	0.17
		Exponential	$W = 45.489e^{2.747NDVI}$	0.19	0.09
		Logarithmic	$W = 61.273\ln(NDVI) + 180.17$	0.14	0.15
		Power	$W = 267.37NDVI^{0.7781}$	0.21	0.08
	GNDVI	Linear	$W = 509.33GNDVI - 33.819$	0.31*	0.01
		Exponential	$W = 20.28e^{5.9359GNDVI}$	0.38*	0.01
		Logarithmic	$W = 135.06\ln(GNDVI) + 281.39$	0.32*	0.01
		Power	$W = 803.21GNDVI^{1.5781}$	0.40**	0.00
	NDII	Linear	$W = 157.45NDII + 102.84$	0.10	0.22
		Exponential	$W = 99.809e^{1.8715NDII}$	0.13	0.16
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นอ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	$SZ = 1.4242NDVI + 0.8693$	0.11	0.61
		Exponential	$SZ = 0.8776NDVI^{1.2416x}$	0.15	0.53
		Logarithmic	$SZ = 0.4915\ln(NDVI) + 1.8899$	0.13	0.57
		Power	$SZ = 2.119NDVI^{0.4211}$	0.18	0.50
	GNDVI	Linear	$SZ = 1.0415GNDVI + 0.9968$	0.03	0.75
		Exponential	$SZ = 0.9372GNDVI^{1.0448x}$	0.06	0.67
		Logarithmic	$SZ = 0.3757\ln(GNDVI) + 1.7593$	0.04	0.72
		Power	$SZ = 1.9843GNDVI^{0.3635}$	0.07	0.64
	NDII	Linear	$SZ = -1.856NDII + 1.1115$	0.12	0.58
		Exponential	$SZ = 1.1464NDII^{1.168x}$	0.08	0.64
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
พฤษภาคม 2564	NDVI	Linear	$SZ = 0.2248NDVI + 1.9614$	0.00	0.92
		Exponential	$SZ = 1.8611e^{0.1345NDVI}$	0.00	0.90
		Logarithmic	$SZ = 0.1485\ln(NDVI) + 2.1852$	0.00	0.86
		Power	$SZ = 2.1152NDVI^{0.0818}$	0.00	0.86
	GNDVI	Linear	$SZ = -1.591GNDVI + 2.7205$	0.02	0.53
		Exponential	$SZ = 2.9125e^{-0.937GNDVI}$	0.02	0.50
		Logarithmic	$SZ = -0.679\ln(GNDVI) + 1.4582$	0.02	0.54
		Power	$SZ = 1.3725GNDVI^{-0.41}$	0.02	0.50
	NDII	Linear	$SZ = -0.1433NDII + 2.0601$	0.00	0.91
		Exponential	$SZ = 1.9744e^{-0.099NDII}$	0.00	0.89
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

SZ หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับเหนือพื้นดิน 15 เซนติเมตร

ตารางที่ 23 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
มิถุนายน 2564	NDVI	Linear	$SZ = -2.28NDVI + 3.5772$	0.17	0.51
		Exponential	$SZ = 3.7041e^{-0.891NDVI}$	0.12	0.59
		Logarithmic	$SZ = -1.243\ln(NDVI) + 1.5555$	0.20	0.47
		Power	$SZ = 1.6697NDVI^{-0.495}$	0.15	0.55
	GNDVI	Linear	$SZ = -5.8188GNDVI + 5.1456$	0.37	0.28
		Exponential	$SZ = 7.535e^{-2.482GNDVI}$	0.38	0.33
		Logarithmic	$SZ = -2.712\ln(GNDVI) + 0.345$	0.38	0.27
		Power	$SZ = 0.9684GNDVI^{-1.162}$	0.38	0.32
	NDII	Linear	$SZ = 2.1439NDII + 2.0901$	0.06	0.22
		Exponential	$SZ = 1.9951e^{1.0096NDII}$	0.06	0.26
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
กรกฎาคม 2564	NDVI	Linear	$SZ = 2.145NDVI + 1.4035$	0.10	0.16
		Exponential	-	-	-
		Logarithmic	$SZ = 1.0868\ln(NDVI) + 3.2627$	0.15	0.08
		Power	-	-	-
	GNDVI	Linear	$SZ = -0.9009GNDVI + 2.9364$	0.01	0.64
		Exponential	$SZ = 2.9913e^{-0.427GNDVI}$	0.01	0.62
		Logarithmic	$SZ = -0.397\ln(GNDVI) + 2.2104$	0.01	0.61
		Power	$SZ = 2.1195GNDVI^{-0.189}$	0.01	0.59
	NDII	Linear	$SZ = -0.5684NDII + 2.5949$	0.01	0.63
		Exponential	$SZ = 2.5546e^{-0.317NDII}$	0.01	0.55
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

SZ หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับเหนือพื้นดิน 15 เซนติเมตร

ตารางที่ 23 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
ธันวาคม 2564	NDVI	Linear	$SZ = -0.5327NDVI + 3.19$	0.03	0.44
		Exponential	$SZ = 3.1847e^{-0.179NDVI}$	0.02	0.47
		Logarithmic	$SZ = -0.286\ln(NDVI) + 2.722$	0.04	0.34
		Power	$SZ = 2.7206NDVI^{-0.097}$	0.04	0.38
	GNDVI	Linear	$SZ = 0.0434GNDVI + 2.889$	0.01	0.88
		Exponential	$SZ = 2.8642e^{0.0259GNDVI}$	0.01	0.86
		Logarithmic	$SZ = -0.029\ln(GNDVI) + 2.8843$	0.00	0.97
		Power	$SZ = 2.8834GNDVI^{-0.006}$	0.00	0.94
	NDII	Linear	$SZ = -0.3218NDII + 2.9458$	0.01	0.65
		Exponential	$SZ = 2.9299e^{-0.095NDII}$	0.01	0.72
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มกราคม 2565	NDVI	Linear	$SZ = 0.1196NDVI + 2.8432$	0.00	0.91
		Exponential	$SZ = 2.8313e^{0.0469NDVI}$	0.00	0.91
		Logarithmic	$SZ = 0.054\ln(NDVI) + 2.9485$	0.00	0.81
		Power	$SZ = 2.943NDVI^{0.0193}$	0.00	0.82
	GNDVI	Linear	$SZ = 0.6139GNDVI + 2.7252$	0.01	0.67
		Exponential	$SZ = 2.7191e^{0.2167GNDVI}$	0.01	0.67
		Logarithmic	$SZ = 0.1706\ln(GNDVI) + 3.117$	0.01	0.63
		Power	$SZ = 3.1181GNDVI^{0.0593}$	0.01	0.65
	NDII	Linear	$SZ = 0.3774NDII + 2.8762$	0.01	0.64
		Exponential	$SZ = 2.8683e^{0.1487NDII}$	0.01	0.62
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

SZ หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับเหนือพื้นดิน 15 เซนติเมตร

ตารางที่ 23 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
กุมภาพันธ์ 2565	NDVI	Linear	$SZ = -0.0622NDVI + 2.8836$	0.00	0.97
		Exponential	$SZ = 2.8683e^{-0.008NDVI}$	0.00	0.99
		Logarithmic	$SZ = -0.025\ln(NDVI) + 2.8323$	0.00	0.95
		Power	$SZ = 2.8387NDVI^{-0.006}$	0.00	0.97
	GNDVI	Linear	$SZ = 0.7006GNDVI + 2.7233$	0.01	0.81
		Exponential	$SZ = 2.7146e^{0.2556GNDVI}$	0.01	0.82
		Logarithmic	$SZ = 0.1605\ln(GNDVI) + 3.122$	0.01	0.79
		Power	$SZ = 3.1365GNDVI^{0.0579}$	0.01	0.80
	NDII	Linear	$SZ = 0.4035NDII + 2.8762$	0.02	0.68
		Exponential	$SZ = 2.8709e^{0.159NDII}$	0.02	0.66
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มีนาคม 2565	NDVI	Linear	$SZ = 0.4854NDVI + 2.7906$	0.03	0.57
		Exponential	$SZ = 2.7928e^{0.1596NDVI}$	0.03	0.60
		Logarithmic	$SZ = 0.0983\ln(NDVI) + 3.0505$	0.03	0.61
		Power	$SZ = 3.0397NDVI^{0.0319}$	0.03	0.64
	GNDVI	Linear	$SZ = 0.3789GNDVI + 2.821$	0.02	0.78
		Exponential	$SZ = 2.8203e^{0.1241GNDVI}$	0.02	0.80
		Logarithmic	$SZ = 0.0136\ln(GNDVI) + 2.9252$	0.00	0.97
		Power	$SZ = 2.9134GNDVI^{0.0034}$	0.00	0.98
	NDII	Linear	$SZ = 0.6123NDII + 2.9009$	0.07	0.49
		Exponential	$SZ = 2.8949e^{0.2158NDII}$	0.07	0.49
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

SZ หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับเหนือพื้นดิน 15 เซนติเมตร

ตารางที่ 23 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2565	NDVI	Linear	$SZ = -2.4053NDVI + 2.6597$	0.05	0.80
		Exponential	$SZ = 2.4315e^{-0.806NDVI}$	0.06	0.87
		Logarithmic	$SZ = -0.859\ln(NDVI) + 0.8821$	0.08	0.75
		Power	$SZ = 1.2965NDVI^{-0.313}$	0.09	0.82
	GNDVI	Linear	$SZ = -0.2771GNDVI + 2.0667$	0.00	0.95
		Exponential	$SZ = 1.6522e^{0.601GNDVI}$	0.00	0.96
		Logarithmic	$SZ = -0.104\ln(GNDVI) + 1.8551$	0.00	0.94
		Power	$SZ = 2.3811GNDVI^{0.1547}$	0.00	0.97
	NDII	Linear	$SZ = 0.3177NDII + 1.9957$	0.00	0.99
		Exponential	$SZ = 1.9546e^{0.4308NDII}$	0.00	0.93
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

SZ หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับเหนือพื้นดิน 15 เซนติเมตร

ตารางที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์อ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
พฤษภาคม 2564	NDVI	Linear	$CHLO = 6.8992NDVI + 33.604$	0.01	0.65
		Exponential	$CHLO = 33.806e^{0.1565NDVI}$	0.01	0.71
		Logarithmic	$CHLO = 3.951\ln(NDVI) + 39.999$	0.02	0.51
		Power	$CHLO = 39.419NDVI^{0.0994}$	0.02	0.55
	GNDVI	Linear	$CHLO = 16.293GNDVI + 29.933$	0.02	0.54
		Exponential	$CHLO = 30.929e^{0.3835GNDVI}$	0.02	0.61
		Logarithmic	$CHLO = 7.6743\ln(GNDVI) + 43.529$	0.03	0.46
		Power	$CHLO = 43.121GNDVI^{0.1941}$	0.03	0.50
	NDII	Linear	$CHLO = 8.4665NDII + 36.692$	0.02	0.51
		Exponential	$CHLO = 36.28e^{0.2245NDII}$	0.02	0.52
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มิถุนายน 2564	NDVI	Linear	$CHLO = 0.1309NDVI + 37.754$	0.00	1.00
		Exponential	$CHLO = 37.738e^{0.0011NDVI}$	0.00	0.99
		Logarithmic	$CHLO = 0.5975\ln(NDVI) + 38.269$	0.00	0.92
		Power	$CHLO = 38.17NDVI^{0.0143}$	0.00	0.92
	GNDVI	Linear	$CHLO = 6.8268GNDVI + 34.715$	0.04	0.72
		Exponential	$CHLO = 34.957e^{0.1696GNDVI}$	0.03	0.73
		Logarithmic	$CHLO = 3.3787\ln(GNDVI) + 40.51$	0.04	0.70
		Power	$CHLO = 40.377GNDVI^{0.0841}$	0.04	0.71
	NDII	Linear	$CHLO = -2.8914NDII + 39.133$	0.01	0.55
		Exponential	$CHLO = 38.946e^{-0.085NDII}$	0.01	0.52
		Logarithmic	$CHLO = -1.168\ln(NDII) + 36.731$	0.02	0.44
		Power	$CHLO = 36.331NDII^{-0.034}$	0.02	0.42

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 24 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
กรกฎาคม 2564	NDVI	Linear	$CHLO = -10.634NDVI + 41.702$	0.03	0.36
		Exponential	$CHLO = 41.623e^{-0.298NDVI}$	0.03	0.36
		Logarithmic	$CHLO = -3.359\ln(NDVI) + 34.031$	0.02	0.49
		Power	$CHLO = 33.503NDVI^{-0.097}$	0.02	0.48
	GNDVI	Linear	$CHLO = -17.486GNDVI + 44.095$	0.03	0.38
		Exponential	$CHLO = 44.403e^{-0.485GNDVI}$	0.03	0.38
		Logarithmic	$CHLO = -7.047\ln(GNDVI) + 30.562$	0.03	0.38
		Power	$CHLO = 30.468GNDVI^{-0.197}$	0.03	0.38
	NDII	Linear	$CHLO = -10.048NDII + 37.346$	0.02	0.48
		Exponential	$CHLO = 36.809e^{-0.271NDII}$	0.02	0.49
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
ธันวาคม 2564	NDVI	Linear	$CHLO = 1.8911NDVI + 41.069$	0.00	0.84
		Exponential	$CHLO = 41e^{0.0434NDVI}$	0.00	0.85
		Logarithmic	$CHLO = 0.2002\ln(NDVI) + 42.2$	0.00	0.96
		Power	$CHLO = 42.041NDVI^{0.0033}$	0.00	0.98
	GNDVI	Linear	$CHLO = 6.8152GNDVI + 39.031$	0.01	0.59
		Exponential	$CHLO = 38.955e^{0.1662GNDVI}$	0.01	0.59
		Logarithmic	$CHLO = 2.3148\ln(GNDVI) + 43.955$	0.01	0.65
		Power	$CHLO = 43.901GNDVI^{0.0558}$	0.01	0.66
	NDII	Linear	$CHLO = 1.9152NDII + 41.846$	0.00	0.82
		Exponential	$CHLO = 41.725e^{0.0463NDII}$	0.00	0.83
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 24 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
มกราคม 2565	NDVI	Linear	$CHLO = -6.9104NDVI + 39.733$	0.01	0.68
		Exponential	$CHLO = 39.514e^{-0.173NDVI}$	0.01	0.69
		Logarithmic	$CHLO = -1.481\ln(NDVI) + 35.911$	0.01	0.70
		Power	$CHLO = 35.873NDVI^{-0.038}$	0.01	0.71
	GNDVI	Linear	$CHLO = -9.5661GNDVI + 40.28$	0.01	0.83
		Exponential	$CHLO = 40.054e^{-0.239GNDVI}$	0.01	0.85
		Logarithmic	$CHLO = -2.754\ln(GNDVI) + 34.037$	0.01	0.80
		Power	$CHLO = 34.204GNDVI^{-0.07}$	0.01	0.81
	NDII	Linear	$CHLO = -8.6595NDII + 37.889$	0.03	0.49
		Exponential	$CHLO = 37.731e^{-0.214NDII}$	0.03	0.51
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
กุมภาพันธ์ 2565	NDVI	Linear	$CHLO = -33.634NDVI + 42.173$	0.15	0.07
		Exponential	$CHLO = 42.152e^{-0.901NDVI}$	0.16	0.08
		Logarithmic	$CHLO = -7.605\ln(NDVI) + 23.043$	0.18	0.05
		Power	$CHLO = 25.16NDVI^{-0.206}$	0.19*	0.04
	GNDVI	Linear	$CHLO = -39.886GNDVI + 43.186$	0.05	0.39
		Exponential	$CHLO = 42.622e^{-0.989GNDVI}$	0.05	0.45
		Logarithmic	$CHLO = -8.8\ln(GNDVI) + 21.003$	0.05	0.37
		Power	$CHLO = 24.576GNDVI^{-0.219}$	0.05	0.43
	NDII	Linear	$CHLO = -20.526NDII + 33.938$	0.15	0.09
		Exponential	$CHLO = 33.787e^{-0.56NDII}$	0.15	0.09
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 24 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
มีนาคม 2565	NDVI	Linear	$CHLO = -5.5505NDVI + 40.35$	0.01	0.52
		Exponential	$CHLO = 40.164e^{-0.142NDVI}$	0.01	0.52
		Logarithmic	$CHLO = -1.187\ln(NDVI) + 37.192$	0.03	0.36
		Power	$CHLO = 37.02NDVI^{-0.031}$	0.03	0.36
	GNDVI	Linear	$CHLO = 8.7045GNDVI + 35.757$	0.01	0.55
		Exponential	$CHLO = 35.753e^{0.2156GNDVI}$	0.01	0.57
		Logarithmic	$CHLO = 1.5707\ln(GNDVI) + 40.158$	0.02	0.56
		Power	$CHLO = 39.845GNDVI^{0.0385}$	0.02	0.58
	NDII	Linear	$CHLO = 1.3328NDII + 37.893$	0.00	0.09
		Exponential	$CHLO = 37.693e^{0.0627NDII}$	0.00	0.83
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
เมษายน 2565	NDVI	Linear	$CHLO = -44.949NDVI + 50.742$	0.26*	0.04
		Exponential	$CHLO = 52.593e^{-1.161NDVI}$	0.27*	0.04
		Logarithmic	$CHLO = -12.81\ln(NDVI) + 21.709$	0.27*	0.04
		Power	$CHLO = 24.896NDVI^{-0.329}$	0.27*	0.04
	GNDVI	Linear	$CHLO = -94.281GNDVI + 63.207$	0.57**	0.00
		Exponential	$CHLO = 72.247e^{-2.418 \times GNDVI}$	0.58*	0.00
		Logarithmic	$CHLO = -24.82\ln(GNDVI) + 5.1126$	0.58	0.00*
		Power	$CHLO = 16.337GNDVI^{-0.634}$	0.59*	0.00
	NDII	Linear	$CHLO = -33.294NDII + 37.732$	0.25	0.06
		Exponential	$CHLO = 37.574e^{-0.871NDII}$	0.25	0.06
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

2) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะชีพลักษณ์ของมันสำปะหลัง
ค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม sentinel 2 มีความสัมพันธ์
กับลักษณะชีพลักษณ์ของมันสำปะหลังในบางเดือน ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

2.1) ความสูง พ.ศ. 2564 พบความสัมพันธ์ระดับน้อยมาก ถึง สูง ขณะที่ พ.ศ. 2565
ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์กับความสูงน้อยมาก (ตารางที่ 25) โดยความสัมพันธ์ระดับสูงมีดังนี้

2.1.1) เดือนพฤษภาคม 2564 ซึ่งความสัมพันธ์สูงสุดได้แก่ค่า GNDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Exponential และ Power โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.47 และค่า p-value เท่ากับ 0.00

2.1.2) เดือนมิถุนายน 2564 ค่าดัชนีพืชพรรณทั้งหมดมีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง
ซึ่งดัชนี GNDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Linear ความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.62 และค่า p-value
เท่ากับ 0.04

ดังนั้นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ในเดือนพฤษภาคม 2564 เดือนมิถุนายน 2564
และเดือนเมษายน 2565 มีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าความสูงของมันสำปะหลัง

2.2) ความกว้างทรงพุ่ม (ตารางที่ 26) พ.ศ. 2564 พบความสัมพันธ์ระดับต่ำ ถึง ปานกลาง
ขณะที่ พ.ศ. 2565 ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์กับกว้างทรงพุ่มระดับต่ำมาก

2.2.1) เดือนกรกฎาคม 2564 ซึ่งความสัมพันธ์สูงสุดได้แก่ค่า NDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Power โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.38 และค่า p-value เท่ากับ 0.00

2.2.2) เดือนเมษายน 2565 ค่าดัชนีพืชพรรณทั้งหมดมีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง
ซึ่งดัชนี NDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Power ความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.12 และค่า p-value
เท่ากับ 0.01

2.3) ความขนาดลำต้น พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 พบความสัมพันธ์ระดับน้อยมาก ถึง
ปานกลาง (ตารางที่ 27)

2.3.1) เดือนเมษายน 2564 ความสัมพันธ์สูงสุด ได้แก่ ค่า NDII ที่มีความสัมพันธ์
แบบ Linear และ Exponential โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.29 และค่า p-value เท่ากับ 0.01

2.3.2) เดือนเมษายน 2565 ความสัมพันธ์สูงสุด ได้แก่ ค่า NDII ที่มีความสัมพันธ์
แบบ Linear โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.13 และค่า p-value เท่ากับ 0.01

2.4) ปริมาณคลอโรฟิลล์ ทั้ง พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 พบความสัมพันธ์ระดับต่ำมาก
(ตารางที่ 28)

จากการศึกษาพบว่าชีพลักษณ์บางชีพลักษณ์ของมันสำปะหลังมีความสัมพันธ์กับ
ค่าดัชนีพืชพรรณและมีความสัมพันธ์เพียงบางเดือนซึ่งสอดคล้องกับ Cilek and Berberoglu (2018) ที่รายงาน
ว่าค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืชในบางฤดูกาล ดังนั้นจากการศึกษาข้อมูลภาพถ่าย
ดาวเทียม Sentinel 2 ในเดือนพฤษภาคม 2564 และมิถุนายน 2564 มีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลอง
สำหรับประมาณค่าความสูงของมันสำปะหลัง ขณะที่เดือนเมษายน 2565 สามารถใช้ทำแบบจำลองได้แต่ความ
ถูกต้องยังต่ำ เดือนเมษายน 2565 สามารถใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าขนาดทรงพุ่มได้แต่ความถูกต้อง
ยังอยู่ระดับปานกลาง

