

รายงาน

การใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลเพื่อศึกษารูปแบบการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ

Using of remote sensing for economic crops growth pattern study

โดย

นายทศน์ศว์ รัตนแก้ว

กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน

กรมพัฒนาที่ดิน

มีนาคม 2566

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(6)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินงาน	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 สมมติฐานของการศึกษา	3
1.6 อุปกรณ์และวิธีดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ข้อมูลทั่วไป	8
2.1 ข้อมูลทั่วไปลุ่มน้ำลำภาชี	8
2.2 การใช้ประโยชน์ที่ดินลุ่มน้ำลำภาชี	15
บทที่ 3 ตรวจเอกสาร	22
3.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจในประเทศไทย	22
3.2 เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing, RS)	46
3.3 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืช	49
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์	59
4.1 การสร้างฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลในรอบปีของพืชเศรษฐกิจจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	59
4.2 การศึกษารูปแบบการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี	85
4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะชีพลักษณ์พืชที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม	107

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุป	189
5.1สรุปผลการศึกษา	189
5.2 ข้อเสนอแนะ	189
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ	190
เอกสารอ้างอิง	192

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อมูลอุณหภูมิจะหว่าง พ.ศ.2561 ถึง พ.ศ. 2565	10
2	ปริมาณน้ำฝน (มม.) เฉลี่ยรายปีระหว่างพ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565 จังหวัดราชบุรี	11
3	ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำลำภาชี	13
4	โครงการอ่างเก็บน้ำศกยภาพในลุ่มน้ำลำภาชี	14
5	การใช้ที่ดินลุ่มน้ำลำภาชี พ.ศ. 2564	16
6	ช่วงปลูกที่เหมาะสมสำหรับมันสำปะหลังในภาคกลางและภาคตะวันตก	33
7	ลักษณะการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันเมื่ออายุ 14 ปี	46
8	ดัชนีพืชพรรณชนิดต่างๆ	52
9	คุณสมบัติของข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2	58
10	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของอ้อย	62
11	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของมันสำปะหลัง	68
12	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกสับปะรด	73
13	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกยางพารา	78
14	การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกปาล์มน้ำมัน	82
15	การเจริญเติบโตของอ้อยช่วง พ.ศ. 2564 – พ.ศ. 2565	89
16	การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังช่วง พ.ศ. 2564 – พ.ศ. 2565	94
17	การเจริญเติบโตของสับปะรดช่วง พ.ศ. 2564 – พ.ศ. 2565	98
18	การเจริญเติบโตของยางพาราช่วง พ.ศ. 2564 – พ.ศ. 2565	101
19	การเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ. 2564 – พ.ศ. 2565	105

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงอ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ.2564 - พ.ศ.2565	107
21	ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของพุ่มอ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ.2564 - พ.ศ.2565	112
22	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นอ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ.2564 - พ.ศ.2565	117
23	ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์อ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ.2564 - พ.ศ.2565	122
24	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงมันสำปะหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ.2564-พ.ศ.2565	127
25	ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของพุ่มมันสำปะหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ.2564 - พ.ศ.2565	133
26	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นมันสำปะหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ.2564 - พ.ศ.2565	139
27	ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์มันสำปะหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ.2564 - พ.ศ. 2565	145
28	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงสับปะรดกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ.2564 - พ.ศ.2565	152
29	ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของพุ่มสับปะรดกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ.2564 - พ.ศ.2565	158

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
30	ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์สับปะรดกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ.2564 – พ.ศ.2565	164
31	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และเมษายน พ.ศ. 2565	172
32	ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และเมษายน พ.ศ. 2565	173
33	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และเมษายน พ.ศ. 2565	174
34	ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ.2564 – พ.ศ.2565	175
35	ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และเมษายน พ.ศ.2565	181
36	ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณเดือนเมษายน พ.ศ. 2564และเมษายน พ.ศ. 2565	182
37	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณเดือนเมษายน พ.ศ. 2564และเมษายน พ.ศ. 2565	183
38	ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ.2564 – พ.ศ.2565	184

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	จุดสุ่มคัดเลือกลักษณะข้อมูลอ้างอิงของพืชแต่ละชนิดแบบจำเพาะเจาะจง	7
2	แผนที่ที่ตั้งและอาณาเขตลุ่มน้ำลำภาชี	8
3	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565 จังหวัดราชบุรี	12
4	การใช้ที่ดินลุ่มน้ำลำภาชี 5 ประเภทหลัก พ.ศ. 2564	15
5	แผนที่การใช้ที่ดินลุ่มน้ำลำภาชี พ.ศ. 2564	21
6	การเปลี่ยนแปลงด้านซีพีลักษณะของอ้อย	29
7	การเปลี่ยนแปลงด้านซีพีลักษณะของมันสำปะหลังด้านการสะสมน้ำหนักแห้งที่ปลูก ใน 2 ฤดู	34
8	การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะของสับปะรดอายุตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว	38
9	รอบการปลูกสับปะรด 4 ปี ไร่หน่อ 1 รุ่น เก็บเกี่ยวผลผลิต 2 ครั้ง	38
10	รอบการปลูกสับปะรด 5 ปี ไร่หน่อ 2 รุ่น เก็บเกี่ยวผลผลิต 3 ครั้ง	39
11	การเปลี่ยนแปลงด้านซีพีลักษณะระยะการผลัดใบของยางพารา	42
12	ลักษณะลำต้นของปาล์มน้ำมัน	46
13	ลายเซ็นเชิงคลื่นของของพืชที่มีสุขภาพดี ดินแห้ง เศษหญ้าแห้ง น้ำและหิมะ	48
14	ตัวอย่างภาพดาวเทียม Sentinel 2 ที่มีการคำนวณค่า NDVI ในเดือนต่างๆ ปี 2564	60
15	การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกอ้อย	62
16	การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกมันสำปะหลัง	67
17	การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกสับปะรด	72
18	การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกยางพารา	77
19	การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกปาล์มน้ำมัน	81
20	การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านความสูงของอ้อยช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	86
21	การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านความกว้างทรงพุ่มของอ้อยช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	87

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านขนาดลำต้นของอ้อยช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	87
23	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ของอ้อยช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	88
24	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์และค่าดัชนีพืชพรรณของอ้อยช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	88
25	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความสูงของมันสำปะหลังช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	91
26	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของมันสำปะหลังช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	91
27	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านขนาดลำต้นของมันสำปะหลังช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	92
28	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ของมันสำปะหลังช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	92
29	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์และค่าดัชนีพืชพรรณของมันสำปะหลังช่วง พ.ศ.2564 - พ.ศ.2565	93
30	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความสูงของสับปะรดช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	96
31	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของสับปะรดช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	96
32	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของสับปะรดช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	97
33	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์และค่าดัชนีพืชพรรณของสับปะรดช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	97
34	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความสูงของยางพาราช่วง พ.ศ. 2564-พ.ศ. 2565	99
35	การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของยางพาราช่วง พ.ศ. 2564-พ.ศ. 2565	99

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
36	การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านขนาดรอบลำต้นของยางพาราช่วง พ.ศ. 2564-พ.ศ. 2565	100
37	การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบยางพาราช่วง พ.ศ. 2564-พ.ศ. 2565	100
38	การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านความสูงของปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ. 2564-พ.ศ. 2565	102
39	การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านความกว้างทรงพุ่มของปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ. 2564-พ.ศ. 2565	103
40	การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านขนาดรอบลำต้นของปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565	103
41	การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ. 2564-พ.ศ. 2565	104
42	การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะและค่าดัชนีพืชพรรณของปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ.2564-พ.ศ.2565	104

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณ 321 ล้านไร่ หรือประมาณ 513,000 ตารางกิโลเมตร โดยมีพื้นที่สำหรับการเกษตร ประมาณ 138 ล้านไร่ หรือ ร้อยละ 43 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อที่ประเทศ ซึ่งใน พ.ศ. 2565 รายได้ของภาคเกษตรคิดเป็นร้อยละ 6 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (Gross Domestic Production: GDP) และภาคเกษตรยังคงมีการจ้างงานถึงเกือบ 1 ใน 3 ของกำลังแรงงาน (เกียรติคุณ และคณะ, 2565) พืชเศรษฐกิจของประเทศไทยหลายชนิดเป็นสินค้าส่งออกที่มีชื่อเสียงในระดับโลก และได้รับการยอมรับว่าเป็นผลผลิตที่มีคุณภาพดี เช่น อ้อย ซึ่งประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลอันดับที่ 2 ของโลก ปีละกว่า 6 ล้านตัน สร้างรายได้ถึง 100,000 ล้านบาท มีโรงงานน้ำตาล 47 แห่ง ต้องการอ้อยเข้าหีบมากกว่า 100 ล้านตันต่อปี (วีระพล, 2558; ชัยวัช, 2564ข) มันสำปะหลัง เป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นปริมาณมาก โดยตลาดใหญ่ของมันสำปะหลังไทยคือประเทศจีนที่นิยมนำไปแปรรูปเป็นสินค้าต่างๆ เช่น อาหารสัตว์ แต่งรสอาหาร น้ำมันเอทานอล (ชัยวัช, 2564ก) สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยที่สามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศอย่างต่อเนื่อง เพราะนอกจากใช้บริโภคภายในประเทศแล้ว สับปะรดยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น สับปะรดกระป๋อง น้ำสับปะรด สับปะรดแช่แข็ง สับปะรดอบแห้ง เป็นต้น สับปะรดเป็นพืชที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมเกษตรสามารถสร้างรายได้เข้าประเทศเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสับปะรดกระป๋อง ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตและการส่งออกสูงเป็นอันดับหนึ่งของโลก ด้วยมูลค่าการส่งออกมากกว่าหนึ่งหมื่นล้านบาทต่อปี (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560) ผลิตภัณฑ์ยางพาราของไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยความต้องการใช้จะขยายตัวตามทิศทางของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องที่มีแนวโน้มเติบโต ได้แก่ กลุ่มยานยนต์ และอุปกรณ์การแพทย์โดยเฉพาะถุงมือยาง รวมทั้งการเร่งลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานที่จะเพิ่มความต้องการใช้ยางในภาคก่อสร้าง ประกอบกับราคาน้ำมันที่ยังคงอยู่ในระดับสูง ทำให้มีความต้องการใช้ยางธรรมชาติเพื่อทดแทนยางสังเคราะห์เพิ่มขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565ข) น้ำมันปาล์มมีปริมาณและมูลค่าส่งออกเพิ่มขึ้น เนื่องจากราคาน้ำมันปาล์มในตลาดโลกสูงกว่าราคาน้ำมันปาล์มในประเทศ ประกอบกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นของตลาดโลกโดยเฉพาะประเทศอินเดีย ทำให้ไทยสามารถส่งออกได้มากขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565ข) แต่อย่างไรก็ตามจากสถานการณ์สินค้าเกษตรที่เป็นพืชเศรษฐกิจหลักของไทย ได้เผชิญปัจจัยท้าทายหลากหลายทั้งในและต่างประเทศ ส่งผลกดดันต่อความผันผวนทางด้านราคา และอาจยังคงได้รับแรงกดดันต่อเนื่อง ส่งผลให้การกำหนดราคาขายของผู้ประกอบการค้าพืชเกษตรมีความไม่แน่นอนและส่งผลโดยตรงต่อความมั่นคงทางรายได้ของเกษตรกร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565ก) ปัจจุบันที่ก้าวสู่ยุคไทยแลนด์ 4.0 มีการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการจัดการด้านเกษตรกรรมและธุรกิจเกษตร โดยภาครัฐบทบาทในด้านการให้บริการข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้ประกอบการทั้งเกษตรกร และภาคธุรกิจสามารถติดตามสถานการณ์สินค้าเกษตรด้านต่างๆ อาทิ เนื้อที่

การผลิต ปริมาณผลผลิต ราคา สถานการณ์การตลาด โรคพืชและศัตรูพืช การบริหารจัดการน้ำ รวมทั้ง การพยากรณ์และเตือนภัยล่วงหน้าเพื่อเฝ้าระวัง ทำให้เกษตรกรและผู้ประกอบการสามารถบริหารจัดการ การผลิตและคลังสินค้าได้ดียิ่งขึ้น

ข้อมูลการสำรวจระยะไกล หรือ รีโมทเซ็นซิง (remote sensing: RS) เป็นข้อมูลที่ได้จากการ จัดเก็บข้อมูลของวัตถุต่าง ๆ บนพื้นโลก โดยใช้หลักการตอบสนองของปฏิกิริยาของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับ วัสดุภาคพื้นดินโดยการพัฒนารูปภาพพื้นผิว ข้อมูล RS จัดเป็นข้อมูลเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในรูปแบบ ดิจิทัลถือเป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญสำหรับการติดตามด้านสิ่งแวดล้อมและพืชผล เนื่องจากเป็นข้อมูล คุณภาพสูง สามารถวิเคราะห์ได้ตามช่วงเวลา จำเพาะสำหรับพื้นที่ ปัจจุบันเทคโนโลยี RS โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาพถ่ายดาวเทียมและอากาศยานไร้คนขับ (UAV) หรือโดรนมีความก้าวหน้าเป็นอย่างดี ได้มีการ พัฒนารายละเอียดภาพ (spatial resolution) ให้สูงขึ้น จัดเก็บข้อมูลได้หลายช่วงคลื่น (spectral resolution) ส่งผลให้สามารถเลือกใช้ช่วงคลื่นที่เหมาะสมต่อการศึกษาด้านต่างๆได้มากขึ้น ในด้าน การเกษตรและสิ่งแวดล้อมเทคโนโลยี RS มีศักยภาพสูงต่อการศึกษากาการเจริญเติบโตของพืช ณ วันที่ทำ การจัดเก็บข้อมูล เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวมีการกำหนดค่าพิกัดบนพื้นโลก (Global Positioning System, GPS) ทำให้สามารถวิเคราะห์ และเชื่อมโยงกับข้อมูลอื่นๆ เชิงพื้นที่ได้ง่าย นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าวมีการ จัดเก็บในรูปแบบดิจิทัลไฟล์ส่งผลให้สามารถเก็บไว้ได้นาน ใช้พื้นที่น้อย และสามารถนำออกมาใช้งานได้ง่าย ตามต้องการ การจัดทำและปรับปรุงฐานข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ที่ดินทั่วประเทศทำโดยการใช้ข้อมูล ดาวเทียมรายละเอียดสูง ภาพถ่ายออร์โธรีโธกราฟิก ร่วมกับการสำรวจภาคสนามแล้วนำมาวิเคราะห์ใน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จัดทำแผนที่สภาพการใช้ที่ดินและพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจของประเทศ ไทย นอกจากนี้ข้อมูลดาวเทียมยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น ใช้ในการจัดการปัจจัยการ ผลิต และการคาดการณ์ผลผลิต ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจด้านการบริหารจัดการในแปลงปลูก โดยพิจารณา จากข้อมูลรีโมทเซ็นซิง ณ เวลานั้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 สร้างฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลในรอบปีของพืชเศรษฐกิจจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม
- 1.2.2 ศึกษารูปแบบการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี
- 1.2.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะข้อมูลการเจริญเติบโตที่ได้จากการสำรวจ ภาคสนาม

1.3 ระยะเวลาและสถานที่ดำเนินงาน

ระยะเวลาดำเนินงาน เมษายน 2564 – ธันวาคม 2565

สถานที่ดำเนินงาน กลุ่มน้ำย่อยลำภาชี

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การดำเนินการวิจัยได้กำหนดขอบเขตการวิจัย 4 ด้าน คือ ขอบเขตด้านประชากร ขอบเขตเชิงพื้นที่ ขอบเขตเชิงเนื้อหา และ ขอบเขตเชิงระยะเวลา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 ขอบเขตด้านประชากร ประชากรที่เป็นเป้าหมายในการวิจัย พืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมัน

1.4.2 ขอบเขตเชิงเนื้อหา ครอบคลุม 3 ประเด็นหลัก ได้แก่

(1) การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด โดยการสำรวจภาคสนาม จากการสุ่มเก็บข้อมูลจากแปลงของเกษตรกร

(2) การศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปีของพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2

(3) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะข้อมูลการเจริญเติบโตที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

1.4.3 ขอบเขตเชิงระยะเวลา โครงการวิจัยได้ดำเนินการจัดเก็บข้อมูลดังนี้

(1) การสำรวจภาคสนามเพื่อวัดการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน 2564 ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565

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

1.4.4 ขอบเขตเชิงพื้นที่ พื้นที่ศึกษา ได้แก่ แปลงของเกษตรกรผู้ปลูกพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด กระจายครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยลำภาชี

1.5 สมมติฐานของการศึกษา

1.5.1 ค่าสะท้อนแสงและค่าดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของวัตถุที่ต่างกันมีค่าที่ต่างกัน

1.5.2 ค่าสะท้อนแสงและค่าดัชนีพืชพรรณของพืชมีการเปลี่ยนแปลงในรอบปีขึ้นกับฤดูกาล

1.5.3 ค่าสะท้อนแสงและค่าดัชนีพืชพรรณของพืชมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์ของพืช

1.6 อุปกรณ์และวิธีดำเนินงาน

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาศักยภาพในการใช้ข้อมูลเทคโนโลยีสำรวจระยะไกล (Remote Sensing: RS) ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดปานกลาง Landsat 8 ในการศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปีของพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิดโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 และศึกษาความสัมพันธ์กับข้อมูลภาคสนามโดยขั้นตอนและวิธีการมีรายละเอียดดังนี้

1.6.1 อุปกรณ์

อุปกรณ์และข้อมูลที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้

1) ฐานข้อมูลแผนที่เชิงเลขขอบเขตการปกครอง ปี 2556 กรมการปกครอง

- 2) ฐานข้อมูลแผนที่เชิงเลขภูมิประเทศเชิงเลข มาตรฐาน 1:50,000 กรมแผนที่ทหาร
- 3) ฐานข้อมูลแผนที่เชิงเลขชุดดิน มาตรฐาน 1:25,000 กรมพัฒนาที่ดิน
- 4) ฐานข้อมูลแผนที่เชิงเลขขอบเขตลุ่มน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน
- 5) ฐานข้อมูลแผนที่เชิงเลขพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด มาตรฐาน 1:25,000 กรมพัฒนาที่ดิน
- 6) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากแหล่งต่างๆ
- 7) โปรแกรมประมวลผลด้านรีโมทเซ็นซิง
- 8) โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)
- 9) โปรแกรมวิเคราะห์ทางด้านสถิติ
- 10) เครื่องมือระบุพิกัดของพื้นที่ (GPS)
- 11) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และคอมพิวเตอร์พกพา
- 12) กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
- 13) เครื่องมือวัดชนิดต่างๆ ได้แก่ ไม้บรรทัด สายวัดระยะ เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper) แอปพลิเคชันในโทรศัพท์มือถือสำหรับการวัดความสูงไม้ยืนต้น

1.6.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

- 1) คัดเลือกพื้นที่ดำเนินการ โดยคัดเลือกลุ่มน้ำย่อยที่มีพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด ได้แก่ อ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมัน เป็นหลัก ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยลำภาชี
- 2) รวบรวมฐานข้อมูลแผนที่เชิงเลข และข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับการปลูกพืชเศรษฐกิจทั้ง 5 ชนิด เช่น ปฏิทินการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจแต่ละชนิดภายในลุ่มน้ำย่อยลำภาชี
- 3) ปรับปรุงฐานข้อมูลแผนที่พื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด ในลุ่มน้ำย่อยที่ทำการศึกษาให้เป็นปัจจุบันโดยวิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียมและการสำรวจภาคสนาม
- 4) คัดเลือกแปลงศึกษาในลุ่มน้ำย่อยที่ทำการศึกษาเพื่อใช้เป็นแปลงข้อมูลอ้างอิงสำหรับการศึกษาค่าลายเซ็นต์เชิงคลื่นและการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืชที่เปลี่ยนแปลงในรอบปี โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1) คัดเลือกแปลงข้อมูลอ้างอิงสำหรับแปลงปลูกอ้อย มันสำปะหลัง และปลูกสับปะรด โดยสุ่มคัดเลือกแปลงตัวอย่างแบบมีระบบ (systematic sampling) ตามชนิดพืชให้กระจายทั่วลุ่มน้ำย่อยที่ทำการศึกษา

4.2) คัดเลือกแปลงข้อมูลอ้างอิง (reference plots) ของพืชแต่ละชนิดแบบจำเพาะเจาะจง (purposive sampling) โดยพิจารณาเลือกแปลงที่มีขนาด 10 – 50 ไร่ ลักษณะที่ไม่มีมีความแปรปรวน (homogenous) ไม่มีสิ่งปกคลุมดินชนิดอื่นปะปนหรือมีน้อยมาก เช่น ไม้พุ่ม การปลูกพืชอื่นผสม หรือมีสิ่งปลูกสร้างโดยพิจารณาจากภาพถ่ายดาวเทียมและการสำรวจภาคสนาม กระจายทั่วลุ่มน้ำย่อยที่ทำการศึกษา (ภาพที่ 1)

5) รวบรวมข้อมูลและเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

5.1) รวบรวมข้อมูลและเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ชนิด COPERNICUS/S2 บริเวณลุ่มน้ำภาชีผ่าน <https://code.earthengine.google.com/> ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนของทุกเดือนในปีที่ศึกษาเพื่อใช้ในการศึกษาค่าการสะท้อนแสง ลายเซ็นเชิงคลื่น 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) การสุ่มเก็บข้อมูลพืชในแปลงข้อมูลอ้างอิงทำการวัดจากพืช 5 ต้นต่อแปลงเพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยต้นที่สุ่มจะเลือกต้นที่มีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกันทั้งแปลงและสุ่มเก็บหลายจุดให้กระจายทั่วทั้งแปลง

6.2) การความสูง ความกว้างทรงพุ่มและขนาดลำต้นของ อ้อย มันสำปะหลัง และสับปะรด วัดเดือนละ 1 ครั้ง โดยปี 2564 เริ่มวัดในเดือนเมษายนถึงเดือนธันวาคม และปี 2565 วัดในเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนและเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน โดยใช้สายวัด การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของอ้อยและมันสำปะหลัง ที่ระดับความสูง 15 เซนติเมตรเหนือผิวดิน โดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์

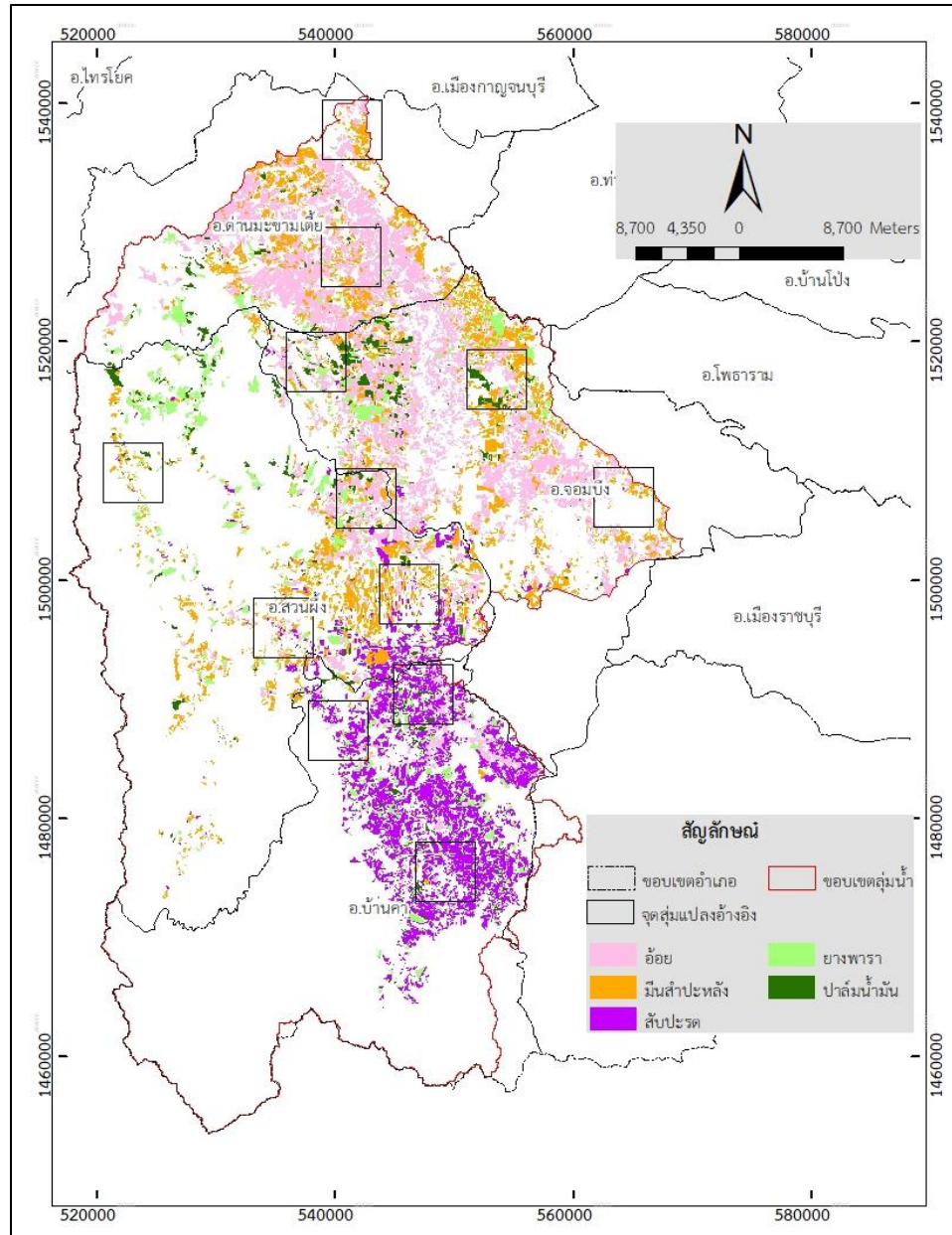
6.3) การความสูง ความกว้างทรงพุ่มและขนาดลำต้นของยางพาราและปาล์มน้ำมันวัดปีละ 1 ครั้ง โดยวัดในเดือนเมษายนทั้งปี 2564 และ ปี 2565 ความสูงวัดโดยแอพพลิเคชั่นวัดความสูงในโทรศัพท์มือถือ ความกว้างทรงพุ่มและขนาดรอบลำต้นใช้สายวัดขนาด

6.4) การปริมาณคลอโรฟิลล์ ของพืชทั้ง 5 ชนิด วัดเดือนละ 1 ครั้ง โดยปี 2564 เริ่มวัดในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคม และปี 2565 วัดในเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนและเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน โดยวัดในใบที่แก่เต็มที่ใหม่ที่สุดจำนวน 3 ใบ และหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแปลง

7) นำเข้าข้อมูลภาคสนามเข้าสู่ระบบ GIS

8) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลค่าการสะท้อนแสงกับข้อมูลภาคสนาม โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ regression model โดยพิจารณาค่าความสัมพันธ์จากค่า p-value และ r-square โดยใช้โปรแกรมประมวลผลทางสถิติ

9) ศึกษากระบวนการจำแนกพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจในระดับลุ่มน้ำย่อยโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา (multi-temporal) โดยการพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนแสงในรอบปี และจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น



ภาพที่ 1 จุดสุ่มคัดเลือกแปลงข้อมูลอ้างอิงของพืชแต่ละชนิดแบบจำเพาะเจาะจง

2.1.2 ลักษณะภูมิประเทศ: ลักษณะภูมิประเทศของกลุ่มน้ำลำภาชีแบ่งได้เป็น 3 ส่วน (เอกสิทธิ์ และคณะ, 2561) คือ

- 1) ภูเขาลูกคลื่นลอนลาดและที่ราบ พื้นที่ภูเขาอยู่บริเวณทิศใต้และทิศตะวันตกของกลุ่มน้ำซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำ
- 2) พื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดอยู่ทางทิศตะวันออกซึ่งเป็นส่วนต่อระหว่างกลุ่มน้ำลำภาชีกับที่ราบแม่น้ำแม่กลอง
- 3) พื้นที่ราบเป็นพื้นที่บริเวณจุดบรรจบกับแม่น้ำแควน้อยแถบอำเภอด่านมะขามเตี้ยและที่ราบในร่องเขาบริเวณตอนกลางของพื้นที่กลุ่มน้ำซึ่งเป็นที่ราบแคบ ๆ ตามลำน้ำสาขาของลำภาชี

2.1.3 ลักษณะภูมิอากาศ: สภาพอากาศทั่วไปของกลุ่มน้ำลำภาชี อ้างอิงจากสภาพภูมิอากาศทั่วไปของจังหวัดราชบุรี (สำนักงานจังหวัดราชบุรี, 2560, สถานีอุตุนิยมวิทยาราชบุรี, 2565) มีรายละเอียดดังนี้

1) ฤดูกาล: กลุ่มน้ำลำภาชีได้รับอิทธิพลของลมมรสุมที่พัดเวียนประจำฤดูกาล 2 ชนิด คือพัดจากทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือในฤดูหนาวเรียกว่าลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ อิทธิพลของลมนี้ทำให้บริเวณจังหวัดราชบุรี มีอากาศหนาวเย็นและแห้งแล้ง กับมรสุมอีกชนิดหนึ่งคือมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งพัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นส่วนใหญ่ในฤดูฝน ทำให้อากาศชุ่มชื้นและมีฝนตกทั่วไป และเมื่อพิจารณาตามลักษณะลมฟ้าอากาศของประเทศไทย สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู ดังนี้

1.1) ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม เป็นฤดูที่มีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดจากมหาสมุทรอินเดียปกคลุมประเทศไทย ลมนี้เป็นลมร้อนและชื้นจึงทำให้มีฝนชุกทั่วไปและมีอากาศ ชุ่มชื้น เดือนที่มีฝนตกมากที่สุดคือเดือนตุลาคม ฤดูฝนของกลุ่มน้ำลำภาชี แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงแรก ประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคมช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และช่วงที่สอง ประมาณเดือนกันยายนถึงกลางเดือนพฤศจิกายน ช่วงนี้ได้รับอิทธิพลจากร่องมรสุมที่เลื่อนลงมาจากทางภาคเหนือมาปะทะแนวเทือกเขาตระนาวศรี

2.2) ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ระยะเวลาเป็นช่วงว่างของฤดู มรสุมจะมีลมจากทิศใต้และลมตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุม ทำให้มีอากาศร้อนอบอ้าวทั่วไป เดือนเมษายนเป็น เดือนที่มีอากาศร้อนอบอ้าวที่สุดในรอบปี เนื่องจากดวงอาทิตย์ได้โคจรจากซีกโลกใต้มาอยู่ในละติจูดที่ตั้งฉากกับ ประเทศไทย จึงได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์เต็มที่

3.3) ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือความกดอากาศสูงจากประเทศจีนซึ่งมีคุณสมบัติหนาวเย็นและแห้ง จะแผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทย ทำให้อากาศเย็นและแห้งแล้ง โดยในเดือนธันวาคมและมกราคมมีอากาศหนาวจัดในรอบปี

2) อุณหภูมิ: จากข้อมูลอุณหภูมิ ระหว่างปี พ.ศ.2561 ถึงปี พ.ศ. 2565 (ตารางที่ 1) ซึ่งจากข้อมูลของข้อมูลอุณหภูมิจังหวัดราชบุรีที่เป็นจังหวัดในภาคกลางใกล้อ่าวไทย อุณหภูมิโดยเฉลี่ยจึงไม่สูงมากนัก อากาศไม่ร้อนอบอ้าวมากในฤดูร้อน และไม่หนาวมากในฤดูหนาว ในรอบ 5 ปีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 26.06 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่า 33.64 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 18.48 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 ข้อมูลอุณหภูมิตั้งแต่ พ.ศ.2561 ถึง พ.ศ. 2565

ข้อมูลอุณหภูมิตั้งแต่ 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
ข้อมูลอุณหภูมิตั้งแต่ 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
ข้อมูลอุณหภูมิตั้งแต่ 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
ข้อมูลอุณหภูมิตั้งแต่ 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
ข้อมูลอุณหภูมิตั้งแต่ 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
ข้อมูลอุณหภูมิตั้งแต่ 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: สถาบันนวัตกรรมและกรรมาภิบาลข้อมูล (2566),

<https://digi.data.go.th/showcase/thailand-rainfall-data/>

3) ปริมาณน้ำฝน

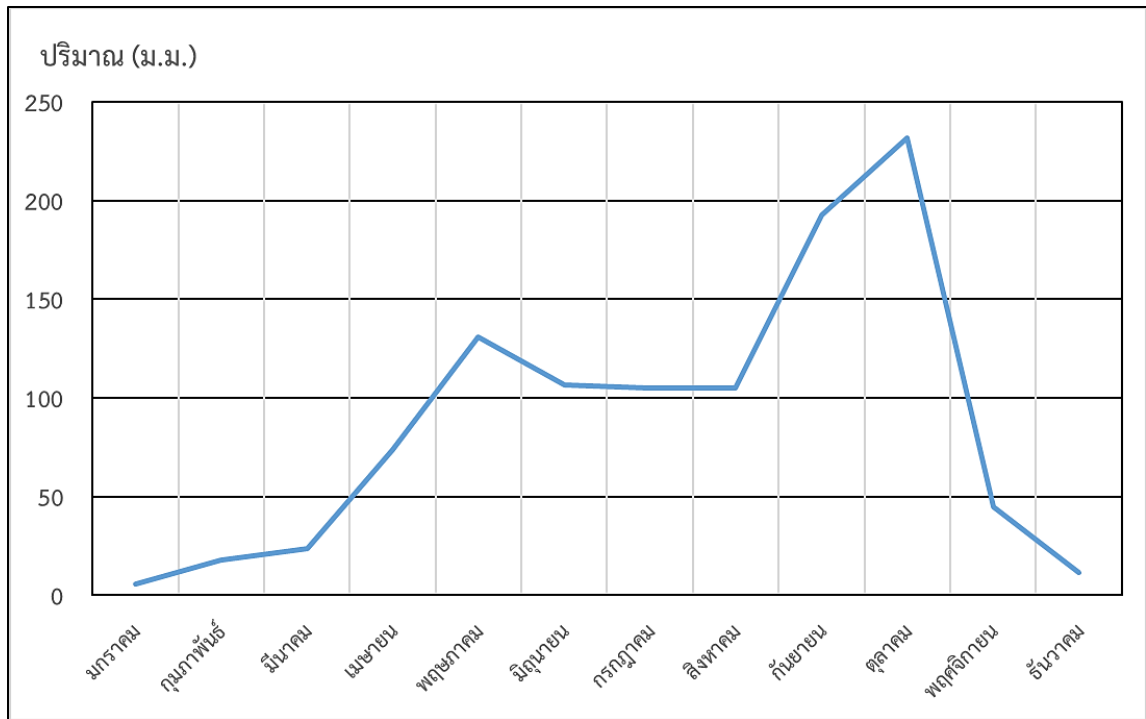
พื้นที่ลุ่มน้ำลำภาชีได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากมหาสมุทรอินเดีย ที่ปริมาณน้ำฝน ระหว่างพ.ศ. 2561 - 2565 ปริมาณฝนเฉลี่ยทั้งปี 1,027.0 มิลลิเมตร (ตารางที่ 2 และภาพที่ 2) โดยฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม เดือนที่มีปริมาณฝนมากที่สุด วัดได้ 284.5 มิลลิเมตร เมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ.2563 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีมากที่สุด วัดได้ 1184.1 มิลลิเมตร เมื่อพ.ศ.2564 และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีน้อยที่สุด วัดได้ 827.6 มิลลิเมตร เมื่อพ.ศ.2562

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำฝน (มม.) เฉลี่ยรายปีระหว่างพ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565 จังหวัดราชบุรี

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: สำนักงานพัฒนาารัฐบาลดิจิทัล (องค์การมหาชน) (สพร.) (2566), <https://data.go.th/th/dataset>



ภาพที่ 3 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565 จังหวัดราชบุรี
 ที่มา: ดัดแปลงจากฐานข้อมูลสำนักงานพัฒนาทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (องค์การมหาชน) (สพร.) (2566),
<https://data.go.th/th/dataset>

2.1.4 ทรัพยากรน้ำ

ลุ่มน้ำลำภาชี แบ่งออกเป็น 10 ลุ่มน้ำย่อยตามจุดเชื่อมต่อของแม่น้ำในลุ่มน้ำ ได้แก่ แม่น้ำลำภาชี ห้วยท่าเคย ห้วยบ้านบ่อ ห้วยคลุม ห้วยลำสีเสียด และห้วยลำขลุง รวมเนื้อที่ 2,641 ตร.กม. ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายฤดู ฤดูแล้ง 50.03 ล้าน ลบ.ม. และฤดูฝน 421.99 ล้าน ลบ.ม. ปริมาณน้ำท่าทั้งลุ่มน้ำเฉลี่ยรายปี 472.01 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี (อมรเทพ และคณะ, 2562) รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3

โครงการแหล่งน้ำในลุ่มน้ำลำภาชี ประกอบด้วยโครงการขนาดเล็ก โครงการขนาดกลาง และโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า โดยโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กมีทั้งหมด 63 โครงการ ความจุเก็บกักรวม 8.62 ล้าน ลบ.ม. มีพื้นที่ชลประทานรวม 54,777 ไร่ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลางมีทั้งหมด 7 โครงการ ความจุเก็บกักรวม 32.88 ล้าน ลบ.ม. มีพื้นที่ชลประทาน 28,400 ไร่ และโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้ามีทั้งหมด 3 สถานี มีพื้นที่ส่งน้ำ รวม 3,172 ไร่ ทั้งนี้มีโครงการอ่างเก็บน้ำที่มีศักยภาพจำนวน 14 โครงการ (อมรเทพ และคณะ, 2562) รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 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	ห้วยท่าเคยจากต้นน้ำจุดบรรจบ 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 ถึงจุดบรรจบห้วยสี่เสียด	742.55	4.08	34.40	38.48
7	ห้วยสี่เสียดจากต้นน้ำถึงจุด บรรจบลำภาชี	131.14	0.10	0.80	0.90
8	ลำภาชีจากจุดบรรจบห้วย สี่เสียดถึงจุดบรรจบห้วยลำขลุง	8.86	2.08	17.55	19.63
9	ห้วยลำขลุงจากต้นน้ำถึงจุด บรรจบลำภาชี	122.17	1.92	16.18	18.10
10	ลำภาชีจากจุดบรรจบห้วยลำ ขลุงถึงจุดบรรจบแม่น้ำแควน้อย	46.94	0.64	5.41	6.06
รวมลุ่มน้ำลำภาชี		2,641.00	50.03	421.99	472.01