ตารางที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงมันสำปะหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	$H = 198.04NDVI + 42.534$	0.07	0.16
		Exponential	$H = 43.228e^{2.2135NDVI}$	0.07	0.13
		Logarithmic	$H = 66.477\ln(NDVI) + 183.57$	0.07	0.14
		Power	$H = 229.5NDVI^{0.8274}$	0.07	0.08
	GNDVI	Linear	$H = 471.45GNDVI - 59.611$	0.21*	0.02
		Exponential	$H = 14.303e^{5.173GNDVI}$	0.22*	0.01
		Logarithmic	$H = 156.2\ln(GNDVI) + 271.76$	0.19*	0.02
		Power	$H = 552.51GNDVI^{1.7312}$	0.21*	0.01
	NDII	Linear	$H = 365.19NDII + 130.48$	0.12	0.05
		Exponential	$H = 120.48e^{4.7531NDII}$	0.19*	0.02
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
พฤษภาคม 2564	NDVI	Linear	$H = 198.87NDVI + 20.637$	0.12*	0.02
		Exponential	$H = 28.588e^{2.5293NDVI}$	0.11**	0.00
		Logarithmic	$H = 74.675\ln(NDVI) + 172.72$	0.12*	0.02
		Power	$H = 201.86NDVI^{0.9732}$	0.12**	0.00
	GNDVI	Linear	$H = 611.03GNDVI - 154.33$	0.34**	0.00
		Exponential	$H = 4.1475e^{7.0847GNDVI}$	0.47**	0.00
		Logarithmic	$H = 248.03\ln(GNDVI) + 320.91$	0.35**	0.00
		Power	$H = 1048GNDVI^{2.9013}$	0.47**	0.00
	NDII	Linear	$H = 468.11NDII + 96.819$	0.39**	0.00
		Exponential	$H = 76.888e^{5.0984NDII}$	0.46**	0.00
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 25 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
มิถุนายน 2564	NDVI	Linear	$H = 204.99NDVI + 8.8637$	0.61	0.22
		Exponential	-	0.51	0.29
		Logarithmic	$H = 68.624\ln(NDVI) + 155.47$	0.55	0.26
		Power	-	0.44	0.34
	GNDVI	Linear	$H = 820.15GNDVI - 315.37$	0.62*	0.04
		Exponential	$H = 0.7869e^{9.159GNDVI}$	0.55*	0.04
		Logarithmic	$H = 401.91\ln(GNDVI) + 376.22$	0.60	0.05
		Power	$H = 1849.4GNDVI^{4.5469}$	0.54*	0.04
	NDII	Linear	$H = 708.77NDII - 252.25$	0.56*	0.04
		Exponential	$H = 3.7581e^{6.3998NDII}$	0.55*	0.04
		Logarithmic	$H = 344.56\ln(NDII) + 343.82$	0.52	0.05
		Power	$H = 851.64NDII^{3.1743}$	0.54*	0.04
กรกฎาคม 2564	NDVI	Linear	$H = 107.37NDVI + 58.362$	0.04	0.11
		Exponential	-	-	-
		Logarithmic	$H = 44.702\ln(NDVI) + 144.48$	0.06	0.05
		Power	-	-	-
	GNDVI	Linear	$H = 253.48GNDVI - 1.252$	0.07*	0.03
		Exponential	$H = 16.735e^{3.9347GNDVI}$	0.17**	0.00
		Logarithmic	$H = 104.01\ln(GNDVI) + 196.89$	0.08*	0.02
		Power	$H = 363.21GNDVI^{1.6165}$	0.19**	0.00
	NDII	Linear	$H = 242.15NDII + 99.988$	0.10*	0.02
		Exponential	$H = 81.292e^{3.4123NDII}$	0.17**	0.00
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 25 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
สิงหาคม 2564	NDVI	Linear	$H = -50.957NDVI + 137.7$	0.01	0.74
		Exponential	$H = 149.21e^{-0.82NDVI}$	0.02	0.69
		Logarithmic	$H = -12.1\ln(NDVI) + 103.55$	0.00	0.83
		Power	$H = 82.405NDVI^{-0.258}$	0.00	0.79
	GNDVI	Linear	$H = 226.59GNDVI + 13.55$	0.03	0.46
		Exponential	$H = 27.186e^{2.9079GNDVI}$	0.06	0.30
		Logarithmic	$H = 110.17\ln(GNDVI) + 203.79$	0.03	0.46
		Power	$H = 310.28GNDVI^{1.4053}$	0.06	0.30
	NDII	Linear	$H = 34.969NDII + 115.05$	0.00	0.80
		Exponential	$H = 96.905e^{0.8277NDII}$	0.01	0.59
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
พฤศจิกายน 2564	NDVI	Linear	$H = -63.714NDVI + 193.95$	0.02	0.64
		Exponential	$H = 162.7e^{-0.136NDVI}$	0.00	0.89
		Logarithmic	$H = -30.63\ln(NDVI) + 139.69$	0.01	0.7
		Power	$H = 147.63NDVI^{-0.028}$	0.00	0.96
	GNDVI	Linear	$H = 58.245GNDVI + 123.02$	0.01	0.82
		Exponential	$H = 107.97e^{0.6012GNDVI}$	0.01	0.72
		Logarithmic	$H = 34.77\ln(GNDVI) + 176.33$	0.01	0.78
		Power	$H = 185.52GNDVI^{0.3456}$	0.02	0.68
	NDII	Linear	$H = 31.596NDII + 146.75$	0.00	0.78
		Exponential	$H = 136.65e^{0.376NDII}$	0.02	0.69
		Logarithmic	$H = 11.026\ln(NDII) + 172.59$	0.01	0.53
		Power	$H = 175.44NDII^{0.0993}$	0.04	0.42

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 25 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
ธันวาคม 2564	NDVI	Linear	$H = 72.148NDVI + 106.91$	0.01	0.44
		Exponential	$H = 63.8e^{1.3136NDVI}$	0.04	0.11
		Logarithmic	$H = 40.461\ln(NDVI) + 171.45$	0.01	0.37
		Power	$H = 197.98NDVI^{0.6702}$	0.05	0.09
	GNDVI	Linear	$H = 235.35GNDVI + 33$	0.04	0.18
		Exponential	$H = 27.97e^{3.1944GNDVI}$	0.09*	0.03
		Logarithmic	$H = 113.35\ln(GNDVI) + 229.82$	0.04	0.18
		Power	$H = 407.21GNDVI^{1.5476}$	0.09*	0.03
	NDII	Linear	$H = 41.062NDII + 142.47$	0.00	0.69
		Exponential	$H = 119.64e^{1.0059NDII}$	0.00	0.29
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มกราคม 2565	NDVI	Linear	$H = 77.146NDVI + 107.27$	0.00	0.65
		Exponential	$H = 69.085e^{1.6739NDVI}$	0.00	0.37
		Logarithmic	$H = 17.249\ln(NDVI) + 150.81$	0.01	0.69
		Power	$H = 176.3NDVI^{0.3692}$	0.01	0.43
	GNDVI	Linear	$H = 153.79GNDVI + 87.67$	0.00	0.56
		Exponential	$H = 46.871e^{3.18GNDVI}$	0.02	0.27
		Logarithmic	$H = 50.101\ln(GNDVI) + 196.66$	0.01	0.49
		Power	$H = 413.9GNDVI^{0.9837}$	0.03	0.22
	NDII	Linear	$H = 0.0556NDII + 122.21$	0.00	0.73
		Exponential	$H = 96.504e^{0.0009NDII}$	0.01	0.98
		Logarithmic	$H = 5.1063\ln(NDII) + 107.36$	0.01	-
		Power	$H = 78.478NDII^{0.0729}$	0.00	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 25 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
กุมภาพันธ์ 565	NDVI	Linear	$H = 110.93NDVI + 90.528$	0.00	0.61
		Exponential	$H = 77.976e^{0.7873NDVI}$	0.00	0.71
		Logarithmic	$H = 12.135\ln(NDVI) + 132.2$	0.00	0.73
		Power	$H = 101.82NDVI^{0.0686}$	0.00	0.81
	GNDVI	Linear	$H = 40.928x + 103.86$	0.00	0.99
		Exponential	$H = 86.065e^{0.2704GNDVI}$	0.00	0.99
		Logarithmic	$H = 11.062\ln(GNDVI) + 129.87$	0.00	0.99
		Power	$H = 104.02GNDVI^{0.0841}$	0.00	0.98
	NDII	Linear	$H = -59.446NDII + 106.96$	0.00	0.77
		Exponential	$H = 82.096e^{-1.167NDII}$	0.00	0.60
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มีนาคม 2565	NDVI	Linear	$H = 183.31NDVI + 57.333$	0.03	0.21
		Exponential	$H = 49.007e^{2.2787NDVI}$	0.05	0.12
		Logarithmic	$H = 50.412\ln(NDVI) + 174.12$	0.03	0.18
		Power	$H = 229.34NDVI^{0.7016}$	0.07	0.06
	GNDVI	Linear	$H = 233.88GNDVI + 47.856$	0.02	0.40
		Exponential	$H = 43.823e^{2.8856GNDVI}$	0.03	0.28
		Logarithmic	$H = 63.283\ln(GNDVI) + 194.33$	0.02	0.39
		Power	$H = 290.1GNDVI^{0.8449}$	0.03	0.23
	NDII	Linear	$H = 238.44NDII + 108.39$	0.04	0.17
		Exponential	$H = 92.982e^{2.6379NDII}$	0.05	0.13
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 25 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2565	NDVI	Linear	$H = 103.82NDVI + 62.689$	0.01	0.51
		Exponential	$H = 47.859e^{1.6359NDVI}$	0.02	0.38
		Logarithmic	$H = 29.41\ln(NDVI) + 129.83$	0.01	0.46
		Power	$H = 140.12NDVI^{0.4754}$	0.02	0.32
	GNDVI	Linear	$H = 386.47GNDVI - 13.799$	0.04	0.12
		Exponential	$H = 22.074e^{4.4864GNDVI}$	0.03	0.14
		Logarithmic	$H = 118.02\ln(GNDVI) + 245.69$	0.05	0.09
		Power	$H = 448.21GNDVI^{1.369}$	0.04	0.11
	NDII	Linear	$H = 389.43NDII + 96.471$	0.14*	0.01
		Exponential	$H = 80.005e^{4.9917NDII}$	0.15**	0.00
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างทรงพุ่มไม้ป่าหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	$W = 25.744\text{NDVI} + 73.575$	0.01	0.71
		Exponential	$W = 75.032e^{0.0759\text{NDVI}}$	0.00	0.93
		Logarithmic	$W = 3.7919\ln(\text{NDVI}) + 86.76$	0.00	0.86
		Power	$W = 75.475\text{NDVI}^{-0.02}$	0.00	0.96
	GNDVI	Linear	$W = 245.8\text{GNDVI} - 4.2094$	0.24*	0.01
		Exponential	$W = 24.503\text{GNDVI}^{3.2415\text{GNDVI}}$	0.22*	0.02
		Logarithmic	$W = 82.379\ln(\text{GNDVI}) + 169.43$	0.22*	0.02
		Power	$W = 243.13\text{GNDVI}^{1.091}$	0.20*	0.03
	NDII	Linear	$W = 69.993\text{NDII} + 87.5$	0.02	0.4
		Exponential	$W = 83.188e^{1.1112\text{NDII}}$	0.03	0.34
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
พฤษภาคม 2564	NDVI	Linear	$W = 17.631\text{NDVI} + 73.96$	0.01	0.63
		Exponential	$W = 73.433e^{0.0995\text{NDVI}}$	0.00	0.85
		Logarithmic	$W = 5.0587\ln(\text{NDVI}) + 86.204$	0.00	0.72
		Power	$W = 78.44\text{NDVI}^{0.0248}$	0.00	0.91
	GNDVI	Linear	$W = 65.22\text{GNDVI} + 53.616$	0.02	0.35
		Exponential	$W = 58.891e^{0.6111\text{GNDVI}}$	0.01	0.53
		Logarithmic	$W = 26.032\ln(\text{GNDVI}) + 103.95$	0.02	0.37
		Power	$W = 95.004\text{GNDVI}^{0.2518}$	0.01	0.53
	NDII	Linear	$W = 21.132\text{NDII} + 81.323$	0.00	0.70
		Exponential	$W = 76.748e^{0.0403\text{NDII}}$	0.00	0.99
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 26 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
มิถุนายน 2564	NDVI	Linear	$W = 34.052NDVI + 82.128$	0.07	0.44
		Exponential	$W = 85.027e^{0.2826NDVI}$	0.05	0.53
		Logarithmic	$W = 10.683\ln(NDVI) + 107.33$	0.04	0.58
		Power	$W = 104.51NDVI^{0.0846}$	0.02	0.66
	GNDVI	Linear	$W = 53.076GNDVI + 73.32$	0.06	0.50
		Exponential	$W = 79.536e^{0.4278GNDVI}$	0.04	0.59
		Logarithmic	$W = 18.407\ln(NDII) + 112.9$	0.03	0.61
		Power	$W = 108.86GNDVI^{0.1409}$	0.02	0.7
	NDII	Linear	$W = 34.213NDII + 85.914$	0.01	0.45
		Exponential	$W = 82.805e^{0.227NDII}$	0.00	0.69
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
กรกฎาคม 2564	NDVI	Linear	$W = 104.89NDVI + 38.652$	0.25**	0.00
		Exponential	$W = 38.007e^{1.7139NDVI}$	0.33**	0.00
		Logarithmic	$W = 38.153\ln(NDVI) + 117.79$	0.27**	0.00
		Power	$W = 140.81NDVI^{0.6422}$	0.38**	0.00
	GNDVI	Linear	$W = 188.37GNDVI + 3.584$	0.27**	0.00
		Exponential	$W = 22.049e^{3.0112GNDVI}$	0.33**	0.00
		Logarithmic	$W = 75.732\ln(GNDVI) + 149.5$	0.28**	0.00
		Power	$W = 230.35GNDVI^{1.2266}$	0.36**	0.00
	NDII	Linear	$W = 137.17NDII + 79.749$	0.22**	0.00
		Exponential	$W = 74.517e^{2.1854NDII}$	0.27**	0.00
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 26 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
สิงหาคม 2564	NDVI	Linear	$W = 46.441NDVI + 63.338$	0.03	0.48
		Exponential	$W = 60.272e^{0.6591NDVI}$	0.03	0.41
		Logarithmic	$W = 25.011\ln(NDVI) + 104.14$	0.03	0.46
		Power	$W = 107.55NDVI^{0.3549}$	0.04	0.39
	GNDVI	Linear	$W = 132.29GNDVI + 25.629$	0.08	0.24
		Exponential	$W = 37.406e^{1.7513GNDVI}$	0.08	0.20
		Logarithmic	$W = 65.563\ln(GNDVI) + 137.67$	0.08	0.23
		Power	$W = 164.71GNDVI^{0.8669}$	0.09	0.19
	NDII	Linear	$W = -21.32NDII + 88.373$	0.01	0.73
		Exponential	$W = 84.998e^{-0.165NDII}$	0.00	0.83
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
พฤศจิกายน 2564	NDVI	Linear	$W = -40.072NDVI + 126.67$	0.06	0.37
		Exponential	-	-	0.36
		Logarithmic	$W = -21.96\ln(NDVI) + 91.168$	0.06	0.41
		Power	-	-	0.40
	GNDVI	Linear	$W = -73.901GNDVI + 139.62$	0.10	0.24
		Exponential	$W = 147.37e^{-0.737GNDVI}$	0.11	0.23
		Logarithmic	$W = -36\ln(GNDVI) + 77.492$	0.10	0.25
		Power	$W = 79.349GNDVI^{-0.359}$	0.10	0.24
	NDII	Linear	$W = -30.203NDII + 107.66$	0.04	0.52
		Exponential	$W = 107.33e^{-0.309NDII}$	0.04	0.50
		Logarithmic	-	-	0.67
		Power	-	-	0.66

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 26 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
ธันวาคม 2564	NDVI	Linear	$W = 86.873\text{NDVI} + 52.231$	0.09*	0.02
		Exponential	$W = 48.649e^{1.2359\text{NDVI}}$	0.12*	0.01
		Logarithmic	$W = 45.86\ln(\text{NDVI}) + 128.07$	0.10*	0.01
		Power	$W = 143.06\text{NDVI}^{0.6519}$	0.13*	0.01
	GNDVI	Linear	$W = 139.77\text{GNDVI} + 32.821$	0.08*	0.04
		Exponential	$W = 36.417e^{2.0168\text{GNDVI}}$	0.10*	0.02
		Logarithmic	$W = 67.804\ln(\text{GNDVI}) + 150.06$	0.08*	0.04
		Power	$W = 198.32\text{GNDVI}^{0.9827}$	0.11*	0.02
	NDII	Linear	$W = 48.251\text{NDII} + 95.926$	0.02	0.26
		Exponential	$W = 90.343e^{0.7224}$	0.03	0.18
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มกราคม 2565	NDVI	Linear	$W = 140.92\text{NDVI} + 55.209$	0.05	0.08
		Exponential	$W = 48.298e^{2.1065\text{NDVI}}$	0.05	0.09
		Logarithmic	$W = 34.228\ln(\text{NDVI}) + 138.83$	0.05	0.08
		Power	$W = 169.79\text{NDVI}^{0.5164}$	0.05	0.09
	GNDVI	Linear	$W = 190.95\text{GNDVI} + 41.375$	0.04	0.12
		Exponential	$W = 38.435e^{2.9451\text{GNDVI}}$	0.04	0.12
		Logarithmic	$W = 56.565\ln(\text{GNDVI}) + 168.57$	0.05	0.09
		Power	$W = 274.63\text{GNDVI}^{0.8757}$	0.05	0.09
	NDII	Linear	$W = 104.04\text{NDII} + 94.249$	0.02	0.36
		Exponential	$W = 84.195e^{1.1654\text{NDII}}$	0.01	0.51
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 26 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
กุมภาพันธ์ 565	NDVI	Linear	$W = 124.34NDVI + 56.579$	0.02	0.28
		Exponential	$W = 56.199e^{1.3497NDVI}$	0.01	0.44
		Logarithmic	$W = 20.27\ln(NDVI) + 114.34$	0.01	0.38
		Power	$W = 105.48NDVI^{0.2216}$	0.00	0.53
	GNDVI	Linear	$W = 116.99GNDVI + 57.31$	0.01	0.58
		Exponential	$W = 58.511e^{1.1105GNDVI}$	0.00	0.72
		Logarithmic	$W = 23.905\ln(GNDVI) + 119.31$	0.01	0.58
		Power	$W = 106.05GNDVI^{0.2307}$	0.00	0.72
	NDII	Linear	$W = 75.854NDII + 87.462$	0.01	0.45
		Exponential	$W = 76.057e^{0.4356NDII}$	0.00	0.81
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มีนาคม 2565	NDVI	Linear	$W = 83.195NDVI + 58.481$	0.04	0.14
		Exponential	$W = 51.739e^{1.4167NDVI}$	0.05	0.09
		Logarithmic	$W = 24.824\ln(NDVI) + 113.86$	0.05	0.10
		Power	$W = 134.46NDVI^{0.4325}$	0.07	0.05
	GNDVI	Linear	$W = 128.81GNDVI + 47.95$	0.03	0.20
		Exponential	$W = 43.634e^{2.161GNDVI}$	0.04	0.14
		Logarithmic	$W = 36.072\ln(GNDVI) + 130.2$	0.03	0.18
		Power	$W = 176.05GNDVI^{0.6168}$	0.05	0.12
	NDII	Linear	$W = 63.328NDII + 82.336$	0.01	0.32
		Exponential	$W = 77.747e^{1.0243NDII}$	0.02	0.28
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 26 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2565	NDVI	Linear	$W = 165.39NDVI + 27.474$	0.09*	0.02
		Exponential	$W = 29.55e^{2.92NDVI}$	0.09*	0.02
		Logarithmic	$W = 44.862\ln(NDVI) + 131.82$	0.11*	0.01
		Power	$W = 186.88 NDVI^{0.7936}$	0.12*	0.01
	GNDVI	Linear	$W = 147.26GNDVI + 32.046$	0.02	0.31
		Exponential	$W = 34.155e^{2.3603GNDVI}$	0.01	0.35
		Logarithmic	$W = 43.51\ln(GNDVI) + 129$	0.02	0.28
		Power	$W = 162.61GNDVI^{0.7022}$	0.02	0.31
	NDII	Linear	$W = 166.72NDII + 74.824$	0.10*	0.02
		Exponential	$W = 68.074e^{2.8718NDII}$	0.10*	0.01
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นมันสำปะหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	$SZ = 4.1464NDVI + 0.149$	0.29*	0.01
		Exponential	$SZ = 0.5805e^{2.7002NDVI}$	0.29*	0.01
		Logarithmic	$SZ = 1.3868\ln(NDVI) + 3.0866$	0.27*	0.01
		Power	$SZ = 3.9321NDVI^{0.9031}$	0.29*	0.02
	GNDVI	Linear	$SZ = 4.438GNDVI + 0.0622$	0.19*	0.03
		Exponential	$SZ = 0.5769e^{2.751GNDVI}$	0.21	0.05
		Logarithmic	$SZ = 1.4473\ln(GNDVI) + 3.1534$	0.17*	0.04
		Power	$SZ = 3.9234GNDVI^{0.898}$	0.19	0.07
	NDII	Linear	$SZ = 3.5107NDII + 1.8452$	0.13	0.07
		Exponential	$SZ = 1.7655e^{2.3845NDII}$	0.16	0.07
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
พฤษภาคม 2564	NDVI	Linear	$SZ = 1.3042NDVI + 1.0722$	0.08	0.10
		Exponential	$SZ = 1.0555e^{0.8802NDVI}$	0.09	0.10
		Logarithmic	$SZ = 0.3432\ln(NDVI) + 1.9346$	0.04	0.24
		Power	$SZ = 1.9169NDVI^{0.248}$	0.05	0.21
	GNDVI	Linear	$SZ = 2.6164GNDVI + 0.5249$	0.09	0.08
		Exponential	$SZ = 0.7133e^{1.8194GNDVI}$	0.10	0.07
		Logarithmic	$SZ = 1.0079\ln(GNDVI) + 2.5091$	0.08	0.10
		Power	$SZ = 2.886GNDVI^{0.7214}$	0.09	0.08
	NDII	Linear	$SZ = 2.0898NDII + 1.6055$	0.11*	0.04
		Exponential	$SZ = 1.514e^{1.3342NDII}$	0.13	0.06
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

SZ หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับเหนือพื้นดิน 15 เซนติเมตร

ตารางที่ 27 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
มิถุนายน 2564	NDVI	Linear	SZ = -1.0074NDVI + 2.4179	0.08	0.48
		Exponential	SZ = 2.4531e ^{-0.566NDVI}	0.08	0.45
		Logarithmic	SZ = -0.416ln(NDVI) + 1.6054	0.07	0.50
		Power	SZ = 1.5437NDVI ^{-0.243}	0.07	0.46
	GNDVI	Linear	SZ = -1.7802GNDVI + 2.7746	0.08	0.47
		Exponential	SZ = 2.9162e ^{-0.944GNDVI}	0.08	0.48
		Logarithmic	SZ = -0.826ln(GNDVI) + 1.301	0.08	0.47
		Power	SZ = 1.3257GNDVI ^{-0.447}	0.08	0.46
	NDII	Linear	SZ = 1.272NDII + 1.7334	0.05	0.16
		Exponential	SZ = 1.6576e ^{0.7861NDII}	0.05	0.12
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
กรกฎาคม 2564	NDVI	Linear	SZ = 1.2555NDVI + 1.0309	0.09*	0.02
		Exponential	SZ = 0.9289e ^{1.0943NDVI}	0.08*	0.01
		Logarithmic	SZ = 0.4904ln(NDVI) + 2.0039	0.09*	0.02
		Power	SZ = 2.162NDVI ^{0.4236}	0.09*	0.01
	GNDVI	Linear	SZ = 2.0795GNDVI + 0.6976	0.08*	0.03
		Exponential	SZ = 0.7006e ^{1.7928GNDVI}	0.07*	0.01
		Logarithmic	SZ = 0.8604ln(GNDVI) + 2.3273	0.08*	0.03
		Power	SZ = 2.838GNDVI ^{0.7347}	0.08*	0.01
	NDII	Linear	SZ = 1.9597NDII + 1.5154	0.11*	0.01
		Exponential	SZ = 1.428e ^{1.5099NDII}	0.10*	0.01
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

SZ หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับเหนือพื้นดิน 15 เซนติเมตร

ตารางที่ 27 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
สิงหาคม 2564	NDVI	Linear	$SZ = 2.5753NDVI + 0.3249$	0.14	0.07
		Exponential	$SZ = 0.577e^{1.9484NDVI}$	0.13	0.05
		Logarithmic	$SZ = 1.39\ln(NDVI) + 2.5897$	0.16	0.06
		Power	$SZ = 3.2414NDVI^{1.0692}$	0.14*	0.04
	GNDVI	Linear	$SZ = 4.4189GNDVI - 0.4247$	0.15	0.08
		Exponential	$SZ = 0.3364e^{3.2834GNDVI}$	0.14	0.06
		Logarithmic	$SZ = 2.1921\ln(GNDVI) + 3.3188$	0.16	0.08
		Power	$SZ = 5.5189GNDVI^{1.6494}$	0.15	0.05
	NDII	Linear	$SZ = 1.1862NDII + 1.5155$	0.03	0.41
		Exponential	$SZ = 1.3995e^{1.0753NDII}$	0.03	0.28
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
พฤศจิกายน 2564	NDVI	Linear	$SZ = 0.207NDVI + 1.7081$	0.00	0.88
		Exponential	$SZ = 1.5106e^{0.29NDVI}$	0.00	0.68
		Logarithmic	$SZ = 0.1481\ln(NDVI) + 1.9086$	0.00	0.85
		Power	$SZ = 1.9815NDVI^{0.1882}$	0.00	0.64
	GNDVI	Linear	$SZ = 0.2018GNDVI + 1.7328$	0.00	0.93
		Exponential	$SZ = 1.5218e^{0.3362GNDVI}$	0.00	0.75
		Logarithmic	$SZ = 0.1251\ln(GNDVI) + 1.9207$	0.00	0.91
		Power	$SZ = 2.0447GNDVI^{0.1825}$	0.00	0.72
	NDII	Linear	$SZ = 0.0637NDII + 1.8236$	0.00	0.92
		Exponential	$SZ = 1.7426e^{0.1903NDII}$	0.00	0.66
		Logarithmic	$SZ = 0.0587\ln(NDII) + 1.9417$	0.01	0.50
		Power	$SZ = 1.9825NDII^{0.0516}$	0.01	0.74

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

SZ หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับเหนือพื้นดิน 15 เซนติเมตร

ตารางที่ 27 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
ธันวาคม 2564	NDVI	Linear	$SZ = 1.633NDVI + 0.9031$	0.09*	0.03
		Exponential	$SZ = 0.823e^{1.3389NDVI}$	0.08*	0.01
		Logarithmic	$SZ = 0.8528\ln(NDVI) + 2.3228$	0.09*	0.03
		Power	$SZ = 2.6279NDVI^{0.6943}$	0.09*	0.01
	GNDVI	Linear	$SZ = 2.4812GNDVI + 0.6028$	0.07	0.07
		Exponential	$SZ = 0.6306e^{2.0765GNDVI}$	0.07*	0.03
		Logarithmic	$SZ = 1.1855\ln(GNDVI) + 2.6709$	0.07	0.07
		Power	$SZ = 3.5768GNDVI^{0.9985}$	0.07*	0.03
	NDII	Linear	$SZ = 0.6301NDII + 1.7412$	0.01	0.44
		Exponential	$SZ = 1.6214e^{0.6483NDII}$	0.01	0.28
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มกราคม 2565	NDVI	Linear	$SZ = 1.0659NDVI + 1.3549$	0.01	0.51
		Exponential	$SZ = 1.0007e^{1.4665NDVI}$	0.01	0.32
		Logarithmic	$SZ = 0.2665\ln(NDVI) + 1.999$	0.01	0.51
		Power	$SZ = 2.413NDVI^{0.3628}$	0.01	0.33
	GNDVI	Linear	$SZ = 1.054GNDVI + 1.3445$	0.00	0.76
		Exponential	$SZ = 0.9021e^{1.8306GNDVI}$	0.00	0.53
		Logarithmic	$SZ = 0.3552\ln(GNDVI) + 2.1092$	0.00	0.68
		Power	$SZ = 3.1024GNDVI^{0.553}$	0.00	0.46
	NDII	Linear	$SZ = -1.6248NDII + 1.4725$	0.01	0.42
		Exponential	$SZ = 1.3168e^{-0.699NDII}$	0.01	0.66
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

SZ หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับเหนือพื้นดิน 15 เซนติเมตร

ตารางที่ 27 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
กุมภาพันธ์ 565	NDVI	Linear	$SZ = 0.4354NDVI + 1.3931$	0.00	0.80
		Exponential	$SZ = 1.1398e^{0.6513NDVI}$	0.00	0.73
		Logarithmic	$SZ = 0.0782\ln(NDVI) + 1.607$	0.00	0.81
		Power	$SZ = 1.5934NDVI^{0.1261}$	0.00	0.73
	GNDVI	Linear	$SZ = -2.9968GNDVI + 2.086$	0.01	0.43
		Exponential	$SZ = 1.9082e^{-1.912GNDVI}$	0.01	0.57
		Logarithmic	$SZ = -0.567\ln(GNDVI) + 0.5703$	0.01	0.46
		Power	$SZ = 0.7242GNDVI^{-0.363}$	0.01	0.60
	NDII	Linear	$SZ = -1.9378NDII + 1.3121$	0.01	0.36
		Exponential	$SZ = 1.1508e^{-1.375NDII}$	0.01	0.43
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มีนาคม 2565	NDVI	Linear	$SZ = 2.1485NDVI + 0.9016$	0.05	0.13
		Exponential	$SZ = 0.8073e^{1.8864NDVI}$	0.04	0.08
		Logarithmic	$SZ = 0.639\ln(NDVI) + 2.3298$	0.06	0.08
		Power	$SZ = 2.9563NDVI^{0.5969}$	0.05*	0.03
	GNDVI	Linear	$SZ = 2.9318GNDVI + 0.7365$	0.03	0.23
		Exponential	$SZ = 0.7161e^{2.4829GNDVI}$	0.03	0.18
		Logarithmic	$SZ = 0.8364\ln(GNDVI) + 2.6288$	0.03	0.20
		Power	$SZ = 3.6726GNDVI^{0.7333}$	0.03	0.14
	NDII	Linear	$SZ = 2.4204NDII + 1.5041$	0.05	0.13
		Exponential	$SZ = 1.3722e^{2.0344NDII}$	0.04	0.10
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

SZ หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับเหนือพื้นดิน 15 เซนติเมตร

ตารางที่ 27 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2565	NDVI	Linear	$SZ = 4.2337NDVI + 0.1122$	0.11*	0.02
		Exponential	$SZ = 0.3415e^{4.1973NDVI}$	0.10*	0.03
		Logarithmic	$SZ = 1.1882\ln(NDVI) + 2.83$	0.12*	0.01
		Power	$SZ = 5.1513NDVI^{1.1926}$	0.10*	0.01
	GNDVI	Linear	$SZ = 4.7805GNDVI - 0.0119$	0.04	0.14
		Exponential	$SZ = 0.3013e^{4.7477GNDVI}$	0.03	0.16
		Logarithmic	$SZ = 1.3866\ln(GNDVI) + 3.102$	0.05	0.11
		Power	$SZ = 6.6601GNDVI^{1.3796}$	0.04	0.14
	NDII	Linear	$SZ = 4.4035NDII + 1.3378$	0.13*	0.01
		Exponential	$SZ = 1.1528e^{4.4649NDII}$	0.11*	0.01
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

SZ หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับเหนือพื้นดิน 15 เซนติเมตร

ตารางที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์มันสำปะหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
พฤษภาคม 2564	NDVI	Linear	CHLO = 9.8802NDVI + 43.25	0.06	0.10
		Exponential	CHLO = 43.044e ^{0.2163NDVI}	0.07	0.08
		Logarithmic	CHLO = 4.2045ln(NDVI) + 51.248	0.08	0.06
		Power	CHLO = 51.279NDVI ^{0.092}	0.09	0.05
	GNDVI	Linear	CHLO = -11.945GNDVI + 52.55	0.02	0.31
		Exponential	CHLO = 53.015e ^{-0.273GNDVI}	0.03	0.27
		Logarithmic	CHLO = -4.569ln(GNDVI) + 43.52	0.02	0.35
		Power	CHLO = 43.096GNDVI ^{-0.105}	0.02	0.30
	NDII	Linear	CHLO = -14.283x + 48.091	0.07	0.06
		Exponential	CHLO = 47.796e ^{-0.277x}	0.06	0.08
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มิถุนายน 2564	NDVI	Linear	CHLO = -8.5174NDVI + 49.662	0.11	0.35
		Exponential	CHLO = 49.988e ^{-0.196NDVI}	0.12	0.33
		Logarithmic	CHLO = -3.78ln(NDVI) + 42.646	0.09	0.39
		Power	CHLO = 42.533NDVI ^{-0.087}	0.10	0.37
	GNDVI	Linear	CHLO = 2.4695GNDVI + 44.395	0.00	0.85
		Exponential	CHLO = 44.411e ^{0.0499GNDVI}	0.00	0.86
		Logarithmic	CHLO = 1.5019ln(GNDVI) + 46.705	0.01	0.80
		Power	CHLO = 46.557GNDVI ^{0.031}	0.01	0.81
	NDII	Linear	CHLO = -11.117NDII + 46.221	0.04	0.14
		Exponential	CHLO = 45.972e ^{-0.229NDII}	0.04	0.15
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 28 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
กรกฎาคม 2564	NDVI	Linear	CHLO = -1.2543NDVI + 43.438	0.00	0.77
		Exponential	CHLO = 43.163e ^{-0.022NDVI}	0.00	0.82
		Logarithmic	CHLO = -0.489ln(NDVI) + 42.461	0.00	0.73
		Power	CHLO = 42.403NDVI ^{-0.009}	0.00	0.79
	GNDVI	Linear	CHLO = 2.6222GNDVI + 41.778	0.00	0.74
		Exponential	CHLO = 41.32e ^{0.0797GNDVI}	0.00	0.65
		Logarithmic	CHLO = 1.0369ln(GNDVI) + 43.793	0.00	0.74
		Power	CHLO = 43.937GNDVI ^{0.0317}	0.00	0.66
	NDII	Linear	CHLO = -2.2371NDII + 42.593	0.00	0.67
		Exponential	CHLO = 42.457e ^{-0.045NDII}	0.00	0.71
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
สิงหาคม 2564	NDVI	Linear	CHLO = 4.8809NDVI + 42.343	0.01	0.63
		Exponential	CHLO = 41.965e ^{0.1242NDVI}	0.01	0.58
		Logarithmic	CHLO = 2.9452ln(NDVI) + 46.857	0.01	0.58
		Power	CHLO = 47.037NDVI ^{0.0739}	0.02	0.53
	GNDVI	Linear	CHLO = 6.3797GNDVI + 41.828	0.01	0.72
		Exponential	CHLO = 41.214e ^{0.1731GNDVI}	0.01	0.66
		Logarithmic	CHLO = 3.4321ln(GNDVI) + 47.441	0.01	0.70
		Power	CHLO = 47.951GNDVI ^{0.092}	0.01	0.63
	NDII	Linear	CHLO = -14.875NDII + 46.905	0.04	0.42
		Exponential	CHLO = 46.705e ^{-0.328NDII}	0.04	0.42
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 28 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
พฤศจิกายน 2564	NDVI	Linear	CHLO = 21.793NDVI + 35.128	0.11	0.26
		Exponential	CHLO = 36.158e ^{0.4689NDVI}	0.11	0.24
		Logarithmic	CHLO = 13.066ln(NDVI) + 54.997	0.11	0.25
		Power	CHLO = 55.51NDVI ^{0.2835}	0.12	0.22
	GNDVI	Linear	CHLO = 26.768GNDVI + 34.908	0.07	0.36
		Exponential	CHLO = 36.094e ^{0.5702GNDVI}	0.08	0.35
		Logarithmic	CHLO = 13.178ln(GNDVI) + 57.508	0.07	0.36
		Power	CHLO = 58.498GNDVI ^{0.2828}	0.08	0.35
	NDII	Linear	CHLO = -17.732NDII + 49.722	0.16	0.23
		Exponential	-	-	-
		Logarithmic	CHLO = -2.548ln(NDII) + 41.796	0.18	0.19
		Power	-	-	-
ธันวาคม 2564	NDVI	Linear	CHLO = -4.8581NDVI + 47.545	0.01	0.37
		Exponential	CHLO = 47.08e ^{-0.093NDVI}	0.01	0.43
		Logarithmic	CHLO = -2.622ln(NDVI) + 43.268	0.02	0.34
		Power	CHLO = 43.387NDVI ^{-0.05}	0.01	0.40
	GNDVI	Linear	CHLO = -5.9581GNDVI + 47.751	0.01	0.52
		Exponential	CHLO = 47.299e ^{-0.115GNDVI}	0.01	0.56
		Logarithmic	CHLO = -2.916ln(GNDVI) + 42.733	0.01	0.50
		Power	CHLO = 42.916GNDVI ^{-0.057}	0.01	0.54
	NDII	Linear	CHLO = -6.3539NDII + 45.301	0.02	0.39
		Exponential	CHLO = 45.168e ^{-0.145NDII}	0.02	0.36
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 28 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
มกราคม 2565	NDVI	Linear	$CHLO = -13.488NDVI + 48.757$	0.03	0.17
		Exponential	$CHLO = 48.608e^{-0.285NDVI}$	0.03	0.17
		Logarithmic	$CHLO = -3.151\ln(NDVI) + 40.955$	0.03	0.19
		Power	$CHLO = 41.237NDVI^{-0.066}$	0.03	0.19
	GNDVI	Linear	$CHLO = -21.324GNDVI + 50.814$	0.03	0.12
		Exponential	$CHLO = 50.872e^{-0.46GNDVI}$	0.03	0.11
		Logarithmic	$CHLO = -5.787\ln(GNDVI) + 37.382$	0.03	0.10
		Power	$CHLO = 38.083GNDVI^{-0.125}$	0.03	0.10
	NDII	Linear	$CHLO = 11.379NDII + 46.801$	0.01	0.31
		Exponential	$CHLO = 46.615e^{0.2334NDII}$	0.01	0.32
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
กุมภาพันธ์ 2565	NDVI	Linear	$CHLO = 7.6514NDVI + 43.029$	0.00	0.61
		Exponential	$CHLO = 42.94e^{0.1652NDVI}$	0.00	0.63
		Logarithmic	$CHLO = 1.9685\ln(NDVI) + 47.761$	0.01	0.50
		Power	$CHLO = 47.568NDVI^{0.0426}$	0.01	0.52
	GNDVI	Linear	$CHLO = 41.706GNDVI + 36.074$	0.05	0.08
		Exponential	$CHLO = 36.893e^{0.9085GNDVI}$	0.04	0.09
		Logarithmic	$CHLO = 8.5973\ln(GNDVI) + 58.294$	0.05	0.08
		Power	$CHLO = 59.807GNDVI^{0.1867}$	0.05	0.09
	NDII	Linear	$CHLO = 5.0873NDII + 45.097$	0.00	0.72
		Exponential	$CHLO = 44.728e^{0.0685NDII}$	0.00	0.85
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 28 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
มีนาคม 2565	NDVI	Linear	CHLO = -0.9829NDVI + 49.206	0.00	0.88
		Exponential	CHLO = 48.948e ^{-0.014NDVI}	0.00	0.90
		Logarithmic	CHLO = 0.1807ln(NDVI) + 49.133	0.00	0.98
		Power	CHLO = 49.026NDVI ^{0.0047}	0.00	0.97
	GNDVI	Linear	CHLO = 9.2768GNDVI + 46.36	0.01	0.58
		Exponential	CHLO = 45.995e ^{0.2109GNDVI}	0.01	0.55
		Logarithmic	CHLO = 3.0511ln(GNDVI) + 52.874	0.09	0.49
		Power	CHLO = 53.236GNDVI ^{0.067}	0.01	0.46
	NDII	Linear	CHLO = -26.663NDII + 49.077	0.14*	0.01
		Exponential	CHLO = 48.91e ^{-0.568NDII}	0.15**	0.00
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
เมษายน 2565	NDVI	Linear	CHLO = -2.3025NDVI + 46.108	0.00	0.82
		Exponential	CHLO = 46.214e ^{-0.066NDVI}	0.00	0.76
		Logarithmic	CHLO = -0.531ln(NDVI) + 44.783	0.00	0.83
		Power	CHLO = 44.49NDVI ^{-0.015}	0.00	0.78
	GNDVI	Linear	CHLO = -8.0379GNDVI + 47.632	0.00	0.67
		Exponential	CHLO = 48.261e ^{-0.229GNDVI}	0.01	0.56
		Logarithmic	CHLO = -1.826ln(GNDVI) + 43.068	0.00	0.73
		Power	CHLO = 42.272GNDVI ^{-0.054}	0.01	0.63
	NDII	Linear	CHLO = -15.574NDII + 45.164	0.10	0.02
		Exponential	CHLO = 45.057e ^{-0.36NDII}	0.10*	0.02
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

3) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะชีพลักษณะของสับปะรด
ค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 มีความสัมพันธ์
กับลักษณะชีพลักษณะของสับปะรดในบางเดือน ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

3.1) ความสูง พ.ศ. 2564 พบความสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ขณะที่
พ.ศ. 2565 ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์กับความสูงปานกลาง (ตารางที่ 29)

3.1.1) เดือนเมษายน 2564 พบความสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง
ทั้ง 3 ดัชนี แต่อย่างไรก็ตามดัชนี NDII ที่มีความสัมพันธ์แบบ Exponential ให้ความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า
 r^2 เท่ากับ 0.79 และค่า p-value เท่ากับ 0.06

3.1.2) เดือนพฤษภาคม 2564 ซึ่งความสัมพันธ์สูงสุดได้แก่ ค่า GNDVI ที่ม
ความสัมพันธ์แบบ Logarithmic และค่า NDII ที่มีความสัมพันธ์แบบ Linear และ Exponential
ให้ความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.25 และค่า p-value เท่ากับ 0.03 0.03 และ 0.04 ตามลำดับ

3.1.3) เดือนมิถุนายน 2564 ค่าดัชนีพืชพรรณทั้งหมดมีความสัมพันธ์ระดับ
ปานกลาง ซึ่งดัชนี NDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Linear ให้ความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.39
และค่า p-value เท่ากับ 0.02

3.1.4) เดือนกรกฎาคม 2564 ดัชนี NDII ความสัมพันธ์แบบ Linear ให้ค่า
ความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.29 และค่า p-value เท่ากับ 0.02

3.1.5) เดือนสิงหาคม 2564 ดัชนี NDVI ความสัมพันธ์แบบ
Exponential ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.28 และค่า p-value เท่ากับ 0.03

3.1.6) เดือนพฤศจิกายน 2564 ดัชนี NDVI และ NDII พบความสัมพันธ์ระดับ
ปานกลาง ถึง ค่อนข้างสูง โดยดัชนี NDVI ความสัมพันธ์แบบ Logarithmic ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า
 r^2 เท่ากับ 0.68 และค่า p-value เท่ากับ 0.05

3.1.7) เดือนสิงหาคม 2564 ค่าดัชนีพืชพรรณทั้งหมดมีความสัมพันธ์ระดับต่ำ ถึง
ปานกลาง โดยดัชนี NDVI ความสัมพันธ์แบบ Logarithmic ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.32
และ ค่า p-value เท่ากับ 0.01

3.1.8) เดือนกุมภาพันธ์ 2565 ดัชนี NDII ความสัมพันธ์แบบ Linear ให้ค่า
ความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.47 และค่า p-value เท่ากับ 0.00

3.1.9) เดือนมีนาคม 2565 ดัชนี GNDVI ความสัมพันธ์แบบ Linear และ
Exponential ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.25 และค่า p-value เท่ากับ 0.06

3.1.10) เดือนเมษายน 2565 ดัชนี NDVI ความสัมพันธ์แบบ Logarithmic และ
GNDVI ความสัมพันธ์แบบ Power ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.34 และค่า p-value เท่ากับ 0.01

3.2) ความกว้างทรงพุ่ม พ.ศ. 2564 พบความสัมพันธ์ระดับต่ำถึงสูง ขณะที่ พ.ศ. 2565
พบความสัมพันธ์ระดับต่ำมากถึงต่ำ (ตารางที่ 30)

3.2.1) เดือนเมษายน 2564 พบความสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ทั้ง 3 ดัชนี แต่
อย่างไรก็ตามดัชนี NDII ที่มีความสัมพันธ์แบบ Exponential ให้ความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.82
และค่า p-value เท่ากับ 0.04

3.2.2) เดือนพฤษภาคม 2564 ซึ่งความสัมพันธ์สูงสุดได้แก่ ค่า NDII ที่มีความสัมพันธ์แบบ
Linear ให้ความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.41 และค่า p-value เท่ากับ 0.01

3.2.3) เดือนมิถุนายน 2564 ค่าดัชนีพืชพรรณทั้งหมดมีความสัมพันธ์ระดับต่ำ ถึง ปานกลาง ซึ่งดัชนี NDII ที่มีความสัมพันธ์แบบ Exponential ให้ความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.40 และ ค่า p-value เท่ากับ 0.00

3.2.4) เดือนพฤศจิกายน 2564 ดัชนี NDVI และ NDII พบความสัมพันธ์ระดับปานกลาง ถึง ค่อนข้างสูง โดยดัชนี NDVI ความสัมพันธ์แบบ Exponential ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.58 และค่า p-value เท่ากับ 0.08

3.2.5) เดือนมีนาคม 2565 ดัชนี GNDVI ความสัมพันธ์แบบ Linear และ Exponential ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.26 และ ค่า p-value เท่ากับ 0.05

3.2.6) เดือนเมษายน 2565 ดัชนี NDVI ความสัมพันธ์แบบ Power ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.42 และ ค่า p-value เท่ากับ 0.00

3.3) ปริมาณคลอโรฟิลล์ พ.ศ. 2564 พบความสัมพันธ์ระดับต่ำถึงค่อนข้างสูง ขณะที่ พ.ศ. 2565 พบความสัมพันธ์ระดับต่ำมากถึงปานกลาง (ตารางที่ 31)

3.1.1) เดือนมิถุนายน 2564 ดัชนี GNDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Linear Logarithmic และ Power ให้ความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.062 และค่า p-value เท่ากับ 0.00

3.3.2) เดือนกรกฎาคม 2564 ดัชนี NDII ความสัมพันธ์แบบ Linear ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.36 และค่า p-value เท่ากับ 0.02

3.3.3) เดือนมีนาคม 2565 ดัชนี NDII ความสัมพันธ์แบบ Linear ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.41 และ ค่า p-value เท่ากับ 0.01

จากการศึกษาดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดมีความสัมพันธ์กับความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และ ปริมาณคลอโรฟิลล์ของสับปะรดเกือบทุกเดือน โดยเฉพาะ NDVI และ NDII ดังนั้นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 จึงมีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าทางชีวลักษณะของสับปะรดได้