ที่มา: คัดแปลงจากอมรเทพ และคณะ (2562)

ตารางที่ 4 โครงการอ่างเก็บน้ำศักยภาพในลุ่มน้ำลำภาชี

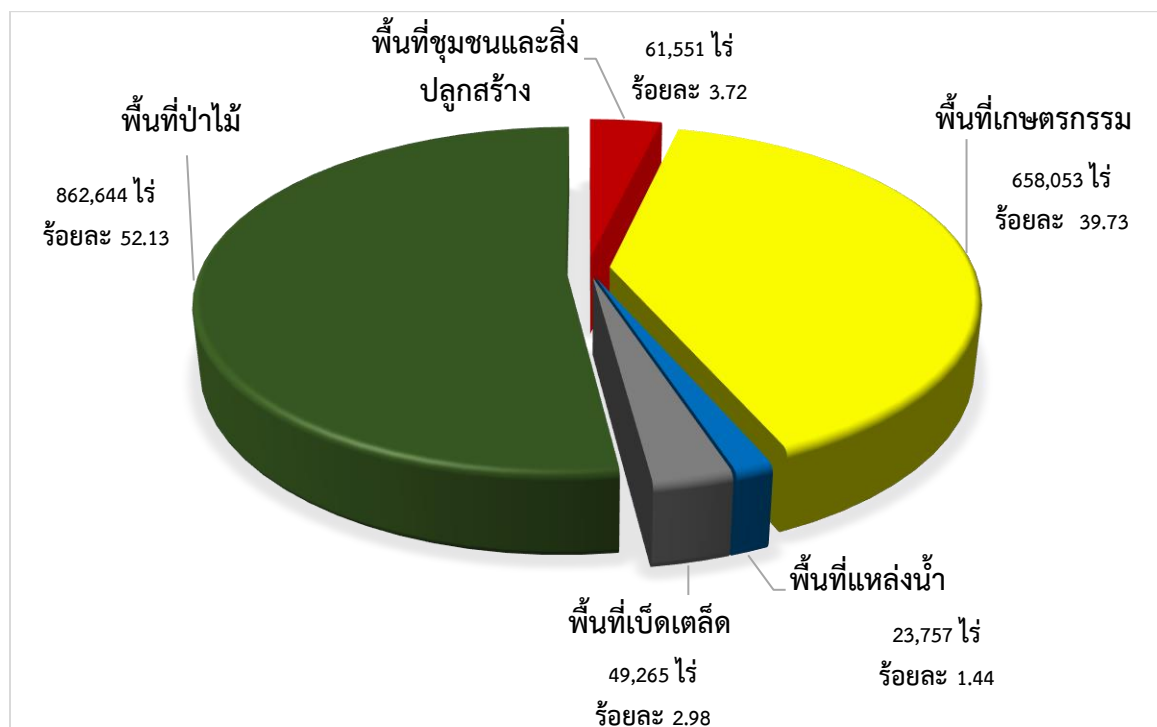
ลำดับที่	ชื่อโครงการ	ความจุอ่างเก็บน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)
1	อ่างเก็บน้ำบ้านหนองตาตั้ง	49.95
2	อ่างเก็บน้ำบ้านตะเคียนทอง	76.40
3	อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำขุ่น	11.53
4	อ่างเก็บน้ำห้วยหุบไทร	1.45
5	อ่างเก็บน้ำหุบพุดอน	0.98
6	อ่างเก็บน้ำบ้านห้วยหนึ่ง	0.90
7	อ่างเก็บน้ำบ้านหนองกระทุ่ม	1.25
8	อ่างเก็บน้ำบ้านทุ่งเจดีย์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

ที่มา: อมรเทพ และคณะ (2562)

2.2 การใช้ประโยชน์ที่ดินลุ่มน้ำลำภาชี

จากฐานข้อมูลการใช้ที่ดิน มาตรฐาน 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 3) โดยการใช้ประโยชน์ในพื้นที่แต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้ (ตารางที่ 5 และ ภาพที่ 4)

พื้นที่เกษตรกรรม (A) ประกอบด้วยพื้นที่นาข้าว (A1) 35,204 ไร่ หรือร้อยละ 2.13 ของพื้นที่ทั้งหมด พืชไร่ (A2) มีพื้นที่ 378,680 ไร่ หรือร้อยละ 22.87 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกอ้อย 176,283 ไร่หรือร้อยละ 10.65 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง 93,312 ไร่หรือร้อยละ 5.64 ของพื้นที่ทั้งหมด และพื้นที่ปลูกสับปะรด 86,517 ไร่หรือร้อยละ 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 และ ยูคาลิปตัส 56,036 ไร่ หรือร้อยละ 3.39 ของพื้นที่ทั้งหมด



ภาพที่ 4 การใช้ที่ดินลุ่มน้ำลำภาชี 5 ประเภทหลัก พ.ศ. 2564

ตารางที่ 5 การใช้ที่ดินลุ่มน้ำลำภาชี พ.ศ. 2564

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
U	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	61,551	3.72
U101	ตัวเมืองและย่านการค้า	2,911	0.18
U200	หมู่บ้าน/ที่ดินจัดสรรร้าง	304	0.02
U201	หมู่บ้านบนพื้นราบ	36,255	2.19
U300	สถานที่ราชการและสถาบันต่าง ๆ ว่าง	8	-
U301	สถานที่ราชการและสถาบันต่าง ๆ	6,868	0.41
U405	ถนน	3,529	0.21
U500	พื้นที่อุตสาหกรรมร้าง	59	-
U502	โรงงานอุตสาหกรรม	2,328	0.14
U503	ลานตากและแหล่งรับซื้อทางการเกษตร	566	0.03
U601	สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ	2,261	0.14
U602	รีสอร์ท โรงแรม เกสต์เฮาส์	5,894	0.36
U603	สุสาน ป่าช้า	162	0.01
U604	ศูนย์อพยพ	254	0.02
U605	สถานีบริการน้ำมัน	53	-
U701	สนามกอล์ฟ	99	0.01
A	พื้นที่เกษตรกรรม	658,053	39.73
A0	เกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม	179	0.01
A001	เกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม	179	0.01
A1	พื้นที่นาข้าว	35,204	2.13
A100	นาร้าง	2,331	0.14
A101	นาข้าว	32,873	1.99
A2	พืชไร่	378,680	22.87
A200	ไร่ร้าง	17,100	1.03
A201	พืชไร่ผสม	16	-
A202	ข้าวโพด	4,738	0.29
A203	อ้อย	176,283	10.65
A204	มันสำปะหลัง	93,312	5.64
A205	สับปะรด	86,517	5.23

ตารางที่ 5 (ต่อ)

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
A207	ฝ้าย	1	-
A210	ถั่วลิสง	46	-
A218	มันแกว	89	0.01
A219	มันเทศ	44	-
A220	แตงโม	405	0.02
A229	พริก	46	-
A234	กัญชา กัญชง	5	-
A236	เผือก	78	-
A3	ไม้ยืนต้น	151,487	9.16
A300	ไม้ยืนต้นร้าง/เสื่อมโทรม	5,649	0.34
A301	ไม้ยืนต้นผสม	5,143	0.31
A302	ยางพารา	50,056	3.03
A303	ปาล์มน้ำมัน	23,862	1.45
A304	ยูคาลิปตัส	56,036	3.39
A305	สัก	4,815	0.29
A306	สะเดา	529	0.03
A307	สนประดิพัทธ์	3,970	0.24
A308	กระถิน	187	0.01
A309	ประดู่	11	0
A312	กาแฟ	20	0
A314	หม่อน	4	0
A315	ไผ่	843	0.05
A317	หมาก	121	0.01
A319	ดินเบ็ด	9	0
A321	ยมหอม มะฮอกกานี	6	0
A322	กฤษณา	171	0.01
A323	ตะกู	55	0
A4	ไม้ผล	43,239	2.59
A400	ไม้ผลร้าง/เสื่อมโทรม	3,418	0.21

ตารางที่ 5 (ต่อ)

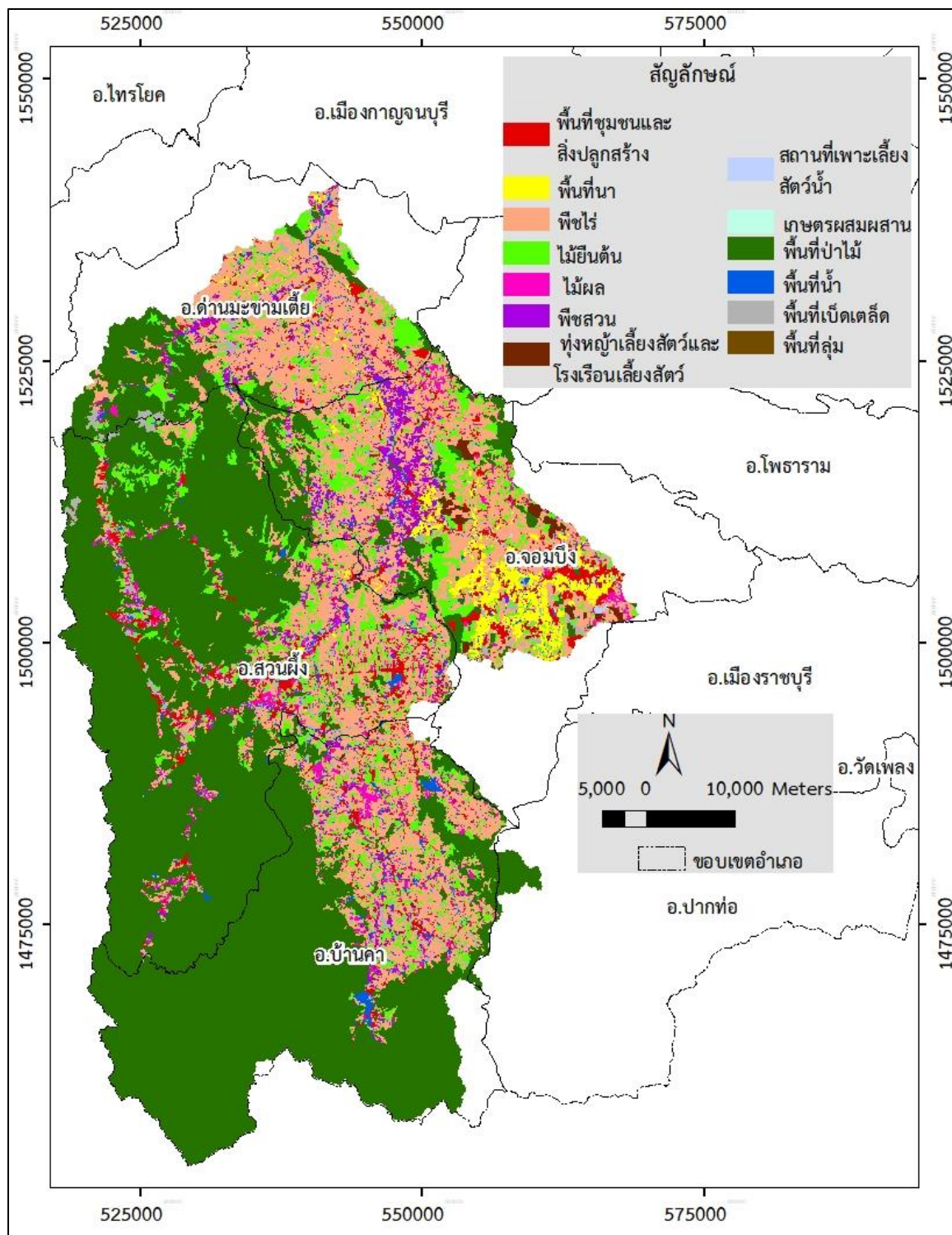
สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
A401	ไม้ผลผสม	18,191	1.1
A402	ส้ม	16	0
A403	ทุเรียน	306	0.02
A405	มะพร้าว	1,057	0.06
A406	ลิ้นจี่	17	0
A407	มะม่วง	9,933	0.6
A408	มะม่วงหิมพานต์	78	0
A409	พุทรา	708	0.04
A410	น้อยหน่า	51	0
A411	กล้วย	3,440	0.21
A412	มะขาม	1,497	0.09
A413	ลำไย	1,231	0.07
A414	ฝรั่ง	805	0.05
A415	มะละกอ	266	0.02
A416	ขนุน	278	0.02
A417	กระท้อน	2	0
A418	ชมพู	23	0
A420	กลางสาด ลองกอง	63	0
A422	มะนาว	1,676	0.1
A424	มะขามเทศ	22	0
A425	มะกอกน้ำ มะกอกฝรั่ง	9	0
A426	แก้วมังกร	44	0
A427	ส้มโอ	60	0
A429	มะปราง มะยงชิด	48	0
A5	พืชสวน	38,562	2.33
A500	พืชสวนร้าง/เสื่อมโทรม	1,517	0.09
A502	พืชผัก	36,437	2.2
A503	ไม้ดอก ไม้ประดับ	366	0.02
A504	องุ่น	15	0

ตารางที่ 5 (ต่อ)

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
A506	สตรอเบอรี่	11	-
A509	พืชสมุนไพร	1	-
A510	นาหญ้า	127	0.01
A514	หน่อไม้ฝรั่ง	5	-
A515	เห็ด	83	0.01
A7	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์	10,045	0.6
A700	โรงเรือนร้าง	10	-
A701	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	1,209	0.07
A702	โรงเรือนเลี้ยงโค กระบือ และม้า	307	0.02
A703	โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ปีก	4,311	0.26
A704	โรงเรือนเลี้ยงสุกร	4,208	0.25
A9	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	657	0.04
A900	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำร้าง	469	0.03
A901	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำผสม	24	-
A902	สถานที่เพาะเลี้ยงปลา	153	0.01
A903	สถานที่เพาะเลี้ยงกุ้ง	11	-
F	พื้นที่ป่าไม้	862,644	52.13
F1	ป่าไม้ผลัดใบ	312,379	18.88
F100	ป่าไม้ผลัดใบรอสภาพฟื้นฟู	1,298	0.08
F101	ป่าไม้ผลัดใบสมบูรณ์	311,081	18.8
F2	ป่าผลัดใบ	550,119	33.24
F200	ป่าผลัดใบรอสภาพฟื้นฟู	11,863	0.72
F201	ป่าผลัดใบสมบูรณ์	538,256	32.52
F5	ป่าปลูก	146	0.01
F501	ป่าปลูกสมบูรณ์	146	0.01
W	พื้นที่แหล่งน้ำ	23,757	1.44
W101	แม่น้ำ ลำห้วย ลำคลอง	7,738	0.47
W102	หนอง บึง ทะเลสาบ	705	0.04
W201	อ่างเก็บน้ำ	5,891	0.36

ตารางที่ 5 (ต่อ)

สัญลักษณ์	ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
W202	บ่อน้ำในไร่นา	9,112	0.55
W203	คลองชลประทาน	311	0.02
M	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	49,265	2.98
M101	ทุ่งหญ้าธรรมชาติ	9,090	0.55
M102	ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม/ไม้ละเมาะ	33,048	2.00
M2	พื้นที่ลุ่ม	1,905	0.12
M201	พื้นที่ลุ่ม	1,905	0.12
M300	เหมืองเก่า บ่อขุดเก่า	806	0.05
M301	เหมืองแร่	1,531	0.09
M302	บ่อลูกรัง	1,038	0.06
M303	บ่อทราย	41	-
M304	บ่อดิน	278	0.02
M405	พื้นที่ถม	1,513	0.09
M701	ที่ทิ้งขยะ	15	-
ผลรวมทั้งหมด		1,655,270	100.00



ภาพที่ 5 แผนที่การใช้ที่ดินลุ่มน้ำลำภาชี พ.ศ. 2564

บทที่ 3 ตรวจเอกสาร

3.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความอุดมสมบูรณ์ในด้านของทรัพยากรธรรมชาติ และได้ชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมมาช้านาน เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตภูมิประเทศที่เอื้ออำนวยต่อการทำการเกษตร ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพทางการเกษตร พืชของประเทศไทยนับว่าเป็นสินค้าส่งออกที่ค่อนข้างมีชื่อเสียงในระดับโลกอย่างมาก หลายๆ ชาติต่างให้การยอมรับว่าพืชที่มีคุณภาพดี แม้ว่าจะพยายามพัฒนาไปสู่ความเป็นประเทศอุตสาหกรรมเพียงใดก็ตามแต่ก็ยังคงพึ่งพาอาศัยเกษตรกรรมอยู่เช่นเดียวกับประเทศที่ได้พัฒนาไปแล้วทั้งหลายซึ่งวิวัฒนาการและพัฒนาการเกษตรของไทยได้เปลี่ยนแปลงได้ ตามยุคสมัยและตามกระแสการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของโลกมาตามลำดับ (กิตติศักดิ์, 2564) ภาคเกษตรนับได้ว่ามีบทบาทสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ เพราะนอกจากจะก่อให้เกิดรายได้แล้วคนส่วนใหญ่ของประเทศยังประกอบอาชีพเกษตรกรรม หากมีรายได้จากการขายสินค้าเกษตรที่ดีก็จะเป็นกำลังซื้อสำคัญของประเทศที่จะผลักดันเข้าสู่การกระตุ้นเศรษฐกิจภาคธุรกิจอื่นต่อไป อย่างไรก็ตามราคาสินค้าเกษตรในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ อาทิ อ้อย มันสำปะหลัง สับปะรด ยางพารา และปาล์มน้ำมัน ยังคงผันผวน ซึ่งอาจจะเกิดจากปริมาณผลผลิตที่ได้รับผลกระทบจากภัยธรรมชาติ และความต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ (กองดัชนีเศรษฐกิจการค้า, 2563)

3.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตพืช

การเจริญเติบโต คือ ขบวนการสะสมและเพิ่มพูนเซลล์ใหม่ให้แกส่วนต่างๆ ของพืชจนไม่มีการเจริญเติบโตทั้งความสูงและความโต ซึ่งเป็นผลมาจากกิจกรรมของเยื่อเจริญในช่วงระยะเวลาที่กำหนด (พงษ์ศักดิ์, 2521) การเจริญเติบโตของต้นไม้เป็นผลเนื่องมาจากการกระทำของปัจจัย 2 ปัจจัยร่วมกัน คือ ปัจจัยทางด้านพันธุกรรม และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

1) ปัจจัยทางด้านพันธุกรรม (Genetic Factor) เป็นปัจจัยที่มาจากภายในพืช พืชพันธุ์ต่าง ๆ ประกอบด้วยยีน (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 การให้น้ำ การให้อาหารแร่ธาตุ เป็นต้น นักปรับปรุงพันธุ์พืชจึงได้นำหลักการนี้มาใช้ในการผสมพันธุ์พืชให้มีลักษณะดีตามความต้องการ การเลือกใช้พันธุ์ที่ดีประกอบกับการจัดการให้สภาพแวดล้อมอื่น ๆ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชย่อมทำให้ผลผลิตสูงขึ้น การเลือกใช้พันธุ์ที่ดีนับเป็นทางลัดในการเพาะปลูกเพราะทำให้มีโอกาสที่จะได้ผลผลิตสูงขึ้นอย่างไม่เคยเป็นมาก่อน

2) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (Environment Factor)

2.1) แสง เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช เพราะแสง เป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างอาหารหรือการสังเคราะห์แสงของพืช (photosynthesis) โดยมีคลอโรฟิลล์

(chlorophyll) เป็นตัวรับแสงไปใช้เป็นพลังงานในการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นคาร์โบไฮเดรตและออกซิเจน แสงมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น การงอกของเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดต้องการแสงไม่เหมือนกัน 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 แสงสีแดงส่งเสริมการงอกของเมล็ด แสงสีไกลแดง (far red) ยับยั้งการงอกของเมล็ด โดยมากแล้วพืชมักต้องการแสงสีน้ำเงินและแสงสีแดงเป็นหลัก แต่สัดส่วนของแสงสีน้ำเงินต่อแสงสีแดงที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับชนิดพืช

2.2) อุณหภูมิ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช และมีผลต่อกระบวนการต่าง ๆ ของพืช เช่น กระบวนการหายใจ กระบวนการสังเคราะห์แสงและการคายน้ำของพืช พืชแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิสูงต่างแตกต่างกัน การจำแนกพืชตามอุณหภูมิที่เหมาะสมแบ่งพืชออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่พืชเขตร้อน (tropical plants) เป็นพืชที่ต้องการอุณหภูมิก่อนข้างสูงอยู่ในเขตร้อนศูนย์สูตรและบริเวณใกล้เคียงเส้นศูนย์สูตร เช่น มะม่วง ทูเรียน และยางพารา พืชกึ่งเขตร้อน (subtropical plants) เป็นพืชที่ต้องการอากาศค่อนข้างเย็น อุณหภูมิค่าประมาณ 5-8 องศาเซลเซียส (ยังไม่ถึงขั้นสภาวะน้ำค้างแข็งหรือหิมะ) นานพอที่จะกระตุ้นให้เกิดตาดอกและผล เช่น ส้ม ลำไย และลิ้นจี่ พืชเขตหนาว (temperate plants) ได้แก่ พืชที่ต้องการอากาศหนาวเย็นประมาณ 0 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่าเป็นเวลาตลอดฤดูหนาว ระยะเวลาที่พืชจะพักตัวเป็นส่วนมากและพร้อมที่จะผลิตตาดอกและให้ผลใน ฤดูใบไม้ผลิถัดมา โดยมากมักจะสลัดใบในฤดูหนาว เช่น แอปเปิล ท้อ และทิวลิป เป็นต้น

2.3) อากาศที่อยู่ในบรรยากาศทั่วไปและในดิน มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชและจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ อากาศในดินส่วนใหญ่ประกอบด้วย ก๊าซออกซิเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนก๊าซอื่น ๆ มีปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย รากพืชใช้ก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในดินในการหายใจ ถ้าในดินมีก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอจะทำให้รากพืชไม่เจริญเติบโต มีผลโดยตรงต่อการดูดน้ำและแร่ธาตุอาหาร ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดิน ถ้ามีมากเกินไปก็จะเป็นพิษต่อพืช รากพืชดูดน้ำและธาตุอาหารได้น้อยลง

2.4) น้ำเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิต และการเจริญเติบโตของพืช น้ำเป็นตัวช่วยละลายธาตุอาหารพืชที่อยู่ในดินให้อยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งรากพืชสามารถดูดเอาไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แสงของพืช ช่วยลำเลียงแร่ธาตุ อาหาร แป้ง และน้ำตาล ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช และช่วยปรับระดับอุณหภูมิภายในต้นพืชด้วยการคายน้ำ ถ้าพืชเสียน้ำมากจะทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต แบ่งพืชออกตามความต้องการน้ำออกเป็น 3 ประเภท

ได้แก่พืชที่ต้องการน้ำปริมาณมาก ได้แก่ ข้าว ผักกระเฉด และบัวพืชที่ต้องการน้ำปริมาณปานกลาง เป็นพืชที่ขึ้นได้ดีในที่ดินตอนทั่วไป มีทั้งพืชไร่ พืชสวน เช่น แตงกวาถั่วเหลือง ข้าวโพด ส้ม มะม่วง พืชที่ต้องการน้ำปริมาณน้อย เป็นพืชที่ทนความแห้งแล้งได้ดีเหมาะที่จะปลูกในที่ที่ปริมาณฝนตกน้อยหรือในที่ที่เป็นดินร่วนปนทรายซึ่งอุ้มน้ำได้ไม่ดี เช่น มันสำปะหลัง กระจ่างเพชร

2.5) ดิน พืชส่วนใหญ่มักเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความร่วนซุย มีปริมาณน้ำ อากาศ และธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างเพียงพอส่วนประกอบของดินที่มีคุณภาพดีและให้ผลผลิตสูงควรที่จะมีส่วนประกอบตามสัดส่วนดังนี้แร่ธาตุร้อยละ 45อินทรีย์วัตถุร้อยละ 5อากาศร้อยละ 25น้ำร้อยละ 25 ลักษณะเนื้อดินที่ใช้ในการเพาะปลูกแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ ดินเหนียว คือ ดินที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคดินเล็กที่สุด เล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร เป็นดินที่มีการจับตัวกันอย่างหนาแน่น มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินน้อย ดินเหนียวจึงมีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำไว้ได้ดีที่สุด ดินร่วน คือ ดินที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคดินตั้งแต่ 0.002- 0.05 มิลลิเมตร ดินชนิดนี้มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินมาก น้ำและอากาศผ่านได้ง่าย อุ้มน้ำได้น้อยกว่าดินเหนียว ดินทราย คือ ดินที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคดินตั้งแต่ 0.05-2.0 มิลลิเมตร ลักษณะเนื้อดินหยาบ เม็ดดินไม่เกาะตัวกัน มีช่องว่างในดินมาก ระบายน้ำได้ดีด้วยเหตุนี้ดินทรายจึงเป็นดินที่ไม่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ประมาณ 5.5 - 7.0 โดยทั่วไปหากดินไม่เหมาะสมแก่การปลูกพืชจะต้องแก้ไขปรับปรุงดิน

2.6) ธาตุอาหาร (mineral หรือ nutrient) พืชมีความต้องการธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตธาตุอาหารที่พืชต้องการในการเจริญเติบโตมี 16 ธาตุ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตาม ปริมาณที่พืชต้องการ ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก (macronutrients) ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) เนื่องจาก 3 ธาตุนี้พืชใช้มากแต่มักจะได้รับจากดินไม่ค่อยเพียงพอกับความ ต้องการ ต้องใส่ปุ๋ยอยู่เสมอธาตุอาหารรอง 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) ธาตุอาหารแต่ละชนิดมี ความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่น้อยไปกว่ากัน ต่างกันแต่เพียงปริมาณที่พืชต้องการเท่านั้น ดังนั้นพืชจึงขาดธาตุใดธาตุหนึ่งไม่ได้หากพืชขาดธาตุอาหารแม้แต่เพียงธาตุเดียว พืชจะหยุดการเจริญเติบโต แคระแกร็น ไม่ให้ผลผลิตและตายในที่สุด

3.1.2 ชีพลักษณะของพืช

ชีพลักษณะ (phenology) เป็นการศึกษาขั้นตอนที่เกิดขึ้นประจำของพืชและสัตว์ ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาของเหตุการณ์ตามฤดูกาล เช่น การแตกหน่อ การออกดอก การพักตัว การอพยพ การจำศีล และการแก่ชรา และความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงของชีพลักษณะเชื่อมโยงกับฤดูปลูกและส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบนิเวศและผลผลิต ได้รับผลกระทบทั้งเกษตรกรรม ป่าไม้ และสวน รวมทั้งสัตว์ป่า เวลาของการไถพรวน การหว่าน และการเก็บเกี่ยวมีการ

เปลี่ยนแปลง ผลไม้จะสุกเร็วขึ้นเนื่องจากฤดูร้อนที่ร้อนขึ้น (Menzel et al., 2006; Azizan et al., 2020) และหญ้าในสวนสาธารณะของเทศบาลและริมถนนจำเป็นต้องตัดบ่อยขึ้นและนานขึ้น การเปลี่ยนแปลงของการออกดอกมีผลกับช่วงเวลาและความเข้มของฤดูเกสรดอกไม้ สิ่งนี้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ก้าวหน้าเนื่องจากหลายสายพันธุ์เริ่มออกดอกเร็วขึ้น ด้วยเหตุนี้ความเข้มข้นของละอองเรณูในอากาศจึงเพิ่มขึ้น (Nordic Council, 2005) นอกจากนี้การตอบสนองทางฟีโนโลยีบางอย่างถูกกระตุ้นโดยปัจจัยบางอย่าง เช่น อุณหภูมิ ความยาวของวัน เป็นต้น (Menzel et al., 2006) การศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงทางชีวลักษณะพืช ตั้งแต่การงอกไปจนถึงการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ การพัฒนานี้เกี่ยวข้องกับขั้นตอนที่เป็นวัฏจักร เช่น การผลิตใบ ดอก และ ผล การศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงทางชีวลักษณะพืชสามารถใช้ประยุกต์ใช้เพื่อการจัดการระบบการปลูกพืชซึ่งมีการใช้มาอย่างยาวนาน เช่น ชาวมายาโบราณนั้นเข้าใจความสัมพันธ์ของพืชกับสิ่งแวดล้อมเมื่อเผชิญกับภูมิอากาศที่แตกต่างกันสถานการณ์ เช่น ชาวมายามีการคัดเลือกพันธุ์ข้าวโพดตามช่วงอายุที่ต่างกัน ได้แก่ พันธุ์ที่มีอายุสั้น ใช้ระยะเวลาปลูก 7-10 สัปดาห์ และพันธุ์ที่มีอายุยาวใช้ระยะเวลาปลูก 12 ถึง 16 สัปดาห์ ซึ่งระยะเวลาการเพาะปลูกมีความสำคัญต่อการจัดการและผลผลิตที่ได้รับ

3.1.2 การศึกษาการเจริญเติบโตของอ้อย

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกมากกว่า 10 ล้านไร่ ผลผลิตปี 2557/2558 ประมาณ 105.9 ล้านตัน โดยมีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 10 ตันต่อไร่ ซึ่งนับว่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศคู่แข่งทั้ง ๆ ที่ประเทศไทยมีสภาพทางภูมิศาสตร์ และภูมิอากาศเหมาะสมต่อการปลูกอ้อยเป็นอย่างมาก แต่ขอจำกัดที่ทำให้ผลผลิตอ้อยในภาพรวมของประเทศต่ำ เนื่องจากชาวไร่อ้อยส่วนใหญ่ปลูกอ้อยโดยอาศัยน้ำฝนเป็นหลัก ประกอบกับชาวไร่อ้อยไม่มีความชำนาญในการปลูกอ้อย ทั้งยังขาดความรู้ความเข้าใจด้านการบริหารจัดการด้านน้ำ ดินและปุ๋ย รวมถึงไม่สามารถเข้าถึงหรือรับรู้ถึงเทคโนโลยีที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, ม.ป.ป.) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของอ้อยมี 2 ปัจจัย คือ

1) ปัจจัยทางด้านพันธุกรรมอ้อย

พันธุ์อ้อยจะเป็นตัวกำหนดผลผลิตอ้อยต้นต่อไร่ แต่ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เป็นตัวกำหนดปริมาณผลผลิตด้วย จากการประเมินผลผลิตของอ้อยพันธุ์ต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้นโดยกรมวิชาการเกษตร โดยนายวิระพล พลรัตน์ ผู้เชี่ยวชาญด้านพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร พบว่า ความแปรปรวนของผลผลิตอ้อย เกิดจากสภาพแวดล้อม พันธุกรรมของอ้อย และปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม ดังนี้ ในอ้อยปลูกเท่ากับร้อยละ 73.9 9.6 และ 16.5 ในอ้อยต่อ 1 เท่ากับร้อยละ 67.1 17.2 และ 15.7 และในอ้อยต่อ 2 เท่ากับ ร้อยละ 43.3 36.3 และ 20.4 ตามลำดับ จากข้อมูลนี้ แสดงว่า ผลผลิตอ้อยจะขึ้นกับอิทธิพล ของสภาพแวดล้อมเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอ้อยปลูก และอิทธิพลของสภาพแวดล้อมจะลดลงในอ้อยต่อ ส่วนอิทธิพลของพันธุ์มีค่อนข้างน้อยในอ้อยปลูก แต่จะเพิ่มมากขึ้นใน อ้อยต่อ ดังนั้น การเลือกพันธุ์อ้อยที่ดี จึงมีความสำคัญ เกษตรกรสามารถเลือกพันธุ์ที่ตีมาปลูกในพื้นที่ของตนเองได้แต่สภาพแวดล้อมเป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยาก (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2563)

พันธุ์อ้อยที่ปลูกเป็นการค้าในประเทศไทยแบ่งออกเป็น ๒ ประเภท คือ อ้อยเคี้ยว (chewing cane) และอ้อยโรงงาน (industrial cane) ซึ่งอ้อยโรงงานเป็นอ้อยสำหรับทำน้ำตาล เป็นอ้อยลูกผสมซึ่งเกิดขึ้นโดยนักผสมพันธุ์อ้อยของประเทศต่างๆ ทั่วโลก พันธุ์อ้อยเหล่านี้ได้ถูกนำเข้าไปยังประเทศต่างๆ สำหรับประเทศไทยได้มีการนำพันธุ์อ้อยลูกผสมเข้ามาจากต่างประเทศตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมประมาณ ๒๒๐ พันธุ์ ในจำนวนนี้มีเพียง ๒๐ พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้าอยู่ในภาคต่างๆ (เกษม, ม.ป.ป.) โดยพันธุ์อ้อยที่เหมาะสมสำหรับปลูกในภาคกลาง ได้แก่ ได้แก่ LK92-11, ขอนแก่น 3, K88-92, K99-72, อุ้มทอง 7 เป็นต้น (ชาวไร่อ้อยแต่ละราย ควรเลือกพันธุ์อ้อยที่เหมาะสมกับสภาพท้องถิ่นของตนเอง และเลือกใช้อ้อย อย่างน้อย 2-3 พันธุ์ โดยเลือกพันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น อายุปานกลาง และอายุยาว เพื่อวางแผนเก็บเกี่ยวอ้อยแต่ละพันธุ์ส่งโรงงานในช่วงต้นฤดูหีบ กลางฤดูหีบ และปลายฤดูหีบ พันธุ์อ้อยที่เลือกใช้ นอกจากให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพความหวานมากกว่า 10 ซีซีเอส แล้วควรเป็นพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรคหรือแมลงที่มีการระบาดมากในแต่ละท้องถิ่น เช่น เป็นพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรคเหี่ยวเน่าแดง โรคเส้ดำ โรคคอกตะไคร้ และต้านทานต่อแมลงศัตรูอ้อยชนิดต่างๆ พันธุ์อ้อยที่ดี ควรเป็นพันธุ์ที่มีความสามารถในการไว้ต่อได้ไม่น้อยกว่า 2 ครั้ง และมีผลผลิตลดลงจากอ้อยปลูกไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์อ้อยจะเป็นตัวกำหนดผลผลิตอ้อยต้นต่อไร่ (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2561) โดยอนุรักษ์ และคณะ (2562) รายงานว่า เกษตรกรในจังหวัดกาญจนบุรี สุพรรณบุรี และราชบุรี นิยมปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 พันธุ์ LK92-11 พันธุ์อุ้มทอง (อุ้มทอง 9 11 12 และ 15) พันธุ์กำแพงแสน และพันธุ์อื่นๆ คิดเป็น 57.47 19.54 10.92 6.90 และ 5.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยพันธุ์ LK92-11 และ พันธุ์อุ้มทอง เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกไว้ต่อเนื่องจากเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรใช้ปลูกมานาน ขณะที่พันธุ์ขอนแก่น 3 เป็นพันธุ์ใหม่ที่ให้ผลผลิตสูง โดยลักษณะประจำพันธุ์ของอ้อยแต่ละพันธุ์มีดังนี้

1.1) พันธุ์ขอนแก่น 3 ทรงกอตั้งตรง ลำขนาดปานกลาง แตกกอปานกลาง (49ลำ/กอ) ปล้องทรงกระบอก สีเหลือง อมเขียว และเปลี่ยนเป็นสีส้มแดงเมื่อโดนแสง การเรียงตัวของปล้องเป็นแบบซิกแซก ตามีลักษณะกลมรี หูใบด้านบนรูปใบหอกสั้น หูใบด้านในรูปใบหอกยาว คอใบสีเขียวน้ำตาลรูปชายธง ปลายใบโค้ง กาบใบอ้า ลอกง่าย สีเขียว ไม่มีขน ให้ผลผลิตเฉลี่ย 21.7 ต้นต่อไร่ น้ำหนักเฉลี่ย 1.85 กิโลกรัมต่อลำ ฤดูเก็บเกี่ยว ธันวาคม- เมษายน อายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน เหมาะสำหรับปลูกในสภาพดินร่วนปนทราย สภาพพื้นที่เป็นที่ราบหรือที่ดอน น้ำไม่ท่วมขัง และระบายน้ำดี ค่า pH ที่เหมาะสมระหว่าง 5.5-7.5 ในการปลูกอ้อยควรมีการเตรียมดินก่อน กำจัดวัชพืชและปรับปรุงโครงสร้างของดินให้เหมาะสมกับการปลูกอ้อย และควรบำรุงดินในแปลงปลูกอย่างสม่ำเสมอ

รายงานที่ว่า อ้อยปลูกและอ้อยต่อ ที่ปลูกในพื้นที่ดินเหนียวของจังหวัดพิษณุโลก พันธุ์ขอนแก่น 3 ให้ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 12-22 ต้นต่อไร่ ความหวาน 12-13 CCS มีอายุเก็บเกี่ยวที่ 12 เดือน การเจริญโตเร็วสามารถไว้ต่อได้ดี (พิชัย และ อนุพงศ์, 2022)

1.2) พันธุ์ LK92-11 (สอน.12) ให้ผลผลิตอ้อยเฉลี่ย 15-16 ต้นต่อไร่ ความหวาน 13-14 CCS มีอายุเก็บเกี่ยวที่ 11.5-13.5 เดือน การเจริญโต ช่วง 4 เดือนแรกค่อนข้างช้า แต่สามารถไว้ต่อได้ดี (พิชัย และ อนุพงศ์, 2022) ให้ผลผลิต 17- 18 ต้นต่อไร่ ในเขตชลประทาน ความหวาน 12 - 14 ซีซีเอส

โตช้าในช่วง 4 เดือนแรก การไว้ยอดดี แตกกอดีมาก (6 - 8 ลำต่อกอ) ออกดอกเล็กน้อยในพื้นที่ลุ่มมีน้ำขัง หักล้มเล็กน้อย ทนแล้งปานกลาง (กรมวิชาการเกษตร, ม.ป.ป.)