ตารางที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงสับปรดกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	$H = 130.51NDVI - 4.8483$	0.66	0.05
		Exponential	$H = 15.418e^{2.6602NDVI}$	0.71	0.08
		Logarithmic	$H = 47.365\ln(NDVI) + 92.235$	0.60	0.07
		Power	$H = 111.58NDVI^{0.9658}$	0.66	0.10
	GNDVI	Linear	$H = 246.88GNDVI - 47.416$	0.65	0.11
		Exponential	$H = 6.4635e^{5.0261GNDVI}$	0.57	0.16
		Logarithmic	$H = 96.069\ln(GNDVI) + 140.24$	0.63	0.12
		Power	$H = 294.08GNDVI^{1.9531}$	0.55	0.17
	NDII	Linear	$H = 106.12NDII + 39.097$	0.71	0.07
		Exponential	$H = 36.953e^{2.3577NDII}$	0.79	0.06
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
พฤษภาคม 2564	NDVI	Linear	$H = 88.422NDVI + 9.9468$	0.22*	0.04
		Exponential	$H = 22.488e^{1.6967NDVI}$	0.21	0.06
		Logarithmic	$H = 45.238\ln(NDVI) + 85.88$	0.23*	0.04
		Power	$H = 96.47NDVI^{0.8669}$	0.22	0.05
	GNDVI	Linear	$H = 170.23GNDVI - 22.265$	0.24*	0.03
		Exponential	$H = 12.281e^{3.2377GNDVI}$	0.21*	0.04
		Logarithmic	$H = 78.207\ln(GNDVI) + 117.01$	0.25*	0.03
		Power	$H = 173.22GNDVI^{1.4843}$	0.21*	0.04
	NDII	Linear	$H = 62.775NDII + 46.289$	0.25*	0.03
		Exponential	$H = 45.114e^{1.2122NDII}$	0.25*	0.04
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 29 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
มิถุนายน 2564	NDVI	Linear	$H = 96.028NDVI - 1.1013$	0.39*	0.02
		Exponential	$H = 14.427e^{2.2592NDVI}$	0.37*	0.04
		Logarithmic	$H = 54.981\ln(NDVI) + 85.004$	0.41*	0.02
		Power	$H = 109.78NDVI^{1.2995}$	0.38*	0.04
	GNDVI	Linear	$H = 158.44GNDVI - 26.324$	0.38*	0.02
		Exponential	$H = 8.1793e^{3.6752GNDVI}$	0.30	0.05
		Logarithmic	$H = 78.931\ln(x) + 107.89$	0.38*	0.02
		Power	$H = 184.44GNDVI^{1.8345}$	0.30*	0.02
	NDII	Linear	$H = 158.44NDII - 26.324$	0.38*	0.02
		Exponential	$H = 8.1793e^{3.6752NDII}$	0.36	0.05
		Logarithmic	$H = 78.931\ln(NDII) + 107.89$	0.38*	0.02
		Power	$H = 184.44NDII^{1.8345}$	0.37	0.05
กรกฎาคม 2564	NDVI	Linear	$H = 56.969NDVI + 28.098$	0.21	0.05
		Exponential	$H = 30.684e^{1.1794NDVI}$	0.21	0.06
		Logarithmic	$H = 24.323\ln(NDVI) + 73.787$	0.21	0.05
		Power	$H = 78.652NDVI^{0.4975}$	0.22	0.06
	GNDVI	Linear	$H = 89.277GNDVI + 14.647$	0.19	0.07
		Exponential	$H = 23.32e^{1.8394GNDVI}$	0.17	0.08
		Logarithmic	$H = 38.496\ln(GNDVI) + 85.884$	0.19	0.06
		Power	$H = 100.59GNDVI^{0.7856}$	0.17	0.08
	NDII	Linear	$H = 57.353NDII + 49.543$	0.29*	0.02
		Exponential	$H = 47.755e^{1.2041NDII}$	0.28*	0.02
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 29 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
สิงหาคม 2564	NDVI	Linear	$H = 65.201NDVI + 20.237$	0.27*	0.02
		Exponential	$H = 26.194e^{1.3484NDVI}$	0.28*	0.03
		Logarithmic	$H = 25.634\ln(NDVI) + 71.284$	0.22*	0.04
		Power	$H = 75.073NDVI^{0.5262}$	0.25	0.05
	GNDVI	Linear	$H = 68.224GNDVI + 23.306$	0.22	0.05
		Exponential	$H = 28.397e^{1.372GNDVI}$	0.20	0.06
		Logarithmic	$H = 24.775\ln(GNDVI) + 74.192$	0.20	0.06
		Power	$H = 78.937GNDVI^{0.4971}$	0.18	0.07
	NDII	Linear	$H = 50.86NDII + 44.477$	0.15	0.12
		Exponential	$H = 43.217e^{1.055NDII}$	0.14	0.12
		Logarithmic	$H = 6.3707\ln(NDII) + 65.682$	0.15	0.11
		Power	$H = 66.392NDII^{0.1266}$	0.15	0.13
พฤศจิกายน 2564	NDVI	Linear	$H = 189.5NDVI - 58.247$	0.67	0.05
		Exponential	$H = 4.6066e^{4.0549NDVI}$	0.65*	0.02
		Logarithmic	$H = 107.04\ln(NDVI) + 111.07$	0.68	0.05
		Power	$H = 173.07NDVI^{2.2969}$	0.66*	0.02
	GNDVI	Linear	$H = 78.637GNDVI + 22.609$	0.04	0.70
		Exponential	$H = 31.696e^{1.311GNDVI}$	0.05	0.69
		Logarithmic	$H = 40.942\ln(GNDVI) + 90.326$	0.04	0.71
		Power	$H = 97.734GNDVI^{0.6781}$	0.04	0.69
	NDII	Linear	$H = 103NDII + 33.081$	0.63	0.06
		Exponential	$H = 33.756e^{2.0514NDII}$	0.60	0.06
		Logarithmic	$H = 19.48\ln(NDII) + 89.199$	0.67*	0.04
		Power	$H = 105.18NDII^{0.3999}$	0.66*	0.03

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 29 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
ธันวาคม 2564	NDVI	Linear	$H = 119.27NDVI - 8.9143$	0.31*	0.02
		Exponential	$H = 13.558e^{2.5413NDVI}$	0.28*	0.01
		Logarithmic	$H = 60.672\ln(NDVI) + 93.485$	0.32*	0.01
		Power	$H = 121.19NDVI^{1.3077}$	0.30*	0.00
	GNDVI	Linear	$H = 159.64GNDVI - 20.524$	0.21	0.05
		Exponential	$H = 10.853e^{3.3512GNDVI}$	0.18*	0.03
		Logarithmic	$H = 79.766\ln(GNDVI) + 114.8$	0.22*	0.04
		Power	$H = 188.14GNDVI^{1.6916}$	0.20*	0.02
	NDII	Linear	$H = 60.727NDII + 45.738$	0.29*	0.02
		Exponential	$H = 44.176e^{1.2146NDII}$	0.26*	0.01
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มกราคม 2565	NDVI	Linear	$H = -6.6529NDVI + 60.701$	0.00	0.77
		Exponential	$H = 56.063e^{-0.005NDVI}$	0.00	0.96
		Logarithmic	$H = -1.287\ln(NDVI) + 56.711$	0.00	0.86
		Power	$H = 57.107NDVI^{0.0223}$	0.00	0.94
	GNDVI	Linear	$H = -14.763GNDVI + 63.564$	0.01	0.65
		Exponential	$H = 58.947e^{-0.136GNDVI}$	0.00	0.82
		Logarithmic	$H = -5.111\ln(GNDVI) + 52.808$	0.01	0.65
		Power	$H = 53.492GNDVI^{-0.045}$	0.00	0.82
	NDII	Linear	$H = 187.75NDII + 286.22$	0.02	0.55
		Exponential	$H = 254e^{1.1583NDII}$	0.02	0.60
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 29 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
กุมภาพันธ์ 2565	NDVI	Linear	$H = 46.379NDVI + 44.725$	0.03	0.45
		Exponential	$H = 41.328e^{1.0623NDVI}$	0.03	0.38
		Logarithmic	$H = 13.892\ln(NDVI) + 75.641$	0.03	0.40
		Power	$H = 84.171NDVI^{0.3207}$	0.03	0.33
	GNDVI	Linear	$H = 49.787GNDVI + 44.956$	0.02	0.58
		Exponential	$H = 42.215e^{1.0785GNDVI}$	0.02	0.55
		Logarithmic	$H = 12.687\ln(GNDVI) + 75.11$	0.01	0.60
		Power	$H = 81.453GNDVI^{0.2778}$	0.02	0.56
	NDII	Linear	$H = 1213.3NDII + 287.77$	0.47**	0.00
		Exponential	$H = 252.81e^{8.9989NDII}$	0.46**	0.00
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มีนาคม 2565	NDVI	Linear	$H = -6.3667NDVI + 60.058$	0.00	0.78
		Exponential	$H = 58.677e^{-0.127NDVI}$	0.00	0.77
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
	GNDVI	Linear	$H = 104.81GNDVI + 31.896$	0.25	0.06
		Exponential	$H = 35.346e^{1.8895GNDVI}$	0.25	0.06
		Logarithmic	$H = 17.185\ln(GNDVI) + 82.69$	0.17	0.12
		Power	$H = 88.673GNDVI^{0.3127}$	0.17	0.12
	NDII	Linear	$H = 163.51NDII + 178.39$	0.01	0.70
		Exponential	$H = 123.84e^{1.3312NDII}$	0.01	0.64
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 29 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
เมษายน 2565	NDVI	Linear	$H = 144.5\text{NDVI} + 13.274$	0.30*	0.02
		Exponential	$H = 19.965e^{3.3002\text{NDVI}}$	0.26*	0.01
		Logarithmic	$H = 43.506\ln(\text{NDVI}) + 109.78$	0.34*	0.01
		Power	$H = 182.25\text{NDVI}^1$	0.30*	0.00
	GNDVI	Linear	$H = 239.49\text{GNDVI} - 10.834$	0.24*	0.03
		Exponential	$H = 11.391e^{5.5052\text{GNDVI}}$	0.31*	0.01
		Logarithmic	$H = 71.635\ln(\text{GNDVI}) + 147.59$	0.26*	0.02
		Power	$H = 438.28\text{GNDVI}^{1.6535}$	0.34*	0.01
	NDII	Linear	$H = 38.662\text{NDII} + 99.759$	0.00	0.94
		Exponential	$H = 89.519e^{1.6566\text{NDII}}$	0.03	0.51
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างทรงพุ่มสับประรดกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	$W = 215.9\text{NDVI} - 25.496$	0.66	0.05
		Exponential	$W = 13.255e^{3.5525\text{NDVI}}$	0.58	0.08
		Logarithmic	$W = 78.915\ln(\text{NDVI}) + 135.64$	0.60	0.07
		Power	$W = 188.53\text{NDVI}^{1.302}$	0.53	0.10
	GNDVI	Linear	$W = 371.19\text{GNDVI} - 81.13$	0.54	0.17
		Exponential	$W = 5.209e^{6.1348\text{GNDVI}}$	0.46	0.23
		Logarithmic	$W = 143.5\ln(\text{GNDVI}) + 200.11$	0.52	0.19
		Power	$W = 544.88\text{GNDVI}^{2.3738}$	0.44	0.25
	NDII	Linear	$W = 184.5\text{NDII} + 46.696$	0.79	0.05
		Exponential	$W = 41.812e^{3.3801\text{NDII}}$	0.82*	0.04
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
พฤษภาคม 2564	NDVI	Linear	$W = 109.93\text{NDVI} + 7.9348$	0.24*	0.03
		Exponential	$W = 24.393e^{1.835\text{NDVI}}$	0.23*	0.04
		Logarithmic	$W = 55.412\ln(\text{NDVI}) + 101.76$	0.23*	0.04
		Power	$W = 117.04\text{NDVI}^{0.9281}$	0.23*	0.04
	GNDVI	Linear	$W = 238.54\text{GNDVI} - 44.602$	0.33*	0.02
		Exponential	$W = 10.273e^{3.9554\text{GNDVI}}$	0.31*	0.02
		Logarithmic	$W = 109.11\ln(\text{GNDVI}) + 150.16$	0.32*	0.02
		Power	$W = 260.22\text{GNDVI}^{1.8126}$	0.31*	0.02
	NDII	Linear	$W = 95.118\text{NDII} + 50.383$	0.41*	0.01
		Exponential	$W = 49.671e^{1.5718\text{NDII}}$	0.39*	0.01
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 30 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
มิถุนายน 2564	NDVI	Linear	$W = 74.906NDVI + 18.467$	0.30	0.05
		Exponential	$W = 26.16e^{1.4654NDVI}$	0.26	0.07
		Logarithmic	$W = 42.323\ln(NDVI) + 85.296$	0.30	0.05
		Power	$W = 96.997NDVI^{0.8331}$	0.27	0.07
	GNDVI	Linear	$W = 135GNDVI - 6.8594$	0.34*	0.03
		Exponential	$W = 16.366e^{2.5876GNDVI}$	0.28	0.06
		Logarithmic	$W = 67.341\ln(GNDVI) + 107.56$	0.35*	0.03
		Power	$W = 146.97GNDVI^{1.2934}$	0.29	0.06
	NDII	Linear	$W = 102.74NDII + 50.559$	0.31*	0.01
		Exponential	$W = 49.004e^{1.7448NDII}$	0.40	0.00
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
กรกฎาคม 2564	NDVI	Linear	$W = 30.849NDVI + 47.746$	0.09	0.21
		Exponential	$W = 46.741e^{0.5765NDVI}$	0.08	0.25
		Logarithmic	$W = 12.399\ln(NDVI) + 71.899$	0.08	0.23
		Power	$W = 73.098NDVI^{0.2262}$	0.07	0.29
	GNDVI	Linear	$W = 55.806GNDVI + 37.067$	0.11	0.17
		Exponential	$W = 38.7e^{1.0192GNDVI}$	0.09	0.21
		Logarithmic	$W = 23.65\ln(GNDVI) + 81.268$	0.11	0.17
		Power	$W = 86.337GNDVI^{0.4258}$	0.08	0.22
	NDII	Linear	$W = 37.922NDII + 58.674$	0.19	0.06
		Exponential	$W = 57.294e^{0.7152NDII}$	0.16	0.08
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 30 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
สิงหาคม 2564	NDVI	Linear	$W = 48.501NDVI + 41.786$	0.12	0.16
		Exponential	$W = 41.76e^{0.8635NDVI}$	0.10	0.18
		Logarithmic	$W = 17.955\ln(NDVI) + 78.994$	0.08	0.23
		Power	$W = 80.806NDVI^{0.3163}$	0.07	0.25
	GNDVI	Linear	$W = 43.212GNDVI + 47.426$	0.07	0.29
		Exponential	$W = 47.382e^{0.7112GNDVI}$	0.05	0.36
		Logarithmic	$W = 15.024\ln(GNDVI) + 79.103$	0.06	0.33
		Power	$W = 79.686GNDVI^{0.2455}$	0.04	0.40
	NDII	Linear	$W = 47.538NDII + 58.061$	0.10	0.21
		Exponential	$W = 56.254e^{0.8011NDII}$	0.08	0.27
		Logarithmic	$W = 4.5755\ln(NDII) + 75.284$	0.06	0.35
		Power	$W = 74.192NDII^{0.07}$	0.04	0.45
พฤศจิกายน 2564	NDVI	Linear	$W = 86.108NDVI + 18.693$	0.41	0.18
		Exponential	$W = 33.29e^{1.2333NDVI}$	0.44	0.15
		Logarithmic	$W = 48.073\ln(NDVI) + 95.351$	0.40	0.18
		Power	$W = 99.852NDVI^{0.6896}$	0.43	0.16
	GNDVI	Linear	$W = 132.21GNDVI + 4.0153$	0.34	0.20
		Exponential	$W = 26.843e^{1.9034GNDVI}$	0.37	0.18
		Logarithmic	$W = 66.248\ln(GNDVI) + 116.27$	0.35	0.20
		Power	$W = 135.12GNDVI^{0.9538}$	0.38	0.18
	NDII	Linear	$W = 57.323NDII + 57.613$	0.57	0.08
		Exponential	$W = 58.431e^{0.8NDII}$	0.58	0.08
		Logarithmic	$W = 9.9242\ln(NDII) + 87.391$	0.51	0.11
		Power	$W = 88.689NDII^{0.1396}$	0.53	0.10

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 30 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
ธันวาคม 2564	NDVI	Linear	$W = 47.792NDVI + 43.826$	0.13	0.14
		Exponential	$W = 47.507e^{0.6967NDVI}$	0.14	0.13
		Logarithmic	$W = 23.766\ln(NDVI) + 84.544$	0.13	0.15
		Power	$W = 86.069NDVI^{0.3476}$	0.14	0.13
	GNDVI	Linear	$W = 66.92GNDVI + 37.711$	0.09	0.18
		Exponential	$W = 43.463e^{0.9752GNDVI}$	0.10	0.16
		Logarithmic	$W = 32.636\ln(GNDVI) + 93.871$	0.10	0.17
		Power	$W = 98.635GNDVI^{0.4772}$	0.11	0.15
	NDII	Linear	$W = 29.375NDII + 64.657$	0.17	0.07
		Exponential	$W = 64.522e^{0.4168NDII}$	0.18	0.07
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มกราคม 2565	NDVI	Linear	$W = -17.642NDVI + 77.091$	0.04	0.41
		Exponential	$W = 77.288e^{-0.294NDVI}$	0.03	0.46
		Logarithmic	$W = -6.304\ln(NDVI) + 63.849$	0.04	0.42
		Power	$W = 61.86NDVI^{-0.107}$	0.03	0.46
	GNDVI	Linear	$W = -27.357GNDVI + 80.154$	0.05	0.34
		Exponential	$W = 81.323e^{-0.456GNDVI}$	0.04	0.39
		Logarithmic	$W = -9.911\ln(GNDVI) + 59.787$	0.06	0.32
		Power	$W = 57.919GNDVI^{-0.165}$	0.05	0.37
	NDII	Linear	$W = 11.959NDII + 68.218$	0.01	0.63
		Exponential	$W = 66.594e^{0.2067NDII}$	0.01	0.65
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 30 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
กุมภาพันธ์ 2565	NDVI	Linear	$W = -19.575\text{NDVI} + 75.509$	0.01	0.76
		Exponential	$W = 77.224e^{-0.426\text{NDVI}}$	0.01	0.70
		Logarithmic	$W = -5.603\ln(\text{NDVI}) + 62.795$	0.01	0.76
		Power	$W = 58.513\text{NDVI}^{-0.123}$	0.01	0.70
	GNDVI	Linear	$W = -35.756\text{GNDVI} + 79.208$	0.01	0.73
		Exponential	$W = 82.617e^{-0.728\text{GNDVI}}$	0.01	0.71
		Logarithmic	$W = -11.07\ln(\text{GNDVI}) + 54.87$	0.01	0.68
		Power	$W = 50.727\text{GNDVI}^{-0.22}$	0.02	0.66
	NDII	Linear	$W = 15.587\text{NDII} + 68.947$	0.01	0.65
		Exponential	$W = 67.357e^{0.2482\text{NDII}}$	0.01	0.70
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มีนาคม 2565	NDVI	Linear	$W = 3.9361\text{NDVI} + 67.24$	0.00	0.89
		Exponential	$W = 64.896e^{0.0809\text{NDVI}}$	0.00	0.88
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
	GNDVI	Linear	$W = 111.97\text{GNDVI} + 40.971$	0.26	0.05
		Exponential	$W = 40.005e^{2.0764\text{GNDVI}}$	0.26	0.05
		Logarithmic	$W = 19.838\ln(\text{GNDVI}) + 97.322$	0.21	0.09
		Power	$W = 114.29\text{GNDVI}^{0.3713}$	0.21	0.09
	NDII	Linear	$W = 89.656\text{NDII} + 61.518$	0.19	0.10
		Exponential	$W = 58.968e^{1.5823\text{NDII}}$	0.17	0.12
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 30 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2565	NDVI	Linear	$W = 153.09\text{NDVI} + 19.352$	0.32*	0.01
		Exponential	$W = 25.235e^{3.0174\text{NDVI}}$	0.37*	0.01
		Logarithmic	$W = 45.773\ln(\text{NDVI}) + 121.23$	0.36*	0.01
		Power	$W = 189.46\text{NDVI}^{0.9091}$	0.42**	0.00
	GNDVI	Linear	$W = 264.67\text{GNDVI} - 9.4298$	0.28*	0.01
		Exponential	$W = 14.156e^{5.2532\text{GNDVI}}$	0.32*	0.01
		Logarithmic	$W = 78.911\ln(\text{GNDVI}) + 165.34$	0.30**	0.00
		Power	$W = 458.07\text{GNDVI}^{1.5729}$	0.36*	0.01
	NDII	Linear	$W = 88.374\text{NDII} + 61.226$	0.26	0.30
		Exponential	$W = 57.908e^{1.6819\text{NDII}}$	0.28	0.32
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์สับปรดกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
พฤษภาคม 2564	NDVI	Linear	$CHLO = 81.409NDVI + 44.47$	0.07	0.35
		Exponential	$CHLO = 44.106e^{1.2762NDVI}$	0.06	0.29
		Logarithmic	$CHLO = 28.843\ln(NDVI) + 103.96$	0.07	0.32
		Power	$CHLO = 110.67NDVI^{0.4402}$	0.07	0.27
	GNDVI	Linear	$CHLO = 285.79GNDVI - 58.737$	0.17	0.11
		Exponential	$CHLO = 9.5474e^{4.2907GNDVI}$	0.15	0.08
		Logarithmic	$CHLO = 134.4\ln(GNDVI) + 177.46$	0.17	0.10
		Power	$CHLO = 327.28GNDVI^{2.0028}$	0.16	0.07
	NDII	Linear	$CHLO = 88.944NDII + 59.269$	0.13	0.16
		Exponential	$CHLO = 57.216e^{1.2169NDII}$	0.13	0.17
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มิถุนายน 2564	NDVI	Linear	$CHLO = -24.247NDVI + 76.228$	0.03	0.50
		Exponential	$CHLO = 77.647e^{-0.411NDVI}$	0.03	0.45
		Logarithmic	$CHLO = -8.929\ln(NDVI) + 58.001$	0.03	0.54
		Power	$CHLO = 56.85NDVI^{-0.155}$	0.03	0.49
	GNDVI	Linear	$CHLO = 224.15x - 44.873$	0.62**	0.00
		Exponential	$CHLO = 11.9e^{3.4301GNDVI}$	0.61**	0.00
		Logarithmic	$CHLO = 111.28\ln(GNDVI) + 144.73$	0.62**	0.00
		Power	$CHLO = 216.72GNDVI^{1.7038}$	0.62**	0.00
	NDII	Linear	$CHLO = 35.964NDII + 61.034$	0.08	0.20
		Exponential	$CHLO = 60.139e^{0.5539NDII}$	0.08	0.16
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 31 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
กรกฎาคม 2564	NDVI	Linear	CHLO = -82.775NDVI + 102.65	0.36*	0.01
		Exponential	CHLO = 109.95e ^{-1.219NDVI}	0.33*	0.01
		Logarithmic	CHLO = -22.07ln(NDVI) + 46.076	0.25*	0.03
		Power	CHLO = 47.685NDVI ^{-0.328}	0.21*	0.03
	GNDVI	Linear	CHLO = -91.115GNDVI + 105.11	0.09	0.25
		Exponential	CHLO = 97.35e ^{-0.998GNDVI}	0.09	0.41
		Logarithmic	CHLO = -43.05ln(GNDVI) + 29.48	0.10	0.21
		Power	CHLO = 42.294GNDVI ^{-0.478}	0.11	0.36
	NDII	Linear	CHLO = -31.629xNDII + 66.719	0.04	0.44
		Exponential	CHLO = 63.458e ^{-0.277NDII}	0.04	0.66
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
สิงหาคม 2564	NDVI	Linear	-	-	-
		Exponential	-	-	-
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
	GNDVI	Linear	CHLO = 3.7776GNDVI + 60.088	0.00	0.94
		Exponential	CHLO = 63.102e ^{-0.121GNDVI}	0.00	0.88
		Logarithmic	CHLO = 1.133ln(GNDVI) + 62.708	0.00	0.96
		Power	CHLO = 57.366GNDVI ^{-0.05}	0.00	0.87
	NDII	Linear	CHLO = 21.156NDII + 57.941	0.01	0.69
		Exponential	CHLO = 57.101e ^{0.2532NDII}	0.01	0.76
		Logarithmic	CHLO = 1.4883ln(NDII) + 64.573	0.00	0.81
		Power	CHLO = 61.159NDII ^{0.0121}	0.00	0.90

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 31 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
กันยายน 2564	NDVI	Linear	CHLO = -114.25NDVI + 135.86	0.13	0.20
		Exponential	CHLO = 145.22e ^{-1.321NDVI}	0.14	0.27
		Logarithmic	CHLO = -67.57ln(NDVI) + 32.051	0.14	0.18
		Power	CHLO = 43.667NDVI ^{-0.784}	0.15	0.25
	GNDVI	Linear	-	-	-
		Exponential	-	-	-
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
	NDII	Linear	-	-	-
		Exponential	-	-	-
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
พฤศจิกายน 2564	NDVI	Linear	-	-	-
		Exponential	-	-	-
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
	GNDVI	Linear	CHLO = -67.363GNDVI + 104.81	0.11	0.54
		Exponential	CHLO = 114.49e ^{-0.966GNDVI}	0.11	0.55
		Logarithmic	CHLO = -34.45ln(GNDVI) + 47.146	0.12	0.53
		Power	CHLO = 50.03GNDVI ^{-0.495}	0.12	0.53
	NDII	Linear	CHLO = -2.4119NDII + 70.93	0.00	0.94
		Exponential	CHLO = 70.506e ^{-0.039NDII}	0.00	0.93
		Logarithmic	CHLO = -2.31ln(NDII) + 66.678	0.03	0.72
		Power	CHLO = 66.086NDII ^{-0.035}	0.04	0.71

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 31 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
ธันวาคม 2564	NDVI	Linear	CHLO = 18.435NDVI + 52.117	0.01	0.67
		Exponential	CHLO = 55.288e ^{0.1851NDVI}	0.01	0.80
		Logarithmic	CHLO = 10.059ln(NDVI) + 68.324	0.01	0.67
		Power	CHLO = 65.202NDVI ^{0.1046}	0.01	0.80
	GNDVI	Linear	CHLO = -0.0197GNDVI + 62.245	0.10	0.54
		Exponential	CHLO = 63.553e ^{-0.076GNDVI}	0.10	0.55
		Logarithmic	CHLO = -3.711ln(GNDVI) + 59.62	0.11	0.53
		Power	CHLO = 57.124GNDVI ^{-0.098}	0.11	0.53
	NDII	Linear	CHLO = -0.2271NDII + 62.283	0.00	0.99
		Exponential	CHLO = 61.358e ^{-0.012NDII}	0.00	0.98
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มกราคม 2565	NDVI	Linear	CHLO = 14.774NDVI + 50.89	0.03	0.52
		Exponential	CHLO = 50.094e ^{0.2632NDVI}	0.03	0.53
		Logarithmic	CHLO = 6.0466ln(NDVI) + 62.684	0.04	0.46
		Power	CHLO = 62.035NDVI ^{0.1117}	0.04	0.46
	GNDVI	Linear	CHLO = 14.713GNDVI + 51.471	0.02	0.60
		Exponential	CHLO = 50.429e ^{0.2718GNDVI}	0.02	0.60
		Logarithmic	CHLO = 4.9822ln(GNDVI) + 62.079	0.02	0.61
		Power	CHLO = 61.465GNDVI ^{0.094}	0.02	0.61
	NDII	Linear	CHLO = 48.701GNDVI + 51.293	0.28	0.02
		Exponential	CHLO = 50.398e ^{0.8773NDII}	0.27	0.03
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 31 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
กุมภาพันธ์ 2565	NDVI	Linear	CHLO = 80.636NDVI + 31.665	0.25*	0.03
		Exponential	CHLO = 36.194e ^{1.4028NDVI}	0.26*	0.04
		Logarithmic	CHLO = 20.737ln(NDVI) + 81.025	0.22*	0.04
		Power	CHLO = 85.846NDVI ^{0.3646}	0.23	0.05
	GNDVI	Linear	CHLO = 114.33GNDVI + 24.917	0.24*	0.04
		Exponential	CHLO = 32.282e ^{1.9773GNDVI}	0.25	0.06
		Logarithmic	CHLO = 28.418ln(GNDVI) + 93.183	0.21	0.06
		Power	CHLO = 105.61GNDVI ^{0.4948}	0.22	0.07
	NDII	Linear	CHLO = 60.049NDII + 50.301	0.42**	0.00
		Exponential	CHLO = 49.967e ^{1.0704NDII}	0.43	0.01
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มีนาคม 2565	NDVI	Linear	CHLO = -0.8535NDVI + 55.543	0.00	0.94
		Exponential	CHLO = 55.348e ^{-0.024NDVI}	0.00	0.91
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
	GNDVI	Linear	CHLO = 38.691GNDVI + 45.873	0.17	0.13
		Exponential	CHLO = 46.432e ^{0.6958GNDVI}	0.18	0.14
		Logarithmic	CHLO = 6.0873ln(GNDVI) + 64.262	0.10	0.24
		Power	CHLO = 64.625GNDVI ^{0.1094}	0.11	0.25
	NDII	Linear	CHLO = 57.726NDII + 50.642	0.41*	0.01
		Exponential	CHLO = 50.439e ^{1.0722NDII}	0.40*	0.01
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 31 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
เมษายน 2565	NDVI	Linear	CHLO = 19.499NDVI + 41.802	0.02	0.53
		Exponential	CHLO = 42.622e ^{0.341NDVI}	0.02	0.60
		Logarithmic	CHLO = 6.0243ln(NDVI) + 55	0.02	0.50
		Power	CHLO = 53.834NDVI ^{0.1077}	0.02	0.57
	GNDVI	Linear	CHLO = 37.092GNDVI + 37.135	0.02	0.55
		Exponential	CHLO = 38.955e ^{0.6769GNDVI}	0.02	0.61
		Logarithmic	CHLO = 11.175ln(GNDVI) + 61.769	0.02	0.25
		Power	CHLO = 61.116GNDVI ^{0.2046}	0.02	0.58
	NDII	Linear	CHLO = 1.433NDII + 47.994	0.00	0.97
		Exponential	CHLO = 47.71e ^{-0.026NDII}	0.00	0.93
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

4) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะชีพลักษณ์ของยางพารา

จากการใช้ข้อมูลภาคสนามด้านชีพลักษณ์ของปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดรอบลำต้น ที่วัดขนาดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565 หาความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII ที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ที่บันทึกในเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 มีผลดังนี้

4.1) ความสูง มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 32) โดยในเดือนเมษายน 2564 ความสูงมีความสัมพันธ์กับดัชนี NDII สูงที่สุด และมีความสัมพันธ์แบบ Linear และ Exponential สูงที่สุดโดยความสัมพันธ์ทั้ง 2 แบบมีค่า r^2 เท่ากับ 0.60 ค่า p-value เท่ากับ 0.00 ขณะที่มีความสัมพันธ์กับดัชนี GNDVI ต่ำที่สุด และเดือนเมษายน 2565 ความสูงมีความสัมพันธ์กับดัชนี GNDVI สูงที่สุด โดยความสัมพันธ์แบบ Exponential และ Power แสดงความสัมพันธ์สูงที่สุด โดยความสัมพันธ์ทั้ง 2 แบบมีค่า r^2 เท่ากับ 0.43 และ p-value เท่ากับ 0.00

4.2) ความกว้างทรงพุ่ม มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 33) โดยในเดือนเมษายน 2564 ความกว้างทรงพุ่มมีความสัมพันธ์กับดัชนี NDII สูงที่สุด โดยมีความสัมพันธ์แบบ Exponential สูงที่สุดโดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.58 ค่า p-value เท่ากับ 0.00 และ เดือนเมษายน 2565 มีความสัมพันธ์กับดัชนี NDII สูงที่สุดเช่นเดียวกัน โดยมีความสัมพันธ์แบบ Power สูงที่สุดโดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.37 ค่า p-value เท่ากับ 0.00

4.3) ขนาดลำต้น มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 34) โดยในเดือนเมษายน 2564 ขนาดลำต้นมีความสัมพันธ์กับดัชนี NDII สูงที่สุด โดยมีความสัมพันธ์แบบ Exponential สูงที่สุดโดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.42 ค่า p-value เท่ากับ 0.00 และ เดือนเมษายน 2565 มีความสัมพันธ์กับดัชนี GNDVI สูงที่สุดเช่นเดียวกัน โดยมีความสัมพันธ์ทั้งแบบ Linear Exponential Logarithmic และ Power โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.25 ค่า p-value เท่ากับ 0.00

4.4) ปริมาณคลอโรฟิลล์ มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 35) ในระดับต่ำมากถึงสูง ทั้ง พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565

4.4.1) เดือนพฤษภาคม 2564 ความสัมพันธ์สูงสุด ได้แก่ ค่า GNDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Linear Exponential Logarithmic และ Power โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.30 และค่า p-value เท่ากับ 0.00

4.4.2) เดือนกรกฎาคม 2564 ความสัมพันธ์สูงสุด ได้แก่ ค่า GNDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Linear โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.30 และค่า p-value เท่ากับ 0.01

4.4.3) เดือนสิงหาคม 2564 ความสัมพันธ์สูงสุด ได้แก่ ค่า NDII ที่มีความสัมพันธ์แบบ Logarithmic และ Power โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.51 และค่า p-value เท่ากับ 0.01

4.4.4) เดือนพฤศจิกายน 2564 ความสัมพันธ์สูงสุด ได้แก่ ค่า NDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Linear Exponential Logarithmic และ Power โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.71 และค่า p-value เท่ากับ 0.00 และ ค่า GNDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Exponential โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.71 และค่า p-value เท่ากับ 0.00

4.4.5) เดือนมกราคม 2565 ความสัมพันธ์สูงสุด ได้แก่ ค่า NDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Logarithmic และ Power โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.51 และค่า p-value เท่ากับ 0.00

จากการศึกษาดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดมีความสัมพันธ์กับความสูงมีความสัมพันธ์กับค่า GNDVI ความกว้างทรงพุ่มมีความสัมพันธ์กับค่า NDII และปริมาณคลอโรฟิลล์มี

ความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด ซึ่งปริมาณความสัมพันธ์ความแม่นยำขึ้นอยู่กับค่าดัชนีในเดือน ดังนั้น ดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 จึงมีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าทางชีวลักษณะของยางพารา

ตารางที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ
เมษายน พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืช พรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	$H = 3141.8NDVI - 273.95$	0.39**	0.00
		Exponential	$H = 394.88e^{2.2427NDVI}$	0.38**	0.00
		Logarithmic	$H = 1569.2\ln(NDVI) + 2435.5$	0.38**	0.00
		Power	$H = 2757.7NDVI^{1.1366}$	0.38**	0.00
	GNDVI	Linear	$H = 4019.2GNDVI - 406.33$	0.35**	0.00
		Exponential	$H = 355.84e^{2.8889GNDVI}$	0.35**	0.00
		Logarithmic	$H = 1708.7\ln(GNDVI) + 2807.7$	0.35**	0.00
		Power	$H = 3630.7GNDVI^{1.2449}$	0.35**	0.00
	NDII	Linear	$H = 4138.5NDII + 896.19$	0.60**	0.00
		Exponential	$H = 932.41e^{2.7978GNDII}$	0.60**	0.00
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
เมษายน 2565	NDVI	Linear	$H = 5803.4NDVI - 716.78$	0.36**	0.00
		Exponential	$H = 322.92e^{3.8493NDVI}$	0.42**	0.00
		Logarithmic	$H = 2183.4\ln(NDVI) + 3640.6$	0.35**	0.00
		Power	$H = 5893.6NDVI^{1.4644}$	0.41**	0.00
	GNDVI	Linear	$H = 7851GNDVI - 1126.9$	0.38**	0.00
		Exponential	$H = 250.15e^{5.158GNDVI}$	0.43**	0.00
		Logarithmic	$H = 2640\ln(GNDVI) + 4420.9$	0.37**	0.00
		Power	$H = 9745.4GNDVI^{1.7519}$	0.43**	0.00
	NDII	Linear	$H = 4890.5NDII + 986.54$	0.30**	0.00
		Exponential	$H = 981.2e^{3.4037NDII}$	0.30**	0.00
		Logarithmic	$H = 449.89\ln(NDII) + 2638.2$	0.31**	0.00
		Power	$H = 3170.2NDII^{0.3246}$	0.31**	0.00

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เดือนเมษายน พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	$W = 1038.7\text{NDVI} + 60.559$	0.48**	0.00
		Exponential	$W = 211.68e^{1.9066\text{NDVI}}$	0.54**	0.00
		Logarithmic	$W = 533.53\ln(\text{NDVI}) + 964.85$	0.50**	0.00
		Power	$W = 1116.3\text{NDVI}^{0.9842}$	0.56**	0.00
	GNDVI	Linear	$W = 1290.6\text{GNDVI} + 35.217$	0.41**	0.00
		Exponential	$W = 199.77e^{2.3926\text{GNDVI}}$	0.48**	0.00
		Logarithmic	$W = 564.33\ln(\text{GNDVI}) + 1079$	0.43**	0.00
		Power	$W = 1385.7\text{GNDVI}^{1.0486}$	0.50**	0.00
	NDII	Linear	$W = 1189.4\text{NDII} + 474.8$	0.55**	0.00
		Exponential	$W = 456.97e^{2.1234\text{NDII}}$	0.58**	0.00
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
เมษายน 2565	NDVI	Linear	$W = 1315.3\text{NDVI} + 138.43$	0.24**	0.00
		Exponential	$W = 239.86e^{2.4444\text{NDVI}}$	0.26**	0.00
		Logarithmic	$W = 524.86\ln(\text{NDVI}) + 1151.9$	0.34**	0.00
		Power	$W = 1584.8\text{NDVI}^{0.9807}$	0.31**	0.00
	GNDVI	Linear	$W = 1692.8\text{GNDVI} + 76.056$	0.23	0.22
		Exponential	$W = 216.07e^{3.1149\text{GNDVI}}$	0.29**	0.00
		Logarithmic	$W = 597.17\ln(\text{GNDVI}) + 1300.5$	0.25**	0.00
		Power	$W = 2065.2\text{GNDVI}^{1.1031}$	0.32**	0.00
	NDII	Linear	$W = 1255.6\text{NDII} + 496.69$	0.23**	0.00
		Exponential	$W = 463.89e^{2.4051\text{NDII}}$	0.30**	0.00
		Logarithmic	$W = 123.57\ln(\text{NDII}) + 937.14$	0.27**	0.00
		Power	$W = 1085.7\text{NDII}^{0.24}$	0.37**	0.00

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เดือนเมษายน พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	SZ = 44.292NDVI + 30.717	0.20*	0.02
		Exponential	SZ = 33.994e ^{0.8392NDVI}	0.19*	0.02
		Logarithmic	SZ = 23.558ln(NDVI) + 69.743	0.22*	0.02
		Power	SZ = 71.255NDVI ^{0.4475}	0.21*	0.01
	GNDVI	Linear	SZ = 60.454GNDVI + 27.023	0.21*	0.02
		Exponential	SZ = 31.59e ^{1.1524GNDVI}	0.20*	0.02
		Logarithmic	SZ = 27.231ln(GNDVI) + 76.511	0.23*	0.02
		Power	SZ = 81.192GNDVI ^{0.5199}	0.22*	0.01
	NDII	Linear	SZ = 67.595NDII + 45.796	0.40**	0.00
		Exponential	SZ = 45.61e ^{1.2269NDII}	0.42**	0.00
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
เมษายน 2565	NDVI	Linear	SZ = 76.383NDVI + 26.414	0.22**	0.00
		Exponential	SZ = 32.913e ^{1.3381NDVI}	0.22**	0.00
		Logarithmic	SZ = 29.093ln(NDVI) + 84.064	0.22**	0.00
		Power	SZ = 90.559NDVI ^{0.5122}	0.22**	0.00
	GNDVI	Linear	SZ = 105.9GNDVI + 20.013	0.25**	0.00
		Exponential	SZ = 29.352e ^{1.8616GNDVI}	0.25**	0.00
		Logarithmic	SZ = 35.973ln(GNDVI) + 95.209	0.25**	0.00
		Power	SZ = 110.34GNDVI ^{0.6347}	0.25**	0.00
	NDII	Linear	SZ = 48.254NDII + 50.941	0.11*	0.03
		Exponential	SZ = 50.476e ^{0.869NDII}	0.11*	0.03
		Logarithmic	SZ = 4.1326ln(NDII) + 66.655	0.11*	0.03
		Power	SZ = 67.021NDII ^{0.0747}	0.11*	0.03

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

SZ หมายถึง ขนาดรอบลำต้นที่ระดับเหนือพื้นดิน 130 เซนติเมตร

ตารางที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์อย่างพารากับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ.2564 ถึง พ.ศ.2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
พฤษภาคม 2564	NDVI	Linear	$CHLO = 58.875NDVI + 20.134$	0.27*	0.01
		Exponential	$CHLO = 29.769e^{1.0216NDVI}$	0.27*	0.01
		Logarithmic	$CHLO = 39.276\ln(NDVI) + 75.536$	0.27*	0.01
		Power	$CHLO = 77.869NDVI^{0.6822}$	0.27*	0.01
	GNDVI	Linear	$CHLO = 74.884GNDVI + 18.32$	0.30**	0.00
		Exponential	$CHLO = 28.82e^{1.301GNDVI}$	0.30**	0.00
		Logarithmic	$CHLO = 41.741\ln(GNDVI) + 84.677$	0.31**	0.00
		Power	$CHLO = 91.316GNDVI^{0.7259}$	0.03**	0.00
	NDII	Linear	$CHLO = 46.046NDII + 50.378$	0.15*	0.01
		Exponential	$CHLO = 50.239e^{0.8081NDII}$	0.14*	0.01
		Logarithmic	$CHLO = 7.1526\ln(NDII) + 71.804$	0.15*	0.01
		Power	$CHLO = 73.189NDII^{0.1257}$	0.15*	0.01
มิถุนายน 2564	NDVI	Linear	$CHLO = 14.719NDVI + 50.288$	0.05	0.19
		Exponential	$CHLO = 49.968e^{0.2642NDVI}$	0.05	0.16
		Logarithmic	$CHLO = 8.6803\ln(NDVI) + 63.86$	0.06	0.15
		Power	$CHLO = 63.751NDVI^{0.1559}$	0.06	0.13
	GNDVI	Linear	$CHLO = 24.518GNDVI + 46.315$	0.07	0.12
		Exponential	$CHLO = 46.579e^{0.4382GNDVI}$	0.07	0.10
		Logarithmic	$CHLO = 11.881\ln(GNDVI) + 67.187$	0.07	0.11
		Power	$CHLO = 67.647GNDVI^{0.2126}$	0.07	0.10
	NDII	Linear	$CHLO = 39.589NDII + 50.902$	0.10*	0.02
		Exponential	$CHLO = 50.073e^{0.7445NDII}$	0.10*	0.02
		Logarithmic	$CHLO = 6.4075\ln(NDII) + 69.739$	0.11*	0.02
		Power	$CHLO = 71.148NDII^{0.1186}$	0.11*	0.02

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 35 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
กรกฎาคม 2564	NDVI	Linear	$CHLO = 51.997NDVI + 21.608$	0.28**	0.00
		Exponential	$CHLO = 27.624e^{1.0367NDVI}$	0.29**	0.00
		Logarithmic	$CHLO = 31.432\ln(NDVI) + 69.539$	0.25**	0.00
		Power	$CHLO = 71.891NDVI^{0.6288}$	0.27**	0.00
	GNDVI	Linear	$CHLO = 76.566GNDVI + 14.004$	0.30**	0.00
		Exponential	$CHLO = 23.896e^{1.5151GNDVI}$	0.30**	0.00
		Logarithmic	$CHLO = 40.269\ln(GNDVI) + 80.609$	0.30**	0.00
		Power	$CHLO = 89.353GNDVI^{0.7985}$	0.30**	0.00
	NDII	Linear	$CHLO = 52.271NDII + 46.795$	0.21**	0.00
		Exponential	$CHLO = 45.712e^{1.0353NDII}$	0.22**	0.00
		Logarithmic	$CHLO = 3.1704\ln(NDII) + 63.476$	0.09*	0.02
		Power	$CHLO = 63.455NDII^{0.0614}$	0.10*	0.03
สิงหาคม 2564	NDVI	Linear	$CHLO = 25.583NDVI + 47.042$	0.18	0.09
		Exponential	$CHLO = 45.981e^{0.471NDVI}$	0.19	0.11
		Logarithmic	$CHLO = 4.955\ln(NDVI) + 64.584$	0.07	0.29
		Power	$CHLO = 63.32NDVI^{0.0874}$	0.08	0.34
	GNDVI	Linear	$CHLO = 32.498GNDVI + 46.191$	0.17	0.10
		Exponential	$CHLO = 45.17e^{0.603GNDVI}$	0.18	0.12
		Logarithmic	$CHLO = 6.2821\ln(GNDVI) + 66.469$	0.08	0.27
		Power	$CHLO = 65.549GNDVI^{0.1123}$	0.09	0.31
	NDII	Linear	$CHLO = 124.92NDII + 38.076$	0.50**	0.00
		Exponential	$CHLO = 38.569e^{2.3588NDII}$	0.50**	0.00
		Logarithmic	$CHLO = 17.609\ln(NDII) + 92.657$	0.51**	0.00
		Power	$CHLO = 108.44NDII^{0.3342}$	0.51**	0.00