1.3) พันธุ์อุทอง มีการพัฒนาพันธุ์ขึ้นหลายสายพันธุ์ เช่น

อ้อยพันธุ์อุทอง9 (99-2-168) เป็นลูกผสมจากพันธุ์แม่ 94-2-128 กับพันธุ์พ่อ 94-2-270 ให้ผลผลิตน้ำหนักเฉลี่ย 17.50 ตันต่อไร่ และให้ผลผลิตน้ำตาล 2.45 ตันซีซีเอสต่อไร่ ต้านทานโรคเหี่ยวเน่าแดงปานกลาง แนะนำให้ปลูกในดินร่วนปนทรายและมีการให้น้ำเสริม

อ้อยพันธุ์อุทอง12 (02-2-477) เป็นลูกผสมของพันธุ์แม่สุพรรณบุรี80 กับพันธุ์พ่ออุทอง3 ให้ผลผลิตน้ำหนักเฉลี่ย 16.92 ตันต่อไร่ และให้ผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 2.40 ตันซีซีเอสต่อไร่ ต้านทานโรคเหี่ยวเน่าแดง โรคเส้ดำระดับปานกลาง เป็นอ้อยที่ล้มยาก ไม่ออกดอก แนะนำให้ปลูกในเขตชลประทาน

อ้อยพันธุ์อุทอง15 (84-2-254) เป็นลูกผสมตัวเองของพันธุ์อุทอง2 ในฤดูปลายฝน เขตน้ำฝนให้ผลผลิตเฉลี่ย 17.91 ตันต่อไร่ ให้ผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 2.37 ตันซีซีเอสต่อไร่ เมื่อปลูกในช่วงปลายฝน (อ้อยข้ามแล้ง) และให้ผลผลิตเฉลี่ย 14.16 ตันต่อไร่ ให้ผลผลิตน้ำตาลเฉลี่ย 1.98 ตันซีซีเอสต่อไร่ เมื่อปลูกช่วงต้นฝนแนะนำในพื้นที่ปลูกปลายฝน จ. บุรีรัมย์ ขอนแก่น นครราชสีมา และชลบุรี และพื้นที่ปลูกต้นฝน จ. ลพบุรีและกาญจนบุรี ควรหลีกเลี่ยงพื้นที่มีน้ำขัง และมีโรคเหี่ยวเน่าแดงระบาด

2) ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของอ้อย

2.1) สภาพแวดล้อมทั่วไป

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภูมิภาคแถบร้อนชื้นและกึ่งร้อนชื้น อ้อยที่ปลูกในดินซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์สูง และได้รับปัจจัยอันจำเป็นต่อการเจริญเติบโตครบถ้วนย่อมให้ผลผลิตสูงทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงสำหรับอ้อยหมายถึงดินที่สามารถในการสนองธาตุอาหารแก่อ้อยได้ครบทุกธาตุแต่ละธาตุเพียงพอและสมดุลกันตามความต้องการของอ้อยในแต่ละระยะของการเจริญเติบโต ดังนั้นเรื่องของธาตุอาหารอ้อยจึงมีสำคัญมาก และเป็นปัจจัยที่จะนำไปสู่ความสำเร็จของการผลิตให้ได้ผลผลิตลำอ้อยและผลผลิตน้ำตาลสูง (ยงยุทธ, 2556) สิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลอย่างมากต่อปริมาณความชื้นในดิน ชนิดของเนื้อดิน และคุณสมบัติทางเคมีของดิน เช่น ภาคกลาง ภาคเหนียว และภาคตะวันออก ปลูกอ้อยโดยอาศัยน้ำฝน และน้ำชลประทาน ในเขตอาศัยน้ำฝน ถ้าเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทราย ส่วนใหญ่จะปลูกอ้อยปลายฤดูฝน แต่ถ้าเป็นดินร่วนหรือร่วนเหนียว จะปลูกอ้อยในช่วงต้นฤดูฝน (มีนาคม-เมษายน) ในเขตชลประทานปลูกอ้อยในเดือนกุมภาพันธ์ ถึง มีนาคม (วีระพล, 2558) แต่อย่างไรก็ตามอ้อยเจริญเติบโตได้ในดินที่มีสมบัติแตกต่างกัน กล่าวคือทนได้ในช่วงความเป็นกรดต่างของดินที่กว้าง (ความเป็นกรดต่าง 4-9) แต่อาจมีปัญหาการขาดแคลนธาตุอาหารบางธาตุในดินที่มีสภาพกรดหรือสภาพต่างสูงมาก อ้อยบางพันธุ์สามารถทนต่อสภาพความเค็มระดับปานกลางและการท่วมขังของน้ำในบางช่วงเวลา แต่ดินที่ปลูกอ้อยได้ผลดีต้องไม่มี ปัญหาด้านความเค็ม เนื่องจากค่าความเค็มอันเป็นจุดเริ่มเปลี่ยน (salinity threshold) สำหรับอ้อย คือ 1.7 เดซิซีเอ็ม/เมตร (dS/m) ซึ่งหมายความว่าเมื่อระดับความเค็มของดินเกิน 1.7 เดซิซีเอ็ม/เมตร ผลผลิตอ้อยจะเริ่มลดลง และมีอัตราการลดลงของผลผลิต

5.9% ต่อการเพิ่มความเค็มของดิน 1 เดซิซีเมน/เมตรผลผลิตลดลงอย่างรุนแรงที่ระดับความเค็ม 4-8 เดซิซีเมน/เมตร และหยุดการเติบโตหรือตายเมื่อความเค็มของดินสูงกว่า 10 เดซิซีเมน/เมตร (ยงยุทธ, 2556)

2.2) ช่วงเวลาปลูก

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

การเปลี่ยนแปลงด้านซีพลัสซึมของอ้อย ตั้งแต่ปลูกด้วยท่อนพันธุ์จนกระทั่งเก็บเกี่ยว อ้อยมีการเจริญเติบโตตามลำดับ สามารถแบ่งออกได้เป็น ๔ ระยะ (ยงยุทธ, 2556; มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ, มปป.) ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยมีรายละเอียดดังนี้

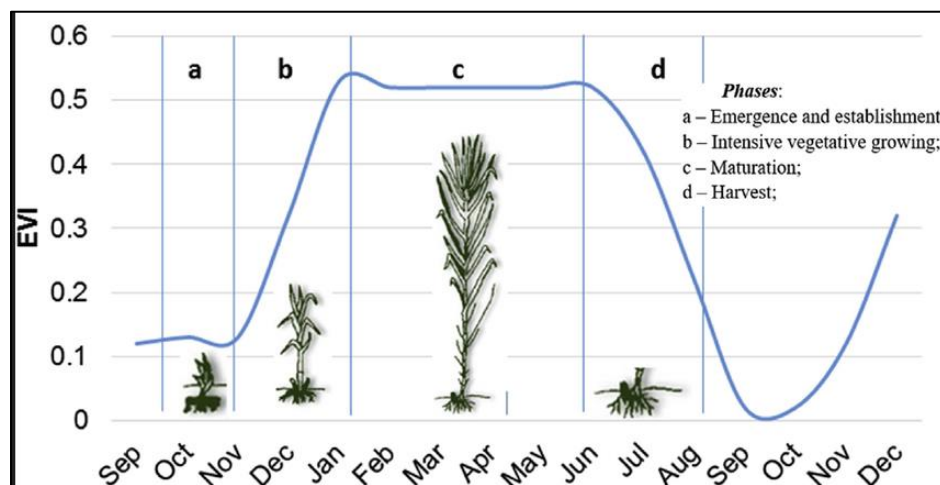
๑) ระยะงอก (germination phase) ระยะนี้เริ่มตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งหน่อโผล่พ้นดิน ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ ๒-๓ สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พันธุ์ การปฏิบัติต่อท่อนพันธุ์ และความหนาของดินที่กลบท่อนพันธุ์ เป็นต้น หน่อที่เกิดจากตาของท่อนพันธุ์ เรียกว่า หน่อแรก (primary shoot) หรือหน่อแม่ (mother shoot) จำนวนท่อนพันธุ์ที่งอกต่อไร่จะเป็นตัวกำหนดจำนวนกออ้อยในพื้นที่นั้น

๒) ระยะแตกกอ (tillering phase) ในระยะงอกนั้นอ้อยแต่ละตาจะงอกขึ้นมาเพียงต้นเดียวเท่านั้น และเมื่อเติบโตพอสมควรจึงจะมีการแตกกอ การแตกกอเป็นลักษณะสำคัญของพืชตระกูลหญ้ารวมทั้งอ้อย เกิดขึ้นเนื่องจาก ตาที่อยู่ส่วนโคนของลำต้นใต้ดินของหน่อแรก เจริญออกมาเป็นหน่อชุดที่สอง และจากหน่อชุดที่สองก็เจริญเป็นหน่อชุดที่สาม หรืออาจจะมีหน่อชุดต่อไปอีก ทำให้มีจำนวนหน่อหรือลำต้นเพิ่มขึ้น ในระยะนี้อิทธิพลของยอดย่อมมีน้อยมาก จึงไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของตาที่อยู่ส่วนโคนได้ ระยะแตกกอเป็นระยะต่อเนื่องกับระยะงอก การแตกกอจะเริ่มเมื่ออายุประมาณ ๑.๕ เดือนเป็นต้นไป แต่ระยะที่มีการแตกกอมากที่สุดอยู่ระหว่าง ๒.๕-๔ เดือน ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างตามที่กล่าวแล้ว หน่อที่แตกออกมาทั้งหมดในระยะแตกกอนี้ จะเหลือเพียงประมาณครึ่งหนึ่ง เมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยว หน่อที่อ่อนแอกว่าตายไป เพราะการแข่งขันกัน เพื่อปัจจัยในการเจริญเติบโต เช่น แสงแดด น้ำ และธาตุอาหาร เป็นต้น จำนวนลำต้นต่อกอขณะเก็บเกี่ยว ขึ้นอยู่กับจำนวนหน่อในระยะแตกกอนี้

๓) ระยะย่นปล้อง (stalk elongation phase) เป็นระยะต่อเนื่องกับการแตกกอ ระยะนี้จะมีการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของปล้องอย่างรวดเร็ว ทำให้อ้อยทั้งลำต้นเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วด้วย ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่อายุประมาณ ๓-๔ เดือน จนถึงอายุประมาณ ๗-๘ เดือน หลังจากนั้นการเจริญเติบโตจะมึนน้อยลง และจะเริ่มมีการสะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้น ขนาดและความยาวของแต่

ละต้นในระยะนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักของแต่ละลำต้น และน้ำหนักแต่ละลำต้น มีผลโดยตรงต่อผลผลิตน้ำหนักของอ้อยทั้งไร่ เมื่อเก็บเกี่ยว

๔) ระยะแก่และสุก (maturity and ripening phase) ระยะแก่คือระยะที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้าลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับระยะต่างๆ ตามที่ได้กล่าวแล้ว เมื่อการเจริญเติบโตเริ่มช้าลง น้ำตาลที่ใบสร้างขึ้นจากการสังเคราะห์แสงก็จะถูกใช้น้อยลง และมีเหลือเก็บสะสมในลำต้นมากขึ้น ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของระยะสุกนั่นเอง การสะสมน้ำตาลจะเริ่มจากส่วนโคนไปหาปลาย ดังนั้นส่วนโคนจึงหวานก่อน และมีความหวานมากกว่าส่วนปลาย การสะสมน้ำตาลจะมีมากขึ้นโดยลำดับ จนกระทั่งส่วนโคนส่วนกลาง และส่วนปลาย มีความหวานใกล้เคียงกัน เรียกว่า สุก



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงด้านชีพลักษณ์ของอ้อย

ที่มา: Scarpare (n.d.)

3.1.3 การศึกษาการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังปลูกได้ในดินทุกชนิด แต่ชอบดินร่วนปนทรายเพราะจะลงหัวและเก็บเกี่ยวง่าย เจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินที่ไม่มีน้ำท่วมขัง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ระหว่าง 5.5-8.0 ทนต่อสภาพความเป็นกรดสูงได้แม้ pH ของดินจะต่ำจนถึง 4.5 ก็ไม่ทำให้ผลผลิตลดลง แต่ไม่ทนต่อสภาพพื้นที่เป็นด่าง โดยไม่สามารถขึ้นได้ถ้า pH สูงถึง 8 ถ้าเป็นดินทรายสามารถปลูกได้ตลอดปี แต่เกษตรกรมักนิยมปลูกปลายฤดูฝน เช่น แถบจังหวัดระยอง และชลบุรี ถ้าเป็นดินเหนียวจะนิยมปลูกต้นฤดูฝน เพราะถ้าเป็นฤดูแล้งการไถพรวนจะได้ดินก้อนใหญ่ ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังจะแห้งตายก่อนที่จะงอก มันสำปะหลังเป็นพืชวันสั้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังมี 2 ปัจจัย คือ

1) ปัจจัยทางด้านพันธุกรรมมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ 1. ชนิดหวาน เป็นมันสำปะหลังใช้เพื่อการบริโภค มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่ำไม่มีรสขม สามารถใช้หัวสดทำอาหารได้โดยตรง เช่น นำไปนึ่ง เชื่อม หรือทอด ซึ่งได้แก่ พันธุ์ห่านาที่ พันธุ์ระยอง 2 เป็นต้น 2. ชนิดขม เป็นมันสำปะหลังที่มีรสขม ไม่เหมาะสมสำหรับการบริโภคของมนุษย์หรือใช้หัวสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง เนื่องจากมีปริมาณกรดไฮโดรไซ

ยานิคสูง มีความเป็นพิษต่อร่างกาย ต้องนำไปแปรรูปเป็นมันอัดเม็ดหรือมันเส้นแล้วจึงนำไปเลี้ยงสัตว์ได้ ซึ่งได้แก่ พันธุ์ระยอง 1, ระยอง 2, ระยอง 5, ระยอง 60, ระยอง 90 และเกษตรศาสตร์ 50 สำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นชนิดขม เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมโดยพันธุ์ที่ปลูกกันมาก คือ พันธุ์พื้นเมือง 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)

1.1) พันธุ์ระยอง 5 ลำต้นสีเขียวอมน้ำตาล สูงประมาณ 170 เซนติเมตร มีระดับการแตกกิ่ง 2-3 ระดับ ความสูงของการแตกกิ่งระดับแรก 100-120 เซนติเมตร มุมของกิ่ง 15-30 องศา แผ่นใบมีรูปร่างเป็นแบบใบหอก ใบแก่สีเขียวเข้ม ก้านใบสีแดงเข้ม ยอดอ่อนสีม่วงอมน้ำตาล หัวรูปร่างป้อมอ้วน เปลือกสีน้ำตาลอ่อน เนื้อสีขาวลักษณะเด่น :ผลผลิตหัวสดสูง 4,420 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่า พันธุ์ ระยอง 1 23 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตแป้งสูง 1,027 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์ระยอง 1 ระยอง 3 เท่ากับ 44 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ให้ผลผลิตมันแห้งสูง 1,554 กิโลกรัมต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์ระยอง 1 ระยอง 3 เท่ากับ 23 และ 37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีมีความงอกดีและอยู่รอดถึงการเก็บเกี่ยวมากถึง 93 เปอร์เซ็นต์ ด้านทานโรคใบไหม้ปานกลาง พื้นที่แนะนำ :ปลูกได้ทั้งภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เป็นแหล่งปลูกมันสำปะหลังของประเทศในต้นฤดูฝน และปลายฤดูฝน(สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพะเยา, 2563; กรมวิชาการเกษตร, 2563)

1.2) 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 กก. ต่อ หัวสด ฤดูเก็บเกี่ยว ตุลาคม-เมษายน อายุการเก็บเกี่ยว 10-16 เดือน ปลูกในสภาพดิน ดินร่วนปนทราย ปลูกในสภาพพื้นที่ดอน น้ำไม่ท่วมขัง เหมาะสำหรับปลูกในสภาพ ดินเหนียว ดินเหนียวร่วนปนทราย และดินร่วนปนทราย ค่า pH ที่เหมาะสม 4.5-6 ปลูกได้ในทุกพื้นที่ที่มีการปลูกมันสำปะหลัง และปลูกได้ดีทั้งในต้นฤดูฝน และปลายฤดูฝน (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพะเยา, 2563; กรมวิชาการเกษตร, 2563)

1.3) พันธุ์ระยอง 9 ปลูกได้ทั่วไปทั้งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ศักยภาพในการให้ผลผลิตขึ้นกับศักยภาพของพื้นที่ ปริมาณน้ำฝน และการดูแลรักษา พื้นที่ที่ให้ผลผลิตได้ดี ได้แก่ พื้นที่ที่เป็นดินร่วนปนทราย ไม่เป็นที่ลุ่มฉ่ำน้ำ ไม่เป็นดินทรายจัด ร่วนเหนียวหรือลูกรัง และไม่เป็นที่ดินด่างที่มีชั้นหินปูนตื้น (Calcareous soil) มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงกว่า 1,000 มิลลิเมตรต่อปี ข้อควรระวัง :ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุประมาณ 1 ปี ถ้าเก็บเกี่ยวเร็วจะให้ผลผลิตหัวสดต่ำกว่าพันธุ์มาตรฐานอื่นๆ เนื่องจากพันธุ์ระยอง 9 มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง แต่สะสมน้ำหนักทำให้ผลผลิตแห้ง 1.24 ตันต่อไร่ เป็น

ผลผลิตมันแห้ง 2.11 ตันต่อไร่ ไร่ ซึ่งสูงกว่าพันธุ์มาตรฐานอื่นๆ ในหลายพื้นที่ ให้ผลผลิตเอทานอลสูงกว่าพันธุ์มาตรฐานทุกพันธุ์และทุกช่วงอายุการเก็บเกี่ยว โดยเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 8-12 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)

1.4) พันธุ์ระยอง 72 ทรงต้นดี แตกกิ่งเล็กน้อย ในระดับที่สูงจากโคนต้น ประมาณ 1 เมตรทำให้สามารถขยายท่อนพันธุ์ได้มากขึ้นเมื่อพิจารณาพื้นที่ปลูกมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินทราย พืชบางชนิด ให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย 5.09 ตันต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์มาตรฐาน ระยอง 1 ระยอง 5 ระยอง 90 และเกษตรศาสตร์ 50 ร้อยละ 27 18 26 และ 16 ตามลำดับ หัวสดมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 21 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลผลิตแป้งเฉลี่ย 1.07 ตันต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์มาตรฐานระยอง 1 ระยอง 5 ระยอง 90 และเกษตรศาสตร์ 50 ร้อยละ 36 12 16 และ 7 ตามลำดับ ให้ผลผลิตมันแห้งเฉลี่ย 1.70 ตันต่อไร่ สูงกว่าพันธุ์มาตรฐาน ระยอง 1 ระยอง 5 ระยอง 90 และเกษตรศาสตร์ 50 ร้อยละ 31 15 22 และ 12 ตามลำดับ เป็นพันธุ์ที่ปรับตัวได้ดี ในสภาพแวดล้อมทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยให้ผลผลิตหัวสดสูงถึง 5.55 ตันต่อไร่ ผลผลิตแป้ง 1.23 ตันต่อไร่ และผลผลิตมันแห้ง 1.91 ตันต่อไร่ ท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูกมีความงอกดี ไม่มีปัญหาของโรคต้นเน่า จนถึงระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตโดยมีความอยู่รอดถึงการเก็บเกี่ยวสูง 92 เปอร์เซ็นต์ ไม่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูง ประกอบกับเกษตรกรไม่มีเงินลงทุน ดังนั้น มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 จึงเป็นพืชที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ขาดฝนอย่างต่อเนื่องนาน 1-2 เดือน แต่ยังสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้อย่างเหมาะสม ดังนั้น จึงแนะนำให้เกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือปลูกซึ่งจะให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์เดิมที่เคยใช้ปลูกและเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรโดยตรง (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพะเยา, 2563; กรมวิชาการเกษตร, 2563)

1.5) พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลำต้นโค้งเล็กน้อย สีเขียวเงิน สูง 180-250 เซนติเมตร แตกกิ่งระดับแรกที่ความสูง 80-150 เซนติเมตร ผลผลิตเฉลี่ย 4.4 ตันต่อไร่ มีแป้งเฉลี่ย 23 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝน และ 28 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูแล้ง ต้นพันธุ์เก็บไว้ได้นานประมาณ 30 วันหลังจากตัดต้นลักษณะเด่น คือ ผลผลิตสูง เปอร์เซ็นต์แป้งสูง 23% ในฤดูฝนและ 28% ในฤดูแล้งต้นพันธุ์เก็บไว้ได้ ประมาณ 30 วันหลังจากตัดต้น (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพะเยา, 2563; สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดนครสวรรค์, 2564)

2) ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง

2.1) สภาพแวดล้อมทั่วไป

มันสำปะหลังเป็นพืชที่เกษตรกรในหลายประเทศโดยเฉพาะในพื้นที่แห้งแล้ง (ปณิธิ และคณะ, 2558) แต่อย่างไรก็ตาม สภาพพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกมันสำปะหลัง เป็นพื้นที่ที่สูงจากระดับทะเลปานกลางไม่เกิน 2,000 เมตร มีความลาดชันที่เหมาะสมไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์แต่ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ และสภาพพื้นที่ที่ไม่มีน้ำ

ท่วมขังลักษณะดินที่เหมาะสม มันสำปะหลังสามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย การระบายน้ำดี ปลูกได้ในสภาพที่มีปฏิกริยาดินเป็นกรดรุนแรงมากถึงต่างปานกลาง (pH 4.0-8.4) และไม่เป็นดินเค็ม สภาพภูมิอากาศ มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกในเขตร้อน ตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 30 องศาใต้ถึงเส้นรุ้งที่ 30 องศาเหนือ ในเขตหนาวหรือเขตอบอุ่นที่มีอุณหภูมิเย็นจัดมันสำปะหลังไม่สามารถขึ้นได้ มันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่บางแห่งที่มีปริมาณน้ำฝนต่อปีน้อยกว่า 1,000 มิลลิเมตร แต่ถ้าเป็นบริเวณที่ฝนตกน้อยกว่า 500 มิลลิเมตรต่อปี ไม่สามารถปลูกมันสำปะหลังได้ สภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมที่สุดมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยปีละ 1,200-1,500 มิลลิเมตร อุณหภูมิเฉลี่ย 25-29 องศาเซลเซียส เป็นพืชวันสั้นต้องการช่วงแสงของวันยาว 12-14 ชั่วโมง ฤดูปลูก มันสำปะหลังสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่เกษตรกรส่วนใหญ่จะปลูกช่วงต้นฤดูฝน (เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม) ถึง 65 เปอร์เซ็นต์ และปลูกในช่วงปลายฤดูฝนหรือในฤดูแล้ง (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์) ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือจะปลูกในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม การปลูกในช่วงต้นฤดูฝนให้ผลผลิตหัวสดสูงกว่าการปลูกในช่วงอื่นๆ แต่ถ้าเป็นดินทรายการปลูกในช่วงฤดูแล้งจะให้ผลผลิตหัวสูงสุด (ปรารธนา และคณะ, 2560, กรมวิชาการเกษตร, 2563)

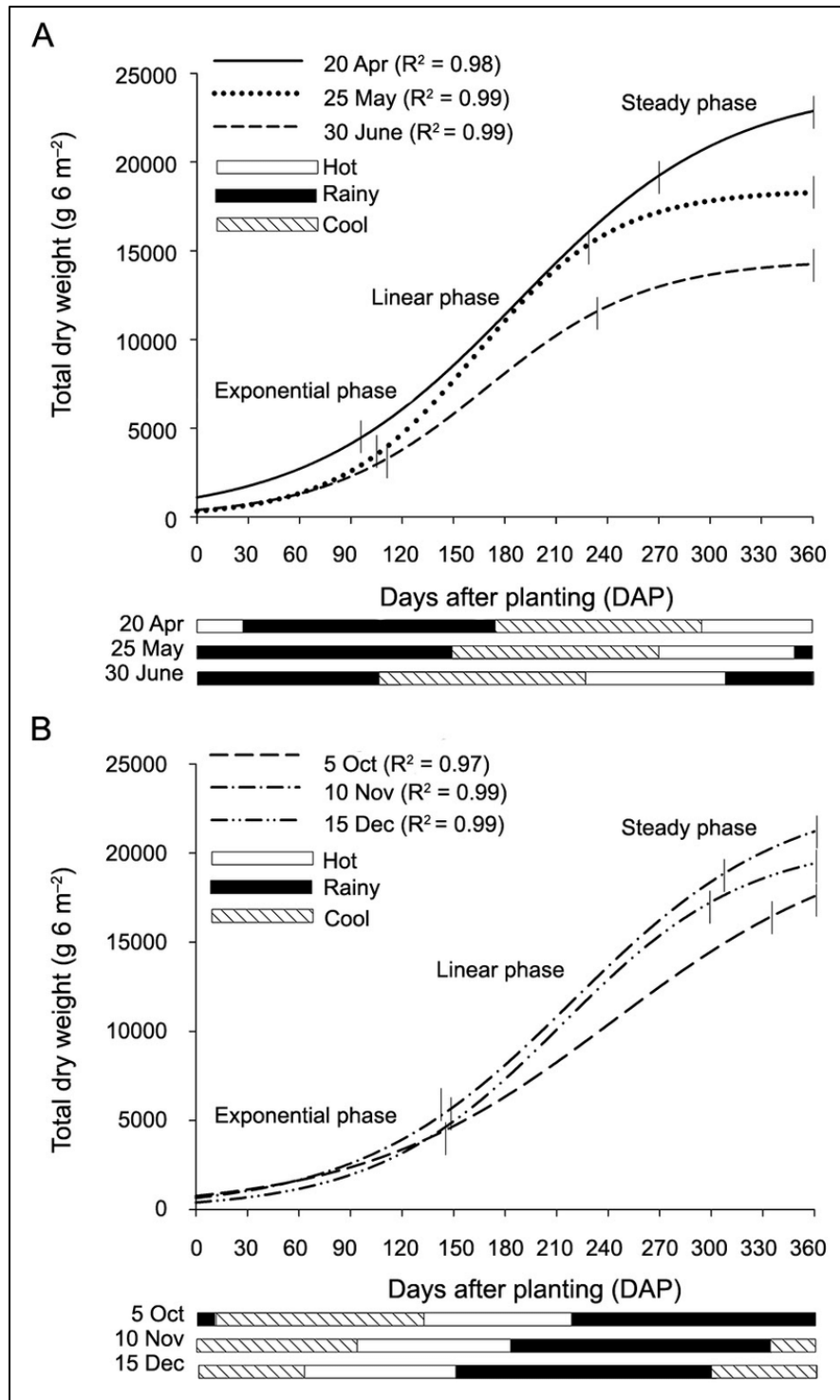
2.2) ช่วงเวลาปลูก

โดยทั่วไปช่วงเวลาปลูกที่เหมาะสมมี 2 ช่วง (ตารางที่ 6) คือ การปลูกต้นฤดูฝน โดยปลูกในช่วงเดือนเมษายน – มิถุนายน และปลูกปลายฤดูฝนโดยปลูกในช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม (ก่อนที่ฝนจะหมด) การที่เกษตรกรสามารถเตรียมแปลงปลูกได้ทันในฤดูปลูกทั้ง 2 ช่วงนี้จะได้ผลผลิตสูงกว่าปลูกในช่วงอื่นมันสำปะหลังที่ปลูกช่วงต้นฤดูฝนจะเจริญเติบโตสม่ำเสมอว่ามันสำปะหลังที่ปลูกปลายฤดูฝน เนื่องจากการปลูกในปลายฤดูฝนมันสำปะหลังจะติดแล้งในช่วงแรกของการเจริญเติบโตมันสำปะหลังที่ปลูกต้นฤดูฝนจะมีหัวขนาดเล็ก เรียวยาว มีจำนวนหัวมากเพราะหัวมันออกเป็นชั้นๆ ส่วนมันสำปะหลังที่ปลูกปลายฤดูฝนจะมีหัวขนาดใหญ่ป้อม แต่ไม่ค่อยดก การปลูกในช่วงปลายฤดูฝนมีข้อดี คือสามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัชพืช และเป็นการอนุรักษ์ดินและป้องกันการพังทลายของดินจากอิทธิพลของเม็ดฝน และน้ำไหลบ่า แต่การปลูกปลายฤดูฝน แนะนำให้ปลูกในพื้นที่ดินทรายหรือดินร่วนปนทราย ไม่แนะนำให้ปลูกในพื้นที่ดินค่อนข้างเหนียว ซึ่งเมื่อกระทบแล้งดินจะรัดตัวแน่นแข็งทำให้มันสำปะหลังตายมาก

ตารางที่ 6 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					██████████					██████████		

การเปลี่ยนแปลงด้านซีพลักษณ์ของมันสำปะหลัง การเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ออกเป็น 5 ระยะคือ 1) ระยะแตกตา ช่วงอายุ 5-15 วัน 2) ระยะสร้างเนื้อเยื่อใบและราก ช่วงอายุ 15 วันถึง 3 เดือน ซึ่งในช่วงหนึ่งเดือนแรกนี้ เนื่องจากเนื้อเยื่อใบยังพัฒนาได้ไม่เต็มที่ การเจริญเติบโตของมันสำปะหลังในระยะนี้จึงมีไซจากการสังเคราะห์แสง แตมาจากอาหารสะสมในสวนของทอนพันธุ์ มันสำปะหลังเอง และในช่วง 2-3 เดือนจะเริ่มมีการสะสมแป้งในราก 3) ระยะการเจริญทางต้นและใบ ช่วงอายุ 3-6 เดือน ซึ่งช่วง 4-5 เดือน มันสำปะหลังจะมีพื้นที่ที่จะสังเคราะห์แสงได้เต็มประสิทธิภาพมากที่สุด และการสะสมแป้งที่รากก็ยังคงดำเนินควบคู่กันไป 4) ระยะสะสมอาหารที่หัว ช่วงอายุ 6-10 เดือน เนื่องจากไม่มีการเจริญเติบโตทางต้นเพิ่มมากนัก ต้นเริ่มสะสมกลินินทำให้แข็งแรงมากขึ้น ใบกลางบางส่วนจะร่วงเพื่อลดการสูญเสียน้ำ อัตราการสะสมอาหารที่รากในระยะนี้จะเพิ่มมากขึ้น 5) ระยะพักตัว ช่วง 10-12 เดือน ซึ่งจะมีผลผลิตคงที่ (ปณิธิ และคณะ, 2558) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงด้านซีพลักษณ์ด้านการสะสมน้ำหนักแห้งที่ปลูกใน 2 ฤดูโดยทั่วไปจะมีลักษณะคล้ายกัน แต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงการเข้าสู่ระยะต่างๆ เมื่ออายุที่ต่างกันดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงด้านชีพลักษณ์ของมันสำปะหลังด้านการสะสมน้ำหนักแห้งที่ปลูกใน 2 ฤดู
 ที่มา: Phanupong Phoncharoen

3.1.4 การศึกษาการเจริญเติบโตของสับปะรด

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญสร้างมูลค่าการส่งออกให้กับประเทศไทย 23,000 - 25,000 ล้านบาทต่อปี และไทยเป็นผู้ผลิตสับปะรดรายใหญ่ของโลก คือ ส่งออกประมาณร้อยละ 12 ของผลผลิตทั้งโลก ส่วนใหญ่เป็นการส่งออกสับปะรดผลิตภัณฑ์ ส่วนสับปะรดผลสดนับว่ามีปริมาณและมูลค่าค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณและมูลค่าการส่งออกสับปะรดทั้งหมด ซึ่งการผลิตสับปะรดของเกษตรกรยังพบปัญหาหลายด้าน เช่น ผลผลิตต่อไร่ต่ำ ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ขาดพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและคุณภาพดีกว่าพันธุ์เดิม ปัญหาการแพร่ระบาดของโรค คุณภาพผลผลิตไม่สม่ำเสมอ การกระจายการผลิตไม่สอดคล้องกับความต้องการของโรงงาน การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ การกระจายตัวของฝนไม่สม่ำเสมอ เกิดภาวะแล้งยาวนานทำให้ผลผลิตตกต่ำและไม่ได้มาตรฐาน ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้เป็นอุปสรรคสำคัญของการผลิตสับปะรด (หัตถยา และ ปุณณมี, 2559; สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด มี 2 ปัจจัย คือ

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 Pernambuco โดยสับปะรดในแต่ละกลุ่มพันธุ์จะมีคุณลักษณะแตกต่างกัน สำหรับในประเทศไทยได้มีการจัดกลุ่มโดยยึดเกณฑ์มาตรฐานของ IBPGR ปี 1991 สามารถจัดแบ่งเป็น 3 กลุ่มพันธุ์ (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560) คือ

1.1) กลุ่ม Smooth cayenne มี 3 พันธุ์/สายพันธุ์ คือ ปัตตาเวีย นางแล ลักกะตา พันธุ์สับปะรดกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่นิยมปลูกมากที่สุด ทั้งเพื่อใช้บริโภคสดและใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋องพันธุ์สับปะรดในกลุ่มนี้มีผลมีขนาดประมาณ 1.0 - 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 เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุดและส่วนใหญ่มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ใช้ในอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋องแต่ยังมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการบริโภค

1.2) กลุ่ม Queen มี 5 พันธุ์/สายพันธุ์ คือ ทรายทอง ภูเก็ต สวี ปัตตานี และสิงคโปร์ ปัตตาเวีย พันธุ์สับปะรดกลุ่มนี้มีขนาดของต้นและผลเล็กกว่ากลุ่ม smooth cayenne ขอบใบมีหนามเรียงชิดติดกันตลอดความยาวใบ น้ำหนักผล ประมาณ 1.0 กิโลกรัม รูปร่างทรงกระบอก ตาค่อนข้างนูน เปลือกหนา เนื้อมีสีเหลือง เข้มและกรอบ รสชาติหวาน มีเยื่อใยน้อยและมีกลิ่นหอม แกนผลอ่อนนุ่มกว่า พันธุ์ปัตตาเวีย สับปะรดกลุ่มนี้ในประเทศไทย ได้แก่ พันธุ์ภูเก็ต (จังหวัดเชียงราย เรียกว่า พันธุ์ภูแล) พันธุ์สวี พันธุ์ทรายทอง พันธุ์ปัตตานี และพันธุ์สิงคโปร์ปัตตาเวีย

1.3) กลุ่ม Spanish มี 2 พันธุ์/สายพันธุ์ คือ อินทรชิตแดง อินทรชิตขาว พันธุ์สับปะรดกลุ่มนี้มีขนาดของต้นและผลอยู่ระหว่างกลางของกลุ่ม Smooth cayenne และกลุ่ม Queen ขอบใบมีหนามแหลมรูปโค้งงอ ผลมีรูปร่างกลม น้ำหนักผล 1.0-1.5 กิโลกรัม ตาขุน ขนาดของตาใหญ่กว่า กลุ่ม Smooth cayenne เนื้อสีเหลืองจาง มีเยื่อใยมาก แกนผลเหนียว กลิ่นและ รสชาติแตกต่าง จาก 2 กลุ่มแรก รสชาติเปรี้ยว พันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยได้แก่ พันธุ์อินทรชิตแดง และพันธุ์อินทรชิตขาว ปัจจุบันมีการปลูกล้นน้อยมาก

ในแถบภาคตะวันตกของประเทศสับปะรดปัตตาเวีย เป็นสับปะรดพันธุ์หนึ่งที่นิยมปลูกกันมาก โดยเฉพาะในแถบอำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี ซึ่งได้ชื่อว่า มีสภาพความเป็นกรด-ด่างสูง การปลูกพืชทั่วไปไม่สามารถทำได้ แต่สามารถปลูกสับปะรดพันธุ์นี้ได้และมีรสชาติพิเศษเฉพาะ ที่ผ่านมากษัตริย์ปลูกกันในลักษณะต่างคนต่างปลูก เน้นส่งโรงงาน จังหวัดราชบุรีเป็นแหล่งผลิตสับปะรดที่มีชื่อเสียงมานาน โดยเฉพาะสับปะรดที่ปลูกในพื้นที่อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี ที่พบว่า เนื้อมีสีเหลืองสวย มีกลิ่นหอม รสชาติหวานฉ่ำ ไม่ก่ดกลิ่น จึงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคจำนวนมากทั้งในรูปของผลสดและจำหน่ายส่งโรงงานเพื่อแปรรูป สายพันธุ์สับปะรดที่เกษตรกรจังหวัดราชบุรี นิยมปลูกในพื้นที่ ได้แก่ สายพันธุ์ปัตตาเวีย ซึ่งในปี พ.ศ. 2560 พบว่า มีพื้นที่เพาะปลูกสับปะรดโดยรวมประมาณ 58,723 ไร่ จากจำนวนเกษตรกร 1,933 ครัวเรือน (ชฎาพร, 2561) กระจายอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอปากท่อ อำเภอจอมบึง อำเภอสวนผึ้ง และอำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี เนื่องจากมีลักษณะภูมิประเทศใกล้เคียงกันการผลิตสับปะรดของเกษตรกรปลูกแบบพืชเชิงเดี่ยว โดยผลิตสับปะรดร้อยละ 80 จะผลิตเพื่อจำหน่ายส่งโรงงานแปรรูปที่เหลือร้อยละ 20 ใช้สำหรับการบริโภคผลสด (นภาลัย และคณะ, 2558)

2) ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด

สับปะรดเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทุกพื้นที่ แต่ปัจจัยสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพ โดยปัจจัยต่างๆ มีดังนี้

2.1) สภาพแวดล้อมทั่วไป

สับปะรดสามารถปลูกได้ตั้งแต่ที่ความสูงระดับน้ำทะเลขึ้นไปจนถึงระดับ 1,200 เมตร แต่ถ้าจะปลูกเป็นการค้าควรอยู่ในระดับความสูงไม่เกิน 600 เมตร เพราะถ้าระดับพื้นที่สูงชันจะทำให้ อุณหภูมิลดลงและมีผลต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของสับปะรด สับปะรดเป็นพืชที่ต้องการแสงแดดตลอดวันและพบว่า การลดปริมาณแสงแดดลง 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณผลผลิตลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปลูกสับปะรดช่วง 24 - 30 องศาเซลเซียส สับปะรดจะหยุดชะงักเมื่อ อุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ซึ่งแหล่งผลิตสับปะรดเป็นการค้าของโลกส่วนใหญ่จะอยู่ตามแนวพื้นที่ชายทะเลหรือมหาสมุทร หรือตามพื้นที่เกาะต่างๆ เช่นในประเทศไทยมีแหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญได้แก่ จังหวัดเพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชลบุรี และ ระยอง เป็นต้น สับปะรดเป็นพืชที่ทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี แต่ถ้าปริมาณน้ำฝนมีความสม่ำเสมอและกระจายตลอดปีจะทำให้สับปะรดมีการเจริญเติบโตดี การขาดน้ำอย่างรุนแรงมีผลต่อผลผลิต คือ จะทำให้ขนาดผลลดลง แหล่งปลูกสับปะรดที่ดีควรมีปริมาณน้ำฝนระหว่าง 1,000 - 1,500 มิลลิเมตรต่อปี และมีการกระจายของฝนสม่ำเสมอ สับปะรดเป็นพืชที่ไม่เลือกชนิด