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 35 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
พฤศจิกายน 2564	NDVI	Linear	CHLO = 52.919NDVI + 28.876	0.71**	0.00
		Exponential	CHLO = 36.373e ^{0.8475NDVI}	0.71**	0.00
		Logarithmic	CHLO = 33.749ln(NDVI) + 78.045	0.71**	0.00
		Power	CHLO = 79.957NDVI ^{0.5411}	0.71**	0.00
	GNDVI	Linear	CHLO = 58.519GNDVI + 33.3	0.70**	0.00
		Exponential	CHLO = 39e ^{0.9404GNDVI}	0.71**	0.00
		Logarithmic	CHLO = 27.076ln(GNDVI) + 81.761	0.67**	0.00
		Power	CHLO = 84.965GNDVI ^{0.4359}	0.69**	0.00
	NDII	Linear	CHLO = 20.693NDII + 59.742	0.11	0.25
		Exponential	CHLO = 59.752e ^{0.3221NDII}	0.10	0.26
		Logarithmic	CHLO = 4.1561ln(NDII) + 70.912	0.17	0.15
		Power	CHLO = 71.209NDII ^{0.0657}	0.17	0.16
ธันวาคม 2564	NDVI	Linear	CHLO = 20.837NDVI + 44.954	0.03	0.25
		Exponential	CHLO = 44.454e ^{0.4015NDVI}	0.03	0.23
		Logarithmic	CHLO = 9.3532ln(NDVI) + 62.711	0.02	0.37
		Power	CHLO = 62.617NDVI ^{0.1813}	0.02	0.35
	GNDVI	Linear	CHLO = 48.175GNDVI + 32.794	0.07	0.09
		Exponential	CHLO = 35.212e ^{0.9259GNDVI}	0.07	0.08
		Logarithmic	CHLO = 22.685ln(GNDVI) + 72.888	0.06	0.12
		Power	CHLO = 76.107GNDVI ^{0.4362}	0.06	0.10
	NDII	Linear	CHLO = 15.491NDII + 55.844	0.01	0.46
		Exponential	CHLO = 54.688e ^{0.3119NDII}	0.01	0.41
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 35 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
มกราคม 2565	NDVI	Linear	CHLO = 68.696NDVI + 18.526	0.50**	0.00
		Exponential	CHLO = 23.748e ^{1.506NDVI}	0.50**	0.00
		Logarithmic	CHLO = 29.714ln(NDVI) + 75.211	0.51**	0.00
		Power	CHLO = 83.048NDVI ^{0.6616}	0.51**	0.00
	GNDVI	Linear	CHLO = 100.11GNDVI + 10.495	0.48**	0.00
		Exponential	CHLO = 19.956e ^{2.1891GNDVI}	0.48**	0.00
		Logarithmic	CHLO = 38.504ln(GNDVI) + 87.344	0.49**	0.00
		Power	CHLO = 108.35GNDVI ^{0.8532}	0.49**	0.00
	NDII	Linear	CHLO = 104.43NDII + 40.424	0.52**	0.00
		Exponential	CHLO = 38.308e ^{2.3142NDII}	0.52**	0.00
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
กุมภาพันธ์ 2565	NDVI	Linear	CHLO = 4.3872NDVI + 27.923	0.00	0.70
		Exponential	CHLO = 27.092e ^{0.1976NDVI}	0.00	0.69
		Logarithmic	CHLO = 1.1702ln(NDVI) + 30.695	0.00	0.74
		Power	CHLO = 30.758NDVI ^{0.0546}	0.00	0.69
	GNDVI	Linear	CHLO = 2.8983GNDVI + 28.554	0.00	0.88
		Exponential	CHLO = 27.529e ^{0.1733GNDVI}	0.00	0.80
		Logarithmic	CHLO = 0.5807ln(GNDVI) + 30.121	0.00	0.92
		Power	CHLO = 30.448GNDVI ^{0.0404}	0.00	0.83
	NDII	Linear	CHLO = 1.2616NDII + 29.319	0.00	0.92
		Exponential	CHLO = 28.831e ^{0.0675NDII}	0.00	0.88
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 35 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
มีนาคม 2565	NDVI	Linear	CHLO = 11.233NDVI + 52.008	0.04	0.18
		Exponential	CHLO = 51.983e ^{0.1945NDVI}	0.04	0.19
		Logarithmic	CHLO = 2.4041ln(NDVI) + 58.841	0.02	0.31
		Power	CHLO = 58.464NDVI ^{0.0408}	0.02	0.32
	GNDVI	Linear	CHLO = 10.304GNDVI + 53.302	0.01	0.52
		Exponential	CHLO = 53.214e ^{0.1755GNDVI}	0.01	0.53
		Logarithmic	CHLO = 2.25ln(GNDVI) + 59.352	0.01	0.64
		Power	CHLO = 58.914GNDVI ^{0.0371}	0.01	0.66
	NDII	Linear	CHLO = 27.719NDII + 52.883	0.08	0.09
		Exponential	CHLO = 52.553e ^{0.5082NDII}	0.07	0.07
		Logarithmic	CHLO = 2.8301ln(NDII) + 62.857	0.10	0.05
		Power	CHLO = 63.062NDII ^{0.0516}	0.10*	0.04
เมษายน 2565	NDVI	Linear	CHLO = 29.905NDVI + 40.803	0.08	0.06
		Exponential	CHLO = 41.279e ^{0.5942NDVI}	0.07	0.06
		Logarithmic	CHLO = 11.751ln(NDVI) + 63.687	0.08	0.06
		Power	CHLO = 65.052NDVI ^{0.2336}	0.08	0.05
	GNDVI	Linear	CHLO = 39.937GNDVI + 38.855	0.08	0.06
		Exponential	CHLO = 39.798e ^{0.7876GNDVI}	0.08	0.05
		Logarithmic	CHLO = 13.933ln(GNDVI) + 67.585	0.08	0.05
		Power	CHLO = 70.15GNDVI ^{0.275}	0.08*	0.04
	NDII	Linear	CHLO = 30.971NDII + 49.265	0.10*	0.03
		Exponential	CHLO = 48.783e ^{0.6236NDII}	0.10*	0.03
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

5) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะชีพลักษณ์ของปาล์มน้ำมัน

จากการใช้ข้อมูลภาคสนามด้านชีพลักษณ์ของปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดรอบลำต้น ที่วัดขนาดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 หาความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII ที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ที่บันทึกใน เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 มีผลดังนี้

5.1) ความสูงมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด โดยในเดือนเมษายน 2564 ความสูงมีความสัมพันธ์กับดัชนี NDII สูงที่สุด และมีความสัมพันธ์แบบ Linear สูงที่สุด โดยให้ค่า r^2 เท่ากับ 0.72 ค่า p-value เท่ากับ 0.00 และมีความสัมพันธ์กับดัชนี GNDVI ต่ำที่สุด ขณะที่ในเดือนเมษายน 2565 ความสูงมีความสัมพันธ์กับดัชนี NDVI สูงที่สุด และมีความสัมพันธ์แบบ Logarithmic และ Power สูงที่สุดโดยความสัมพันธ์ทั้งสองแบบ โดยให้ค่า r^2 เท่ากับ 0.44 ค่า p-value เท่ากับ 0.00 และมีความสัมพันธ์กับดัชนี NDII ต่ำที่สุด

5.2) ความกว้างทรงพุ่ม มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด โดยในเดือนเมษายน 2564 ความกว้างทรงพุ่มมีความสัมพันธ์กับดัชนี NDII สูงที่สุด และมีความสัมพันธ์แบบ Exponential สูงที่สุด โดยให้ค่า r^2 เท่ากับ 0.59 ค่า p-value เท่ากับ 0.02

5.3) ปริมาณคลอโรฟิลล์ มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 39) ในระดับต่ำมากถึงปานกลางใน พ.ศ. 2564 โดยในเดือนเมษายน 2564 ปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์กับดัชนี NDII สูงที่สุด และมีความสัมพันธ์แบบ Linear สูงที่สุด โดยให้ค่า r^2 เท่ากับ 0.46 ค่า p-value เท่ากับ 0.02 ขณะที่ พ.ศ. 2565 ความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด อยู่ในระดับต่ำมาก

จากการศึกษาดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 มีศักยภาพสูงในการใช้ทำแบบจำลองเพื่อประมาณค่าความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และปริมาณคลอโรฟิลล์ แต่อาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

ตารางที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เดือนเมษายน พ.ศ.2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	$H = 2896.9\text{NDVI} - 429.96$	0.40	0.07
		Exponential	$H = 221.21e^{2.9492\text{NDVI}}$	0.42	0.13
		Logarithmic	$H = 1461.5\ln(\text{NDVI}) + 2042.8$	0.38	0.08
		Power	$H = 2745.6\text{NDVI}^{1.4897}$	0.41	0.14
	GNDVI	Linear	$H = 2374.8\text{GNDVI} + 3.9774$	0.14	0.29
		Exponential	$H = 419.23e^{1.9652\text{GNDVI}}$	0.16	0.45
		Logarithmic	$H = 956.82\ln(\text{GNDVI}) + 1838.8$	0.11	0.34
		Power	$H = 1870.7\text{GNDVI}^{0.7646}$	0.13	0.56
	NDII	Linear	$H = 2726.4\text{NDII} + 716.84$	0.72**	0.00
		Exponential	$H = 686.18e^{3.0743\text{NDII}}$	0.67*	0.01
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
เมษายน 2565	NDVI	Linear	$H = 4758.3\text{NDVI} - 806.48$	0.42**	0.00
		Exponential	$H = 153.14e^{4.822\text{NDVI}}$	0.42**	0.00
		Logarithmic	$H = 1961.5\ln(\text{NDVI}) + 2904.4$	0.44**	0.00
		Power	$H = 6615.4\text{NDVI}^{1.9935}$	0.44**	0.00
	GNDVI	Linear	$H = 6357.2\text{GNDVI} - 1117.6$	0.35**	0.00
		Exponential	$H = 119.17e^{6.2558\text{GNDVI}}$	0.32**	0.00
		Logarithmic	$H = 2276.1\ln(\text{GNDVI}) + 3504.4$	0.35**	0.00
		Power	$H = 11274\text{GNDVI}^{2.2412}$	0.33**	0.00
	NDII	Linear	$H = 2861.4\text{NDII} + 596.61$	0.20**	0.02
		Exponential	$H = 649.42e^{2.753\text{NDII}}$	0.22**	0.04
		Logarithmic	$H = 328.61\ln(\text{NDII}) + 1675.3$	0.14	0.07
		Power	$H = 1812.9\text{NDII}^{0.3101}$	0.16	0.10

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

H หมายถึง ความสูงของลำต้น

ตารางที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างป่าลุ่มกับค่าดัชนีพืชพรรณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2564
และ เดือนเมษายน พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืช พรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	$W = 1644.7\text{NDVI} + 122.03$	0.45	0.05
		Exponential	$W = 393.78e^{1.7209\text{NDVI}}$	0.40	0.07
		Logarithmic	$W = 833.1\ln(\text{NDVI}) + 1528.2$	0.43	0.05
		Power	$W = 1717.6\text{NDVI}^{0.874}$	0.39	0.07
	GNDVI	Linear	$W = 1516.7\text{GNDVI} + 294.91$	0.19	0.21
		Exponential	$W = 505.33e^{1.4299\text{GNDVI}}$	0.14	0.29
		Logarithmic	$W = 616.07\ln(\text{GNDVI}) + 1470.9$	0.16	0.25
		Power	$W = 1522.4\text{GNDVI}^{0.573}$	0.11	0.34
	NDII	Linear	$W = 1297.7\text{NDII} + 802.87$	0.57*	0.02
		Exponential	$W = 793.23e^{1.4591\text{NDII}}$	0.59*	0.02
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
เมษายน 2565	NDVI	Linear	$W = 924.33\text{NDVI} + 628.08$	0.08	0.11
		Exponential	$W = 674.6e^{0.9571\text{NDVI}}$	0.08	0.11
		Logarithmic	$W = 377.69\ln(\text{NDVI}) + 1345.8$	0.08	0.10
		Power	$W = 1418.8\text{NDVI}^{0.3913}$	0.09	0.10
	GNDVI	Linear	$W = 1660.9\text{GNDVI} + 420.2$	0.12	0.05
		Exponential	$W = 545.01e^{1.7143\text{GNDVI}}$	0.12	0.05
		Logarithmic	$W = 594.21\ln(\text{GNDVI}) + 1627.3$	0.12	0.05
		Power	$W = 1897.2\text{GNDVI}^{0.6147}$	0.12	0.05
	NDII	Linear	$W = -136.88\text{NDII} + 1009.4$	0.00	0.85
		Exponential	$W = 1003.9e^{-0.157\text{NDII}}$	0.00	0.83
		Logarithmic	$W = -40.58\ln(\text{NDII}) + 911.46$	0.01	0.63
		Power	$W = 900.41\text{NDII}^{-0.045}$	0.01	0.61

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

W หมายถึง ความกว้างทรงพุ่ม

ตารางที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณ เดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เดือนเมษายน พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
เมษายน 2564	NDVI	Linear	SZ = 376.45NDVI + 30.733	0.19	0.23
		Exponential	SZ = 77.332e ^{1.9823NDVI}	0.19	0.31
		Logarithmic	SZ = 194.02ln(NDVI) + 354.88	0.19	0.23
		Power	SZ = 424.64NDVI ^{1.0162}	0.19	0.32
	GNDVI	Linear	SZ = 212.3GNDVI + 129.17	0.03	0.62
		Exponential	SZ = 145.71e ^{0.8541GNDVI}	0.03	0.72
		Logarithmic	SZ = 88.645ln(GNDVI) + 295.79	0.03	0.64
		Power	SZ = 279.34GNDVI ^{0.3332}	0.03	0.75
	NDII	Linear	SZ = 411.08NDII + 173.01	0.46*	0.04
		Exponential	SZ = 159.88e ^{2.3576NDII}	0.45	0.07
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
เมษายน 2565	NDVI	Linear	SZ = 678.19NDVI - 52.926	0.18*	0.02
		Exponential	SZ = 36.053e ^{4.3302NDVI}	0.17*	0.03
		Logarithmic	SZ = 278.38ln(NDVI) + 474.86	0.19*	0.01
		Power	SZ = 1046.9NDVI ^{1.7759}	0.18*	0.03
	GNDVI	Linear	SZ = 981.64GNDVI - 123.43	0.18*	0.02
		Exponential	SZ = 22.082e ^{6.3836GNDVI}	0.16*	0.03
		Logarithmic	SZ = 354.66ln(GNDVI) + 593.67	0.18*	0.02
		Power	SZ = 2357.1GNDVI ^{2.313}	0.17*	0.03
	NDII	Linear	SZ = 278.51NDII + 165.25	0.04	0.33
		Exponential	SZ = 154.15e ^{1.4353NDII}	0.04	0.48
		Logarithmic	SZ = 31.822ln(NDII) + 269.94	0.03	0.43
		Power	SZ = 254.22NDII ^{0.143}	0.03	0.62

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

SZ หมายถึง ขนาดรอบลำต้นที่ระดับเหนือพื้นดิน 130 เซนติเมตร

ตารางที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณ ช่วง พ.ศ. 2564 ถึง พ.ศ. 2565

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
พฤษภาคม 2564	NDVI	Linear	CHLO = 20.142NDVI + 53.825	0.02	0.55
		Exponential	CHLO = 56.502e ^{0.2502NDVI}	0.02	0.63
		Logarithmic	CHLO = 12.34ln(NDVI) + 72.289	0.02	0.58
		Power	CHLO = 70.998NDVI ^{0.1508}	0.02	0.67
	GNDVI	Linear	CHLO = 42.514GNDVI + 43.794	0.04	0.38
		Exponential	CHLO = 48.375e ^{0.5841GNDVI}	0.04	0.42
		Logarithmic	CHLO = 22.604ln(GNDVI) + 80.734	0.03	0.41
		Power	CHLO = 80.319GNDVI ^{0.3097}	0.03	0.46
	NDII	Linear	CHLO = 3.5014NDII + 66.291	0.00	0.89
		Exponential	CHLO = 66.379e ^{0.0171NDII}	0.00	0.98
		Logarithmic	CHLO = 0.2961ln(NDII) + 67.563	0.00	0.94
		Power	CHLO = 66.373NDII ^{-0.003}	0.00	0.94
มิถุนายน 2564	NDVI	Linear	CHLO = 24.364NDVI + 49.558	0.08	0.56
		Exponential	CHLO = 51.806e ^{0.3506NDVI}	0.09	0.58
		Logarithmic	CHLO = 15.075ln(NDVI) + 72.131	0.08	0.57
		Power	CHLO = 71.653NDVI ^{0.2156}	0.08	0.59
	GNDVI	Linear	-	-	-
		Exponential	-	-	-
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
	NDII	Linear	CHLO = 14.393NDII + 62.275	0.02	0.47
		Exponential	CHLO = 62.609e ^{0.1755NDII}	0.02	0.58
		Logarithmic	CHLO = 2.9836ln(NDII) + 70.158	0.02	0.50
		Power	CHLO = 68.87NDII ^{0.0358}	0.02	0.61

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 39 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
กรกฎาคม 2564	NDVI	Linear	CHLO = 11.97NDVI + 57.975	0.01	0.62
		Exponential	CHLO = 61.088e ^{0.1014NDVI}	0.01	0.79
		Logarithmic	CHLO = 6.4145ln(NDVI) + 68.596	0.01	0.68
		Power	CHLO = 66.629NDVI ^{0.0466}	0.01	0.84
	GNDVI	Linear	CHLO = 41.919GNDVI + 42.395	0.04	0.31
		Exponential	CHLO = 48.183e ^{0.5423GNDVI}	0.04	0.42
		Logarithmic	CHLO = 21.539ln(GNDVI) + 78.428	0.04	0.35
		Power	CHLO = 76.554GNDVI ^{0.2732}	0.04	0.47
	NDII	Linear	CHLO = 21.443NDII + 60.795	0.03	0.33
		Exponential	CHLO = 61.483e ^{0.2537NDII}	0.02	0.47
		Logarithmic	CHLO = 3.2102ln(NDII) + 70.724	0.02	0.49
		Power	CHLO = 68.837NDII ^{0.0349}	0.02	0.64
สิงหาคม 2564	NDVI	Linear	CHLO = -20.876NDVI + 81.348	0.12	0.34
		Exponential	CHLO = 80.543e ^{-0.27NDVI}	0.13	0.40
		Logarithmic	CHLO = -14.61ln(NDVI) + 61.298	0.18	0.24
		Power	CHLO = 62.031NDVI ^{-0.193}	0.19	0.29
	GNDVI	Linear	CHLO = -26.803GNDVI + 82.483	0.15	0.28
		Exponential	CHLO = 81.811e ^{-0.348GNDVI}	0.16	0.34
		Logarithmic	CHLO = -15.36ln(GNDVI) + 58.356	0.21	0.20
		Power	CHLO = 59.641GNDVI ^{-0.204}	0.23	0.24
	NDII	Linear	CHLO = -3.3096NDII + 69.605	0.00	0.93
		Exponential	CHLO = 68.83e ^{-0.017NDII}	0.00	0.99
		Logarithmic	CHLO = -2.145ln(NDII) + 65.687	0.02	0.75
		Power	CHLO = 66.124NDII ^{-0.025}	0.02	0.80

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 39 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r^2	p-value
ธันวาคม 2564	NDVI	Linear	$CHLO = -0.9267NDVI + 67.27$	0.00	0.99
		Exponential	$CHLO = 69.002e^{-0.06NDVI}$	0.00	0.91
		Logarithmic	$CHLO = -1.122\ln(NDVI) + 66.196$	0.00	0.97
		Power	$CHLO = 65.077NDVI^{0.046}$	0.00	0.87
	GNDVI	Linear	$CHLO = 14.134GNDVI + 58.664$	0.01	0.65
		Exponential	$CHLO = 60.193e^{0.1709GNDVI}$	0.01	0.73
		Logarithmic	$CHLO = 6.8163\ln(GNDVI) + 70.558$	0.01	0.69
		Power	$CHLO = 69.33GNDVI^{0.078}$	0.01	0.78
	NDII	Linear	$CHLO = 2.0308NDII + 66.101$	0.00	0.89
		Exponential	$CHLO = 66.253e^{0.0023NDII}$	0.00	1.00
		Logarithmic	$CHLO = -0.185\ln(NDII) + 66.388$	0.00	0.94
		Power	$CHLO = 65.585NDII^{-0.008}$	0.00	0.86
มกราคม 2565	NDVI	Linear	$CHLO = 23.337NDVI + 57.924$	0.08	0.13
		Exponential	$CHLO = 58.374e^{0.3342NDVI}$	0.08	0.22
		Logarithmic	$CHLO = 23.337NDVI + 57.924$	0.09	0.12
		Power	$CHLO = 77.966NDVI^{0.1682}$	0.09	0.21
	GNDVI	Linear	$CHLO = 31.228GNDVI + 56.365$	0.09	0.12
		Exponential	$CHLO = 56.748e^{0.4632GNDVI}$	0.10	0.20
		Logarithmic	$CHLO = 14.118\ln(GNDVI) + 82.206$	0.10	0.10
		Power	$CHLO = 83.081GNDVI^{0.2073}$	0.10	0.17
	NDII	Linear	$CHLO = 22.25NDII + 64.277$	0.05	0.24
		Exponential	$CHLO = 64.153e^{0.2977NDII}$	0.05	0.39
		Logarithmic	$CHLO = 3.0938\ln(NDII) + 73.95$	0.05	0.28
		Power	$CHLO = 72.705NDII^{0.0392}$	0.05	0.44

หมายเหตุ * หมายถึง $p < 0.05$ มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง $p < 0.01$ มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 39 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
กุมภาพันธ์ 2565	NDVI	Linear	CHLO = -1.2461NDVI + 72.806	0.00	0.99
		Exponential	CHLO = 74.064e ^{-0.088NDVI}	0.00	0.91
		Logarithmic	CHLO = -0.795ln(NDVI) + 71.533	0.00	0.98
		Power	CHLO = 68.87NDVI ^{-0.04}	0.00	0.90
	GNDVI	Linear	CHLO = 15.656GNDVI + 67.608	0.00	0.64
		Exponential	CHLO = 67.155e ^{0.22GNDVI}	0.00	0.70
		Logarithmic	CHLO = 4.6787ln(GNDVI) + 77.962	0.00	0.64
		Power	CHLO = 77.332GNDVI ^{0.0621}	0.00	0.71
	NDII	Linear	CHLO = -4.727NDII + 72.937	0.00	0.79
		Exponential	CHLO = 72.859e ^{-0.121NDII}	0.00	0.72
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-
มีนาคม 2565	NDVI	Linear	CHLO = -3.3252NDVI + 70.563	0.00	0.76
		Exponential	CHLO = 70.351e ^{-0.05NDVI}	0.00	0.78
		Logarithmic	CHLO = -0.145ln(NDVI) + 69.076	0.00	0.93
		Power	CHLO = 68.773NDVI ^{-0.002}	0.00	0.92
	GNDVI	Linear	CHLO = 8.501GNDVI + 65.851	0.01	0.71
		Exponential	CHLO = 65.783e ^{0.1171GNDVI}	0.01	0.74
		Logarithmic	CHLO = 1.6284ln(GNDVI) + 70.603	0.01	0.63
		Power	CHLO = 70.227GNDVI ^{0.0224}	0.01	0.67
	NDII	Linear	CHLO = 20.893NDII + 65.365	0.03	0.40
		Exponential	CHLO = 65.374e ^{0.2851NDII}	0.03	0.46
		Logarithmic	CHLO = 2.5629ln(NDII) + 73.555	0.02	0.46
		Power	CHLO = 72.978NDII ^{0.0341}	0.02	0.52

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

ตารางที่ 39 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
เมษายน 2565	NDVI	Linear	CHLO = -16.937NDVI + 78.401	0.01	0.63
		Exponential	CHLO = 79.773e ^{-0.282NDVI}	0.01	0.58
		Logarithmic	CHLO = -6.019ln(NDVI) + 66.085	0.01	0.68
		Power	CHLO = 64.79NDVI ^{-0.104}	0.01	0.80
	GNDVI	Linear	CHLO = -16.59GNDVI + 77.419	0.00	0.80
		Exponential	CHLO = 78.416e ^{-0.273GNDVI}	0.00	0.78
		Logarithmic	CHLO = -5.644ln(GNDVI) + 65.671	0.00	0.81
		Power	CHLO = 64.436GNDVI ^{-0.096}	0.00	0.78
	NDII	Linear	CHLO = -4.6545NDII + 72.348	0.00	0.85
		Exponential	CHLO = 72.28e ^{-0.091NDII}	0.00	0.79
		Logarithmic	CHLO = 0.5532ln(NDII) + 72.798	0.00	0.85
		Power	CHLO = 71.895NDII ^{0.0039}	0.00	0.93

หมายเหตุ * หมายถึง p < 0.05 มีโอกาสน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

** หมายถึง p < 0.01 มีโอกาสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ที่แบบจำลองเกิดข้อผิดพลาด

CHLO หมายถึง คลอโรฟิลล์ในใบ

5.3 สรุปผลการศึกษา

5.3.1 การสร้างฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลในรอบปีของพืชเศรษฐกิจจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจินในการรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและจัดเตรียมภาพโดยการโมเสก (mosiac) ทำให้ได้ภาพถ่ายรายเดือนซึ่งสามารถใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีพิกซ์ลรายปีของพืชทั้ง 5 ชนิดได้ และสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการทำปฏิทินการปลูกพืชในแต่ละท้องถิ่น เพื่อใช้ศึกษาเวลาปลูกและเวลาเก็บเกี่ยวพืชเศรษฐกิจ ทำให้ทราบปริมาณพื้นที่ปลูกและประมาณการณ์เนื้อที่เก็บเกี่ยวได้ต่อไป ซึ่งค่าดัชนีที่นำมาศึกษาโดยการนำมาจัดทำเป็นกราฟ การเปลี่ยนแปลงรายเดือนสามารถใช้จำแนกชนิดพืชได้ โดยอาศัยความแตกต่างของค่าดัชนีต่าง ๆ ระหว่างชนิดพืช เช่น ยางพาราและปาล์มน้ำมันจะมีค่าดัชนีต่าง ๆ สูงกว่าอ้อย มันสำปะหลัง และสับปะรด ซึ่งเป็นพืชไร่ และนอกจากนี้การจำแนกระหว่าง อ้อยและมันสำปะหลังสามารถใช้ค่าความต่างที่เปลี่ยนไปของดัชนี NDVI และ ดัชนี GNDVI

5.3.2 ดัชนีพืชพรรณมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงทางสีพิกซ์ล เช่น ความสูง และความกว้างทรงพุ่ม ซึ่งลักษณะของแต่ละปีคล้ายกันทำให้สามารถนำมาพิจารณาความสมบูรณ์ของต้นพืชในแต่ละปี เช่น ปีที่สภาพอากาศไม่เหมาะสมเช่นฝนตกน้อย ต้นพืชเจริญเติบโตไม่ดี ค่าดัชนีพืชพรรณ เช่น NDVI และ GNDVI จะต่ำกว่าปีที่สภาพอากาศเหมาะสมเป็นต้น

5.3.3 ดัชนีพืชพรรณมีศักยภาพในการใช้สร้างแบบจำลองเพื่อประเมินการเจริญเติบโตที่ต่างกัน และสามารถใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาทำแบบจำลองได้เพียงบางเดือนเท่านั้น เช่น อ้อย ความสูง มีความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณทั้งใน พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 โดย พ.ศ. 2564 มีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง

ค่า GNDVI มีศักยภาพในการประเมินความสูง มันสำปะหลัง ความสูงมีความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณทั้งใน พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 โดย พ.ศ. 2564 และ GNDVI มีศักยภาพสำหรับใช้ประเมินความสูง สับปะรด ค่าดัชนีพืชพรรณ ดัชนี NDII มีศักยภาพในการใช้ประเมินความสูง ขณะที่ยางพาราและปาล์มน้ำมัน ดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด มีศักยภาพสำหรับการทำแบบจำลองสำหรับประเมินความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และ ขนาดลำต้น

6. การนำไปใช้ประโยชน์/ผลกระทบ

6.1 การจัดทำฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลในรอบปีของพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมัน จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ทั้ง 12 เดือน สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน การศึกษาการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ภาครัฐและเอกชนสามารถใช้ในการวางแผนการใช้ที่ดิน การบริหารจัดการแปลงปลูกและผลผลิต รวมทั้งการกำหนดราคาที่เป็นธรรมสำหรับเกษตรกรจากการประมาณการผลผลิตล่วงหน้าจากการใช้ค่าลายเซ็นเชิงคลื่นในการคาดการณ์ปริมาณพื้นที่ปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยว ช่วงเก็บเกี่ยว และผลผลิตที่คาดว่าจะเก็บเกี่ยวได้ นอกจากนี้ฐานข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับงานวิจัยโดยเฉพาะงานวิจัยด้านเกษตรแบบแม่นยำ เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการติดตามการเจริญเติบโตของพืชในพื้นที่กว้าง ใช้เวลาน้อย ประหยัดค่าใช้จ่าย และประมวลผลได้อย่างรวดเร็วทำให้เหมาะกับการให้คำแนะนำแก่เกษตรกรและผู้ประกอบการแบบรายงานผลได้ทันที (realtime) ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน โดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจ

6.2 สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตนวัตกรรม วางแผนการใช้ที่ดิน หรือส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีที่สอดคล้องกับและสามารถแก้ปัญหาของพื้นที่ได้ จากการจัดทำ spectral signature library สำหรับพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมัน ในรอบปี ซึ่งค่า spectral signature จะมีการเปลี่ยนแปลงในรอบปี โดยขึ้นอยู่กับอายุ สุขภาพ และการจัดการ เช่น ปุ๋ย การระบาดของโรคแมลง ดังนั้นผู้วิจัยและผู้ใช้ประโยชน์ด้านรีโมทเซ็นซิงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไปงานวิจัยนี้ได้ศึกษาระบบการและจัดทำแบบจำลองเพื่อใช้ในการจำแนกพื้นที่และคาดการณ์ผลผลิตพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด จากข้อมูลรีโมทเซ็นซิง ซึ่งการใช้แบบจำลองช่วยให้ผู้บริหาร นักวิชาการ หรือนักวางแผน นำไปใช้ในการวางแผนการผลิตและการตลาดได้ต่อไป

6.3 การจัดทำแบบจำลองรูปแบบการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี จากการประยุกต์ใช้ข้อมูลรีโมทเซ็นซิงซึ่งเก็บข้อมูลได้ครอบคลุมในบริเวณกว้าง ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะข้อมูลการเจริญเติบโตที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ซึ่งใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชจะช่วยให้ภาครัฐ นักวางแผน หรือนักการตลาด นำไปใช้ในการวางแผนการผลิตและการตลาดซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเกษตรกรได้โดยตรง เช่น การกำหนดราคาที่เป็นธรรม การให้ความช่วยเหลือเมื่อเกิดภัยธรรมชาติ

6.4 การใช้ข้อมูลรีโมทเซ็นซิงซึ่งสามารถใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติซึ่งเชื่อมโยงกับผลผลิตพืช เมื่อนำมาใช้ร่วมกับแบบจำลองจะช่วยให้สามารถป้องกันการสูญเสียจากการเกิดภัยธรรมชาติ เช่น ภัยแล้ง น้ำท่วม เป็นต้น

7. ความยุ่งยากและความซับซ้อนในการดำเนินการ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นไปตามขั้นตอนงานวิจัย ด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีข้อมูลปริมาณมาก และซับซ้อนซึ่งจำเป็นต้องมีการวางแผนการทำงานที่ดี ได้แก่

7.1 ขั้นตอนการคัดเลือกพื้นที่ นักวิจัยจำเป็นต้องเลือกแปลงอ้างอิงที่มีลักษณะคล้ายกับพื้นที่ส่วนใหญ่ภายในลุ่มน้ำ ซึ่งขั้นต้นได้คัดเลือกแปลงตัวอย่างไว้ 500 แปลง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเข้าไปสำรวจภาคสนามพบว่าบางแปลงที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินหรือพืชที่ปลูกมีพืชอื่นผสมอยู่มาก เช่น วัชพืช หรือพืชรอง จึงทำให้ต้องลดจำนวนแปลงอ้างอิง แต่อย่างไรก็ตามแปลงที่เหลือยังมีปริมาณเพียงพอในการศึกษา

7.2 การศึกษาในครั้งนี้สำรวจจากแปลงเกษตรกร หลายรายซึ่งอาจมีความแตกต่างเรื่องการจัดการ เช่น การให้น้ำ ปุ๋ย เป็นต้น ซึ่งจากความแตกต่างนี้ทำให้สามารถใช้ศึกษาสุขภาพของพืชจากความแตกต่างนี้

7.3 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล เนื่องจากการเก็บข้อมูลจากแปลงทดลองมีปริมาณมากและต้องเก็บข้อมูลให้เสร็จภายใน 3 ถึง 4 วัน เพื่อให้ได้ข้อมูลการเจริญเติบโตของพืชอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด และมีแปลงเก็บข้อมูลบางแปลงมีการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดินในช่วง 1 ปี จึงต้องทำให้มีการตัดแปลงปลูกนั้นออกจากการวิเคราะห์ข้อมูล

7.4 การรวบรวมและเตรียมภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ในบางเดือนมีข้อมูลน้อย เนื่องจากเป็นข้อด้อยของดาวเทียมในระบบ optic ที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลพื้นผิวได้ในบริเวณที่มีเมฆปกคลุม งานวิจัยในครั้งนี้จึงแก้ปัญหาโดยการรวบรวมภาพทั้งเดือนแล้วทำการลบข้อมูล (Masking) บริเวณที่มีเมฆปกคลุม แล้วทำการหลอมรวมภาพทุกภาพเข้าด้วยกันเป็น 1 ภาพ และเนื่องจากการศึกษาในครั้งนี้มีการศึกษาภาพถ่ายดาวเทียมจำนวน 5 ปี ซึ่งค่าการสะท้อนแสงของพืชในแปลงอ้างอิงอาจต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ และการจัดการของเจ้าของแปลง

7.5 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม จำนวน 5 ปี และข้อมูลภาคสนาม จำนวน 2 ปี (เก็บข้อมูลบางเดือน) ต้องใช้เวลาเตรียมข้อมูลโดยการตรวจสอบความผิดปกติของข้อมูล และวางแผนการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้ผลการศึกษา ได้ผลวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์

7.6 เนื่องจากฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นฐานข้อมูล พ.ศ. 2562 เมื่อสำรวจภาคสนามพบว่าบางแปลงมีการเปลี่ยนแปลงประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำให้ผู้วิจัยต้องตรวจสอบการใช้ที่ดินของแปลงที่สุ่มเก็บข้อมูลอย่างละเอียด เพื่อป้องกันการผิดพลาดข้อมูลการสะท้อนแสงจากการเปลี่ยนชนิดพืชปลูกใน พ.ศ.2564

7.7 เนื่องจากแปลงสำรวจเป็นแปลงของเกษตรกรทำให้มีการใช้ที่ดินทำให้บางแปลงศึกษาไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ต่อเนื่องเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วงเวลาการเก็บข้อมูล เช่น การเปลี่ยนพื้นที่ปลูกอ้อยเป็นพื้นที่อยู่อาศัย หรือปลูกไม้ผล เป็นต้น ทำให้จำนวนแปลงที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลลดลง

7.8 การศึกษาค่าการสะท้อนแสงในแต่ละเดือนต้องเป็นช่วงเดียวกัน และในแต่ละลุ่มน้ำควรเก็บข้อมูลให้เสร็จภายใน 5 วัน เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นและต้องสอดคล้องกับวันที่ดาวเทียมถ่ายภาพ

8. ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ

8.1 การจัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ในบางเดือนไม่สามารถจัดหาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้ โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนเนื่องจากดาวเทียม Sentinel 2 ไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลได้ในบริเวณที่มีเมฆปกคลุม

8.2 เนื่องจากการกำหนดแปลงอ้างอิงโดยการสุ่มจากข้อมูลที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ ทำให้บางแปลงไม่สามารถเข้าเก็บข้อมูลได้เนื่องจากรถไม่สามารถเข้าถึงได้

8.3 เนื่องจากมีบุคลากรและเวลาจำกัดแต่พื้นที่ดำเนินการครอบคลุมทั้งลุ่มน้ำ จึงจำเป็นต้องสุ่มเก็บตัวอย่างและการปลูกและดูแลรักษาของเกษตรกรแต่ละรายต่างกันอาจมีผลต่อการวิเคราะห์ข้อมูล

9. ข้อเสนอแนะ

9.1 ควรใช้ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดเป็นปัจจัยหนึ่งในการจำแนกชนิดพืชโดยเฉพาะการพัฒนาการจำแนกชนิดพืชแบบอัตโนมัติเนื่องจากการสร้างฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลในรอบปีของพืชเศรษฐกิจจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม พบว่ามีมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีพืชพรรณในแต่ละชนิดแตกต่างกันในแต่ละเดือนตลอดช่วงปี ซึ่งจากความแตกต่างนี้ทำให้ ค่าดัชนีพืชพรรณมีศักยภาพในการจำแนกชนิดพืช

9.2 ควรมีการจัดเก็บข้อมูลค่าการสะท้อนแสง และศึกษารูปแบบการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปีในพื้นที่อื่น และพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นเพิ่มเติม โดยเฉพาะพืชที่มีลักษณะการเจริญเติบโตคล้ายกัน ซึ่งการแปลภาพด้วยสายตาแปลได้ยาก เพื่อใช้ในการบริการจัดการแปลงให้มีประสิทธิภาพ เช่น สามารถนำไปใช้ประมาณการผลิตพืชในแต่ละช่วงของปี เนื่องจากสามารถพิจารณาได้ว่าพืชในแต่ละพื้นที่มีอยู่ในระยะใดของการเจริญเติบโต เช่น ระยะงอก ระยะช่วงกำลังเจริญเติบโต หรือระยะพร้อมเก็บเกี่ยว โดยใช้ค่าความสูงต่ำของดัชนีพืชพรรณ

9.4 ควรทดสอบโมเดลกับพื้นที่ข้างเคียงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพเพื่อความถูกต้องแม่นยำและสามารถขยายผลนำไปใช้กับพื้นที่อื่นได้

9.5 เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชมีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี การใช้โมเดลควรมีการคำนึงถึงลักษณะสภาพอากาศในแต่ละปี และใช้แยกโมเดล เช่น โมเดลสำหรับปีที่น้ำฝนน้อยหรือปีที่มีความแห้งแล้ง เป็นต้น

9.6 ควรใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะข้อมูลการเจริญเติบโตที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม กับปัจจัยอื่นๆ โดยเฉพาะการจำแนกอายุของพืช ซึ่งโดยปกติจะสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น เช่น ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และขนาดลำต้น นอกจากนี้อาจใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในการศึกษาความสมบูรณ์ของต้นพืช เช่น การขาดน้ำ ขาดธาตุอาหาร หรือการเกิดโรค เป็นต้น

10. การเผยแพร่ผลงาน

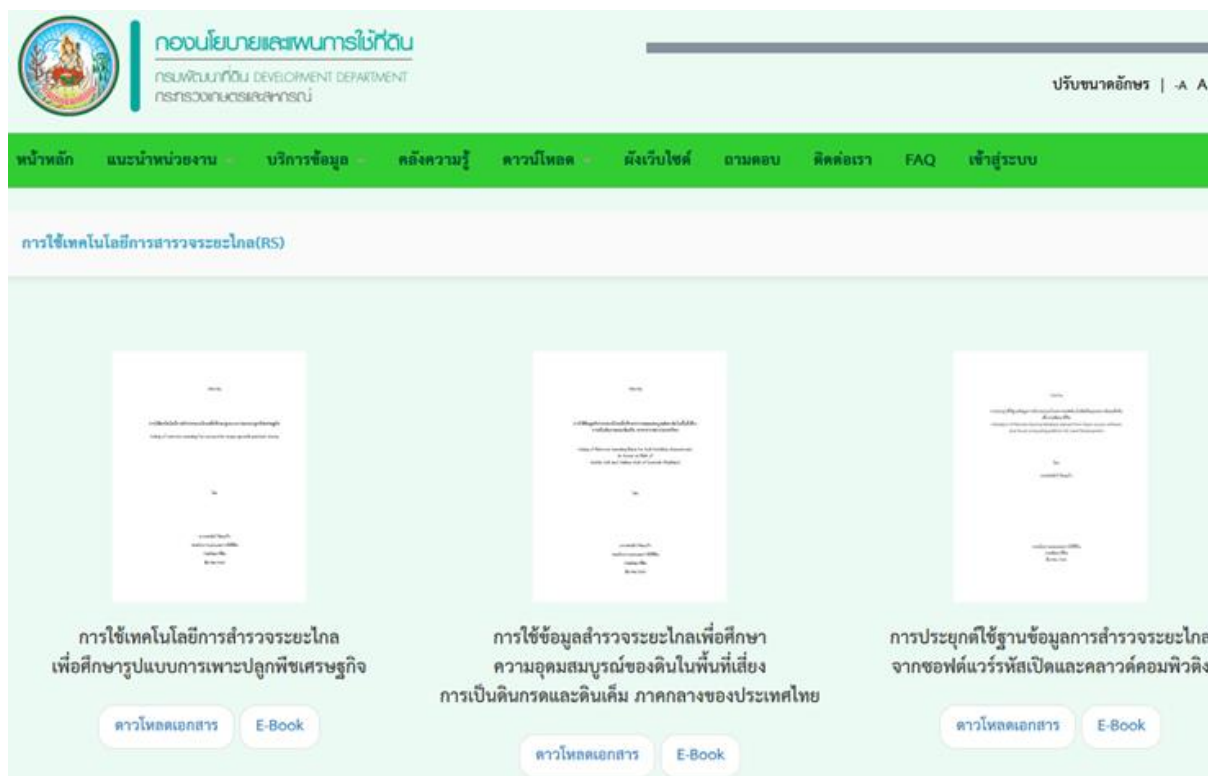
10.1 จัดทำรูปเล่มรายงานแบบหนังสืออิเล็กทรอนิกส์เผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน
เว็บไซต์ <https://e-library.ddd.go.th/library/flip/bib10891f/files/basic-html/page1.html>

<https://e-library.ddd.go.th/library/flip/bib10891f/files/basic-html/page1.html>



ภาพที่ 47 การเผยแพร่รายงานแบบหนังสืออิเล็กทรอนิกส์บนเว็บไซต์ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

10.2 จัดทำรูปเล่มรายงานแบบหนังสืออิเล็กทรอนิกส์เผยแพร่ผ่านเว็บไซต์กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดินของหน่วยงาน เช่น เว็บไซต์กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน



ภาพที่ 48 การเผยแพร่รายงานแบบหนังสืออิเล็กทรอนิกส์บนเว็บไซต์กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน

10.3 การนำเสนอผลงานระดับนานาชาติ



ภาพที่ 49 ใบประกาศนียบัตรการเข้าร่วมนำเสนอผลงาน ในงานประชุมวิชาการนานาชาติ 2023 ASA, CSSA, SSSA International Annual Meeting

11. ผู้มีส่วนร่วมในผลงาน

นายทศน์ศว์ รัตนแก้ว นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ

สัดส่วนการทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์

หน้าที่ หน้าที่รับผิดชอบวางแผนโครงการ และปฏิบัติงาน สํารวจ เก็บข้อมูลภาคสนาม ตรวจสอบวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ศึกษาวิเคราะห์ ภาพถ่ายดาวเทียม NDVI ในแต่ละช่วงปี สังเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำไปพัฒนากระบวนการใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลประเมินพื้นที่ปลูกและการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจ ๕ ชนิด

ขอรับรองว่าผลงานดังกล่าวข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ

(ลงชื่อ) ทศน์ศว์ รัตนแก้ว

(นายทศน์ศว์ รัตนแก้ว)

ตำแหน่ง นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ

ผู้ขอประเมิน

ขอรับรองว่าสัดส่วนการดำเนินการข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ (ถ้ามี)

รายชื่อผู้มีส่วนร่วมในผลงาน	ลายมือชื่อ

ได้ตรวจสอบแล้วขอรับรองว่าผลงานดังกล่าวข้างต้นถูกต้องตรงกับความเป็นจริงทุกประการ

(ลงชื่อ)

(นายชาคริต อินนะระ)

ตำแหน่ง ผู้อำนวยการกองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน
ผู้บังคับบัญชาที่กำกับดูแล

(ลงชื่อ)

(นายปราโมทย์ ยาใจ)

ตำแหน่ง อธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน
ผู้บังคับบัญชาที่เหนือขึ้นไป

-หมายเหตุ คำรับรองจากผู้บังคับบัญชาอย่างน้อยสองระดับ คือ ผู้บังคับบัญชาที่กำกับดูแล และผู้บังคับบัญชาที่เหนือขึ้นไป
อีกหนึ่งระดับเว้นแต่ในกรณีที่ผู้บังคับบัญชาดังกล่าวเป็นบุคคลเดียวกัน ก็ให้มีคำรับรองหนึ่งระดับได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2563. **พันธุ์มันสำปะหลังที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม ในเขตภาคกลางและภาคตะวันตก.** แหล่งที่มา: <https://www.doa.go.th/share/showthread.php?tid=2407>, 10 เมษายน 2564.
- กรมวิชาการเกษตร. มปป. **คู่มือ การปรับปรุงพันธุ์อ้อย.** สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน กรมวิชาการเกษตร. 71 หน้า.
- กองดัชนีเศรษฐกิจการค้า. 2563. **ส่งออกราคาพืชเศรษฐกิจสำคัญของไทยจะ รุ่ง หรือ ร่วง ในช่วง COVID-19 ?.** **วารสาร สนค.** ปีที่ 10 ฉบับที่ 110. แหล่งที่มา: http://www.tpsoc.moc.go.th/sites/default/files/tpsoc_journal_sep_63_issue_110.pdf, 10 เมษายน 2564
- กิตติศักดิ์ ทองมีทิพย์. 2564. **พัฒนาการเกษตรกรรมของประเทศไทย: ในมิติด้านการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต ในมิติด้านการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต. วารสารพัฒนศาสตร์** ปีที่ 4 ฉบับที่ 1. หน้า 133-162.
- เกษม สุขสถาน. ม.ป.ป. **เรื่องที่ 3 อ้อย สำหรับเด็กระดับโตและบุคคลทั่วไป.** สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่มที่ 5 แหล่งที่มา: <https://www.saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=5&chap=3&page=chap3.htm>, , 10 กันยายน 2562.
- เกียรติคุณ สัมฤทธิ์เปี่ยม สุเมธ พงษ์ฤดี ณรงค์ศักดิ์ การันต์ และพศิกา ไหมชู. 2565. **การปรับปรุงระบบฐานข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตรและดัชนีภาคเกษตรระดับจังหวัด. ธนาคารแห่งประเทศไทย.** แหล่งที่มา: https://www.bot.or.th/Thai/Statistics/Articles/Doc_Lib_statisticsHorizon/StatHorizon_Agricultural.pdf, 10 มกราคม 2566
- ชัตติยานี ศรีแฉล้ม สุพรรณ กาญจนสุธรรม แก้ว นวลฉวี และณรงค์ พลธิรักษ์. 2561. **การศึกษาค่าสะท้อนพลังงานของมันสำปะหลังจากข้อมูลดาวเทียม ในเขตอำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** ปีที่ 13 ฉบับที่ 3 หน้า 12-22.
- แคสเสด มงคลสวัสดิ์ และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. 2562. **แนวทางการใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูลดาวเทียมหลายช่วงเวลาเพื่อติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งจากสถานะด้านชีพลักษณ์ของปามรสุเมตรอน. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย.** แหล่งที่มา: https://gecnet.kku.ac.th/research/n_journal/2552/2_Journal_10-2.pdf, 10 มกราคม 2564
- จินดารัฐ วีระวุฒิ. 2541. **สับปะรด และสรีรวิทยาการเจริญเติบโตของสับปะรด.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 196 หน้า.
- ชฎาพร โพธิ์สุวรรณ. 2561. **การสร้างมูลค่าผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อกระตุ้นเศรษฐกิจฐานรากจากพืชเศรษฐกิจชุมชนสับปะรดจังหวัดราชบุรี. รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง, ราชบุรี.**
- ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. 2540. **การสำรวจข้อมูลระยะไกล.** หจก.ขอนแก่นการพิมพ์.
- ชัยวัช ไชวเจริญสุข. 2564ก. **แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566: อุตสาหกรรมน้ำตาล. วิจัยกรุงศรี.** <https://www.krungsri.com/th/research/industry>, 10 มกราคม 2566