ของดินมากนัก แต่ดินปลูกที่เป็นดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายชายทะเลมักมีการระบายน้ำดีเหมาะกว่า ดินที่มีเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียวซึ่งระบายน้ำได้ยาก ดินที่ปลูกสับปะรดเป็นดินร่วนหรือร่วนปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง มีอินทรีย์วัตถุไม่ต่ำกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ ความลาดเอียง 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ การระบายน้ำและถ่ายเทอากาศดี ระดับหน้าดินลึกไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร ค่าความเป็นกรดต่าง ของดิน 4.5 - 5.5 และไม่ควรรสูงกว่า 7.0 (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560)

2.2) ช่วงเวลาปลูก

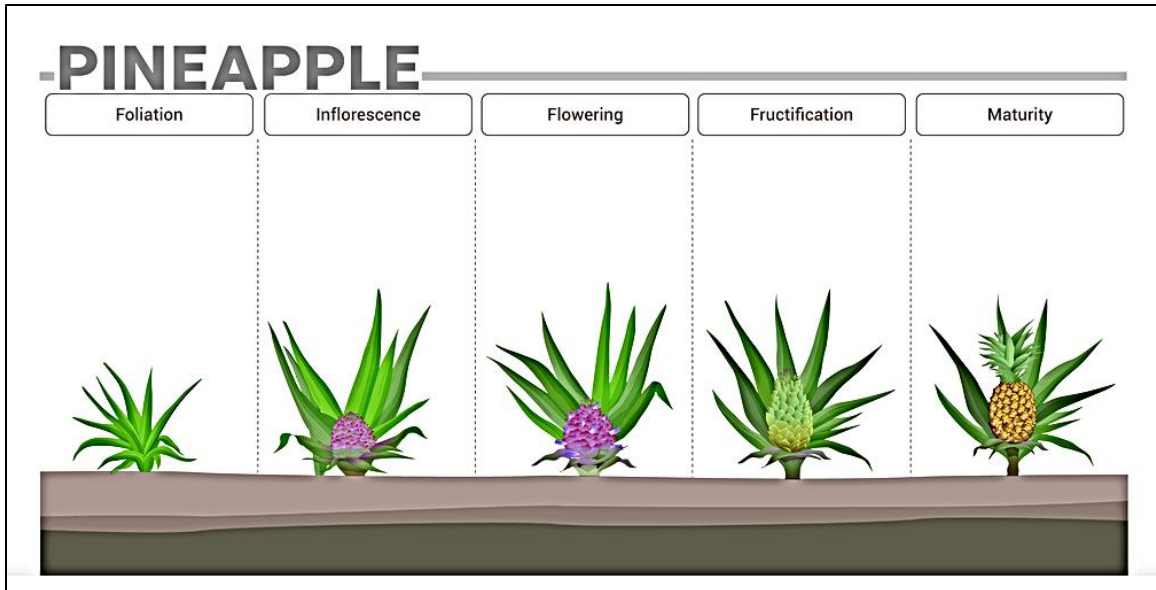
การปลูกสับปะรดสามารถปลูกได้แบบปลูกแบบเชิงเดี่ยว และปลูกเป็นพืชแซมในสวนยางพาราเนื่องจากสับปะรดเป็นพืชที่ไม่ต้องการน้ำในการเจริญเติบโตมากนัก สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี การปลูกในฤดูฝน ต้องฝังหน่อให้เอียง 45 องศา เพื่อป้องกันน้ำขังในยอด แต่ถ้าปลูกในฤดูแล้งฝังหน่อให้ตั้งตรง การปลูกส่วนใหญ่ใช้ ระบบแถวคู่ ระยะปลูกแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่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

การเปลี่ยนแปลงด้านซีพลักษณ์ของสับปะรด

โดยทั่วไปการเจริญเติบโตของสับปะรดแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ 1.การเจริญเติบโตในระยะก่อนออกดอก 2. การเจริญเติบโตในระยะหลังการออกดอก และ 3. การเจริญเติบโตของหน่อที่เกิดจากตาที่มุมใบบนต้นเดิม แต่เนื่องจากสับปะรดเป็นพืชหลายฤดู การเจริญเติบโตในแต่ละระยะที่ต่อเนื่องกัน อาจจะมีช่วงเวลาที่ซ้อนทับกันได้บ้าง เช่นเมื่อสับปะรดสร้างดอกและผล การเจริญของใบก็ยังดำเนินไปได้ อีกระยะหนึ่ง หรือหน่อจากตาข้างอาจจะเริ่มมีการเจริญเติบโตโดยที่ผลยังไม่ถึงระยะสุกแก่ การเจริญเติบโตในระยะต่างๆ และช่วงเวลาที่ซ้อนทับกันรวมไปถึงผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก (จินดารัฐ, 2541) สับปะรดเป็นพืชที่มีอายุตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว นานประมาณ 15 - 18 เดือน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ของสับปะรดอายุตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว แสดงดังภาพที่ 7 ได้แก่ ระยะ foliation ระยะ inflorescence ระยะ flowering ระยะ fructification และระยะ Marturity และเนื่องจากสับปะรดหลังจากเก็บเกี่ยวผลจากต้นที่ปลูกครั้งแรก (plant crop) สามารถไว้หน่อและเก็บผลผลิตได้อีก 1 - 2 รุ่น (First and Second ratoon crop) ซึ่งช่วงระยะเวลา ตั้งแต่การปลูกครั้งแรกจนถึงเก็บเกี่ยวหน่อรุ่นสุดท้ายและเตรียมการปลูกครั้งต่อไปในพื้นที่เดิมเรียกว่า รอบการปลูก (crop cycle) มี 2 แบบ (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560) ได้แก่

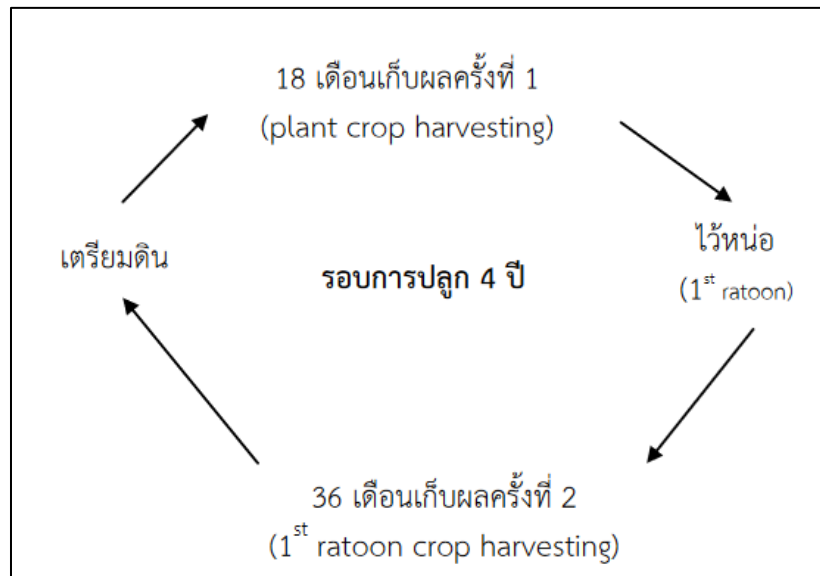
1) รอบการปลูก 4 ปี ไว้หน่อครั้งเดียว โดยจะเก็บผล 2 รุ่น คือ ผลจากต้นแม่ (plant crop) และเก็บผลจากหน่อรุ่นแรก (first ratoon crop) (ภาพที่ 8)

2) รอบการปลูก 5 ปี ไว้หน่อ 2 รุ่น และสามารถเก็บผลผลิตได้ 3 รุ่น (ภาพที่ 9)



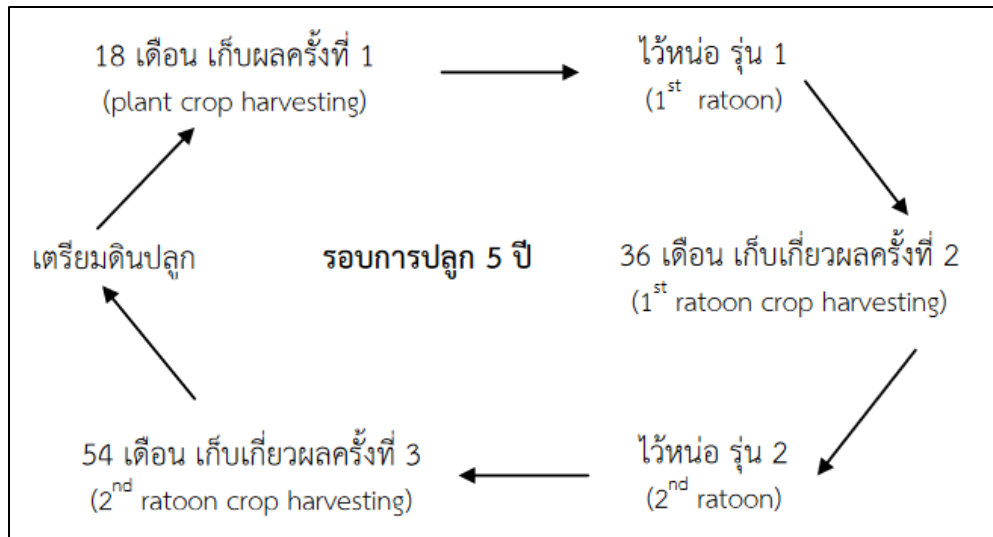
ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณะของสับปะรดอายุตั้งแต่ปลูกลงจนถึงเก็บเกี่ยว

ที่มา : <https://sqmnutrition.com/en/essays/pineapple-phenological-phases-and-their-nutrition-requirements/>



ภาพที่ 9 รอบการปลูกสับปะรด 4 ปี ไร่หน่อ 1 ไร่ เก็บเกี่ยวผลผลิต 2 ครั้ง

ที่มา : สถาบันวิจัยพืชสวน (2560)



ภาพที่ 10 รอบการปลูกสับปะรด 5 ปี ไว้หน่อ 2 รุ่น เก็บเกี่ยวผลผลิต 3 ครั้ง
ที่มา : สถาบันวิจัยพืชสวน (2560)

3.1.5 การศึกษาการเจริญเติบโตของยางพารา

ยางพาราเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยอีกชนิดหนึ่ง พบว่ามีเกษตรกรตลอดจนผู้ที่ทำธุรกิจเกี่ยวข้องกับยางพาราประมาณ 1 ล้านครอบครัว จำนวนไม่น้อยกว่า 6 ล้านคน ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกยางพาราและผลิตภัณฑ์ยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก นับตั้งแต่ พ.ศ. 2534 เป็นต้นมา โดยใน พ.ศ. 2552 ประเทศไทยมีการผลิตยางพารา จำนวน 3.16 ล้านตัน มีการส่งออกจำนวน 2.73 ล้านตัน (ร้อยละ 86 ของผลผลิตทั้งหมด) ผลิตเพื่อใช้ในประเทศ จำนวน 399,415 ตัน (ร้อยละ 12 ของผลผลิตทั้งหมด) ซึ่งสามารถทำรายได้เข้าประเทศได้ปีละกว่า 400,000 ล้านบาท แต่การส่งออกยางพาราส่วนใหญ่อยู่ในรูปวัตถุดิบแปรรูปขั้นต้น ซึ่งมีมูลค่าเพิ่มต่ำ เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และน้ำยางข้น ทำให้มีผลต่อการสร้างรายได้เข้าสู่ประเทศและการยกระดับรายได้ของเกษตรกรไม่มากเท่าที่ควร และหากเรื่องนี้ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ก็จะส่งผลดีต่อประเทศและเกษตรกรชาวสวนยางพาราอย่างมหาศาล ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของยางพารา มี 2 ปัจจัย คือ

1) ปัจจัยทางด้านพันธุกรรมยางพารา

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ได้จัดทำคำแนะนำพันธุ์ยางแก่เกษตรกรทุก ๆ 4 ปี โดยใช้ข้อมูลจากผลงานวิจัยการปรับปรุงพันธุ์ยาง เพื่อแนะนำพันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูงเป็นหลักตั้งแต่ปี 2504 เป็นต้นมา แต่เนื่องจากปัจจุบันไม้ยางพารามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ของประเทศ ทำให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนจากผลผลิตเนื้อไม้เพิ่มขึ้น ดังนั้นคำแนะนำพันธุ์ยางปี 2546 สถาบันวิจัยยางจึงได้เปลี่ยนแปลงคำแนะนำจากเดิม โดยแบ่งพันธุ์ยางแนะนำเป็น 3 กลุ่ม คือ พันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูง พันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้สูง และพันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตเนื้อไม้สูง เพื่อให้เกษตรกรเลือกพันธุ์ได้ตามวัตถุประสงค์ของการปลูก พันธุ์ยางที่แนะนำให้ปลูก แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามวัตถุประสงค์ของการปลูก ได้แก่ กลุ่ม 1 พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางสูง เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูงเป็นหลัก

การเลือกปลูกพันธุ์ยางใน กลุ่มนี้ ควรมุ่งเน้นผลผลิตน้ำยาง กลุ่ม 2 พันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้สูง เป็นพันธุ์ที่ให้ทั้งผลผลิตน้ำยางและเนื้อไม้ โดยให้ ผลผลิตน้ำยางสูงและมีการเจริญเติบโตดี ลักษณะลำต้นตรง ให้ปริมาตรเนื้อไม้ในส่วนลำต้น สูง กลุ่ม 3 พันธุ์ยางผลผลิตเนื้อไม้สูง เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตเนื้อไม้สูงเป็นหลัก มีการเจริญเติบโตดีมาก ลักษณะลำต้นตรง ให้ปริมาตรเนื้อไม้ในส่วนลำต้นสูงมาก ผลผลิตน้ำยางจะอยู่ในระดับต่ำกว่าพันธุ์ยางในกลุ่มที่ 1 และ 2 เหมาะสำหรับเป็นพันธุ์ที่จะปลูกเป็นสวนป่าเพื่อการผลิตเนื้อไม้ ซึ่งพันธุ์ยางพาราที่เหมาะสมสำหรับปลูกในภาคตะวันตก ได้แก่ ยางพาราพันธุ์ RRIM 600 BPM 24 และ RRIT 25 (บัญชา และคณะ, 2561)

1.1) พันธุ์ RRIM 600 ใบมีรูปร่างป้อมปลายใบ สีเขียวอมเหลือง ลักษณะฉัตรใบเป็นรูปกรวย มีขนาดเล็ก ในระยะ 2 ปีแรกต้นยางจะมีลักษณะลำต้นตรงแต่เรียวเล็ก การแตกกิ่งช้า ลักษณะการแตกกิ่งเป็นมุมแหลม กิ่งที่แตกค่อนข้างยาว ทรงพุ่มมีขนาดปานกลางเป็นรูปพัด เริ่มผลัดใบเร็ว ระยะก่อนเปิดกรีดและระหว่างกรีดการเจริญเติบโตปานกลาง เปลือกเดิมบาง เปลือกงอกใหม่หนาปานกลาง ผลผลิตระยะแรกอยู่ในระดับปานกลาง แต่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในปีต่อมาให้ผลผลิตเนื้อยาง 10 ปีกรีดเฉลี่ย 289 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี อ่อนแอมากต่อโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทราและโรคเส้นดำ ต้านทานโรคราแป้งและโรคใบจุดนูนระดับปานกลาง อ่อนแอต่อโรคราสีชมพู ต้านทานลมระดับปานกลาง ารปรับตัวและให้ผลผลิตได้ดีในเกือบทุกพื้นที่ ทนทานต่อการกรีดถี่ได้มากกว่าพันธุ์อื่นๆ และมีจำนวนต้นแสดงอาการเปลือกแห้งน้อย ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไป ยกเว้นในพื้นที่ที่มีโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทรา เส้นดำ และโรคราสีชมพูระบาดรุนแรง พื้นที่ที่มีหน้าดินตื้น และพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง

1.2) พันธุ์ BPM 24 ใบมีรูปร่างป้อมกลางใบ สีเขียว ฉัตรใบลักษณะเป็นรูปกรวยตัด ลักษณะลำต้นตรง แตกกิ่งมาก กิ่งมีขนาดปานกลาง มีการทิ้งกิ่งน้อย พุ่มใบค่อนข้างทึบ ทรงพุ่มมีขนาดปานกลางเป็นรูปกรวย เริ่มผลัดใบเร็วและทยอยผลัดใบ ระยะก่อนและระหว่างกรีดเจริญเติบโตปานกลาง ความสม่ำเสมอของลำต้น ทั้งแปลงปานกลาง เปลือกเดิมหนามาก เปลือกงอกใหม่หนาปานกลาง เปลือกเรียบและกรีดง่าย ผลผลิตเนื้อยางแห้ง 10 ปี กรีดเฉลี่ย 335 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี สูงกว่าพันธุ์ RRIM 600 ร้อยละ 41 มีจำนวนต้นเปลือกแห้งปานกลาง ต้านทานโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทราและเส้นดำระดับดี ต้านทาน โรคราแป้ง โรคใบจุดนูนและโรคราสีชมพูระดับปานกลาง ต้านทานลมระดับ ปานกลาง ผลผลิตเนื้อยางพาราสูงมากในระยะแรกของการเปิดกรีด เปลือกหนา เรียบทำให้ กรีดง่าย ความต้านทานโรคส่วนใหญ่อยู่ในระดับดี โดยเฉพาะโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทรา และโรคเส้นดำ ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ที่มีการระบาดของโรค ใบร่วงไฟทอปโทราและโรคเส้นดำ และสามารถปลูกได้ใน พื้นที่ลาดชัน พื้นที่ที่มีหน้าดินตื้น พื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง

1.3) พันธุ์ RRIT 25 ใบมีรูปร่างป้อมปลายใบ ขอบใบเป็นคลื่น ใบมีสีเขียว ฉัตรใบมีขนาดใหญ่เป็นรูปกรวย ในช่วงยางอ่อนลำต้นคด แตกกิ่งมากทั้งกิ่งขนาดกลางและขนาดใหญ่ การแตกกิ่งไม่สมดุล ทรงพุ่มมีขนาดใหญ่เป็นรูปกลม เริ่มผลัดใบค่อนข้างช้า ระยะก่อนและระหว่างกรีดเจริญเติบโตปานกลาง ขนาดลำต้นทั้งแปลงมีความสม่ำเสมอดี ทำให้มีจำนวนต้นเปิดกรีดได้มาก เปลือกเดิมและเปลือกงอกใหม่หนาปานกลาง ผลผลิตเนื้อยาง 10 ปีกรีดเฉลี่ย 457 กิโลกรัมต่อไร่ต่อปี สูงกว่าพันธุ์ RRIM 600

ร้อยละ 57 มีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย ต้านทานโรคใบร่วงที่เกิดจากเชื้อไฟทอปโทรา โรคราแป้ง โรคใบจุดนูน และโรคราสีชมพูระดับปานกลาง ต้านทานโรคเส้นดำระดับดี และต้านทานลมระดับปานกลาง ผลผลิตเนื้ออย่างสูงมาก มีจำนวนต้นเปิดกรีดได้มาก ต้านทานโรคเส้นดำในระดับดี มีจำนวนต้นเปลือกแห้งน้อย ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วไป ยกเว้นพื้นที่ลาดชัน พื้นที่ที่มีหน้าดินตื้น พื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง และพื้นที่ลมแรง เนื่องจากทรงพุ่มมีขนาดใหญ่ แตกกิ่งไม่สมดุล

2) ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของยางพารา

2.1) สภาพแวดล้อมทั่วไป

ต้นยางพาราชอบขึ้นในดินร่วน ซึ่งมีการระบายน้ำใต้ผิวดินดี และดินนั้นควรมีความเป็นกรดต่ำ ระหว่าง ๔-๕.๕ ต้องการฝนพอสมควร ประมาณ ๒,๐๐๐-๒,๕๐๐ มิลลิเมตร ฝนควรตกสม่ำเสมอทุกเดือน เพราะยางพาราต้องการความชื้นสูง อุณหภูมิอยู่ในระดับ ๗๕-๘๐ องศาฟาห์เรนไฮต์ พื้นที่ปลูกควรอยู่ในระหว่างเส้นขนาน ๒๘ องศาเหนือ และ ๒๘ องศาใต้ เช่นเดียวกันกับที่ขึ้นอยู่ในอเมริกากลาง และอเมริกาใต้อันเป็นถิ่นเดิม ไม่ควรปลูกในที่สูงกว่า ระดับน้ำทะเล ๑,๐๐๐ ฟุต รากของต้นยางมีรากแก้วค่อนข้างตื้น ลึกลงไปไม่เกิน ๑.๕-๒ เมตร มีรากเล็กแผ่หากินไปตามผิวดินเป็นส่วนใหญ่ ที่ได้มีลมจัดมักจะล้มง่าย ต้นยางพาราทั้งที่ปลูกด้วยเมล็ด หรือต้นติดตา จะกรีดเอาน้ำยางได้ตั้งแต่อายุ ๕-๖ ปี ขึ้นไป ถ้ากรีดเปลือกด้วยความระมัดระวังสามารถกรีดได้มากกว่า ๓๐ ปี

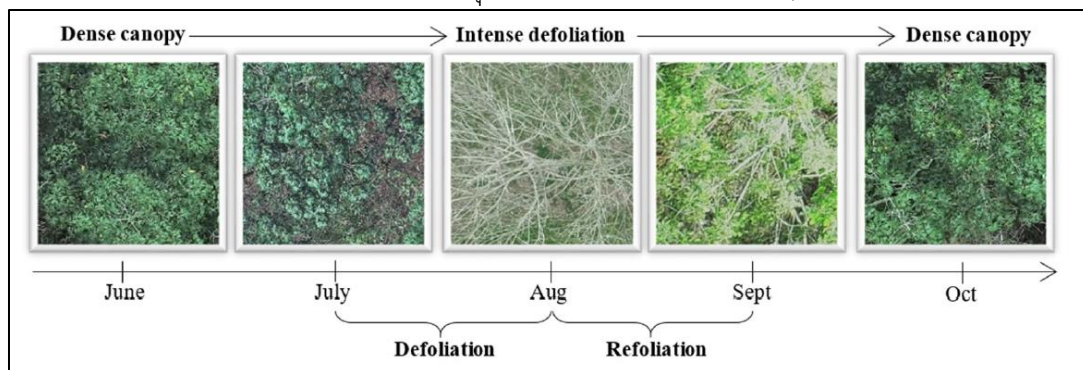
2.2) ช่วงเวลาปลูก

ควรเตรียมพื้นที่สำหรับปลูกยางพาราโดยเก็บไม้ออกจากบริเวณพื้นที่ให้เรียบร้อย ทำการไถพรวนดินและวางแนวขุดหลุมปลูก หากผสมปุ๋ยอินทรีย์รองกันหลุมด้วยควรจะทำเนิ่นการให้เสร็จก่อนจะปลูกยางในช่วงฤดูฝน 1 เดือน และควรปลูกในช่วงต้นฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคม - กรกฎาคม โดยจะเริ่มปลูกในเดือนพฤษภาคม เมื่อพื้นที่มีความชื้นเพียงพอ โดยปลูกต้นยางชำถุง และการปลูกต้นตอควรให้มีความชื้นเต็มที่ในขณะที่ปลูกไม่น้อยกว่า 2 เดือน โดยหันแผ่นตาไปทางทิศตะวันตก ให้รอยต่อระหว่างรากกับตาอยู่เหนือระดับผิวดินเล็กน้อย หลังปลูก 15 วัน ถึง 1 เดือนควรมีการปลูกซ่อม โดยต้องปลูกซ่อมให้เสร็จก่อนจะหมดฤดูฝนอย่างน้อย 2 และไม่ควรปลูกซ่อมเมื่อต้นยางอายุ ๒ ปีขึ้นไป แต่ถ้าจะปลูกซ่อมควรใช้ต้นยางที่มีอายุใกล้เคียงกัน (ศูนย์ศึกษาการพัฒนากุพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, 2555)

3) การเปลี่ยนแปลงด้านซีพลักษณ์ของยางพารา

ยางพาราเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ มีอายุยาวนานหลายร้อยปี เช่นในป่าลุ่มน้ำอะเมซอนพบยางพารามีขนาดลำต้นวัดโดยรอบได้กว่า ๓ เมตร ถ้าเป็นต้นที่สมบูรณ์ และอยู่ในที่ที่ระบายน้ำได้ดี จะมีความสูงถึง ๔๐ เมตร แต่ต้นที่เอามาปลูกในทวีปเอเชียเล็กลงมาก ลำต้นของต้นที่ปลูกด้วยเมล็ดจะโตประมาณ ๑-๒ เมตร และถ้าเป็นต้นติดตา ลำต้นจะโตไม่เกิน ๑ เมตร ส่วนความสูงก็ลดลงเหลือเพียงประมาณ ๑๕-๒๐ เมตรเท่านั้น ต้นยางมีเปลือกที่น้ำยางจะไหลออกได้หนาประมาณ ๖.๕-๑๕ มิลลิเมตร ทรงต้นที่สมบูรณ์มักจะสูง ชะลูด กิ่งแยกมักแยกตั้งขึ้นไปประมาณ ๔๕ องศาจากลำต้น ใบมักจะรวมเป็นพุ่มที่ส่วนปลายของกิ่ง แต่ละก้านใบแยกออกเป็น ๓ ใบ แต่ละใบใน ๓ ใบกว้างประมาณ ๕-๑๐ เซนติเมตร

และยาวประมาณ ๑๐-๒๐ เซนติเมตร (มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, ม.ป.ป.) ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นอายุหลายปีโตเต็มที่พร้อมให้น้ำยางเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 5-7 ปี เมื่อมีอายุเต็มที่ ต้นยางจะเริ่มพฤติกรรมหลบหนาวทุกปี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นลักษณะทางซีพลักษณ์ที่สำคัญของยางพารา คือ ใบไม้จะร่วงในช่วงเดือนที่อากาศแห้งก่อนที่จะมีใบไม้สดเข้ามาแทนที่ก่อนที่จะร่วง ใบสีเขียวเข้มที่ปกคลุมแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเหลืองก่อนที่จะร่วงหล่น ใช้เวลาประมาณสามถึงสี่สัปดาห์ และระบุดึงการสิ้นสุดของฤดูปลูก ในระยะผลัดใบจะแตกใบใหม่และขยายออก ถือเป็นารเริ่มต้นฤดูปลูก การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของเรือนยอดนั้นน่าทึ่งมาก และแสดงไว้ในภาพที่ 10 ภาพถ่ายทางอากาศเหนือทรงพุ่มของยางพาราแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของใบซึ่งบ่งบอกถึงอายุหรือความแก่ของใบ และการร่วงหล่นอย่างรุนแรง การเกิดใบใหม่ออกมาจะเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเขียว ซึ่งการเกิดการเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์การผลัดใบนี้ กระบวนการทั้งหมดของการร่วงหล่นและการผลัดใบจะใช้เวลาประมาณหกถึงแปดสัปดาห์ และเกิดขึ้นในฤดูแล้ง โดยทั่วไปคือเดือนพฤษภาคมถึงกันยายน สำหรับเกาะสุมาตราใต้ ประเทศอินโดนีเซีย เมแทบอลิซึมของพืชได้รับผลกระทบอย่างมากในช่วงเวลานี้ โดยผลผลิตน้ำยางจะลดลงถึงร้อยละ 60 จากจุดสูงสุด ระยะฟีนอโลยีในช่วงฤดูหนาวได้รับอิทธิพลอย่างมากจากปัจจัยทางภูมิอากาศ นอกจากช่วงเวลานี้แล้ว ต้นไม้ยังมีใบเต็มทรงพุ่มตลอดทั้งปี (Azizan et al., 2021)



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงด้านซีพลักษณ์ระยะการผลัดใบของยางพารา
ที่มา: Azizan et al. (2021)

3.1.6 การศึกษาการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน

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

1) ปัจจัยทางด้านพันธุกรรมปาล์มน้ำมัน

พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ซึ่งสามารถแยกความแตกต่างของพันธุ์เหล่านี้ โดยพิจารณาความหนาของผลปาล์มเป็นสำคัญ

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

1.2) พันธุ์พิซิเฟอรา (Pisifera) เป็นพันธุ์ที่มีกะลาบางมาก หรือบางครั้งไม่มีกะลา เมล็ดในและผลมีขนาดเล็ก ซ่อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน ผลผลิตแต่ละทะลายต่อต้นมีปริมาณต่ำ จึงไม่เหมาะที่จะปลูกเพื่อเป็นการค้าและนิยมใช้พันธุ์พิซิเฟอราเป็นต้นพ่อสำหรับผลิตพันธุ์ลูกผสม

1.3.) พันธุ์เทนอรา (Tenera) เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์แม่ดูราและพันธุ์พ่อพิซิเฟอรา เป็นพันธุ์ที่มีกะลาบาง ประมาณ 0.5 ถึง 4 มิลลิเมตร มีปริมาณของ Mesocarp 60 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผลผลิตต่อทะลายสูง ในปัจจุบันจึงนิยมปลูกเป็นการค้า

2) ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน

2.1) สภาพแวดล้อมทั่วไป

การปลูกปาล์มน้ำมันได้รับผลสำเร็จ ต้องพิจารณาถึงสภาพภูมิอากาศและศักยภาพของพื้นที่ในการปลูกให้เหมาะสม โดยการตรวจสอบพื้นที่ก่อนปลูกปาล์มน้ำมันก่อน ปัจจัยของสภาพภูมิอากาศที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน มี 5 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปริมาณแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และลมปริมาณน้ำฝนและการกระจายตัวของฝน ปริมาณน้ำฝนและการกระจายตัวของฝน ถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน เนื่องจากน้ำมีความสำคัญในการเคลื่อนย้ายของธาตุอาหารโดยปกติปาล์มที่เจริญเติบโตเต็มที่จะมีการคายน้ำ 5-6 มิลลิเมตร/วัน หากมีการขาดน้ำจะทำให้มีการสร้างดอกตัวเมียน้อย ซึ่งมีผลทำให้ผลผลิตอีก 19-22 เดือนข้างหน้าลดลง ปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมสำหรับปาล์มน้ำมันควรจะอยู่ระหว่าง 2,000-3,000 มม.ต่อปี และมีการกระจายของฝนดีในแต่ละเดือนต้องมีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 100 มม. การกระจายของน้ำฝนจะมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะพื้นที่ซึ่งเป็นดินร่วนปนทราย เพราะดินดังกล่าวจะมีการเก็บความชื้นได้น้อย จึงทำให้ปาล์มมีโอกาสขาดน้ำได้ง่าย ดังนั้นการใช้วัสดุคลุมดินก็จะเป็นอีกวิธี ที่จะช่วยรักษาความชื้นไว้ในดินได้พื้นที่ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 1,200 มม.ต่อปี ปริมาณน้ำฝนจะไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน ส่งผลให้ผลผลิตลดลง ในการรักษาระดับของผลผลิตของปาล์ม ที่ปลูกในพื้นที่ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนและการกระจายของฝนน้อย อาจทำได้โดยการติดตั้งระบบน้ำ ซึ่งจะช่วยรักษาระดับการให้ผลผลิตของปาล์มในช่วงฤดูแล้งได้ แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งระบบน้ำจะเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตปาล์มน้ำมัน สำหรับในพื้นที่ซึ่งมีฝนตกมากเกินไป (มากกว่า 3,000 มม.ต่อปี) ก็ไม่เหมาะสมกับปาล์มน้ำมันเช่นเดียวกัน เนื่องจากการที่มีปริมาณฝนมากเกินไปก็จะทำให้ปริมาณแสงน้อย จึงมีการสร้างอาหารได้น้อย ซึ่งมีผลทำ

ให้ผลผลิตปาล์มลดลง พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกปาล์ม ไม่ควรมีเดือนที่ขาดน้ำ ปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 100 มม.ต่อเดือน) หากในพื้นที่มีการขาดน้ำต่อเนื่องมากกว่า 4 เดือน (มีช่วงฤดูแล้งยาว) พื้นที่ดังกล่าวจะไม่เหมาะที่จะปลูกปาล์ม แต่สามารถแก้ไขได้โดยการติดตั้งระบบน้ำให้กับปาล์ม แต่หากมีสภาพการขาดน้ำในรอบปีมาก ก็จะทำให้จำนวนทะลาย น้ำหนักทะลาย และเปอร์เซ็นต์น้ำมันลดลง ปริมาณแสงแดดเป็นปัจจัยสำคัญเช่นเดียวกับปริมาณน้ำฝน โดยปกติปาล์มน้ำมันจะต้องได้รับแสงแดดมากกว่า 5 ชั่วโมง/วัน (ได้รับพลังงานแสงไม่น้อยกว่า 17 MJ/ตารางเมตร/วัน) เนื่องจากแสงแดดเป็นปัจจัยสำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืชทุกชนิด หากปาล์มน้ำมันได้รับปริมาณแสงน้อยจะทำให้มีการสร้างอาหารน้อย ซึ่งมีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง และการสร้างดอกตัวเมียน้อยลงส่งผลให้ผลผลิตลดลง นอกจากนี้ยังทำให้สัดส่วนของผลต่อทะลายลดลง ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณน้ำมันลดลงอีกด้วย สำหรับในประเทศไทยปริมาณของแสงเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน ความสำคัญของปัจจัยของแสงจะแสดงผลให้เห็นชัดเจนเมื่อปลูกปาล์มไปแล้วมากกว่า 10 ปี โดยเฉพาะปาล์มที่ปลูกในระยะชิดจะมีการบังแสงของทางใบซึ่งเกิดจากการซ้อนทับของทางใบระหว่างต้น ทำให้เกิดการแข่งขันเพื่อแย่งปริมาณแสง และยังทำให้ต้นปาล์มสูงเร็วขึ้นกว่าการปลูกในระยะที่ห่าง ดังนั้นจำเป็นต้องมีการจัดการอย่างถูกต้องเหมาะสมเกี่ยวกับระยะปลูกและการตัดแต่งทางใบ เพื่อให้ปาล์มมีจำนวนใบและมีพื้นที่ใบที่จะรับแสงได้เหมาะสม ตลอดอายุของการเจริญเติบโตของปาล์ม พบว่าในช่วงแรกของการเจริญเติบโตการตัดแต่งทางใบไม่มีความจำเป็น เนื่องจากปาล์มยังได้รับแสงเพียงพอ แต่เมื่อปาล์มโตมากขึ้นจำเป็นต้องตัดแต่งทางใบมากขึ้น เพื่อทำให้มีพื้นที่ใบรับแสงแดดได้อย่างพอเพียงโดยได้มีการศึกษาพบว่า ช่วงเดือนที่มีกลางวันสั้นจะมีผลทำให้สัดส่วนเพศ (อัตราของดอกตัวเมีย) ของปาล์มน้ำมันลดลงอุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันเช่นเดียวกัน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตควรจะอยู่ในช่วง 22-32 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิปกติของเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลกระทบกับปาล์มน้อยกว่าอุณหภูมิต่ำ ในสภาพอุณหภูมิที่สูงจะมีผลกับการคายน้ำของปาล์มเพราะทำให้ปาล์มขาดน้ำ แต่ในสภาพอุณหภูมิต่ำจะมีผลต่อการเจริญเติบโตเนื่องจากปาล์มจะมีการพัฒนาของใบช้าลงทำให้มีการสร้างทางใบน้อยกว่าปกติ มีการศึกษาพบว่าการเจริญเติบโตของกล้าปาล์มจะจำกัดอย่างมากเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 20 องศาเซลเซียส กล้าปาล์มจะเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า และการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเป็น 7 เท่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 25 องศาเซลเซียส ในทางตรงกันข้ามสภาพอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส จะทำให้ปาล์มมีอัตราการสร้างทางใบและการพัฒนาของทะลายช้าลง ซึ่งมีผลทำให้มีจำนวนทะลายน้อยลงความสูงจากระดับน้ำทะเลก็มีผลกับอุณหภูมิเช่นเดียวกัน (อุณหภูมิลดลงประมาณ 0.6 องศาเซลเซียส เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นทุกๆ 100 เมตร) มีรายงานว่าปาล์มที่ปลูกในบริเวณพื้นที่ซึ่งอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลมากกว่า 500 เมตร จะให้ผลผลิตต่ำกว่าปาล์มที่ปลูกในพื้นที่ซึ่งต่ำกว่าถึงหนึ่งปีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่เจริญได้ดีในสภาพร้อนชื้น ความชื้นสัมพัทธ์จะมีผลต่อการคายน้ำ หากมีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะมีอัตราการคายน้ำลดลง นอกจากนั้นความชื้นสัมพัทธ์ยังมีผลต่ออายุของละอองเกสรและแมลงผสมเกสร โดยพบว่าในสภาพอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์น้อย (อากาศแห้ง) จะทำให้ละอองเกสรและแมลงผสมเกสรมีอายุสั้น

ซึ่งมีผลให้อัตราการผสมเกสรลดลง ส่งผลให้การติดผลบนทะลายปาล์มน้อยลงและทำให้น้ำหนักทะลายลดลงด้วย ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีระบบรากเป็นรากฝอย ทำให้ไม่ทนทานต่อกระแสน้ำที่พัดแรงประกอปกกับปาล์มมีทรงพุ่มใหญ่ทำให้ล้มได้ง่าย โดยเฉพาะการปลุกในพื้นที่พรุ นอกจากนั้นในพื้นที่ซึ่งมีลมแรงก็จะทำให้ใบปาล์มฉีกขาดหรือทางใบหัก ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง ในสภาพพื้นที่ซึ่งมีลมพัดโชยอ่อนๆ โดยเฉพาะช่วงที่มีแดดจัดจะช่วยเสริมให้ปาล์มมีการหายใจได้ดีขึ้น และเป็นการช่วยระบายความร้อนแก่ใบปาล์มด้วย ความเร็วลมที่เหมาะสมไม่ควรมีความเร็วมากกว่า 10 เมตรต่อวินาที

2.2) ช่วงเวลาปลูก

การปลูกปาล์มน้ำมันควรกำหนดเวลาให้ตรงกับช่วงฤดูฝน เพราะปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดการอยู่รอด และเจริญเติบโตของต้นกล้าปาล์มน้ำมันคือ ความชื้นในดิน ฤดูฝนในภาคใต้ของประเทศไทยจะเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม - ตุลาคม แต่ฤดูปลูกที่เหมาะสม อยู่ในระหว่างเดือนพฤษภาคม - มิถุนายน ซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูฝนควรปลูกเมื่อตกแล้ว เพราะดินมีความชื้นการปลูกในช่วงนี้ทำให้ต้นปาล์มน้ำมัน ตั้งตัวในแปลงได้ยาวนานก่อนถึงฤดูแล้ง ปาล์มน้ำมันอายุ 1-3 ปี ตัดแต่งทางใบออกเท่าที่จำเป็น เช่น ทางใบที่แห้ง ทางใบที่เป็นโรคหรือแมลงทำลาย เป็นต้น ปาล์มน้ำมันเริ่มเก็บเกี่ยวครั้งแรกเมื่ออายุ 3 ปี ดังนั้นในช่วงก่อน 3 ปี ควรตัดดอกชุดแรกทิ้งเพื่อให้ลำต้นสะสมคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น มีการเพิ่มปริมาณราก ซึ่งจะช่วยให้ทะลายที่ได้มีความสมบูรณ์และขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อปาล์มน้ำมันอายุ 4-7 ปี ควรเหลือทางใบประมาณ 3 รอบ นับจากทะลายล่างสุด อายุ 7-14 ปี ควรเหลือทางใบประมาณ 2 รอบ นับจากทะลายล่างสุด และอายุ 12 ปีขึ้นไป ควรเหลือทางใบประมาณ 1 รอบ นับจากทะลายล่างสุด (ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี, ม.ป.ป.)

3) การเปลี่ยนแปลงด้านสีพลักษณะของปาล์มน้ำมัน

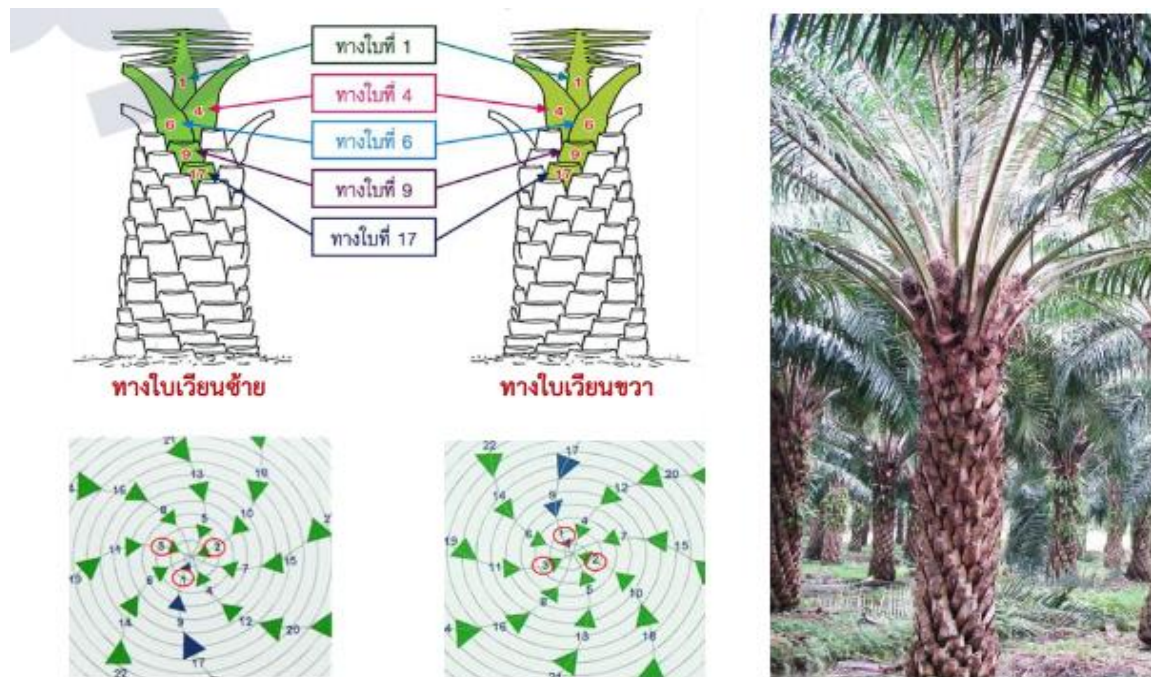
ลำต้นของปาล์มน้ำมันมีลักษณะตั้งตรง ไม่มีกิ่งแขนง ประกอบด้วยข้อและปล้องที่ถี่มาก แต่ละข้อมีหนึ่งทำใบเวียนรอบลำต้น โดยมีจำนวนใบ 8 ทางใบต่อรอบ การเวียนของทางใบมี 2 แบบ คือเวียนซ้ายและเวียนขวา (ภาพที่ 11) ในระยะที่ปาล์มอายุยังน้อย (น้อยกว่า 3 ปี) จะสังเกตเห็นทางใบอยู่ติดกับลำต้น มากกว่า 40 ทางใบ เมื่อปาล์มมีอายุมากขึ้นและเริ่มมีการตัดแต่งทางใบจะสังเกตเห็นฐานทางใบที่เป็นรอยตัดแต่งติดอยู่รอบๆลำต้น รอยแผลที่ฐานใบที่ติดกับลำต้นก็คือข้อของลำต้น และส่วนที่อยู่ระหว่างข้อคือปล้อง ต้นปาล์มที่อายุมาก (มากกว่า 20 ปี) อาจมีความสูงถึง 15-18 เมตร มีเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น 30-50 เซนติเมตร โดยทั่วไปความสูงของต้นปาล์มจะเพิ่มขึ้นปีละ 50 เซนติเมตร ซึ่งอัตราความสูงของลำต้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ปาล์ม ระยะปลูกและการตัดแต่งทางใบ โดยพบว่าปาล์มน้ำมันที่ปลูกระยะที่ชิดมากๆ หรือมีการตัดทางใบมากเกินไปจะทำให้ลำต้นสูงเร็วกว่า (ตารางที่ 7) ใบของปาล์มน้ำมันเป็นใบประกอบรูปขนนก (pinnate) ใบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแกนกลาง (Rachis) ที่มีใบย่อย (leaflets) อยู่ 2 ข้าง และส่วนก้านทางใบ (Petiole) ซึ่งมีขนาดสั้นกว่าส่วนแรก ไม่มีใบย่อย และมีหนามสั้นๆ อยู่ 2 ข้าง ใบปาล์มที่มีอายุ 6-8 ปี แต่ละทางใบจะมีใบย่อย 100-160 คู่ ใบย่อยแต่ละใบยาว 80-120 เซนติเมตร กว้าง 4-6 เซนติเมตร หากสังเกตใบย่อยบนทางใบจะพบว่ามิใช่ขึ้นและใบชี้ลง เรียงสลับกันตลอดทางใบ ใบจะพัฒนาจากบริเวณ

เนื้อเยื่อเจริญบริเวณปลายยอดของลำต้น ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะมีใบที่กำลังพัฒนาอยู่ประมาณ 50 ใบ ที่ซอกทำใบทุกใบจะมีการสร้างตาดอก ซึ่งดอกจะเป็นดอกตัวผู้หรือดอกตัวเมียนั้น ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ในช่วงเวลาที่กำหนดเพศ (ธีระพงศ์, 2562)

ตารางที่ 7 ลักษณะการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันเมื่ออายุ 14 ปี

ระยะปลูก (เมตร)	พื้นที่ใบ (เมตร ²)	น้ำหนักแห้งใบ (กิโลกรัม)	ความยาวทางใบ (เซ็นติเมตร)	ความสูง (เซ็นติเมตร)	เส้นรอบลำต้น (เซ็นติเมตร)
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: ธีระพงศ์ (2562)



ภาพที่ 12 ลักษณะลำต้นของปาล์มน้ำมัน

ที่มา: ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ้างอิงใน ธีระพงศ์ (2562)

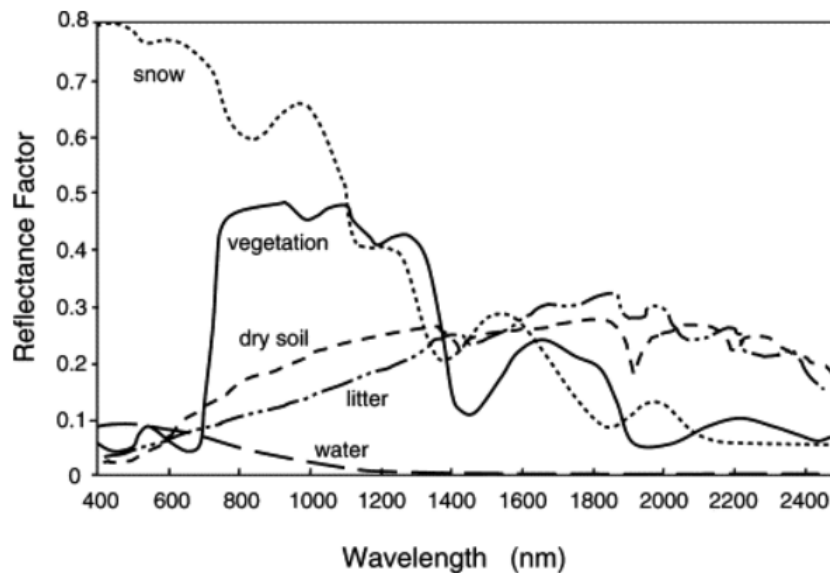
3.2 เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing, RS)

การเกษตรแบบยั่งยืนและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมีความสำคัญต่อความมั่นคงทางอาหารสำหรับประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้การเกษตรต้องเผชิญกับความท้าทายที่ไม่เคยมีมาก่อนในการผลิตพืชซึ่งนับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น ดังนั้นจึง

จำเป็นต้องพิจารณาถึงขั้นตอนการผลิตพืชทั้งหมด ตั้งแต่การปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อมเฉพาะ ไปจนถึงการปรับปรุงการจัดการที่ดินเพื่อการเกษตร สิ่งสำคัญของความพยายามเหล่านี้คือการประเมินเชิงปริมาณของลักษณะของพืชที่เอื้อต่อการผลิตที่เพิ่มขึ้น และการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาการใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลในการศึกษาด้านชีพลักษณะพืชเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเดิมการศึกษาดังกล่าวได้จากการสำรวจภาคสนาม แต่ทำได้ช้าและต้องใช้งบประมาณสูง การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลอาจช่วยให้การทำงานได้เร็วขึ้นและประหยัดค่าใช้จ่าย (Machwitz et. al., 2021) การนำเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกลมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติมีมากขึ้นเรื่อยๆ ทั้งการสำรวจระดับพื้นดิน (Ground based) ระดับอากาศ (Aerial based) และระดับอวกาศ (Satellite based) (Liaghat and Balasundram, 2010) ซึ่งการสำรวจในแต่ละระดับของการสำรวจมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน เช่น ค่าใช้จ่าย ขนาดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูล ข้อจำกัดของสภาพอากาศ และเวลาที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล การสำรวจหรือการจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดิน มีการใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากการพัฒนาเซ็นเซอร์อย่างต่อเนื่อง active-light remote sensing devices หรือ on-the-go proximal system สามารถจัดเตรียมข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และใช้ประโยชน์ได้ทันที (real time) เนื่องจากข้อมูลที่ได้นั้นมีความต่อเนื่อง ถูกต้อง และรวดเร็ว ทำให้สามารถติดตามสถานการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวโลกได้อย่างต่อเนื่อง เช่น การพยากรณ์อากาศ การติดตามความเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรธรรมชาติ ป่าไม้ การใช้ที่ดิน การติดตามข้อมูลเกี่ยวกับการเกษตร เป็นต้นการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing, RS) หมายถึง การได้มาของข้อมูล (Data acquisition) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่อยู่ไกลออกไป และทำการสกัดสารสนเทศ (Information extraction) ต่างๆ จากข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้มีกระบวนการเริ่มจากการส่งพลังงานจากแหล่งพลังงานเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล การสกัดสารสนเทศต่างๆ ออกมาจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดไปจนถึงการนำข้อมูลไปช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ การได้มาของข้อมูล ประกอบด้วย แหล่งพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับวัตถุต่างๆ บนผิวโลกระบบการตรวจวัดข้อมูล และการบันทึกข้อมูล (Jensen, 2000; อมร, 2558) เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลอาศัยการจัดเก็บข้อมูลโดยใช้เซ็นเซอร์รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่พืชสะท้อนกลับ และสามารถจัดทำเป็นแผนที่ระดับแปลง

การสำรวจข้อมูลระยะไกลใช้หลักการสะท้อนพลังงานของวัตถุ โดยวัตถุแต่ละชนิดจะสะท้อนพลังงานออกมาในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน การสำรวจข้อมูลจากระยะไกลได้นำหลักการสะท้อนและดูดซับพลังงานในแต่ละช่วงคลื่นของวัตถุมาประยุกต์ใช้ ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดจะมีค่าการสะท้อนพลังงานที่แตกต่างกันออกไป โดยพืชพรรณธรรมชาติสะท้อนพลังงานได้ดีในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Wavelengths) (700 – 1,300 นาโนเมตร) และในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้จะสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นแสงสีเขียว (500 – 600 นาโนเมตร) สวนการสะท้อนพลังงานของดินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยบางประการในดิน เช่น ความชื้นในดิน แร่ธาตุในดิน เป็นต้น และน้ำจะไม่มี การสะท้อน พลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ พืชพรรณ ดิน และน้ำ เป็นวัตถุปกคลุมผิวโลกเป็นส่วนใหญ่

การสะท้อนพลังงานที่ความยาวช่วงคลื่นต่างกันของพืชพรรณ ดิน และน้ำทำให้สามารถแยกประเภทของวัตถุชนิดต่างๆ ได้ โดยวัตถุทั้งสามชนิดหลักนี้มี รูปแบบการตอบสนองต่อช่วงคลื่นต่างๆ เรียกว่า ค่าลายเส้นเชิงคลื่น (Spectral signature) โดยที่ช่วงคลื่นเดียวกัน วัตถุต่างชนิดจะให้ค่าการสะท้อนพลังงานต่างกัน ขณะที่ความยาวช่วงคลื่นต่างกัน วัตถุชนิดเดียวกันจะมีความสะท้อนเชิงสเปกตรัมต่างกัน ความยาวช่วงคลื่นต่างกัน วัตถุต่างกันจะมีความสะท้อนเชิงสเปกตรัมต่างกัน ทำให้สามารถแยกชนิดของวัตถุได้ เนื่องจากวัตถุต่างๆ จะมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน ซึ่งเรียกว่า ลายเส้นเชิงคลื่น (spectral signature) ดังแสดงในภาพที่ 12 (Jensen, 2000; อมร, 2558)



ภาพที่ 13 ลายเส้นเชิงคลื่นของของพืชที่มีสุขภาพดี ดินแห้ง เศษหญ้าแห้ง น้ำ และหิมะ
ที่มา: Huete (2004)

ลายเส้นเชิงคลื่นของของพืชพรรณ ในช่วงคลื่นสายตามองเห็น คลอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานสีน้ำเงิน (0.4-0.5 ไมโครเมตร) และสีแดง (0.6-0.7 ไมโครเมตร) แต่สะท้อนพลังงานสีเขียว (0.5-0.6 ไมโครเมตร) ดังนั้นดวงตามนุษย์จึงมองเห็นใบพืชเป็นสีเขียว ถ้าใบพืชมีอาการผิดปกติ เช่น แห้ง หรือเหี่ยวเป็นต้น ทำให้คลอโรฟิลล์ลดลงก็จะทำให้การสะท้อนที่คลื่นสีแดงสูงขึ้น ในช่วงคลื่นอินฟราเรดสะท้อน (0.7-1.3 ไมโครเมตร) การสะท้อนพลังงานของใบพืชสูงมาก คือ สะท้อนพลังงานประมาณร้อยละ 50 ของพลังงานที่ตกกระทบซึ่งลักษณะของการสะท้อนพลังงานนี้เป็นผลเนื่องมาจากโครงสร้างภายในใบของพืช เนื่องจากพืชก็สามารถแยกชนิดจะมีลักษณะโครงสร้างภายในที่แตกต่างกัน ดังนั้นการสะท้อนพลังงานในช่วงนี้ก็จะสามารถแยกชนิดของพืชได้ แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของพืชในช่วงคลื่นสายตามองเห็นใดจะใกล้เคียงกัน ในทานองเดียวกันการสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดสะท้อนของพืชที่มีอาการผิดปกติทางใบ จะมีความแตกต่างไปจากการสะท้อนที่มีความยาวคลื่นเดียวกันของพืชที่สมบูรณ์กว่า ดังนั้นระบบการรับรู้จากระยะไกลสามารถบันทึกค่าสะท้อนของช่วงคลื่นนี้ได้สามารถใช้สำรวจ

อาการผิดปกติของพืชได้ในช่วงคลื่นที่มีความยาวสูงกว่า 1.3 ไมโครเมตร พลังงานส่วนใหญ่จะถูกดูดกลืนหรือสะท้อนมีการส่งผ่านพลังงานน้อยมาก มักพบค่าต่ำลงในช่วงคลื่น 1.4 1.9 และ 2.7 ไมโครเมตร เพราะในช่วงเหล่านี้น้ำในใบพืชจะดูดกลืนพลังงาน จึงเรียกว่า ช่วงคลื่นดูดกลืนน้ำ (Water absorption bands) ดังนั้นค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชจึงแปรผกผันกับปริมาณน้ำในใบพืชด้วย (Gates et al., 1965)

ลายเซ็นเชิงคลื่นของของดิน ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสะท้อนพลังงานของดิน คือ ความชื้นในดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ เนื้อดินปริมาณเหล็กออกไซด์ และความขรุขระของผิวดิน ปัจจัยดังกล่าวมีความซับซ้อน และสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เช่น ลักษณะเนื้อดิน มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดิน ดินทรายหยาบมีการระบายน้ำดีจะสะท้อนพลังงานสูง ดินละเอียดมีการระบายน้ำไม่ดีหรือระบายได้น้อยจะสะท้อนพลังงานต่ำ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงจะมีสีคล้ำดูดกลืนพลังงานสูงในช่วงคลื่นสายตามองเห็น เช่นเดียวกับดินที่มีเหล็กออกไซด์ในปริมาณสูง จะปรากฏเป็นสีเข้ม เนื่องจากการสะท้อนพลังงานลดลง ความขรุขระของผิวดินมากก็จะทำให้การสะท้อนของพลังงานลดลงเช่นเดียวกัน เป็นต้น

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

จากคุณสมบัติการสะท้อนและดูดซับพลังงานที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงคลื่นของพืช จึงได้มีการนำข้อมูลจากการสำรวจจากระยะไกลที่นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาดานการเกษตรกรรม เช่น การจำแนกประเภทพืชที่เพาะปลูก การเกษตรแบบแม่นยำ และการจัดการพืชที่เพาะปลูก โดยทั่วไปแล้วประมาณร้อยละ 10-30 ของพลังงานแสงที่ตกกระทบกับพื้นผิวใบจะถูกสะท้อนออกมาในช่วงคลื่นที่เรามองเห็นได้ คือ ช่วงคลื่นแสงสีเขียว ส่วนในช่วงคลื่นที่เราไม่สามารถมองเห็นได้ ใบพืชจะสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดไกลออกมามากที่สุด พืชที่มีความอุดมสมบูรณ์หรือไม่นั้นจะสังเกตได้จากการสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดไกล ดังนั้นการสะท้อนพลังงานในแต่ละช่วงคลื่นของพืชจะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะโครงสร้างและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช

3.3 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืช

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกลมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มมากขึ้น โดยใช้ความแตกต่างของค่าการสะท้อนและการดูดซับพลังงานของพืช

ในช่วงคลื่นต่างๆ ที่แตกต่างกันเพื่อหาอัตราส่วน (Band Ratio) ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเรียกวาดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices)

3.3.1 ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices) เป็นการนำช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องข้องกับพืชพรรณมาทำ การคำนวณค่าสัดส่วนต่อกัน ซึ่งค่าที่นำมาคำนวณนี้มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์กับพืชพรรณที่สะท้อนปริมาณแสงตกกระทบในพื้นที่เพาะปลูกพืชในสัดส่วนที่แตกต่างกันในช่วงเวลาที่ต่างกัน ดัชนีพืชพรรณถูกสร้างขึ้นเพื่อปรับเน้นข้อมูลใหม่มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน หรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของข้อมูลให้แสดงความชัดเจนในสิ่งที่ทำการศึกษามากขึ้น ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิว สถานะของพืชรวมถึงสภาพความแข็งแรงและความผิดปกติของพืชนั้นในพื้นที่แปลงปลูกพืช โดยทั่วไปค่าดัชนีพืชพรรณ (VI) 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 8) สามารถนำมาใช้เพื่อตรวจสอบสถานะการเจริญเติบโตของพืชตามเวลาจริง การทำนายหรือประเมินคุณลักษณะของพืช เช่น พื้นที่ใบ มวลชีวภาพ ความสมบูรณ์ของพืชและความหนาแน่นของพืชซึ่งจะเป็นประโยชน์ในแง่มุมมองต่างๆ เช่น เพื่อวัดสถานะของต้นกล้า (ก่อนและระหว่างขั้นตอนการปลูก) เพื่อปรับใช้เทคนิคการจัดการเวลาอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อความอยู่รอดและผลผลิตของพืช หรือเพื่อส่งเสริมแนวทางปฏิบัติที่ยั่งยืนมากขึ้น การประยุกต์ใช้ดัชนีพืชพรรณที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับภัยแล้ง และเหตุการณ์รุนแรง เช่น คลื่นความร้อนซึ่งเริ่มเข้าสู่ภูมิภาคที่ขณะนี้ประสบปัญหาภัยแล้ง เป็นต้น (ซรัตัน, 2540)

1) ดัชนีความต่างของพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index : NDVI) เป็นค่าดัชนีที่นิยมใช้เป็นตัวบ่งชี้ที่แสดงความเขียว ความหนาแน่น และสุขภาพของพืชในแต่ละพิกเซลของภาพถ่ายดาวเทียม เป็นหนึ่งในดัชนีพืชพรรณที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุดในการรับรู้จากระยะไกล นับตั้งแต่เปิดตัวในปี 1970 และการเกษตรดิจิทัลก็เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ใช้ประโยชน์จากดัชนีนี้มากที่สุดเป็นการนำค่าสะท้อนของพื้นผิวระหว่างช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดกับช่วงคลื่นตามมองเห็นสีแดงมาทำ สัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่นเพื่อปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ ทำให้ค่า NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งจะช่วยในการแปลผลได้ง่ายขึ้น โดยที่ค่า 0 หมายถึงไม่มีพืชพรรณใบเขียวอยู่ในพื้นที่สำรวจ ในขณะที่ค่า 0.8 หรือ 0.9 หมายถึงพืชพรรณใบเขียวหนาแน่นมากในพื้นที่ดังกล่าว กรณีที่พื้นผิวมีพืชพรรณปกคลุมจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดสูงกว่าช่วงคลื่นตามมองเห็นสีแดงทำให้ NDVI มีค่าเป็นบวกในขณะที่พื้นผิวดินจะมีค่าการสะท้อนระหว่างสองช่วงคลื่นใกล้เคียงกันทำให้ NDVI มีค่าใกล้เคียง 0 ส่วนกรณีที่พื้นผิวเป็นน้ำจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดต่ำกว่าช่วงคลื่นตามมองเห็นสีแดงทำให้ค่า NDVI มีค่าติดลบทั้งนี้โดยปกติค่านี้อาจมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.7 เท่านั้น ดังนั้น

ดัชนีนี้จึงเหมาะสำหรับการประมาณความแข็งแรงตลอดวงจรการเพาะปลูกโดยพิจารณาจากลักษณะที่พืชสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบางช่วง ช่วยให้ทราบสถานะปัจจุบัน ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับภาพตามอนุกรมของช่วงเวลา (time series) เพื่อสังเกตวิวัฒนาการเมื่อเวลาผ่านไปเมื่อรู้ค่า NDVI เปลี่ยนแปลงอย่างไร ซึ่งทำให้ผู้ศึกษาสามารถเข้าใจว่าค่า NDVI สามารถช่วยให้ทราบว่ามีสุขภาพดีหรือไม่แข็งแรง ดัชนีนี้ขึ้นอยู่กับ การสะท้อนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นแสงสีแดงในการประเมินตัวบ่งชี้โดยสายตามนุษย์ไม่สามารถทำได้ พืชมีสีเขียวเพราะเม็ดสีคลอโรฟิลล์ที่มีอยู่ในพืชนั้นสะท้อนคลื่นสีเขียวและดูดซับคลื่นสีแดง ซึ่งหมายความว่าพืชที่แข็งแรงซึ่งมีคลอโรฟิลล์และโครงสร้างเซลล์จำนวนมากจะดูดซับแสงสีแดงและสะท้อนคลื่นอินฟราเรดใกล้ เมื่อมีการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้พืชพัฒนาและเติบโตและมีโครงสร้างเซลล์มากขึ้น แต่พืชที่ไม่แข็งแรงจะมีการสะท้อนแสงที่ตรงกันข้าม ดังนั้นจากความสัมพันธ์ระหว่างแสงและคลอโรฟิลล์จึงเป็นวิธีที่เราสามารถใช้ค่า NDVI เพื่อแยกความแตกต่างของพืชที่แข็งแรงจากพืชที่เป็นโรคได้เช่น เซอร์ของดาวเทียม ซึ่งลายเซ็นต์เชิงคลื่นนี้ทำให้การวิเคราะห์ค่า NDVI สามารถตรวจจับและวัดปริมาณพืชสีเขียวที่มีชีวิตโดยใช้แสงสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นแสงสีแดง (Gao, 1996)

2) 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 ในการกำหนดปริมาณน้ำและไนโตรเจนในเรือนยอดของพืชเนื่องจากมีความอึดตัวสูงกว่า ค่า NDVI เป็นดัชนีพืชชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ปริมาณคลอโรฟิลล์เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพที่สำคัญสำหรับกระบวนการทางสรีรวิทยาหลายอย่างที่เกี่ยวข้องชีพลัักษณ์ของพืช ความสามารถในการสังเคราะห์แสงและการตรวจจับความเครียด รวมถึงความเครียดจากภัยแล้ง ค่า GNDVI มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 เช่นเดียวกับค่า NDVI โดยค่าระหว่าง -1 ถึง 0 สัมพันธ์กับการมีน้ำหรือที่ดินว่างเปล่า ดัชนีนี้ส่วนใหญ่ใช้ในขั้นตอนกลางและขั้นสุดท้ายของวงจรการเพาะปลูก

3) ดัชนีความต่างของคลื่นอินฟราเรด (Normalized Difference Infrared Index: NDII) เป็นดัชนีที่วัดการสะท้อนแสงโดยการหาค่าความแตกต่างระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่น (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, 2017b) ดัชนี NDII มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในเรือนยอดของพืช (Ji et al., 2011) สามารถใช้ตรวจจับความเครียดในน้ำของพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามคุณสมบัติของการสะท้อนแสงอินฟราเรดคลื่นสั้น ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำในใบ เนื่องจากการดูดซับปริมาณมากโดยใบ ค่าดัชนีนี้จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำที่

เพิ่มขึ้น ทำให้ประยุกต์ใช้ในการจัดการพืชผลทางการเกษตร การตรวจสอบเรือนยอดไม้ในป่า และการตรวจจับความเครียดของพืช (Hardisky et al., 1983; Sentinel Hub, 2017b) ซึ่งค่า NDSI สามารถใช้ในการตรวจจับความเครียดของน้ำในบริเวณรากของพืช เนื่องจากค่า NDII ไวต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะน้ำของพืช และเนื่องจากความไวนี้เพื่อปริมาณน้ำของพืช NDII ให้ข้อมูลรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับสภาพพืชมากกว่า NDVI โดย NDII แสดงความสัมพันธ์สูงกับความชื้นในชั้นดินบนบริเวณรากในระดับภูมิภาค (Ochoa et al., 2023) โดยช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรดใกล้ สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณน้ำของพืชและโครงสร้างในชั้นเมโสฟิลล์ (spongy mesophyll) ใน [ของพืช ในขณะที่ค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรดใกล้ได้รับผลกระทบจากโครงสร้างภายในใบและปริมาณวัตถุแห้งของใบไม้ แต่ไม่ได้รับผลกระทบจากปริมาณน้ำ การวิเคราะห์รวมกันของช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรดใกล้กับช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรดใกล้ ช่วยขจัดความผันแปรที่เกิดจากโครงสร้างภายในใบและปริมาณวัตถุแห้งในใบ ทำให้ปรับปรุงความแม่นยำในการดึงข้อมูลปริมาณน้ำของพืช ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในโครงสร้างใบภายในส่วนใหญ่ควบคุมการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วง ช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรดใกล้ ดังนั้นการสะท้อนช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรดใกล้จึงสัมพันธ์เชิงลบกับปริมาณน้ำในใบ ทำให้ดัชนี NDWI สามารถใช้เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในใบไม้ (Sentinel Hub, 2017b) ซึ่งค่า NDII จะอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ซึ่งช่วงทั่วไปสำหรับพืชสีเขียวอยู่ระหว่างค่า 0.02 ถึง 0.6 (Hardisky et al., 1983; Sentinel Hub, 2017b)

ตารางที่ 8 ดัชนีพืชพรรณชนิดต่างๆ

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

3.3.2 การศึกษาค่าสะท้อนแสงจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมกับการศึกษาด้านชีพลักษณะพืช

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมีการบันทึกอย่างต่อเนื่องทำให้สามารถศึกษาลักษณะการแสดงออกของพืชที่สัมพันธ์กับฤดูกาล เช่น การเปลี่ยนแปลงของชีพลักษณะของพืช ได้แก่ การเจริญเติบโตในระยะต่างๆ การขาดน้ำในช่วงสภาวะอากาศแห้งแล้ง การทิ้งใบของพืชที่ตอบสนองต่อปริมาณน้ำ ซึ่งลักษณะที่พืชแสดงออกนี้จะปรากฏเป็นค่าการสะท้อนที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้สามารถจำแนกลักษณะที่แตกต่างกันได้ รวมถึงการจำแนกชนิดและปริมาณของสิ่งปกคลุมดิน (แคสเสด และ ชรัตน์, 2562) ชีพลักษณะของพืชและการสำรวจระยะไกล ต้องการการรวบรวมข้อมูลจำนวนมาก รวมถึงการสังเกตการเปลี่ยนแปลงกรุดูดซับและการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นและลักษณะทางชีวเคมีหรือชีวฟิสิกส์ของพืช นักวิทยาศาสตร์ด้านชีพลักษณะของพืชกำลังพัฒนาวิธีการเพื่อจัดการข้อมูลเพื่อใช้สำหรับจัดการการผลิตพืชและสถานการณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช การใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา (timeseries) ของภาพถ่ายดาวเทียมได้ถูกนำมาใช้ในการจำแนกชนิดของพืชอย่างแพร่หลาย การจำแนกชนิดพืชโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพียงช่วงเวลาเดียว (single-date image) ที่ยังคงมีข้อจำกัดเนื่องจากพืชแต่ละชนิดต่างมีวงจรการเจริญเติบโตในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ค่าการสะท้อนเชิงช่วงคลื่น

ของพืชแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาจะไม่ถูกนำมาพิจารณา ซึ่งค่าดังกล่าวอาจมีประโยชน์อย่างมากในการแยกแยะชนิดของพืชที่เซนเซอร์ของดาวเทียมไม่สามารถจำแนกความแตกต่างในลักษณะเชิงช่วงคลื่นและเชิงพื้นที่ได้ ประกอบกับระบบการเพาะปลูกพืชในภาคเกษตรกรรมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งเป็นประโยชน์ในการสังเกตพัฒนาการของพืชในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น การประมาณผลผลิตพืช เป็นต้น (ดังนั้น เพื่อให้การจำแนกมีความถูกต้องและแม่นยำ จำเป็นต้องมีหลายปัจจัย ได้แก่ การเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลสนับสนุน การเลือกใช้ขั้นตอนในการจำแนกที่เหมาะสม รวมถึงทักษะการวิเคราะห์และประสบการณ์ของผู้ศึกษา การจำแนกโดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาของภาพถ่ายดาวเทียมถือเป็นวิธีการการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert system) ที่ต้องใช้วิธีการสั่งสมความรู้ และประสบการณ์ให้กับระบบคอมพิวเตอร์ในการตัดสินใจให้ถูกต้อง (Knowledge-Base system) ซึ่งงานวิจัยด้านการใช้ระบบดังกล่าวในการจำแนกประเภทข้อมูลการใช้ที่ดินสำหรับประเทศไทยยังมีจำนวนน้อย ข้อมูลช่วงคลื่นแบบอนุกรมเวลาจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสามารถระบุลักษณะการใช้ที่ดินได้เป็นอย่างดี โดยการใช้ชุดข้อมูลในช่วงเวลาที่แตกต่างกันของซีพลักษณ์ (Phenology) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของสิ่งปกคลุมดิน (Land cover dynamics) หากอุปกรณ์ตรวจจับของดาวเทียมไม่สามารถจำแนกความแตกต่างในลักษณะเชิงช่วงคลื่นและเชิงพื้นที่ได้ มีการนำข้อมูลอนุกรมเวลาของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ในงานทางด้าน การสำรวจระยะไกลอย่างแพร่หลาย เช่น การทำแผนที่เพาะปลูกรายปีของไม้เศรษฐกิจแบบอัตโนมัติด้วยชุดข้อมูลอนุกรมเวลาของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat การจำแนกสิ่งปกคลุมดิน โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 แนวทางการใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลาเพื่อติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งจากสภาวะด้านซีพลักษณ์ของป่ามรสุมเขตร้อน (แคสเสด มงคลสวัสดิ์ และ ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, 2562) ซึ่งการศึกษาด้านซีพลักษณ์ พืชโดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล มีดังนี้

Peña and Brenning (2015) รายงานว่า ภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลา สามารถให้ข้อมูลลักษณะสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป ซึ่งสามารถใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงทางซีพลักษณ์พืชตลอดฤดูปลูก และช่วยอำนวยความสะดวกในการจำแนกประเภทพืช ซึ่งคณะวิจัยได้ศึกษาในไม้ผลหลัก 4 ชนิด ใน Maipo Valley ภาคกลางของประเทศชิลี ระหว่างปีการผลิต 2013–14 โดยใช้ข้อมูลภาพถ่าย Landsat-8 ในค่านวนดัชนี NDVI และดัชนี NDWI เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลสเปกตรัมเพื่อใช้ร่วมกับชุดข้อมูลอ้างอิงต่างๆ 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 และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (short-wave infrared) ในระยะแรกที่พืชความเขียวสามารถจำแนกชนิดของไม้ผลได้ดีที่สุด

Bendin et al. (2016) ศึกษาการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 โดยคำนวณค่า EVI หลายช่วงเวลา ร่วมกับใช้ชุดข้อมูลอ้างอิง ในการจำแนกจำแนกการใช้ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมในพื้นที่ Cerrado (Brazilian Savanna) รัฐเซาเปาโล ประเทศบราซิล โดยใช้วิธี Random Forest classification

ในการสร้างฐานข้อมูลค่าการสะท้อนแสงในชั้นแรกได้ทำการสุ่มตัวอย่างตามชนิดพืช ได้แก่ ไม้ยืนต้น (b) พืชล้มลุก ป่าปลูก พืชกึ่งยืนต้น พืชล้มลุก ได้แก่ ระบบการปลูก 3 ชนิดพืช ใน 1 ปี ได้แก่ มันฝรั่ง ถั่ว และ ข้าวโพด ซึ่งมันฝรั่ง มีการเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงกลางเดือนสิงหาคม แล้วตามด้วยการปลูก ข้าวโพดในเดือนกันยายน และเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปลูกถั่วซึ่งมีอายุสั้นช่วง เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคมแล้วปลูกข้าวโพดตามในเดือนพฤษภาคม พบว่าการใช้ชุดข้อมูลภาคสนาม ตามช่วงเวลา (time series) มาทำโมเดลร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม พบว่าสามารถตรวจจับการปลูก ข้าวโพดได้แต่ไม่สามารถตรวจจับการปลูกมันสำปะหลังและถั่วได้

Cilek and Berberoglu (2018) จัดทำแผนที่รูปแบบการเพาะปลูกโดยใช้เทคนิคการ จำแนกตามวัตถุภายในพื้นที่เกษตรกรรมแถบเมดิเตอร์เรเนียนในประเทศตุรกี เนื่องจากพื้นที่ในแถบทะเล เมดิเตอร์เรเนียนมีการเพาะปลูกพืชที่หลากหลายทำให้การแสดงลักษณะทางช่วงคลื่นที่คล้ายคลึงกันซึ่งทำ ให้ยากต่อการจำแนกคุณลักษณะในพื้นที่ด้วยจุดภาพในข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอย่างง่าย ดังนั้นการ จำแนกตามวัตถุจึงถูกนำมาใช้สำหรับการจำแนกสิ่งปกคลุมดินในสภาพแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งปัจจัยที่ นำมาใช้เพื่อจำแนกภาพตามวัตถุในการการจัดทำแผนที่ให้ถูกต้องมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งจากการวิจัย พบว่า การจำแนกตามช่วงเวลาที่แตกต่างกันสองช่วงคือฤดูหนาวและฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษาให้ความแม่นยำ สูง โดยเดือนมีนาคมและเมษายนเป็นเวลาถ่ายภาพที่ดีที่สุดสำหรับฤดูหนาว และระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงสิงหาคมเป็นเวลาถ่ายภาพที่ดีที่สุดสำหรับฤดูเพาะปลูกฤดูร้อน

Anand et al. (2018) ประเมินการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นที่โดยการ ใช้ดัชนี NDVI และคาดการณ์ค่า NDVI สำหรับปี 2028 โดยสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น ซึ่งค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้สูงเท่ากับ 0.617 และพบว่าความหนาแน่นของพื้นที่ป่าลดลงใน West Singhbhum และพื้นที่รกร้างว่างเปล่าและที่ดินเปล่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการศึกษานี้แสดงให้เห็นรูปแบบการ เปลี่ยนแปลงของค่า NDVI และสามารถทำนายสถานการณ์ในทศวรรษหน้าได้

Amin et al. (2021) การติดตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพืชผลช่วยในการจัดการด้าน การเกษตรอย่างมีนัยสำคัญ และมีบทบาทสำคัญในการทำนายผลผลิตของพืชผล การสังเกตการณ์ผ่าน ดาวเทียมแบบหลายช่วงเวลาช่วยให้สามารถวิเคราะห์พลวัตตามฤดูกาลของพืชในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้โดยใช้ ดัชนีพืชพรรณหรือตัวแปรทางชีวภาพ สามเหลี่ยมปากแม่น้ำไนล์ตอนเหนือเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ประมาณครึ่งหนึ่งของอียิปต์ ในภูมิภาคนี้ ระบบการทำฟาร์มแบบเข้มข้นมีความสำคัญมากกว่า ซึ่งแปลเป็น แรงกดดันต่อความต้องการน้ำประปา ยิ่งไปกว่านั้น แผนการปลูกพืชหมุนเวียนสองครั้งกำลังเพิ่มขึ้น ทำให้ ต้องมีการตรวจสอบความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงพื้นที่สูงเพื่อบันทึกวงจรการเจริญเติบโตของพืชที่ ต่อเนื่องกัน การศึกษานี้นำเสนอกรอบการทำงานสำหรับการแสดงลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพืชผลตาม อนุกรมเวลาที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงเวลาสูงของดัชนีพื้นที่ใบสีเขียว (LAI) โดยเฉพาะของนาข้าว