- ชัยวัช โขวเจริญสุข. 2564ข. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม 2565-2567 : มั่นสำปะหลัง. **วิจัยกรุงศรี**. แหล่งที่มา: <https://www.krungsri.com/th/research/industry>, 10 มกราคม 2566
- ทศนัศว์ รัตนแก้ว และ เชษฐจรูจ จันทรแปลง. 2564. **การใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของยูคาลิปตัสบนคันนาในพื้นที่ดินเค็ม**. รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 58 หน้า.
- ธีระพงศ์ จันทรนิม. 2562. **คู่มือเกษตรกร การผลิตปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ**. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา. 128 หน้า.
- นภลัย เสมอใจ สุนันท์ สีสังข์ และพลสรายุ สราญมย์. 2558. **การใช้เทคโนโลยีในการผลิตสับปะรดให้ได้คุณภาพดีของเกษตรกรในจังหวัดราชบุรี**. การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 5. 15 หน้า.
- บัญชา สมบูรณ์สุข, ไชยยะ คงมณี, นริสา ทรงไตรย์ และ ปุริวิชญ์ พิทยาภินันท์. 2561. ศักยภาพการผลิตยางพาราไทย: การจัดการเทคโนโลยีการผลิต ปัญหาและแนวทางการเพิ่มผลผลิต. **Kasetsart Journal of Science**. Vol. 39. แหล่งที่มา: <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/TKJS/10989600.pdf>, 15 มีนาคม 2564
- บุษราวัลย์ ศรีเลิศวรกุล และปรีชา ธรรมานนท์. 2559. **การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับผลผลิตสับปะรดโรงงาน โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 8**. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54: สาขาวิทยาศาสตร์, สาขาพันธุวิศวกรรม, สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. หน้า 1081-1088.
- ปณิธิ ยองประยูร ภัคจี คงศีล ญัฐธิดา พุ่มมี และ ปัทมา ทองพิทักษ์. 2558. **การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ในพื้นที่แล้งในจังหวัดกาญจนบุรี**. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53 สาขาพืช. หน้า 523-530. แหล่งที่มา: https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/kukr/index, 15 มีนาคม 2564
- ประภาพรรณ จันมณี. 2550. **การพยากรณ์ปริมาณการใช้สัตว์น้ำเค็มในอุตสาหกรรมสัตว์น้ำกระป๋อง**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1 /2550 ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 77 หน้า.
- ปรารณา ปลอดดี, ศิริขวัญ ภูंना และ บุษยรัตน์ หมอกมัว. 2560. **แนวทางการประเมินกำลังผลิตของดินสำหรับปลูกมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมา**. กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งที่มา: <http://e-library.idd.go.th/library/flip/bib10066f/bib10066f.html#p=2>, 15 มีนาคม 2564
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ. 2521. **การเจริญเติบโตของต้นไม้**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 489 หน้า
- พัชรี มณีรัตน์ และ ดร.ยงยุทธ ไชยพงศ์. 2555. **การประมาณค่าพีในการทดสอบสมมติฐาน สำหรับพารามิเตอร์ของการแจกแจงแบบเบร์นูลลีโดยวิธีบูทสเตรป**. โครงการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13 มหาวิทยาลัยขอนแก่น. แหล่งที่มา: <https://gsbooks.gs.kku.ac.th/55/cdgrc13/files/pmo12.pdf>, 15 มีนาคม 2566

- พิชัย บุตรสีภูมิ และ อนุพงศ์ วงศ์ตามี. 2022. การประเมินผลผลิต องค์ประกอบผลผลิต ค่าความหวาน และความสามารถในการไวต่อของอ้อยจำนวน 14 พันธุ์ที่เจริญเติบโตภายใต้สภาพน้ำท่วมขังธรรมชาติในจังหวัดพิษณุโลก. วารสารเกษตร ปีที่ 38 ฉบับที่ 2 หน้า 279-292.
- มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2561. องค์ความรู้สำหรับการพัฒนาอ้อย. โครงการสร้างองค์ความรู้และพัฒนาอ้อยปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 120 หน้า.
- มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ. มปป. การเจริญเติบโตของอ้อย. โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร.
- ยงยุทธ โอสดสภา. 2556. ธาตุอาหารและการเจริญเติบโตของอ้อย. วารสารดินและปุ๋ย ปีที่ 35 เล่มที่ 1-4 หน้า 65-77.
- ยศธร ไตรพรหมมา. 2562. การใช้เทคนิค NDVI และ NDWI ในการจำแนกชนิดป่าไม้ในเขตอำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร. 62 หน้า.
- รินทร์หทัย กิตติ์ธนารุจ. ม.ป.ป. บทที่ 2 การนำเสนอข้อมูล. เอกสารประกอบการสอน มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์. แหล่งที่มา: <https://dspace.bru.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/7316/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%20%20%20%20%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%99%E0%B8%B3%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%B9%E0%B8%A5.pdf?sequence=2&isAllowed=y>, 2 มกราคม 2567
- วีระพล พลรักดี. 2558. การวิจัยและพัฒนาพันธุ์อ้อย. รายงานชุดโครงการวิจัย การวิจัยและพัฒนาพันธุ์อ้อย กรมวิชาการเกษตร. 21 หน้า.
- ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. ม.ป.ป. การผลิตปาล์มน้ำมัน. ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งที่มา: <https://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2020/01/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%9B%E0%B8%B2%E0%B8%A5%E0%B9%8C%E0%B8%A1%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99.pdf>, 25 มีนาคม 2564
- ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2555. คู่มือที่ 16 การปลูกยางพารา. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 20 หน้า.
- สถานีอุตุนิยมวิทยาราชบุรี. 2566. ภูมิอากาศจังหวัดราชบุรี. แหล่งที่มา: <http://climate.tmd.go.th/data/province/%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%87/%E0%B8%A0%E0%B8%B9%E0%B8%A1%E0%B8%B4%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A8%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%8A%E0%B8%9A%E0%B8%B8%E0%B8%A3%E0%B8%B5.pdf>, 25 มีนาคม 2566

- สถาบันนวัตกรรมและธรรมาภิบาลข้อมูล. 2566. **ชุดข้อมูลอุตุนิยมวิทยา**. แหล่งที่มา: <https://data.go.th/dataset?q=%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A8&tags=%E0%B8%AD%E0%B8%B8%E0%B8%95%E0%B8%B8%E0%B8%99%E0%B8%B4%E0%B8%A2%E0%B8%A1%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%97%E0%B8%A2%E0%B8%B2>, 25 มีนาคม 2566
- สถาบันวิจัยพืชสวน. 2560. **การจัดการการผลิตสับปะรดคุณภาพ**. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 184 หน้า.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2563. **คู่มือ การปลูกอ้อยที่ถูกต้อง เหมาะสม และยั่งยืน**. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สอน.) กระทรวงอุตสาหกรรม. 60 หน้า.
- สำนักงานจังหวัดราชบุรี. 2560. **แผนพัฒนาจังหวัดราชบุรี พ.ศ. ๒๕๖๑ – ๒๕๖๔ (ฉบับทบทวน ปี พ.ศ. ๒๕๖๒)**. กลุ่มงานยุทธศาสตร์และข้อมูลเพื่อการพัฒนาจังหวัด สำนักงานจังหวัดราชบุรี. 249 หน้า.
- สำนักคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. ม.ป.ป. **คู่มือ การจัดการไร่อ้อยอย่างยั่งยืน**. กลุ่มพัฒนาด้านอ้อย สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมอ้อย น้ำตาลทราย และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 62 หน้า
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครสวรรค์. 2564. **มันสำปะหลัง**. แหล่งที่มา: <https://www.opsmoac.go.th/nakhonsawan-dwl-files-431691791796>, 15 กรกฎาคม 2565.
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพะเยา. 2563. **มันสำปะหลัง จังหวัดพะเยา ปี 2563**. กลุ่มสารสนเทศการเกษตร สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพะเยา. แหล่งที่มา: www.moac-info.net/phayao, 15 มีนาคม 2564
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดสุราษฎร์ธานี. 2565. **ข้อมูลรายสินค้า (ยางพารา) เพื่อการวางแผน พัฒนาการเกษตรและสหกรณ์ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี**. กลุ่มสารสนเทศการเกษตร สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดสุราษฎร์ธานี. 58 หน้า.
- สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล องค์การมหาชน. 2566. **ชุดข้อมูลปริมาณน้ำฝน จังหวัดราชบุรี**. แหล่งที่มา: <https://data.go.th/th/dataset>, 25 มีนาคม 2566
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565ก. **ภาวะเศรษฐกิจการเกษตร ระดับภาค ครั้งที่ 1 ของปี 2565 และแนวโน้มปี 2565**. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 135 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565ข. **ภาวะเศรษฐกิจการเกษตรปี 2565และแนวโน้มปี 2566**. กองนโยบายและแผนพัฒนาการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. แหล่งที่มา: https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/bappdata/files/Outllok%202565_2566.pdf, 15 มกราคม 2566
- สืบพงษ์ พงษ์สวัสดิ์ ชวิต ศรีมณีน ชยเกษ ม้าลำพอง และ กมลวรรณ วัฒนชัย. 2551. **เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ**. ภาควิชาเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น. 13 หน้า. แหล่งที่มา: <http://www2.feu.ac.th/admin/pr/newscontrol/atts/D20080514105343.pdf>, 23 กุมภาพันธ์ 2560
- หัตยา ทรงนิรันดร์ และ ปุณณมี สัจจกมล. 2559. **การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์สับปะรดแปรรูปในกระป๋อง**. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54 สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 479-486.

- อนรรักษ์ อรัญญานาค, นงลักษณ์ เทียนเสรี และ คัทลียา ฉัตรเที่ยง. การปลูกและการไถ่ของอ้อยที่ปลูกในจังหวัด กาญจนบุรี สุพรรณบุรี และราชบุรี. 2563. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 หน้า 26-33.
- อมร เพชรสว่าง. 2558. องค์ประกอบของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและ ภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). แหล่งที่มา: <http://www.gistda.or.th/main/th/node/817>, 23 กุมภาพันธ์ 2560.
- อมรเทพ เจริญสุข พงศธร โสภณพันธุ์ และ ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์. 2562. การวางแผนจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่ม น้ำลำภาชี. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 29 ฉบับที่ 4. หน้า 552-564.
- เอกสิทธิ์ โสสิตสกุลชัย สิทธา ยอดเจริญ และ ยุทธนา พันธุ์กลมศิลป์. 2561. การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลง การใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำลำภาชีโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมและแบบจำลอง SWAT. วารสาร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 7 ฉบับที่ 3. 16 หน้า. แหล่งที่มา: <https://kuojs.lib.ku.ac.th/index.php/jstku/article/view/3473/1674>, 3 กุมภาพันธ์ 2565.
- Abyanta, R. D. G., Z Ali, and R. H. Ayani. 2022. Health Analysis of Sugarcane Plants Using Comparison of Landsat-8 Satellite Image Time Series (Case Study: Pakis District, Malang Regen. **Journal of Marine-Earth Science Technology**. Vol. 3 (2) p. 44-48.
- Amin, Eatidal, S. Belda, L. Pipia, Z. Szantoi, A. E. Baroudy, J. Moreno, and J. Verrelst. 2021. **Crop phenology monitoring from Landsat 8 and Sentinel-2 green LAI time series at the Nile Delta**. EGU General Assembly. Available source: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/EGU21-12437.html>, April 9, 2022.
- Anand, A., S. K. Singh, and S. Kanga. 2018. **Estimating the change in Forest Cover Density and Predicting NDVI for West Singhbhum using Linear Regression**. **International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation**. Vol.IX (1) p. 193—203. Available source: <https://doi.org/10.31786/09756272.18.9.1.125>, April 9, 2021.
- Azizan, F. A., I. S. Astuti, M. I. Aditya, T. R. Febbiyanti, A. Williams, A. Young, and A. A. Aziz. 2021. Using Multi-Temporal Satellite Data to Analyse Phenological Responses of Rubber (*Hevea brasiliensis*) to Climatic Variations in South Sumatra, Indonesia. **Remote Sensing**. Available source: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/15/2932>, April 10, 2022.
- Balasundram, S. K., H. Memarian, and R. Khosla. 2013. **Estimating oil palm yields using vegetation indices derived from QuickBird**. **Life Science Journal**. Vol.10 (4) p. 851-860.
- Bachelor Print. 2023. **Coefficient of Determination (R^2) - Definition & Interpretation**. Available Source: <https://www.bachelorprint.com/statistics/coefficient-of-determination/>, April 10, 2024.
- Bendin, H. do N., I. D. Sanches, T. S. Körting, L. M. G. Fonseca, A. J. B. Luiz c, and A. R. Formaggio. 2016. **Using Landsat 8 Image Time Series for Crop Mapping in a Region of Cerrado, Brazil**.

- The International Archives of the Photogrammetry.** Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B8, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic. Available source: <https://www.researchgate.net/publication/307529596>, April 10, 2022.
- Caturegli, Lisa, M. Corniglia, M. Gaetani, N. Grossi, S. Magni, M. Migliazzi, L. Angelini, M. Mazzoncini, N. Silvestri, M. Fontanelli, M. Raffaelli, A. Peruzzi, M. Volterrani. 2016. Unmanned Aerial Vehicle to Estimate Nitrogen Status of Turfgrasses. **PLOS ONE**. Vol.11 (6) 13 p.
- Chen, G., J. Thill, S. Anantsuksomsri, N. Tontisirin, and R. Tao. 2018. Stand age estimation of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations using an integrated pixel- and object-based tree growth model and annual Landsat time series. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. Vol.144. pp. 94–104
- Chen, Y., L. Feng, J. Mo, W. Mo, M. Ding, and Z. Liu. 2020. Identification of Sugarcane with NDVI Time Series Based on HJ-1 CCD and MODIS Fusion. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**. Vol. 48 (2) p. 249–262.
- Cilek, A. and S. Berberoglu. 2018. Object-Based Crop Mapping Using Multi-Temporal Landsat 8 Imagery. **Int. Journal of Engineering Research and Application**. Vol. 8 (4), (Part -II) April 2018, pp.34-37.
- Eiumnoh, A. and R. P.Shrestha. 1999. A Study on Estimation of Cassava Area and Production Using Remote Sensing and Geographic Information Systems in the Northeast Region of Thailand. **Southeast Asian Studies**. Vol. 37 (3) p. 417-430.
- El-Rabbany, A. 2002. **Introduction to GPS The Global Positioning System**. Artech House Mobile Communications Series. 174p. Available Source: http://w3.uch.edu.tw/ccchang50/ebook_introduction%20to%20gps.pdf, February 5, 2017.
- ESRI. 2012. **What is GIS?**. ESRI 380 New York Street Redlands, California 92373-8100 USA. 61 P.
- European Space Agency. 2022. **SENTINEL-2 MISSION GUIDE**. Available source: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>, April 10, 2022.
- Foong, A., W. Sum, and S. A. A. Shukor. 2019. **Oil Palm Plantation Monitoring from Satellite Image**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 705, 5th International Conference on Man Machine Systems 26–27 August 2019, Pulau Pinang, Malaysia. 8 p.
- Fortes, R., M. H. Prieto, A. García-Martín, A. Córdoba, L. Martínez, and C. Campillo. 2015. Using NDVI and guided sampling to develop yield prediction maps of processing tomato crop. **Spanish Journal of Agricultural Research**. Vol.13 (1) 9 p.

- Gao, B. 1996. NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 58 (3), pp. 257-266.
- Gates D. M., H. J. Keegan, J. C. Schleiter, and V. R. Weidner. 1965. **Spectral Properties of Plants**. **Applied Optics**. Vol. 4 (1), pp. 11-20.
- Gitelson, A.A., Y.J. Kaufman and M.N. Merzlyak. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 58 (3) p. 289-298.
- Guan, S., K. Fukami, H. Matsunaka., M. Okami, R. Tanaka, H. Nakano, T. Sakai, K. Nakano, H. Ohdan, and K. Takahashi. 2019. Assessing Correlation of High-Resolution NDVI with Fertilizer Application Level and Yield of Rice and Wheat Crops using Small UAVs. **Remote Sensing**. Vol.11 (2) p. 112.
- Hardisky, M., V. Klemas, and R. Smart. The Influences of Soil Salinity, Growth Form, and Leaf Moisture on the Spectral Reflectance of *Spartina Alterniflora* Canopies. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. Vol. 49 (1) p. 77-83.
- Htitiou, A., A. Boudhar, Y. Lebrini, R. Hadria, H. Lionboui, L. Elmansouri, B. Tychon, T. Benabdelouahab. 2019. The Performance of Random Forest Classification Based on Phenological Metrics Derived from Sentinel-2 and Landsat 8 to Map Crop Cover in an Irrigated Semi-arid Region. **Remote Sensing in Earth Systems Sciences**. Available source: <https://doi.org/10.1007/s41976-019-00023-9>, April 10, 2022.
- Huete, A. R. 2004. **Remote Sensing for Environmental Monitoring**. **Environmental Monitoring and Characterization**. Available source: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/spectral-reflectance>, April 10, 2022.
- Hunt, E. R. Jr. and Rock, B. N. 1989. Detection of changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectances. **Remote Sens. Environ.** Vol. 30 p. 43-54, Available source: doi:10.1016/0034-4257(89)90046-1, April 10, 2022.
- Jensen, J.R. 2000. **Remote Sensing of Environment: An Earth Resource Perspective Second edition**. Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA. 592 p.
- Ji, L., L. ZHANG, B. K. WYLIE, and J. ROVER. 2011. On the terminology of the spectral vegetation index $(NIR - SWIR)/(NIR + SWIR)$. **International Journal of Remote Sensing** Vol.32 (21) p. 6901-6909.
- Liaghat, S. and S.K. Balasundram, 2010. A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture. **Am. J. Agric. Biol. Sci.** Vol.5 (1) p. 50-55.

- Mielniczuk, J. and P. Teisseyre. n.d. **Model selection in logistic regression using p-values and greedy search**. Available source: <https://home.ipipan.waw.pl/j.mielniczuk/JMPT1.pdf>
- Menzel, A., T. H. Sparks, N. Estrella, E. Koch, A. Aasa, R. Ahas, K. Alm-Kübler, P. Bissolli, O. Braslavská, A. Briede, F. M. Chmielewski, Z. Crepinsek, Y. Curnel, Å. Dahl, C. Defila, A. Donnelly, Y. Filella, K. Jatczak, F. Måge, A. Mestre, Ø. Nordli, J. Peñuelas, P. Pirinen, V. Remišová, H. Scheifinger, M. Striz, A. Susnik, A. J. H. V. Vliet, F. Wielgolaski, S. Zach, A. Zust. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. **Global Change Biology**. Vol 12 (10) p. 1969-1976.
- Nair, S. S. 2012. **Geoinformatics Applications in Disaster Management**. National Institute of Disaster Management Ministry of Home Affairs, Government of India New Delhi, India. 214 p.
- Ochoa, C. G., F. Villarreal-Guerrero, J. A. Prieto-Amparán, H. R. Garduño, F. Huang, and C. Ortega-Ochoa. 2022. Precipitation, Vegetation, and Groundwater Relationships in a Rangeland Ecosystem in the Chihuahuan Desert, Northern Mexico. **Hydrology**, Vol. 10 (41) 18 p. Available source: <https://doi.org/10.3390/hydrology10020041>, April 10, 2022.
- Peña, M.A., Brenning, A., 2015. Assessing fruit-tree crop classification from Landsat-8 time-series for the Maipo Valley, Chile. **Remote Sensing of Environment**, 171, pp. 234-244.
- Phoncharoen, P. n.d. **Total dry weight patterns of cassava grown on 20 Apr, 25 May and 30 June planting dates (A) and 5 Oct, 10 Nov and 15 Dec planting dates (B)**. Available source: https://www.researchgate.net/figure/Total-dry-weight-patterns-of-cassava-grown-on-20-Apr-25-May-and-30-June-planting-dates_fig1_333292054, April 10, 2022.
- Putra, A. N., W. Kristiawati, D. C. Mumtazydah, T. Anggarwati, R. Annisa, D. H. Sholikah, D. Okiyanto, Sudarto 2021. Pineapple biomass estimation using unmanned aerial vehicle in various forcing stage: Vegetation index approach from ultra-high-resolution image. **Smart Agricultural Technology**. 9 p. Available source: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100025>, January 3, 2024.
- Qiao, H., M. Wu, M. Shakir, L. Wang, J. Kang, and Z. Niu. 2016. Classification of Small-Scale Eucalyptus Plantations Based on NDVI Time Series Obtained from Multiple High-Resolution Datasets. **Remote Sensing**. Vol.8 (117) 20 p.
- Rahman, M. L. and S. H. Rahman. 2021. Detection of Land Use Land Cover Changes Using Remote Sensing and GIS Techniques in a Secondary City in Bangladesh. **Grassroots Journal of Natural Resources**. Vol.4 (3) 15p.
- Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering. 1974. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume I: Technical Presentations, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317.

- Santillan, J. R. and M. M. Santillan. 2018. Analysis of In-Situ Spectral Reflectance of Sago And Other Palms: Implications for Their Detection in Optical Satellite Image. **SPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Vol. IV-3. ISPRS TC III Mid-term Symposium “Developments, Technologies and Applications in Remote Sensing”, 7–10 May, Beijing, China. Available souse: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-3-185-2018>, December 1, 2021.
- Sayavong, S., N. Kaewjampa, R. Katawatin, C. B. Iwai, S. Moukomla, J. Oszwald, and A. Pierret. 2019. Mapping rubber stand ages in luangnamtha district (Northern laos) using NDVI and LSWI from Landsat images. **Asia-Pacific Journal of Science and Technology**. Vol. 24 (2) 13 p.
- Scarpore, F.V. n.d. **Sugarcane Phenology Phases**. Available souse: https://www.researchgate.net/figure/Sugarcane-phenological-phases-relative-to-crop-development_fig4_304315524, December 1, 2021.
- Sentinel Hub. 2017. **NDII (Normalized difference 819/1600)**. Available souse: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndii/#>, December 1, 2021.
- Shashikant, V, A. R. M. Shariffa, L. Nordinc, and B. Pradhana. 2012. NDVI Of Oil Palm Trees by Landsat-5 Imagery. **THE 33rd Asian Conference On Remote Sensing**. Available souse: [https://a-a-r-s.org/proceeding/ACRS2012/Proceeding%20ACRS%202012/Poster%20Session/PS1%20\(1-14\)%20Algorithm/PS1-2.pdf](https://a-a-r-s.org/proceeding/ACRS2012/Proceeding%20ACRS%202012/Poster%20Session/PS1%20(1-14)%20Algorithm/PS1-2.pdf), December 21, 2022.
- Simms, É. L. and H. Ward. 2013. Multisensor NDVI-Based Monitoring of the Tundra-Taiga Interface (Mealy Mountains, Labrador, Canada). **Remote Sensing**. Available souse: www.mdpi.com/journal/remotesensing, December 21, 2022.
- Somching, N. 2019. **The Age Dynamics of Para Rubber Plantations using Landsat Time Series (1991 – 2018) using Machine Learning Algorithm**. Thesis Master of Science, Environmental Management Technology, Prince of Songkla University. 76 p.
- SQM Nutrition Academy. n.d. **Pineapple phenological phases and their nutrition requirements**. Available souse: <https://sqmnutrition.com/en/essays/pineapple-phenological-phases-and-their-nutrition-requirements/>, April 10, 2022.
- Thompson, C., N. W. Guo, B. Sharma, and G. L. Ritchi. 2015. Using Normalized Difference Red Edge Index to Assess Maturity in Cotton. **Crop Science** Vol. 59. 11p.
- Zhu, Z., S. Qiu, B. He, and C. Deng. 2018. **Cloud and Cloud Shadow Detection for Landsat Images: The Fundamental Basis for Analyzing Landsat Time Series**. Available souse: <https://www.researchgate.net/topic/Landsat/publications>, December 21, 2022.