Fortes et al. (2015) ศึกษาการใช้ค่า NDVI เพื่อทำแผนที่คาดการณ์ผลผลิตของมะเขือเทศ พันธุ์โรงงาน โดยแผนที่ดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการแบ่งโซนในการใช้ปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ย ซึ่งผลการศึกษา

พบว่า ค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับผลผลิตมะเขือเทศสูง และสามารถทำแผนที่แสดงความแปรปรวนของผลผลิตในแปลงปลูกได้

Caturegli et al. (2016) ใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (UAVs) ที่ติด multispectral sensor ศึกษาระดับไนโตรเจน (N) ในหญ้าสนาม พบว่า ค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับปริมาณ N ในต้นหญ้าสูงมาก ($r^2 = 0.95$) ซึ่งค่าสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้กำหนดค่าความต้องการ N ของหญ้าแต่ละชนิดได้

Guan et al. (2019) ประเมินความสัมพันธ์ภาพ NDVI รายละเอียดสูงกับอัตราปุ๋ยและผลผลิตข้าวและข้าวสาลี โดยการบันทึกข้อมูลรีโมทเซ็นซิงซึ่งได้ใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (UAVs) ที่ติดกล้องชนิด multispectral sensor ผลการศึกษาพบว่า ค่า NDVI สามารถแสดงค่าความแตกต่างการได้รับปุ๋ยในอัตราที่ต่างกันของข้าวและข้าวสาลี และค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับผลผลิตโดยมีค่า r^2 อยู่ระหว่าง 0.601–0.809

Santillan and Santillan (2018) ศึกษาการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์การสะท้อนแสงเชิงคลื่นของสาकुและปาล์มชนิดอื่นๆ ได้แก่ มะพร้าว และปาล์มน้ำมัน เพื่อใช้จำแนกชนิดของพืชแต่ละชนิดชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยค่าลายเซ็นต์เชิงคลื่นเฉลี่ยของปาล์มแต่ละชนิดที่วัดได้ภายในช่วงความยาวคลื่น 345 - 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 แบนด์ การตรวจสอบลายเซ็นต์เชิงคลื่นแสดงให้เห็นว่าบริเวณอินฟราเรดใกล้ โดยเฉพาะที่ 770, 800 และ 875 นาโนเมตร ให้ความยาวคลื่นที่ดีที่สุดที่สามารถแยกต้นสาकुออกจากต้นปาล์มชนิดอื่นได้ การสุ่มตัวอย่างใหม่ของการสะท้อนแสงในแหล่งกำเนิดเพื่อให้ตรงกับ การตอบสนองทางสเปกตรัมของเซ็นเซอร์ออปติคัลทำให้สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าการสะท้อนแสงของ สาकुและปาล์มอื่นๆ ในแถบต่างๆ ของเซ็นเซอร์ได้ โดยรวมแล้วความรู้ที่ได้รับจากการวิเคราะห์จะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมเชิงคลื่น โดยเฉพาะในการพิจารณาว่าแถบใดที่จะรวมหรือไม่รวม หรือจะใช้แถบทั้งหมดของเซ็นเซอร์ในการแยกแยะและทำแผนที่ต้นสาकु

ชัตติยานี และคณะ (2561) ศึกษาค่าสะท้อนพลังงานของมันสำปะหลังจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT-8 จำนวน 4 ช่วงคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง และอินฟราเรดใกล้ ที่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตแล้ว และเก็บข้อมูลระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง 4 ช่วงระยะการเจริญเติบโต ประกอบด้วยระยะที่ 1 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น ระยะที่ 2 ระยะพัฒนารากสะสมอาหาร และลงหัว และระยะที่ 3 ระยะเก็บเกี่ยว ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นของมันสำปะหลังในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นมีการสะท้อนต่ำเนื่องจากคลอโรฟิลล์จะมีอิทธิพลต่อการดูดกลืนพลังงานมาก และในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้พืชจะสะท้อนพลังงานสูงเนื่องจากคลอโรฟิลล์ที่อยู่ในใบพืชสามารถตอบสนองพลังงานที่มากกระทบในช่วงคลื่นนี้ได้ดี การจัด

ทาสเปกตรัมไลบารีของมันเป็นสำปะหลัง พบว่า ลักษณะของลายเซ็นต์เชิงคลื่นที่ขึ้นลงแตกต่างกันตามช่วงความยาวคลื่น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่มีผลต่อการสะท้อนพลังงานของพืชพรรณ โดยค่าการสะท้อนพลังงานที่แท้จริงของมันสำปะหลังในช่วงระยะการเจริญเติบโต ระยะที่ 1 ช่วงอายุ 1 เดือน เท่ากับ 0.0399 ถึง 0.3566 และช่วงอายุ 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

Htitiou et al. (2019) ใช้ข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลเพื่อศึกษาศักยภาพของข้อมูลอนุกรมเวลา Sentinel-2A (S2) และ Landsat 8 (L8) โดยคำนวณดัชนี NDVI ซึ่งประเมินโดยใช้การจำแนกประเภท Random Forest (RF) เพื่อจำแนกและจัดทำแผนที่ชนิดพืชต่างๆ ในประเทศโมร็อกโก อนุกรมเวลาดัชนี NDVI ซึ่งเป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพ เป็นตัวแปรสำหรับการจำแนกประเภทพื้นที่เพาะปลูก วิธีการจัดประเภทที่ใช้ขึ้นเกี่ยวข้องกับการใช้ตัวแยกประเภท Random Forest (RF) ที่มีการควบคุมดูแลผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงความสามารถของภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดระดับปานกลางถึงสูง (10-30 ม.) ในการบันทึกภาพระยะทางชีวภาพของระบบการปลูกพืชต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา ซึ่งการจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลภาพถ่าย Sentinel 2 ให้ความแม่นยำโดยรวมที่สูงกว่า 93 เปอร์เซ็นต์ และค่าสัมประสิทธิ์ค้ำป้าที่ 0.91 ซึ่งสูงกว่าการใช้ข้อมูลภาพถ่าย Landsat 8 ซึ่งอยู่ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ และค่าสัมประสิทธิ์ค้ำป้าที่ 0.88 กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ค่าชีวภาพที่ได้จากข้อมูลอนุกรมเวลา ข้อมูลภาพถ่าย Sentinel 2 มีศักยภาพสูงสำหรับการจำแนกประเภทพืชผลทางการเกษตรในพื้นที่กึ่งแห้งแล้ง และดังนั้นจึงสามารถเป็นเครื่องมือสำหรับการตัดสินใจในการจัดการและติดตามในสภาพพื้นที่ที่ซับซ้อน เช่น พื้นที่ชลประทาน

ยศธร (2562) ศึกษาการใช้เทคนิค NDVI และ NDWI ในการจำแนกชนิดป่าไม้ ในเขตอำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก พบว่า การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมกับเทคนิคอัตราส่วนช่วงคลื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง NDVI และ NDWI สามารถเพิ่มความถูกต้องในการจำแนกชนิดป่าได้ ซึ่งค่า NDVI และ NDWI ของป่าแต่ละชนิดที่จำแนกออกมานั้น ค่าเฉลี่ยของ NDVI และ NDWI แตกต่างกัน เช่น ค่า NDVI ของป่าเบญจพรรณกับป่าดิบเขา นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนป่าไผ่กับสวนป่าสัคนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกันจึงแยกออกจากกันไม่ได้ ส่วนค่าของ NDWI ของป่าเบญจพรรณกับป่าดิบเขา นั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าของป่าที่ใกล้เคียงกันของ NDWI นั้น คือ ป่าเบญจพรรณกับป่าหุบ ป่าเบญจพรรณกับป่าพื้นที่ฟูตามธรรมชาติ และ ป่าหุบกับป่าพื้นที่ฟูตามธรรมชาติ

ทศน์ศรี และ เชษฐรุจ (2564) รายงานว่าข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (โดรน) ที่ติดกล้องชนิด multispectral และ ทำการคำนวณค่า NDVI พบว่า ต้นยูคาลิปตัสที่มีอายุต่างกัน มีค่าเฉลี่ย NDVI ที่แตกต่างกัน โดยพบว่า ต้นยูคาลิปตัสที่มีอายุ 8 ปี มีค่าเฉลี่ย NDVI สูงสุด เท่ากับ 0.42 รองลงมา ได้แก่ ต้นยูคาลิปตัสที่มีอายุ 10, 4 และ 6 ปี ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Qiao และ คณะ (2016) ซึ่งรายงานค่า NDVI ของแปลงปลูกต้นยูคาลิปตัสที่มีอายุ 1 ถึง 7 ปี อยู่ในช่วงระหว่าง 1.5 – 0.6 โดยค่า NDVI จะเปลี่ยนไปตามอายุของต้นยูคาลิปตัส นอกจากนี้ยังรายงานค่า NDVI ของแปลงปลูกต้นยูคาลิปตัสลดลงต่ำสุดเมื่อถึงอายุที่มีการตัดหลังจากนั้นค่า NDVI จะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อต้นยูคาลิปตัสมีการงอกกล้าต้นใหม่ขึ้นมา

3.3.3 ดาวเทียม Sentinel-2

ดาวเทียม Sentinel เป็นชุดดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติที่พัฒนาโดย ESA พัฒนาชุดภารกิจสังเกตการณ์โลกยุคหน้าในนามของโคเปอร์นิคัสผู้ริเริ่มร่วม/คณะกรรมการการยุโรป เป้าหมายของโปรแกรม Sentinel คือการแทนที่ภารกิจสำรวจโลกแบบเก่าที่เลิกใช้แล้ว เช่น ภารกิจ ERS และ Envisat หรือกำลังใกล้สิ้นสุดอายุการใช้งาน สิ่งนี้จะช่วยให้มั่นใจได้ถึงความต่อเนื่องของข้อมูลเพื่อไม่ให้มีช่องว่างในการศึกษาที่กำลังดำเนินอยู่ แต่ละภารกิจมุ่งเน้นไปที่แง่มุมต่าง ๆ ของการสังเกตการณ์โลก การตรวจสอบชั้นบรรยากาศ มหาสมุทร และผืนดิน และข้อมูลถูกนำไปใช้ในหลายๆ แอปพลิเคชัน (ESA, 2565) Sentinel-2 เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ Copernicus ซึ่งเป็นโครงการสังเกตการณ์โลก (Earth Observation Program) ที่ใหญ่ที่สุด กำกับโดยคณะกรรมการการยุโรป (EC: European Commission) ร่วมกับ คณะองค์การอวกาศยุโรป (ESA: European Space Agency) โครงการนี้ให้ข้อมูลหลากหลายครอบคลุมคลื่น 13 ย่านที่มองเห็นได้, คลื่นใกล้อินฟราเรดและคลื่นรังสีอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น โดยมีค่าความละเอียดภาพเชิงพื้นที่ตั้งแต่ 10 เมตรถึง 60 เมตร Sentinel-2 เก็บรวบรวมภาพอย่างต่อเนื่องจากดาวเทียมสังเกตการณ์โลกสองดวงซึ่งสามารถส่งข้อมูลภาพไปยังสถานีฐานที่ตั้งบนโลกทุก 5-7 วัน ดาวเทียม Sentinel-2 ประกอบด้วย ดาวเทียม Sentinel-2A และดาวเทียม Sentinel-2B ถูกบันทึกข้อมูลการสะท้อนของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นผิวโลก คือ การตรวจสอบทางบกและทางทะเลการทำแผนที่ภัยธรรมชาติและการสังเกตการณ์ในทะเลการตรวจจับเรือ ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ตั้งแต่ 10 เมตร ถึง 60 เมตร ระบบในการบันทึกถึงค่าการสะท้อนแสงของกลุ่มดาวเทียม Sentinel-2 เก็บรวบรวมภาพอย่างต่อเนื่อง จากดาวเทียมสังเกตการณ์โลกสองดวงซึ่งสามารถส่งข้อมูลภาพไปยังสถานีที่ตั้งบนโลกทุกๆ 5-7 วัน ภารกิจ Copernicus Sentinel-2 ประกอบด้วยกลุ่มดาวของดาวเทียมที่โคจรรอบขั้วโลก 2 ดวง ซึ่งอยู่ในวงโคจรแบบซิงโครนัสดวงอาทิตย์เดียวกัน โดยแบ่งระยะที่ 180° ซึ่งกันและกัน มีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบความแปรปรวนของสภาพพื้นผิวดิน และความกว้างของแนวเขต (290 กม.) และเวลาการกลับมาสูงอีกครั้ง (10 วันที่เส้นศูนย์สูตรด้วยดาวเทียม 1 ดวง และ 5 วันกับดาวเทียม 2 ดวงภายใต้สภาวะที่ไม่มีเมฆ ซึ่งส่งผลให้ 2-3 วันที่ละจุดกลาง) จะสนับสนุนการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวโลก สำหรับการวางแผนภารกิจและข้อมูลสถานะความครอบคลุมที่อัปเดต โปรตุเกสที่หน้าการมาเยือนใหม่และความครอบคลุม คู่มือภารกิจ Sentinel-2 นี้ให้คำอธิบายระดับสูงเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของภารกิจ คำอธิบายดาวเทียม และส่วนภาคพื้นดิน นอกจากนี้ยังกล่าวถึงภารกิจมรดกที่เกี่ยวข้อง พื้นที่เฉพาะเรื่องและบริการของ Copernicus ลักษณะวงโคจรและความครอบคลุม เครื่องมือน้ำหนักบรรทุกทุกและผลิตภัณฑ์ข้อมูล (European Space Agency, 2565) ดาวเทียม Sentinel-2 ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้โครงการ Global Monitoring for Environment and Security (GMES) ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่าง คณะกรรมการการยุโรป (European Commission) และ องค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างขีดความสามารถของสหภาพยุโรปในการจัดหาและใช้ประโยชน์สารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมและความมั่นคง ดาวเทียม Sentinel-2 เป็นดาวเทียมวงโคจรกว้าง (Wide-swath) ถูกสร้างขึ้นเพื่อบันทึกภาพพื้นผิวโลกต่อเนื่องจากดาวเทียม Landsat และ SPOT

ดาวเทียม Sentinel-2 ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อปี พ.ศ. 2556 ประกอบด้วย ดาวเทียม S2A และ S2B ปฏิบัติงานภายในวงโคจรเดียวกันแต่ตำแหน่งของดาวเทียมต่างกัน 180 องศา ที่ระดับความสูง 786 กิโลเมตร ความกว้างแนวบันทึกภาพ 290 กิโลเมตร รอบเวลาในการโคจรกลับมาบันทึกภาพที่เดิม ณ ตำแหน่งเส้นศูนย์สูตรทุกๆ 5 วัน ดาวเทียม Sentinel-2 มีระบบบันทึกภาพ Multispectral Instrument (MSI) บันทึกภาพทั้งหมด 13 แถบความถี่ แบ่งกลุ่มตามความละเอียดจุดภาพ (ตารางที่ 9) 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

ตารางที่ 9 คุณสมบัติของข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2

ช่วงคลื่น	ค่ากึ่งกลางช่วงคลื่น (ไมโครเมตร)	รายละเอียด จุดภาพ (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

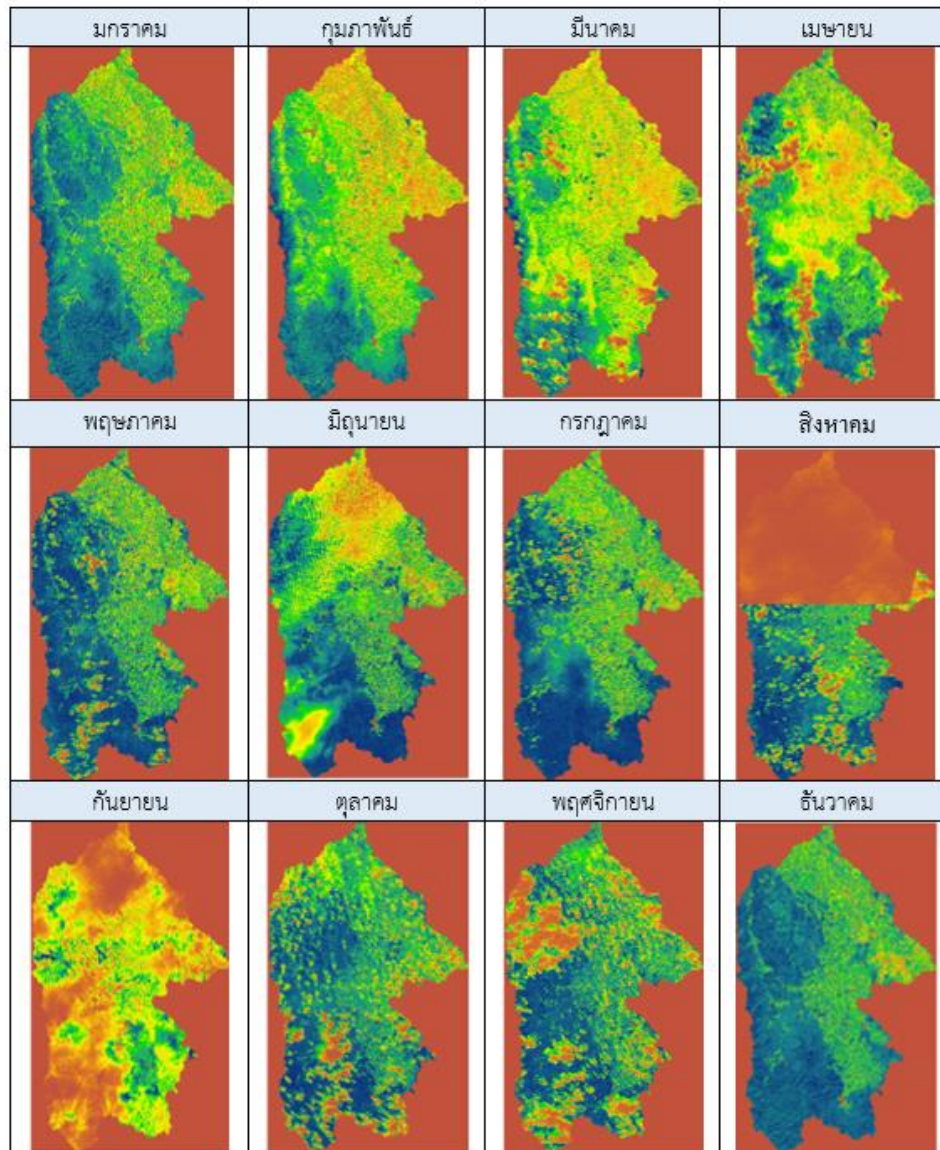
ที่มา: European Space Agency (2565)

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์

4.1 การสร้างฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลในรอบปีของพืชเศรษฐกิจจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

การศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ชนิด COPERNICUS/S2 บริเวณลุ่มน้ำภาชีผ่าน <https://code.earthengine.google.com/> เนื่องจากในการถ่ายภาพของ Sentinel-2 จะใช้ดาวเทียม 2 ดวง ทำให้สามารถถ่ายภาพได้ทุก 5 – 7 วัน ของทุกเดือน ทำให้ในบางบริเวณอาจมีภาพที่ใช้ประโยชน์ได้ในแต่ละเดือน 1-3 ภาพ ดังนั้นการรวบรวมข้อมูลภาพในครั้งนี้จึงใช้วิธีโมเสกภาพ (mosaic) เพื่อให้ได้ภาพรายเดือนในบริเวณที่ศึกษามากที่สุด ซึ่งค่าที่ได้ในแต่ละจุดภาพจะเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนของจุดภาพในแต่ละภาพที่ซ้อนทับกัน การเก็บรวบรวมภาพเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม 2561 ถึง เดือนธันวาคม 2565 และมีการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII เพื่อใช้ในการศึกษาค่าการสะท้อนแสง ลายเซ็นต์เชิงคลื่น และความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต โดยภาพที่ทำการจัดเตรียมนี้จะต้องมีเมฆปกคลุมน้อยและสามารถใช้สกัดค่าในบริเวณแปลงศึกษาได้ ซึ่งจากการรวบรวมภาพถ่าย พบว่า ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีข้อมูลภาพถ่ายที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เพียงบางเดือน และในบางเดือนมีเมฆปกคลุมในบริเวณแปลงศึกษาทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลในแปลงที่มีเมฆปกคลุมมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ ทั้งนี้เกิดจากดาวเทียม Sentinel-2 เป็นดาวเทียมในระบบ passive sensor system คือเป็นดาวเทียมที่อาศัยแหล่งพลังงานจากภายนอกคือดวงอาทิตย์เป็นหลัก ซึ่งในบางเดือนที่มีเมฆปกคลุมมากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะไม่สามารถส่งลงมาผ่านเมฆได้ หรือหากส่งลงมาได้เมื่อสะท้อนกลับอาจไปกระทบเมฆทำให้เซ็นเซอร์ของดาวเทียมไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลในบริเวณนั้นได้ ซึ่งเมฆและเงาเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักของปัญหาในขณะทำงานการสำรวจระยะไกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำงานในพื้นที่เขตร้อน ทำให้จุดข้อมูลในภาพหายไป ซึ่งอาจเป็นปัจจัยข้อจำกัดหลักต่อความสอดคล้องเชิงพื้นที่และเชิงเวลาของการทำแผนที่และการติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เนื่องจากข้อมูลในบริเวณที่มีเมฆและเงาปกคลุมนี้ มีอิทธิพลต่อกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลหลายอย่าง เช่น การแก้ไขบรรยากาศที่ไม่ถูกต้อง ดัชนีพืชพรรณผิดเพี้ยนไป ทำให้เกิดความผิดพลาดในการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดิน และการตรวจพบการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินที่ผิดพลาด ภาพโมเสคที่สร้างบนคลาวด์ เช่น google earth engine (GEE) จะถูกสร้างขึ้นด้วยกฎพื้นฐานความรู้ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าซึ่งสร้างขึ้นจากลายเซ็นสเปกตรัม โดยการรวมภาพ (composite) โดยใช้ค่ามัธยฐานของการสะท้อนแสงของชุดข้อมูลภาพ ภาพโมเสกไร้รอยต่อและไร้เมฆซึ่งจะมีประโยชน์มากในบริเวณที่มักมีเมฆปกคลุม (Zhu et al., 2018) ซึ่งจากการรวบรวมภาพผ่านระบบคลาวด์ของที่มีการโมเสกและรวมภาพ ซึ่งภาพตัวอย่างของภาพ Sentinel-2 ที่บันทึกภาพ ใน พ.ศ. 2564 (ภาพที่ 14)

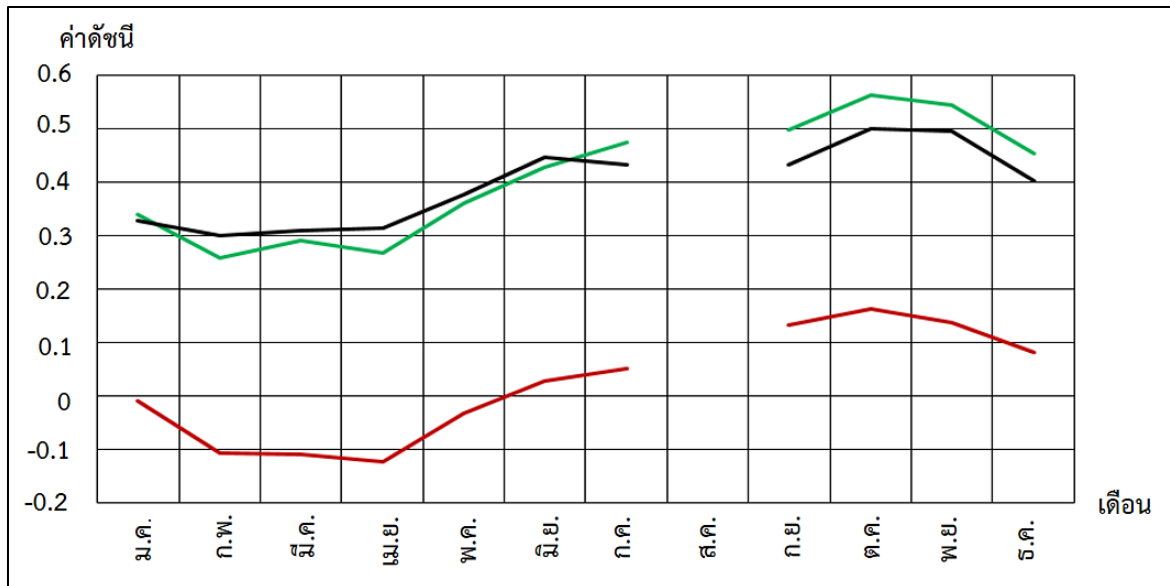


ภาพที่ 14 ตัวอย่างภาพดาวเทียม Sentinel 2 ที่มีการคำนวณค่า NDVI ในเดือนต่างๆ ปี 2564

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 15 และ ตารางที่ 10) มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปีและมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันคือ มีค่าต่ำในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน และค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน และค่อยๆ ลดลงในเดือนธันวาคม ซึ่งอาจเกิด

จากเกษตรกรรมเริ่มทยอยเก็บเกี่ยวอ้อยตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนและในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนแปลงอ้อยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่ต่ออ้อยที่รอเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่จึงทำให้ค่า NDVI และ GNDVI ต่ำเนื่องจากมีพืชปกคลุมน้อย ขณะที่ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม เป็นช่วงที่พืชค่อยๆ เจริญเติบโต ซึ่งค่า NDVI และ GNDVI ของพืชที่เป็นชนิดเดียวกันต้นที่มีขนาดใหญ่กว่า แข็งแรงกว่าจะมีค่าสูงกว่า (Simms and Ward, 2013) และพบว่าเดือนตุลาคมจะมีค่าดัชนีพืชพรรณสูงที่สุดเนื่องจากอ้อยเจริญเติบโตเต็มที่รอการเก็บเกี่ยว ซึ่งเห็นได้ว่าค่าดัชนีพืชพรรณจะเริ่มลดต่ำลงเรื่อยๆในเดือนพฤศจิกายนเนื่องจากเกษตรกรรมเริ่มเกี่ยว และจะลดต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์เนื่องจากอ้อยส่วนใหญ่ถูกเก็บแล้ว และเมื่อถึงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน แปลงอ้อยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่ต่ออ้อยที่รอเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่จึงทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดมีค่าต่ำ เนื่องจากมีพืชปกคลุมน้อย ขณะที่ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม เป็นช่วงที่พืชค่อยๆ เจริญเติบโต ซึ่งค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดหากเป็นพืชที่เป็นชนิดเดียวกันต้นที่มีขนาดใหญ่กว่า แข็งแรงกว่าจะมีค่าสูงกว่า และพบว่าเดือนตุลาคมจะมีค่าดัชนีพืชพรรณสูงที่สุดเนื่องจากอ้อยเจริญเติบโตเต็มที่รอการเก็บเกี่ยว ซึ่งเห็นได้ว่าค่าดัชนีพืชพรรณจะเริ่มลดต่ำลงเรื่อยๆในเดือนพฤศจิกายนเนื่องจากเกษตรกรรมเริ่มเกี่ยว และจะลดต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์เนื่องจากอ้อยส่วนใหญ่ถูกเก็บแล้ว คล้ายการศึกษาของ Scarpere (n.d.) ซึ่งแสดงค่าดัชนี EVI ของอ้อยที่เปลี่ยนแปลงในรอบปี

ค่า NDII มีค่าต่ำกว่า ค่า NDVI และค่า GNDVI ตลอดทั้งปี ทั้งนี้เกิดจากค่า NDII คำนวณสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นสั้นอินฟราเรดโดยใช้สมการ $(NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$ ขณะที่ NDVI คำนวณสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นแสงสีแดงโดยใช้สมการ $(NIR - red) / (NIR + red)$ และ GNDVI คำนวณสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นสีเขียวโดยใช้สมการ $(NIR - green) / (NIR + green)$ โดยทั่วไปพืชจะสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มากกว่าช่วงคลื่นแสงสีเขียวและช่วงคลื่นแสงสีแดงตามลำดับเมื่อค่าต่างๆแล้วจึงเห็นว่าในบริเวณที่มีพืชปกคลุมสูงจะมีค่า NDVI สูงกว่าค่า GNDVI และค่า NDII ต่ำลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม GNDVI มีค่าสูงกว่า NDVI ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน แต่ GNDVI มีค่าต่ำกว่า NDVI ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน เนื่องจากในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน เป็นช่วงที่มีพืชปกคลุมอยู่น้อย ทำให้การดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงคลื่นต่ำคล้ายลายเซ็นต์เชิงคลื่นของดินคือดินจะมีการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีเขียวและอินฟราเรดใกล้้น้อยกว่าพืชทำให้เมื่อนำมาคำนวณแล้วมีค่าต่ำ ขณะที่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายนเป็นช่วงที่มีพืชปกคลุมอยู่น้อย ทำให้การดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงคลื่นสูงโดยเฉพาะช่วงคลื่นสีแดง (Rouse et al., 1974; Gitelson et al., 1996; Hunt and Rock, 1989) ซึ่งค่า NDVI และ GNDVI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับขนาดทรงพุ่ม ขนาดพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพ คือค่า NDVI และ GNDVI จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดทรงพุ่ม ขนาดพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น (Rouse et al., 1974; Gitelson et al., 1996; Simms and Ward, 2013) ซึ่งจากความแตกต่างนี้อาจใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกระยะเติบโตของอ้อยโดยสันนิษฐานว่าเมื่อค่า NDVI สูงกว่าค่า GNDVI เป็นช่วงที่อ้อยเจริญเติบโตคลุมพื้นที่โดยเหลือพื้นที่ว่างซึ่งเป็นดินน้อยลง



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกอ้อย

ตารางที่ 10 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 10 (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 10 (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 10 (ต่อ)

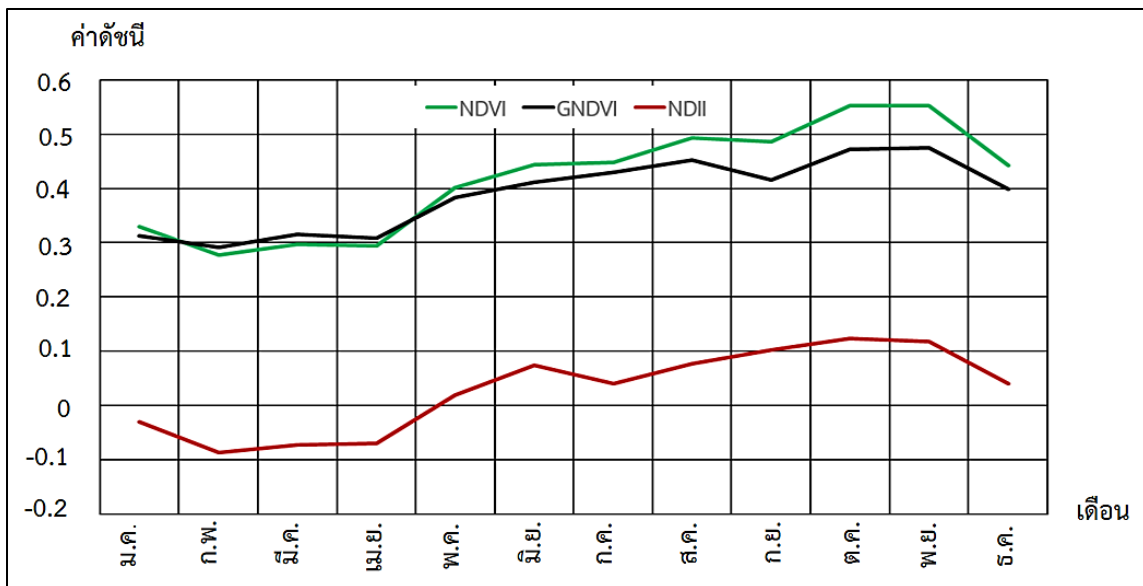
ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
เฉลี่ย 5 ปี	มกราคม	0.182	0.490	0.339	0.255	0.376	0.328	-0.199	0.184	-0.010
	กุมภาพันธ์	0.154	0.432	0.258	0.230	0.331	0.299	-0.248	0.133	-0.107
	มีนาคม	0.036	0.351	0.290	0.214	0.351	0.309	-0.224	0.083	-0.109
	เมษายน	0.138	0.438	0.268	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) การการสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของมันสำปะหลังจากข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2

จากการสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของมันสำปะหลังที่ได้จากการคำนวณดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII จากข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 ทุกเดือน จำนวน 5 ปี และสกัดค่าโดยใช้ขอบเขตแปลงเก็บข้อมูลอ้างอิง ซึ่งจำนวนแปลงที่ใช้สกัดค่า (N) ในแต่ละเดือนไม่เท่ากันเนื่องจากบางแปลงมีเมฆปกคลุม (ภาพที่ 16 และ ตารางที่ 11) พบว่า ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี และมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันคือ มีค่าต่ำในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน และค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน และค่อยๆ ลดลงในเดือนธันวาคม และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าช่วงเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคมเกษตรกรส่วนใหญ่มีการพักแปลงและเตรียมแปลงสำหรับปลูกมันสำปะหลัง แล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้งตั้งแต่เดือนเมษายน ซึ่งมันสำปะหลังส่วนใหญ่เริ่มงอกและเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่จึงทำให้ค่า NDVI และ GNDVI ยังคงต่ำเนื่องจากมีพืชปกคลุมน้อย ขณะที่ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมเป็นช่วงที่พืชค่อยๆ เจริญเติบโต ซึ่งค่า NDVI และ GNDVI ของพืชที่เป็นชนิดเดียวกันต้นที่มีขนาดใหญ่กว่า แข็งแรงกว่าจะมีค่าสูงกว่า (Simms and Ward, 2013) และพบว่าเดือนตุลาคมและพฤศจิกายนจะมีค่าดัชนีพืชพรรณสูงที่สุดเนื่องจากมันสำปะหลังเจริญเติบโตเต็มที่รอการเก็บเกี่ยว ซึ่งเห็นได้ว่าค่าดัชนีพืชพรรณจะเริ่มลดต่ำลงเรื่อยๆ ในเดือนธันวาคม ซึ่งอาจเกิดจากเกษตรกรปล่อยให้มันสำปะหลังเริ่มปล่อยให้

มันสำปะหลังสะสมแป้งทำให้ต้นมันสำปะหลังมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ใบเริ่มร่วง ประกอบกับเกษตรกรเริ่มทยอยเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงมกราคม

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 $(NIR - green) / (NIR + green)$ โดยทั่วไปพืชจะสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มากกว่าช่วงคลื่นแสงสีเขียวและช่วงคลื่นแสงสีแดงตามลำดับเมื่อค่าต่างๆแล้วจึงเห็นว่าในบริเวณที่มีพืชปกคลุมสูงจะมีค่า NDVI สูงกว่าค่า GNDVI และค่า NDII ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม GNDVI มีค่าสูงกว่า NDVI ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน แต่ GNDVI มีค่าต่ำกว่า NDVI ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน เนื่องจากในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนเป็นช่วงที่มีพืชปกคลุมอยู่น้อย ทำให้การดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงคลื่นต่ำคล้ายลายเซ็นต์เชิงคลื่นของดินคือดินจะมีการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีเขียวและอินฟราเรดใกล้้น้อยกว่าพืชทำให้เมื่อนำมาคำนวณแล้วมีค่าต่ำ ขณะที่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายนเป็นช่วงที่มีพืชปกคลุมอยู่น้อย ทำให้การดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงคลื่นสูงโดยเฉพาะช่วงคลื่นสีแดง (Rouse et al., 1974; Gitelson et al., 1996; Hunt and Rock, 1989) ซึ่งค่า NDVI และ GNDVI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับขนาดทรงพุ่ม ขนาดพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพ คือค่า NDVI และ GNDVI จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดทรงพุ่ม ขนาดพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น (Rouse et al., 1974; Gitelson et al., 1996; Simms and Ward, 2013) ซึ่งจากความแตกต่างนี้อาจใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกระยะเติบโตของมันสำปะหลังโดยสันนิษฐานว่าเมื่อค่า NDVI สูงกว่าค่า GNDVI เป็นช่วงที่สำปะหลังเจริญเติบโตคลุมพื้นที่โดยเหลือพื้นที่ว่างซึ่งเป็นดินน้อยลง



ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกมันสำปะหลัง

ตารางที่ 11 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 11 (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

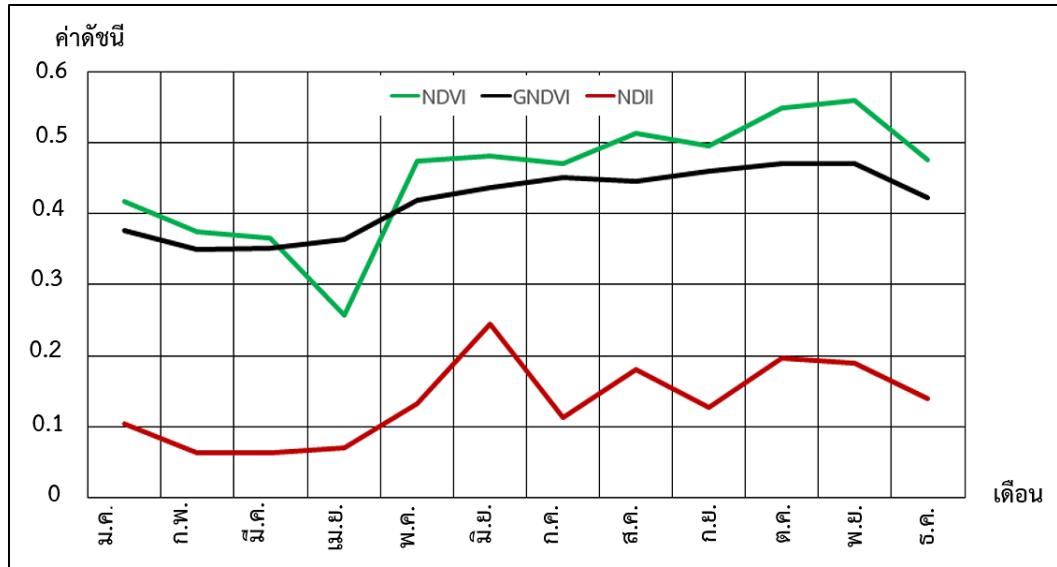
ตารางที่ 11 (ต่อ)

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) การสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของสับปรดจากข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2 จากการสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของสับปรดที่ได้จากการคำนวณดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII จากข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2 ทุกเดือน จำนวน 5 ปี และสกัดค่าโดยใช้ขอบเขตแปลงเก็บข้อมูลอ้างอิง ซึ่งจำนวนแปลงที่ใช้สกัดค่า (N) ในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากันเนื่องจากบางแปลงมีเมฆปกคลุม (ภาพที่ 17 และ ตารางที่ 12) พบว่า ค่าดัชนีต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนจะมีค่าดัชนีพืชพรรณต่ำและค่อยๆ เพิ่มขึ้นในเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนพฤศจิกายนและเริ่มลดลงอีกครั้งในเดือนธันวาคมและลดต่อเนื่องในเดือนมกราคมจนถึงเดือนเมษายนในปีถัดไป และพบว่า NDVI มีค่าสูงกว่า GNDVI และ NDII ตลอดทั้งปี ทั้งนี้เนื่องจากการปลูกสับปรดส่วนใหญ่จะเป็นการปลูกต่อเนื่อง 4-5 ปีจึงมีการรื้อแปลง (สถาบันวิจัยพืชสวน, 2560) แปลงที่เก็บข้อมูลส่วนใหญ่เป็นแปลงที่มีการปลูกต่อเนื่องมีเพียง 2-3 แปลงที่มีการรื้อแปลงแล้วปลูกใหม่ จึงทำให้แปลงมีพืชปกคลุมตลอดเวลา ซึ่งโดยทั่วไปในบริเวณที่มีพืชปกคลุมจะมีค่า NDVI สูงกว่าค่า GNDVI พืชจะมีค่าสะท้อนคลื่นแสงสีแดงต่ำกว่าคลื่นแสงสีเขียวเมื่อมีการนำมาคำนวณกับค่าการสะท้อนคลื่นอินฟราเรดใกล้จึงทำให้มีค่าสูงกว่า (Simms and Ward, 2013)

พบว่าค่าดัชนีต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยทั้ง 3 คล้ายกัน คือมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์และค่อนข้างคงที่ถึงเดือนเมษายนแล้วค่าดัชนีพืชพรรณเริ่มสูงขึ้นจนถึงเดือนมิถุนายนแล้วลดลงเล็กน้อยในเดือนกรกฎาคม แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนสิงหาคมและเพิ่มต่อเนื่องและสูงสุดในเดือนตุลาคมแล้ว ลดลงอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายนต่อเนื่องถึงธันวาคม และมกราคมในปีถัดไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีลักษณะคล้ายการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณน้ำฝนในแต่ละช่วงของจังหวัดราชบุรี ซึ่งฝนในจังหวัดราชบุรีมี 2 ช่วง โดยช่วงแรกเริ่มตกในเดือนกุมภาพันธ์และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสูงสุดของช่วงแรกในเดือนพฤษภาคมจากนั้นปริมาณฝนตกลงในมิถุนายนและปริมาณฝนค่อนข้างคงที่ถึงเดือนสิงหาคม จากนั้นฝนเริ่มตกเพิ่มขึ้นในเดือนกันยายน และตกสูงสุดในช่วงที่ 2 ในเดือนตุลาคม และลดลงในเดือนพฤศจิกายนต่อเนื่องถึงธันวาคม

ดัชนี NDVI มีค่าสูงกว่าดัชนี GNDVI และ ดัชนี NDII เกือบทุกเดือน ซึ่งอาจเกิดจากสับปรดเป็นพืชที่มีการปลูกต่อเนื่องหลายปีและแปลงที่ทำการศึกษามีขนาดใหญ่เป็นการปลูกข้ามปีทำให้ไม่มีช่วงที่มีการรื้อแปลงค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้จึงเป็นดัชนีพืชพรรณของพืชซึ่งโดยปกติจะมีค่าสูง และนอกจากนี้สับปรดเป็นพืชที่ไม่มีการผลัดใบทำให้มีใบสำหรับสังเคราะห์ด้วยแสงตลอดเวลาจากแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง แต่ในเดือนเมษายนพบว่าค่า NDVI ต่ำกว่าค่า GNDVI อาจเกิดจากเป็นช่วงหน้าแล้งพืชมีการชะงักการเจริญเติบโต



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกสับปะรด

ตารางที่ 12 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 12 (ต่อ)

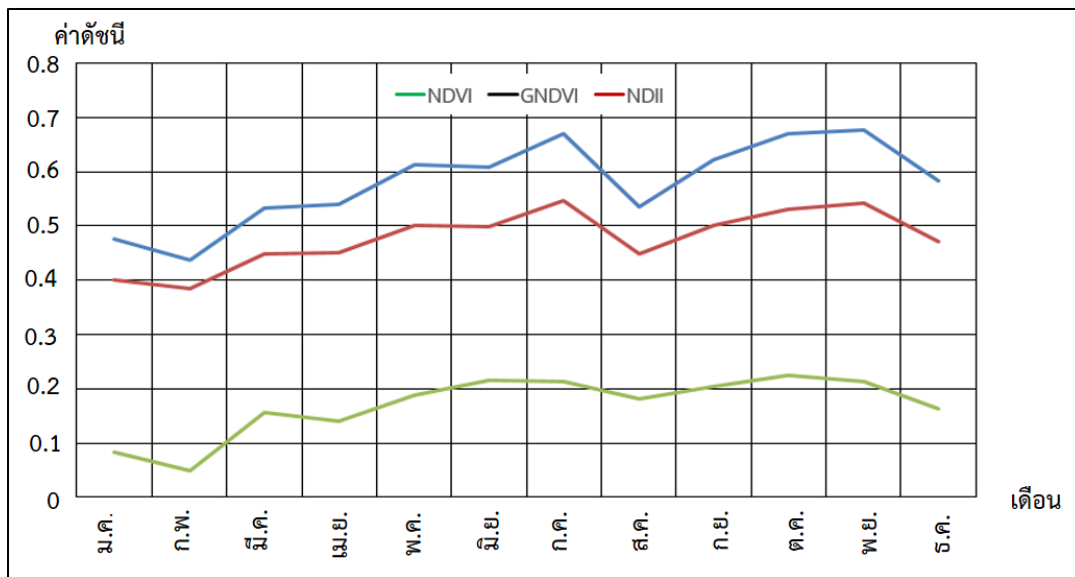
ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2563	มกราคม	0.233	0.423	0.342	0.257	0.393	0.321	-0.143	0.187	0.026
	กุมภาพันธ์	0.221	0.434	0.321	0.224	0.445	0.327	-0.136	0.137	-0.006
	มีนาคม	0.221	0.457	0.345	0.272	0.402	0.344	-0.195	0.141	-0.004
	เมษายน	0.112	0.529	0.279	0.186	0.393	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 12 (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) การสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของยางพาราจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 จากการสร้างฐานข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของยางพาราที่ได้จากการคำนวณดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ทุกเดือน จำนวน 5 ปี (ภาพที่ 18 และ ตารางที่ 13) พบว่าค่าดัชนีต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยทั้ง 3 คล้ายกัน คือมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์และค่อนข้างคงที่ถึงเดือนเมษายนแล้วค่าดัชนีพืชพรรณเริ่มสูงขึ้นจนถึงเดือนมิถุนายนแล้วลดลงเล็กน้อยในเดือนกรกฎาคม แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนสิงหาคมและเพิ่มต่อเนื่องและสูงสุดในเดือนตุลาคมแล้ว ลดลงอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายนต่อเนื่องถึงธันวาคม และมกราคมในปีถัดไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีลักษณะคล้ายการเพิ่มขึ้นและลดลงในแต่ละช่วงของจังหวัดราชบุรี ซึ่งฝนในจังหวัดราชบุรีมี 2 ช่วง โดยช่วงแรกเริ่มตกในเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ย มิลลิเมตรและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสูงสุดของช่วงแรกในเดือนพฤษภาคมจากนั้นปริมาณฝนตกลดลงในมิถุนายนและปริมาณฝนค่อนข้างคงที่ถึงเดือนสิงหาคม จากนั้นฝนเริ่มตกเพิ่มขึ้นในเดือนกันยายน และตกสูงสุดในช่วงที่ 2 ในเดือนตุลาคม และลดลงในเดือนพฤศจิกายนต่อเนื่องถึงธันวาคม

ดัชนี NDVI มีค่าสูงกว่าดัชนี GNDVI และดัชนี NDII ในทุกเดือนเนื่องจากยางพาราเป็นไม้ยืนต้นที่มีการผลัดใบทำให้ มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณใบสำหรับสังเคราะห์ด้วยแสงคลิ่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ค่าดัชนีต่างๆ มีแนวโน้มลดลงในบางเดือน เช่น ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน และพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม ช่วงดังกล่าวมีฝนตกน้อยทำให้พืชมีน้ำใช้สำหรับการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตน้อยลงซึ่งมีผลต่อการมีผลต่อการดูดซับคลิ่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงโดยเฉพาะช่วงคลิ่นแสงสีแดงและแสงสีเขียว ประกอบกับยางพาราเป็นพืชที่มีการผลัดใบในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งการผลัดใบของยางพาราจะทำให้ต้นยางพารามีใบน้อยลง (Azizan et al., 2021) พื้นที่ใบในการดูดซับพลังงานคลิ่นแม่เหล็กไฟฟ้าน้อยลงทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณลดลง (Rouse et al., 1974; Gitelson et al., 1996; Simms and Ward, 2013)



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกยางพารา

ตารางที่ 13 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 13 (ต่อ)

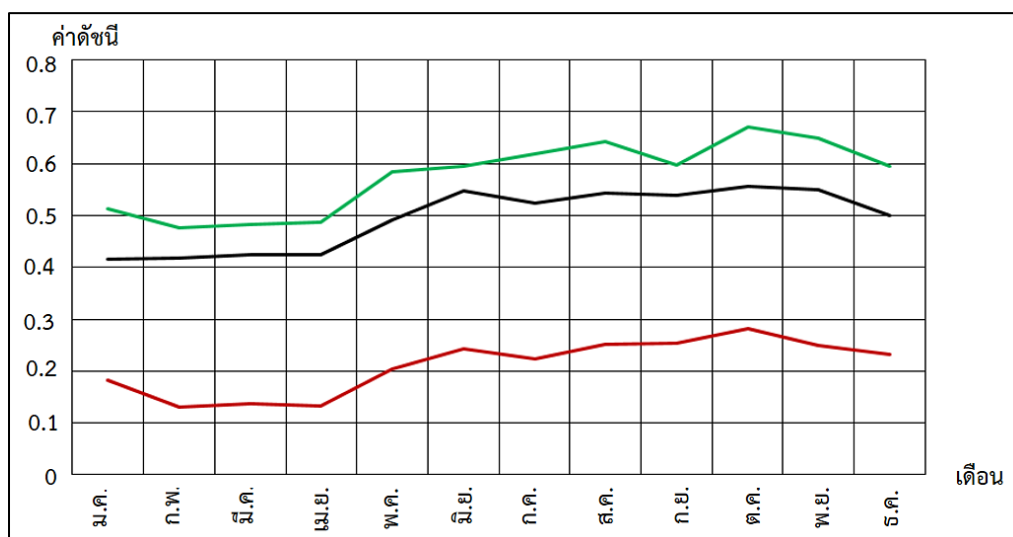
ปี	เดือน	NDVI			GNDVI			NDII		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2563	มกราคม	0.214	0.673	0.446	0.099	0.535	0.380	-0.085	0.219	0.077
	กุมภาพันธ์	0.352	0.698	0.522	0.305	0.597	0.452	-0.094	0.284	0.119
	มีนาคม	0.261	0.655	0.502	0.278	0.526	0.425	-0.157	0.282	0.096
	เมษายน	0.200	0.615	0.425	0.186	0.494	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 13 (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) การการสร้างฐานข้อมูลสายเซ็นต์เชิงคลื่นของปาล์มน้ำมันจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 จากการสร้างฐานข้อมูลสายเซ็นต์เชิงคลื่นของปาล์มน้ำมันที่ได้จากการคำนวณดัชนีพืชพรรณ 3 ชนิด ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI และดัชนี NDII จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ทุกเดือน จำนวน 5 ปี (ภาพที่ 19 และ ตารางที่ 14) พบว่าค่าดัชนีต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยทั้ง 3 คล้ายกัน คือมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์และค่อนข้างคงที่ถึงเดือนเมษายนแล้วค่าดัชนีพืชพรรณเริ่มสูงขึ้นจนถึงเดือนมิถุนายนแล้วลดลงเล็กน้อยในเดือนกรกฎาคม แล้วเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนสิงหาคม และเพิ่มต่อเนื่องและสูงสุดในเดือนตุลาคมแล้ว ลดลงอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายนต่อเนื่องถึงธันวาคม และมกราคมในปีถัดไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้มีลักษณะคล้ายการเพิ่มขึ้นและลดลงในแต่ละช่วงของจังหวัดราชบุรี ซึ่งฝนในจังหวัดราชบุรีมี 2 ช่วง โดยช่วงแรกเริ่มตกในเดือนกุมภาพันธ์ และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสูงสุดของช่วงแรกในเดือนพฤษภาคมจากนั้นปริมาณฝนตกลงในมิถุนายนและปริมาณฝนค่อนข้างคงที่ถึงเดือนสิงหาคม จากนั้นฝนเริ่มตกเพิ่มขึ้นในเดือนกันยายน และตกสูงสุดในช่วงที่ 2 ในเดือนตุลาคม และลดลงในเดือนพฤศจิกายนต่อเนื่องถึงธันวาคม

ดัชนี NDVI มีค่าสูงกว่าดัชนี GNDVI และดัชนี NDII ในทุกเดือนเนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นไม้ยืนต้นที่ไม่มีการผลัดใบทำให้ มีใบสำหรับสังเคราะห์ที่ดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง แต่อย่างไรก็ตามค่าดัชนีต่างๆมีแนวโน้มลดลงในบางเดือน เช่น ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน และพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม ช่วงดังกล่าวมีฝนตกน้อยทำให้พืชมีน้ำใช้สำหรับการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตน้อยลงซึ่งมีผลต่อการมีผลต่อการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วง โดยเฉพาะช่วงคลื่นแสงสีแดงและแสงสีเขียว (Rouse et al., 1974; Gitelson et al., 1996; Simms and Ward, 2013) แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ไม่ผลัดใบในฤดูแล้งจึงทำให้ความแตกต่างของค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันตลอดทั้งปี



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ย 5 ปี ของค่าดัชนีพืชพรรณในรอบปีของแปลงปลูกปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 14 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 14 (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 14 (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	0.36	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	0.43	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	

4.2 การศึกษารูปแบบการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี

4.2.1 รูปแบบการเพาะปลูกอ้อยจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี

จากการศึกษาการเจริญเติบโตอ้อยโดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางซีพลักซ์ต่างๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ของอ้อยจำนวน 40 แปลง (ตารางที่ 15) พบว่า เกษตรกรมีการปลูกอ้อย 2 แบบ ได้แก่ เริ่มต้นปลูกใหม่ และตัดแล้วปล่อยให้อ้อยเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ซึ่งเรียกว่า อ้อยต่อ ซึ่งเกษตรกรจะปล่อยให้อ้อยเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ 2-5 ครั้งแล้วจึงรื้อแปลงปลูกใหม่ สำหรับอ้อยที่เริ่มปลูกใหม่จะมีการปลูก 2 ช่วง ได้แก่ เมษายนถึงกรกฎาคม และตุลาคมถึงมีนาคม และเกษตรกรเริ่มเก็บเกี่ยวในเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน ซึ่งการเริ่มต้นวันปลูกที่ต่างกันให้อ้อยปีที่ 1 และตัดแล้วปล่อยให้อ้อยเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ในช่วงเวลาที่ต่างกันส่งผลให้ระยะเวลาการเจริญเติบโตของอ้อยในแปลงที่ต่างกันส่งผลต่ออายุต้นในวันเก็บ แต่อย่างไรก็ตามอ้อยในแปลงศึกษาเป็นอ้อยต่อที่มีเก็บเกี่ยวเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคมซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางซีพลักซ์ต่างๆ ของอ้อยมีดังนี้

1) ความสูง ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 20) ความสูงเฉลี่ยของอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565 และพบว่าในช่วงเดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนมีนาคม 2565 ค่าความสูงมีความแปรปรวนสูงเนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเกษตรกรมีการทยอยเก็บเกี่ยวอ้อย และความแปรปรวนเริ่มลดลงในเดือนเมษายนซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเกษตรกรส่วนใหญ่เก็บเกี่ยวแล้วและปล่อยให้อ้อยงอกขึ้นมาใหม่

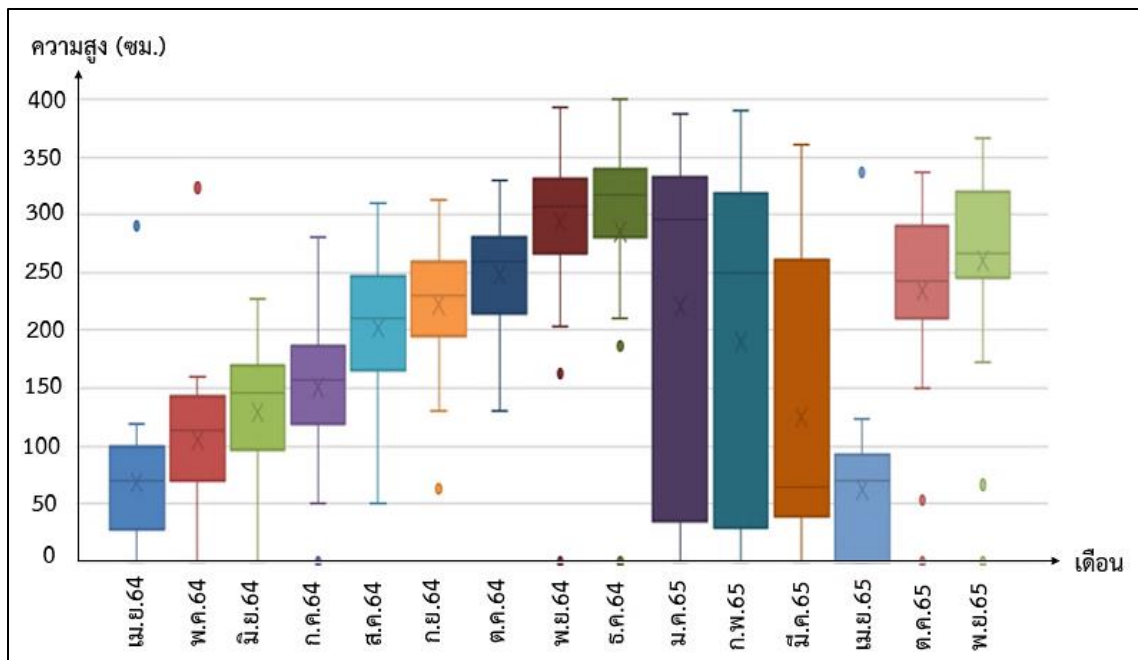
2) ความกว้างทรงพุ่ม มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูงคือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 21) ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยของอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565 และพบว่าความกว้างทรงพุ่มของอ้อยมีความแปรปรวนสูงในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนเนื่องจากในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมอ้อยบางส่วนถูกเก็บเกี่ยวและยังไม่มีงอกขึ้นมาใหม่ ขณะที่ในเดือนเมษายนมีอ้อยบางส่วนเริ่มงอกและเติบโตทำให้สามารถวัดขนาดทรงพุ่มได้อีกครั้ง

3) ขนาดลำต้น มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูงคือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 22) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึงเดือนพฤศจิกายน 2565 และพบว่าขนาดลำต้นของอ้อยมีความแปรปรวนสูงในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนเนื่องจากในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมอ้อยบางส่วนถูกเก็บเกี่ยวและยังไม่มีงอกขึ้นมาใหม่ ขณะที่ในเดือนเมษายนมีอ้อยบางส่วนเริ่มงอกและเติบโตทำให้สามารถวัดขนาดลำต้นได้อีกครั้ง

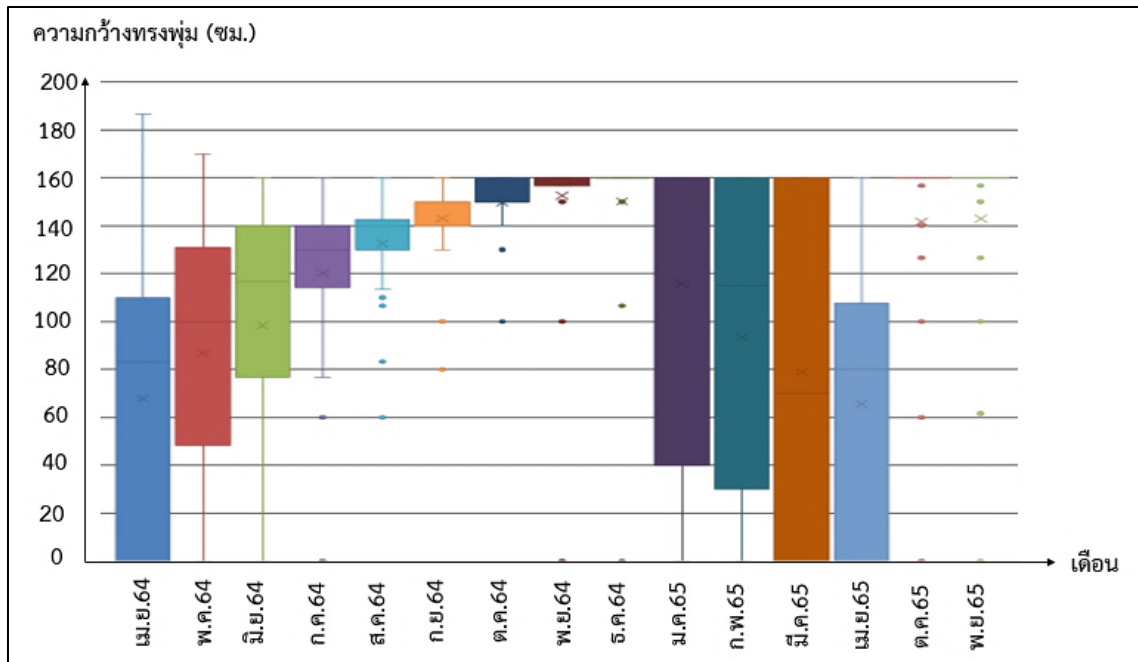
4) ปริมาณคลอโรฟิลล์ มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูงคือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 23) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของอ้อยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงใน

เดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565

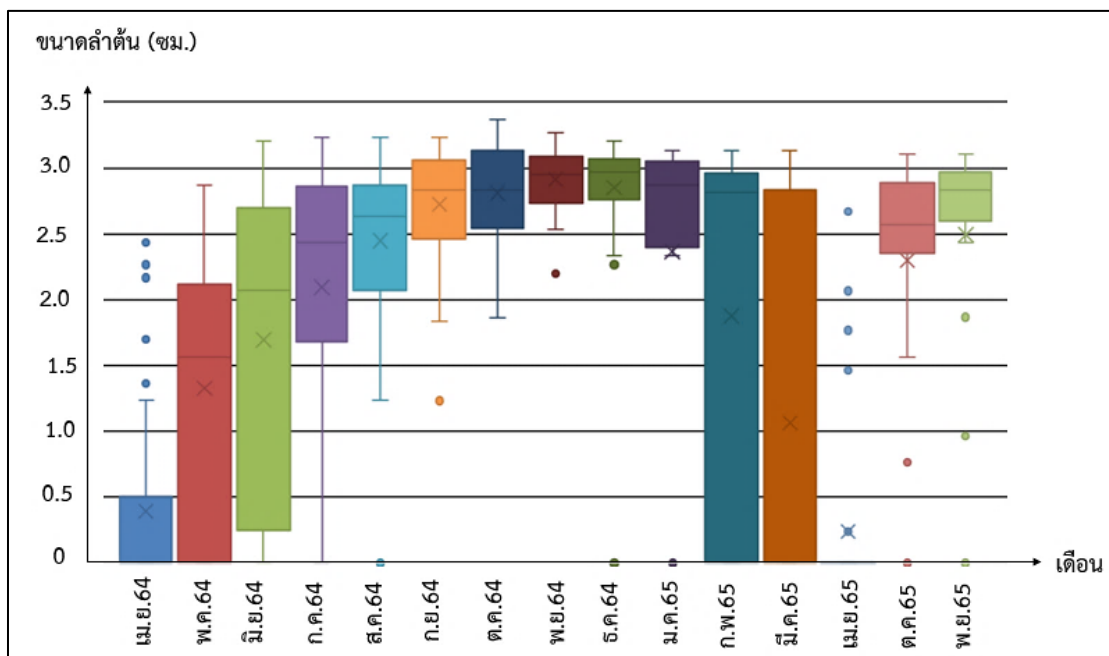
5) จากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงทางซีพลักษณ์ต่างๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม มีความแปรปรวนสูง เนื่องจากมีหลายช่วงอายุตั้งแต่แปลงที่มีการเก็บเกี่ยวทำให้ค่าซีพลักษณ์ต่างๆ มีค่าเป็นศูนย์ และแปลงที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่พร้อมเก็บเกี่ยวซึ่งค่าซีพลักษณ์ต่างๆ มีค่า ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีพืชพรรณโดยการนำค่าความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ มาปรับมาตราส่วน เพื่อใช้ดูลักษณะแนวโน้ม ซึ่งพบว่าค่าซีพลักษณ์ต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีต่างๆ ในรอบปี (ภาพที่ 24)



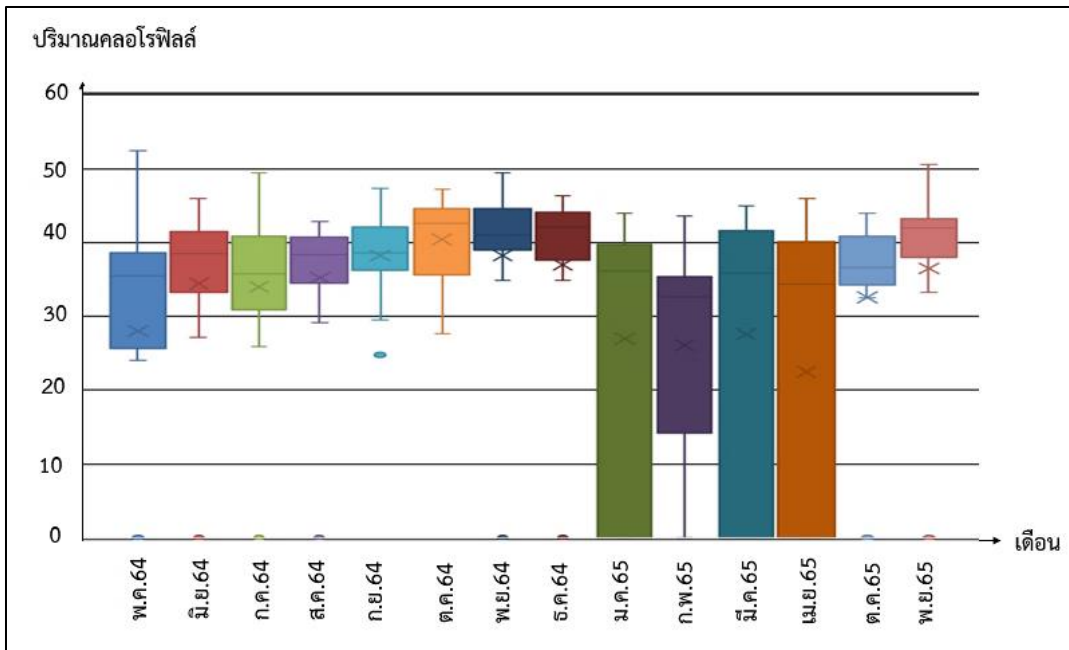
ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความสูงของอ้อยช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



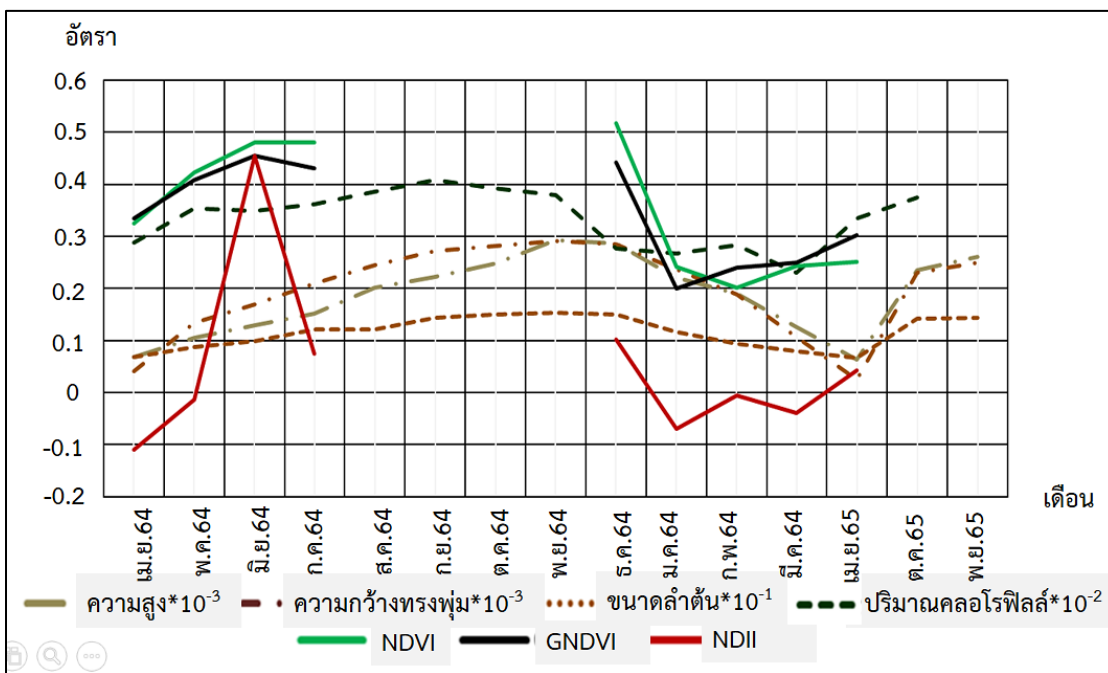
ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของอ้อยช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ด้านขนาดลำต้นของอ้อยช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ของอ้อยช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะและค่าดัชนีพืชพรรณของอ้อยช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565

ตารางที่ 15 การเจริญเติบโตของอ้อยช่วง พ.ศ. 2564 - 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
2565	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
	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	

4.2.2 รูปแบบการเพาะปลูกมันสำปะหลังจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี จากการศึกษาค่าการเจริญเติบโตมันสำปะหลังโดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางชีพลักษณะต่างๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ จำนวน 80 แปลง พบว่า เกษตรกรมีการปลูก เก็บเกี่ยว และปล่อยแปลงว่างตลอดทั้งปี พบว่าจำนวนแปลงที่มีการปลูกน้อยที่สุดอยู่ในเดือนเมษายน 2564 จำนวน 38 แปลง และปลูกมากที่สุดในเดือนกันยายน 2564 จำนวน 68 แปลง ทำให้ค่าทางชีพลักษณะในแต่ละเดือนค่อนข้างแปรปรวน (ตารางที่ 16) ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

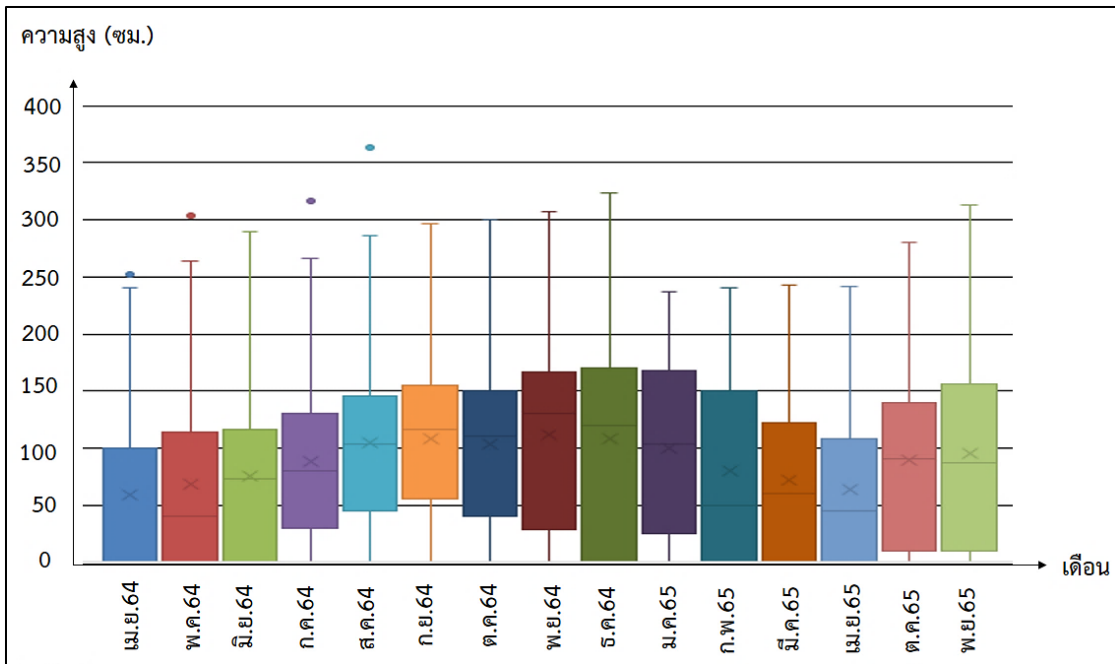
1) ความสูง ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 25) ความสูงเฉลี่ยของมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนเมษายน 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนตุลาคม ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565 และพบว่าในช่วงเดือนธันวาคม 2564 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2565 ค่าความสูงมีความแปรปรวนสูงเนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าว เกษตรกรมีการทยอยเก็บเกี่ยวและความแปรปรวนเริ่มลดลงในเดือนมีนาคมซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเกษตรกรเริ่มปลูกมันสำปะหลังในเดือนกุมภาพันธ์และเริ่มงอกในเดือนธันวาคม

2) ความกว้างทรงพุ่ม มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูงคือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 26) ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยของมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนกุมภาพันธ์ 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565

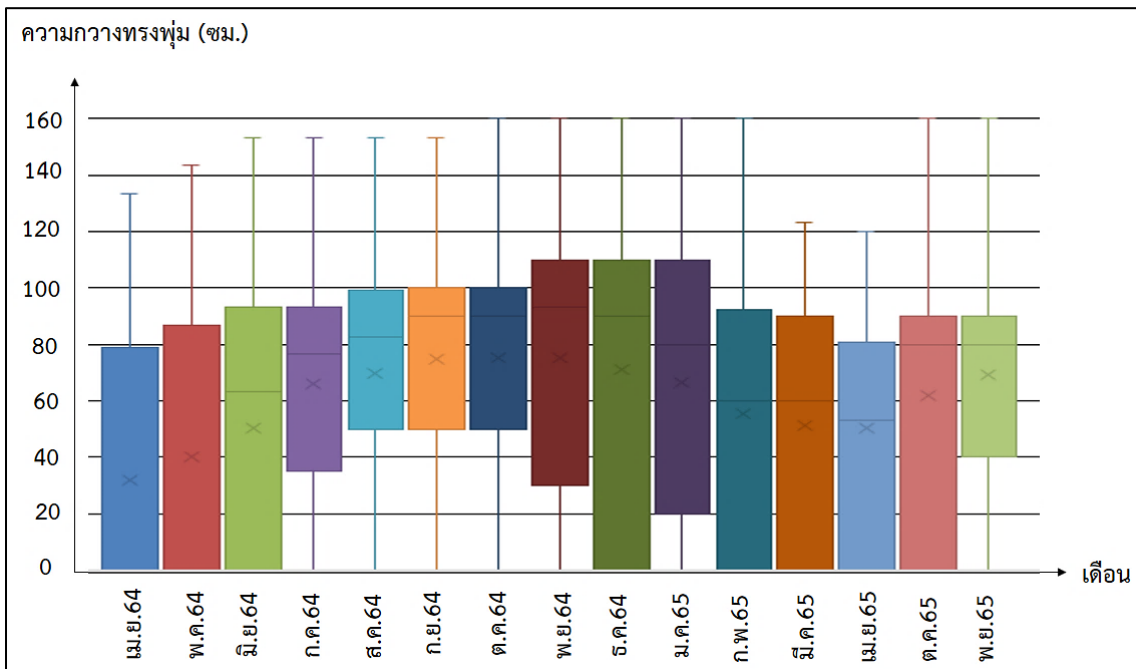
3) ขนาดลำต้น มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูงคือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 27) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565

4) ปริมาณคลอโรฟิลล์ มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูงคือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 28) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยของมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565

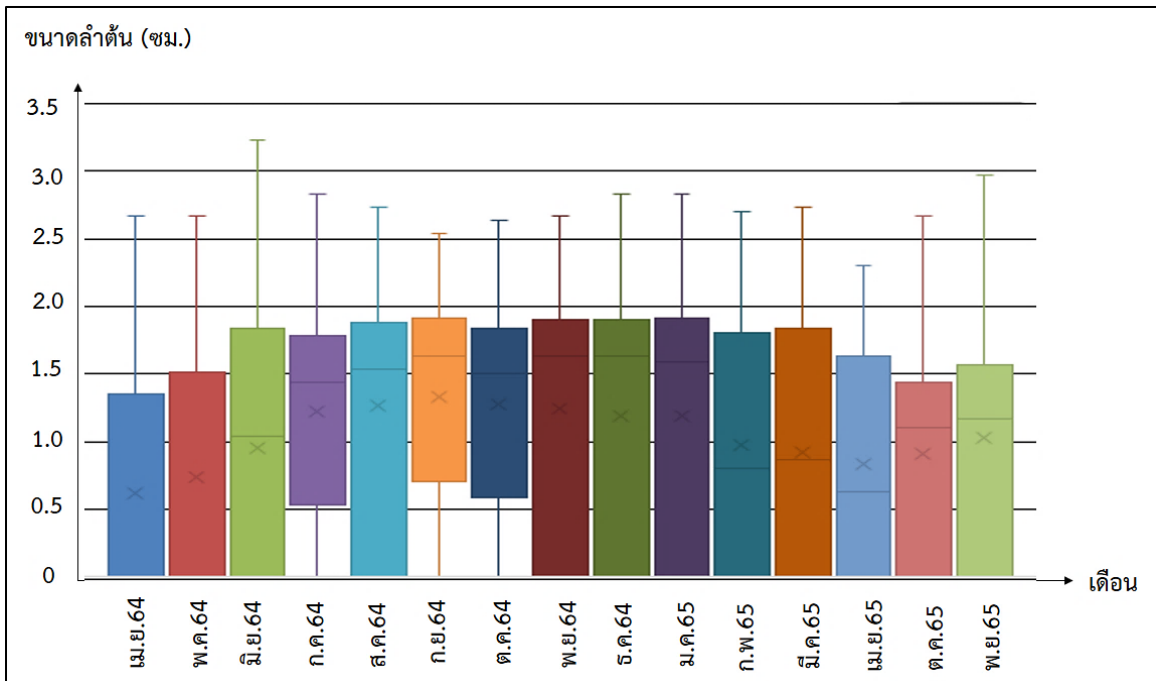
5) จากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงทางชีพลักษณะต่างๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมมีความแปรปรวนสูง เนื่องจากมีหลายช่วงอายุตั้งแต่แปลงที่มีการเก็บเกี่ยวทำให้ค่าชีพลักษณะต่างๆ มีค่าเป็นศูนย์ และแปลงที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่พร้อมเก็บเกี่ยวซึ่งค่าชีพลักษณะต่างๆ มีค่า ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีพืชพรรณโดยการนำค่าความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ มาปรับมาตรฐานส่วน เพื่อใช้ดูลักษณะแนวโน้ม ซึ่งพบว่าค่าชีพลักษณะต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีต่างๆ ในรอบปี (ภาพที่ 29)



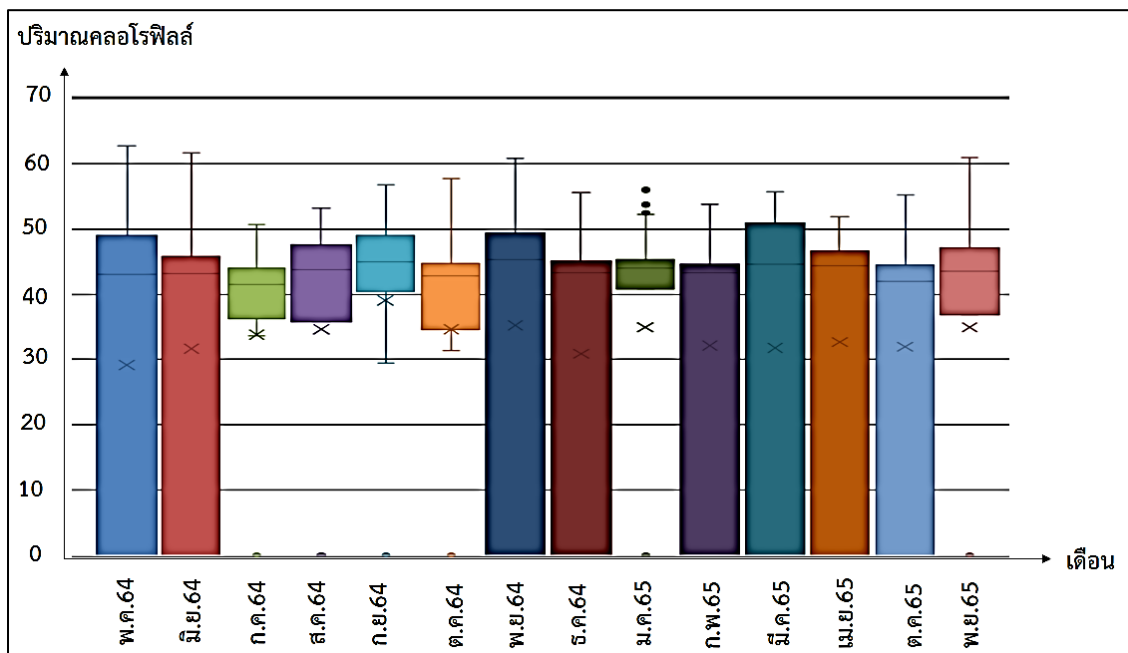
ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ด้านความสูงของน้ำมันสำปะหลังช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



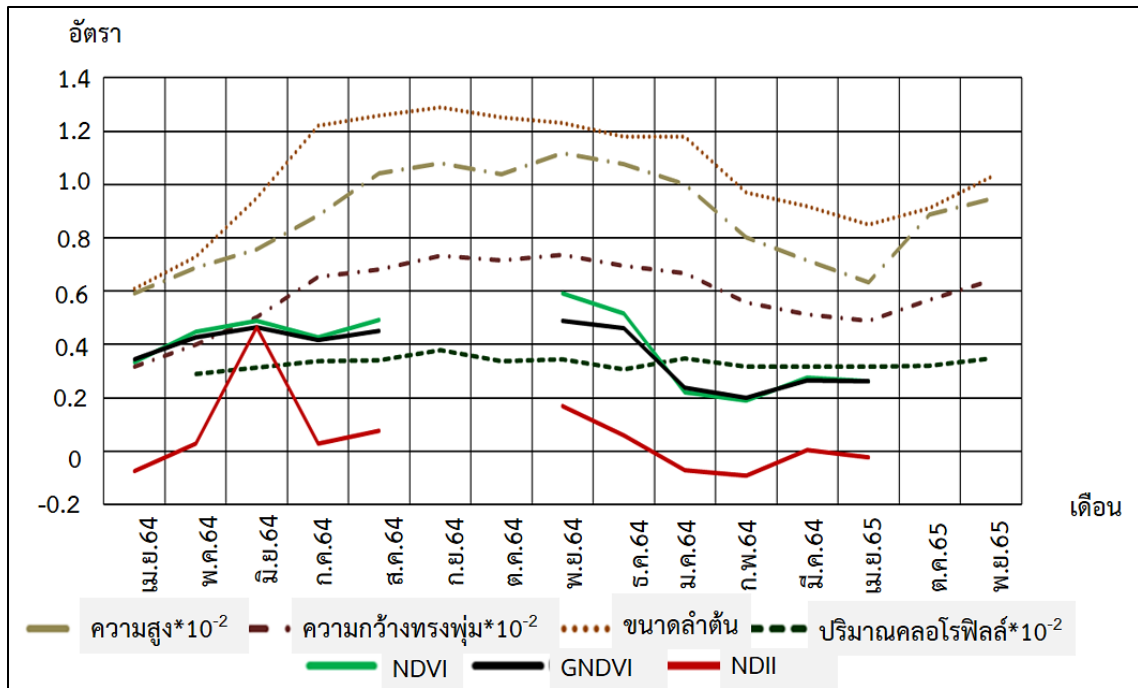
ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ด้านความกว้างทรงพุ่มของน้ำมันสำปะหลังช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ณด้านขนาดลำต้นของมันสำปะหลังช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ณด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ของมันสำปะหลังช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงซีพลีทัศน์และค่าดัชนีพืชพรรณของมันสำปะหลังช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565

ตารางที่ 16 การเจริญเติบโตของมັນสำปะหลังช่วง พ.ศ. 2564 – 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
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

4.2.3 รูปแบบการเพาะปลูกสับปรดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี

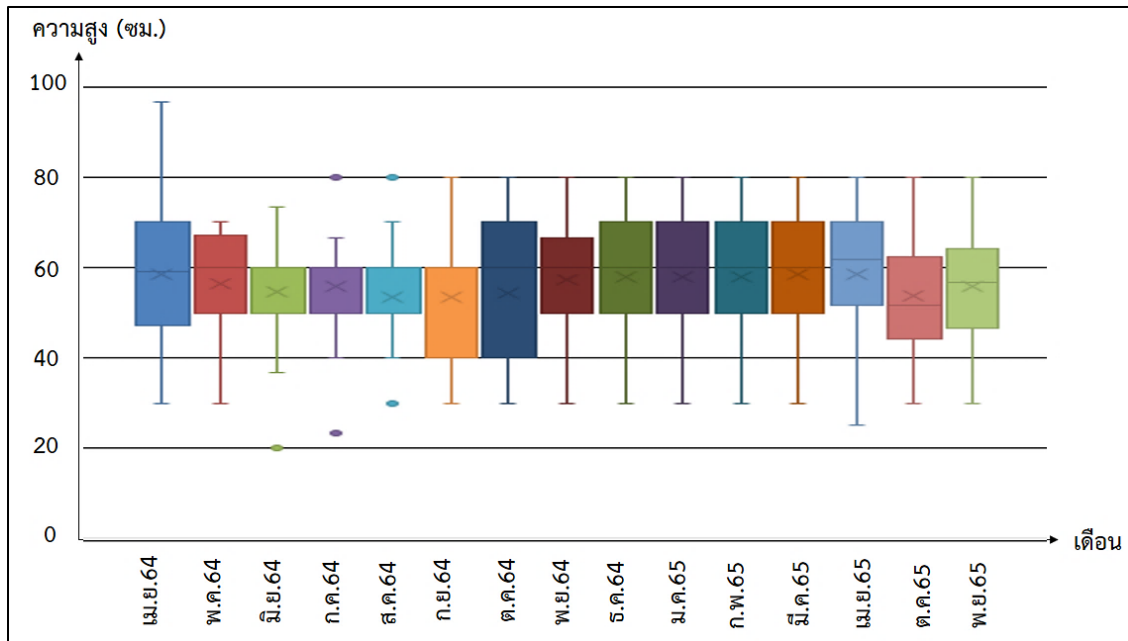
จากการศึกษาการเจริญเติบโตสับปรดโดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางซีฟลักษณะต่างๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ จำนวน 24 แปลง พบว่า

1) ความสูง ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 30) ความสูงเฉลี่ยของสับปรดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565 และพบว่าในช่วงเดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนมีนาคม 2565 ค่าความสูงมีความแปรปรวนสูงเนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเกษตรกรมีการทยอยเก็บเกี่ยวสับปรด และความแปรปรวนเริ่มลดลงในเดือนเมษายนซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเกษตรกรส่วนใหญ่เก็บเกี่ยวแล้วและปล่อยให้อ้อยงอกขึ้นมาใหม่

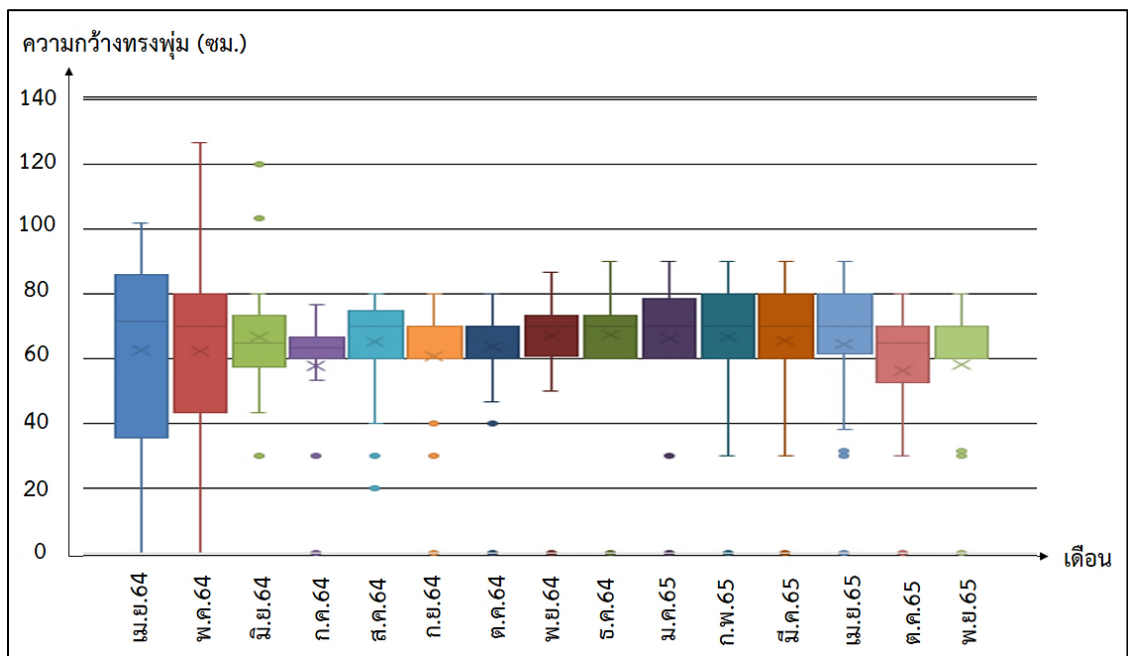
2) ความกว้างทรงพุ่ม มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูงคือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 31) ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ยของสับปรดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และเริ่มลดลงในเดือนมกราคม 2565 และลดต่ำสุดในเดือนมีนาคม 2565 และค่อยๆ เพิ่มอีกครั้งระหว่างเดือนเมษายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2565

3) ปริมาณคลอโรฟิลล์ มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายความสูงคือ ช่วงเดือนเมษายน 2564 ถึงเดือนธันวาคม 2564 (ภาพที่ 32) ปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบสับปรดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปีแต่แตกต่างกันไม่มากนัก แต่อย่างไรก็ตามพบว่าสับปรดจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในช่วงแล้งต่ำ เช่น ในช่วงเดือนตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน ขณะที่ช่วงที่มีฝนตกจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงขึ้น เช่น เดือนเดือนพฤษภาคม และเดือนกันยายน และคลอโรฟิลล์ในใบสับปรดมีแนวโน้มลดลงในช่วงที่มีฝนทิ้งช่วงระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม ซึ่งเกิดจากสับปรดส่วนใหญ่ไม่มีระบบการให้น้ำ อาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียวจึงทำให้มีน้ำในการเจริญเติบโตน้อย จึงทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง

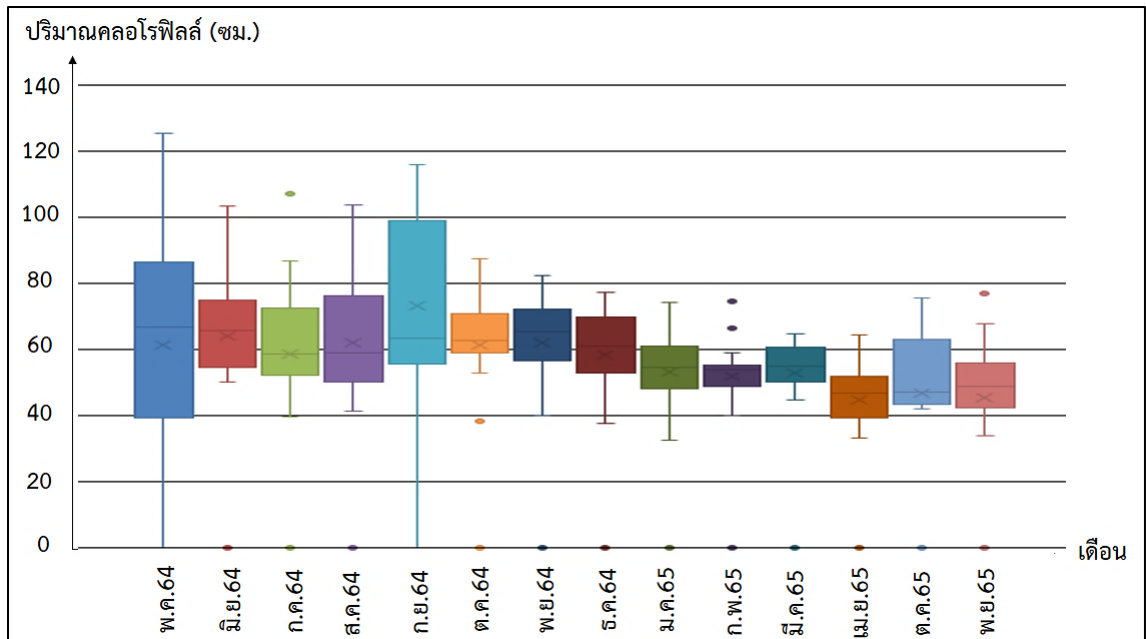
4) จากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงทางซีฟลักษณะต่างๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมมีความแปรปรวนสูง เนื่องจากมีหลายช่วงอายุตั้งแต่แปลงที่มีการเก็บเกี่ยวทำให้ค่าซีฟลักษณะต่างๆ มีค่าเป็นศูนย์และแปลงที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่พร้อมเก็บเกี่ยวซึ่งค่าซีฟลักษณะต่างๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีพืชพรรณที่ทำการปรับมาตรฐานโดยการนำค่าความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ คูณ 10^{-2} เพื่อใช้ดูลักษณะแนวโน้ม ซึ่งพบว่าค่าซีฟลักษณะต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีต่างๆ ในรอบปี (ภาพที่ 33)



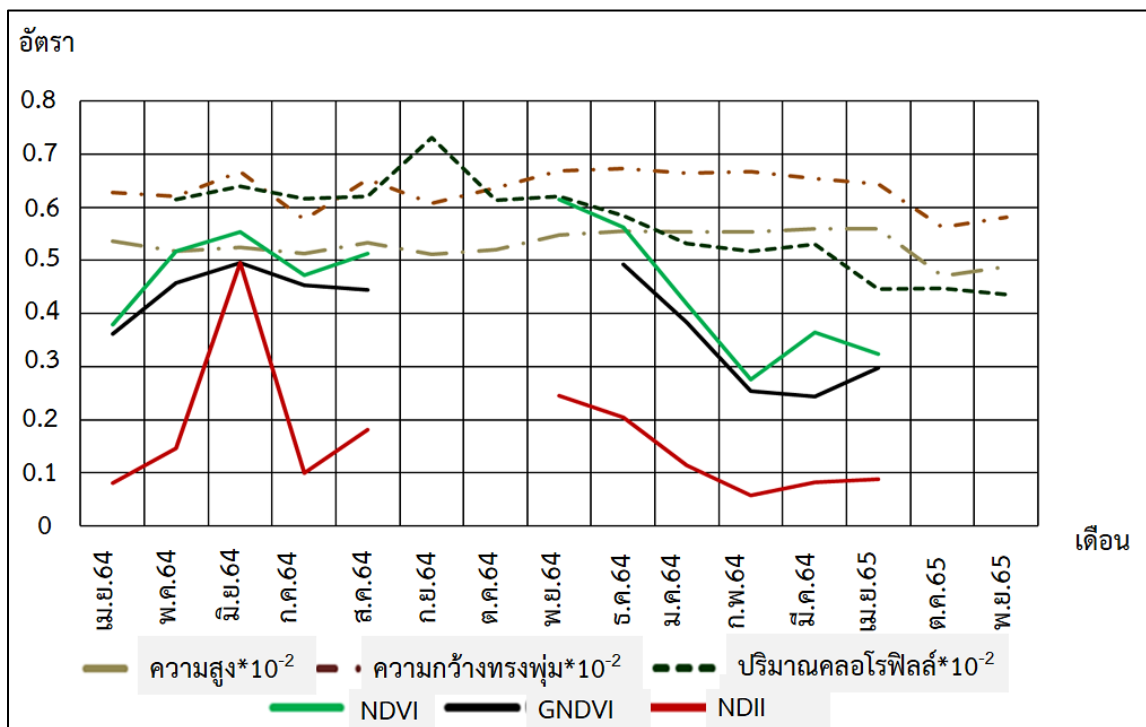
ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านความสูงของสับปรดช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านความกว้างทรงพุ่มของสับปรดช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของสับปะรดช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



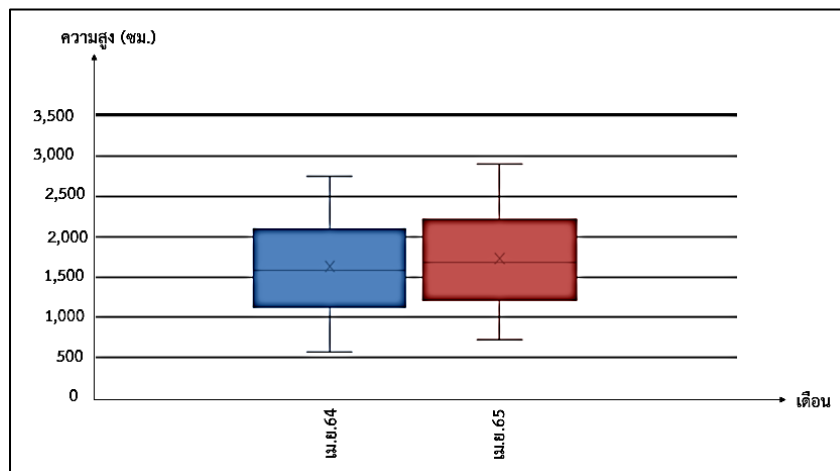
ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะและค่าดัชนีพืชพรรณของสับปะรดช่วง พ.ศ.2564 - พ.ศ.2565

ตารางที่ 17 การเจริญเติบโตของสับประสมระหว่างเดือนเมษายน 2564-256

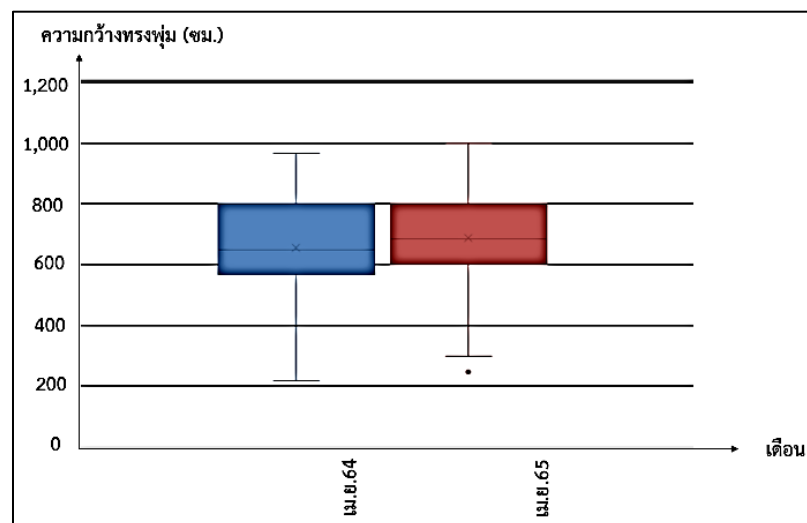
ปี	เดือน	ความสูง (ซ.ม.)			ความกว้างทรงพุ่ม (ซ.ม.)			ปริมาณคลอโรฟิลล์		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2564	เมษายน	0.00	96.67	53.68	0.00	101.67	62.74	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤษภาคม	0.00	70.00	51.67	0.00	126.67	62.08	0.00	125.40	61.45
	มิถุนายน	0.00	73.33	52.50	30.00	120.00	66.81	0.00	103.53	63.93
	กรกฎาคม	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
2565	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
	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
	พฤษภาคม	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	

4.2.4 รูปแบบการเพาะปลูกยางพาราจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี

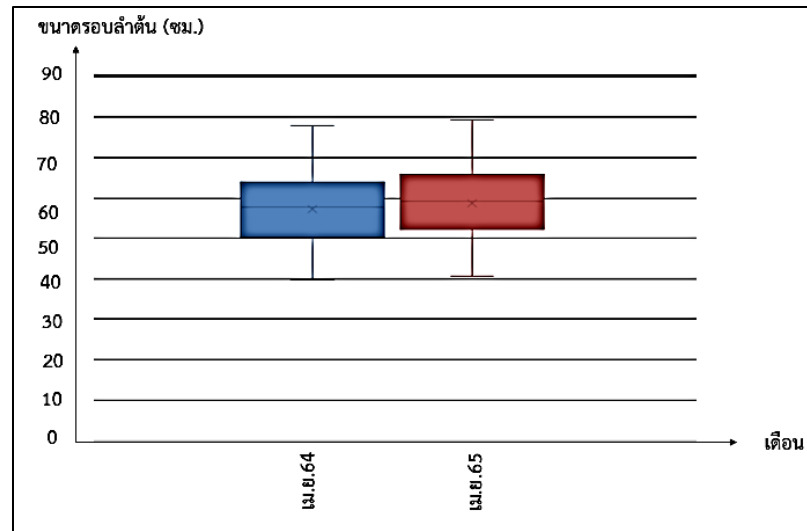
จากการศึกษาการเจริญเติบโตของยางพาราโดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางซีพีลักษณะต่างๆ ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ จำนวน 47 แปลง (ภาพที่ 34-37 และตารางที่ 18) พบว่า ค่าเฉลี่ยความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และขนาดลำต้นของยางพาราเพิ่มขึ้นจากเดือนเมษายน 2564 ถึง เมษายน 2565 และค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยช่วงฤดูฝนยางพาราจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงกว่าฤดูแล้งและยางพารามีการผลัดใบในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งการผลัดใบของยางพาราจะทำให้ต้นยางพารามีใบน้อยลง (Azizan et al., 2021)



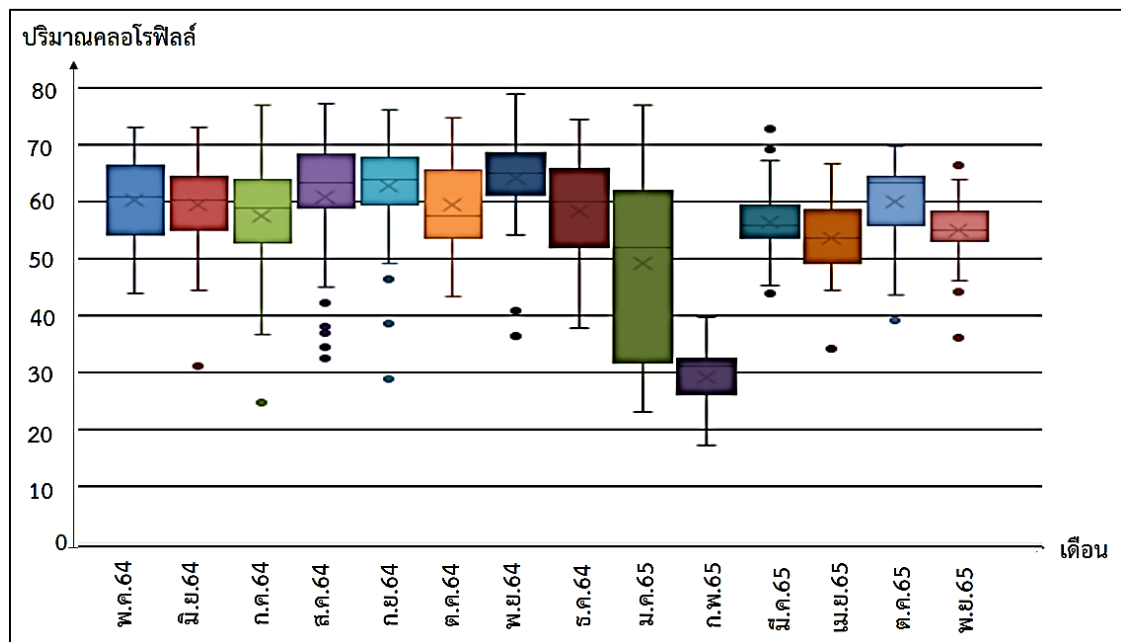
ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านความสูงของยางพาราช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านความกว้างทรงพุ่มของยางพาราช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ด้านขนาดรอบลำต้นของยางพาราช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



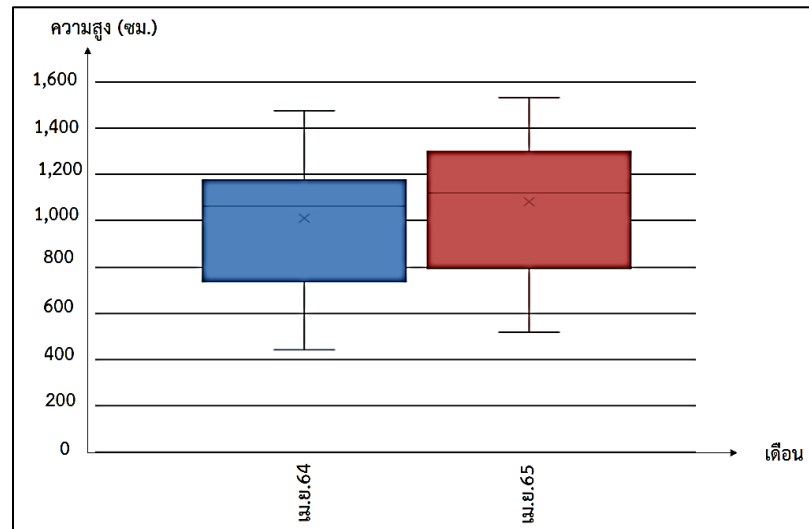
ภาพที่ 37 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบยางพาราช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565

ตารางที่ 18 การเจริญเติบโตของยางพาราช่วง พ.ศ. 2564 – พ.ศ. 2565

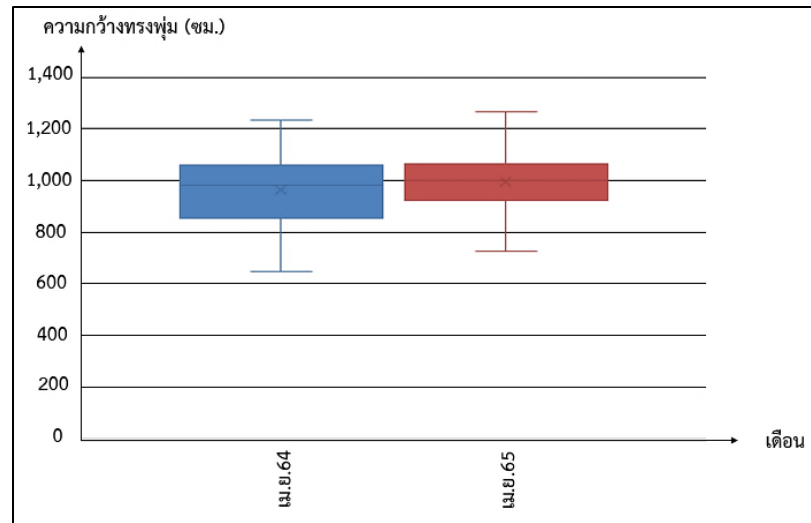
ปี	เดือน	ความสูง (ซ.ม.)			ความกว้างทรงพุ่ม (ซ.ม.)			ขนาดลำต้น (ซ.ม.)			ปริมาณคลอโรฟิลล์		
		Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
2564	เมษายน	570.00	2753.33	1630.29	216.70	966.67	655.46	17.67	78.00	56.43	n.d.	n.d.	n.d.
	พฤษภาคม	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	44.00	73.07	60.28
	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
2565	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
	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
	พฤษภาคม	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	

4.2.5 รูปแบบการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี

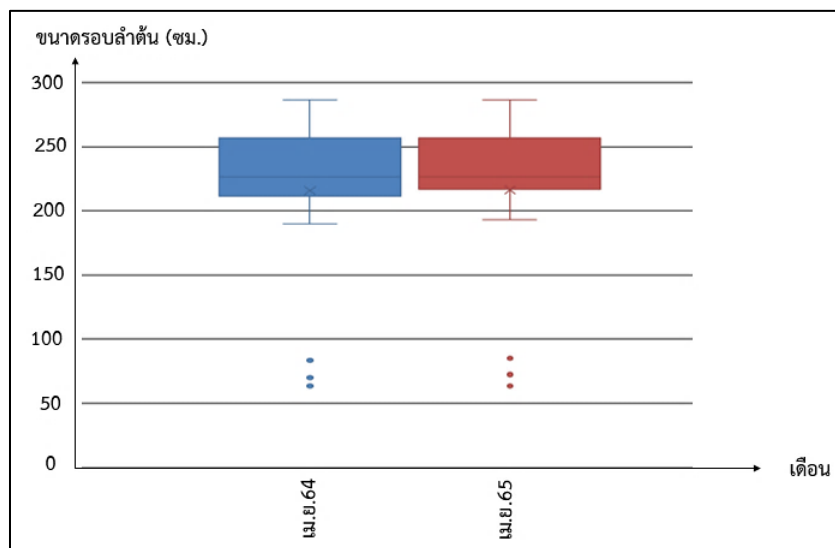
จากการศึกษาการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดเส้นรอบลำต้น และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ของปาล์มน้ำมันจำนวน 28 แปลง (ตารางที่ 19 และภาพที่ 38 - 41) พบว่า ค่าเฉลี่ยความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และขนาดลำต้นของปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นจากเดือนเมษายน 2564 ถึง เมษายน 2565 และค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี และเมื่อนำค่าค่าเฉลี่ยของปริมาณคลอโรฟิลล์มาเปรียบเทียบกับค่าดัชนีต่างๆ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันตลอดทั้งปี (ภาพที่ 42) แต่ปริมาณแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งอาจเกิดจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีใบเขียวเข้มตลอดทั้งปีและไม่มีการผลัดใบ และพบว่าค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในแต่ละแปลงแตกต่างกันมากซึ่งอาจเกิดจากอายุของปาล์ม การใส่ปุ๋ย และการดูแลรักษาและให้น้ำในแต่ละแปลงแตกต่างกัน



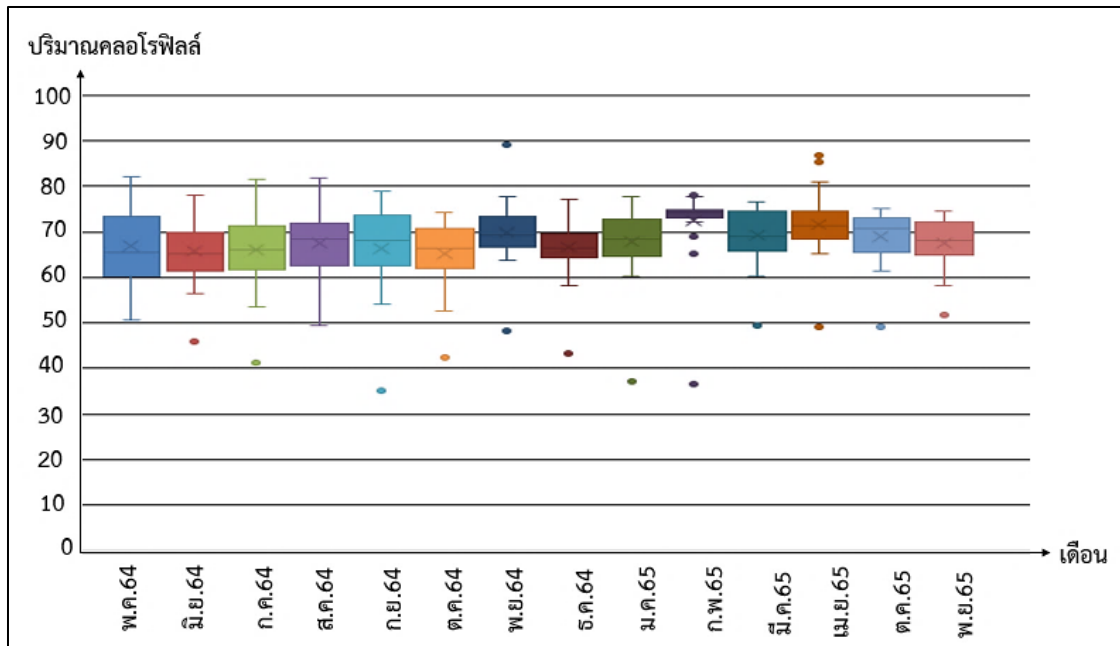
ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงซีพลักษณ์ด้านความสูงของปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



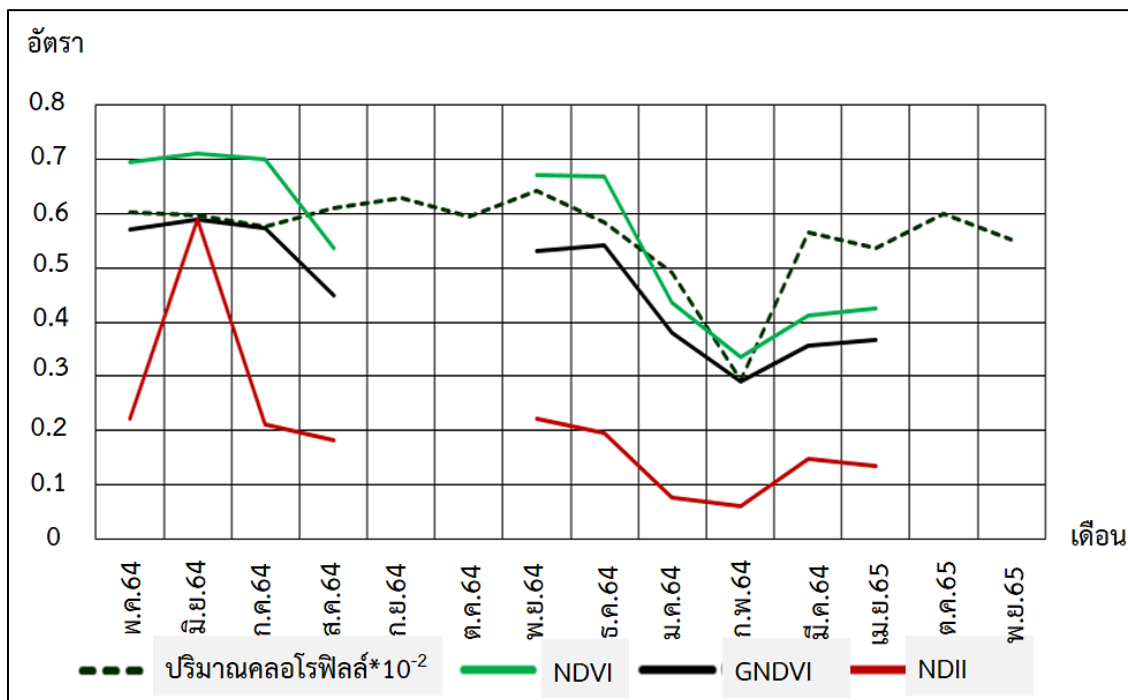
ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านความกว้างทรงพุ่มของปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะด้านขนาดรอบลำต้นของปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์ด้านปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565



ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงซีฟลักซ์และค่าดัชนีพืชพรรณของปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ.2564 - พ.ศ.2565

ตารางที่ 19 การเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันช่วง พ.ศ. 2564 - 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
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	

4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะชีพลักษณ์พืชที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

4.3.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะชีพลักษณ์ของอ้อย

ค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม sentinel-2 มีความสัมพันธ์กับลักษณะชีพลักษณ์ของอ้อยในบางเดือน (ตารางที่ 20 - 23) ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

1) ความสูง พ.ศ. 2564 และ พ.ศ.2565 พบความสัมพันธ์ในบางเดือนแต่อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ขณะที่ พ.ศ. 2565 ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์ปานกลาง (ตารางที่20)

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

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

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

2) ความกว้างทรงพุ่ม ค่าดัชนีพืชพรรณทุกชนิดมีความสัมพันธ์ต่ำทุกเดือนใน พ.ศ. 2564 และพบความสัมพันธ์ในบางเดือนแต่อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลางใน พ.ศ. 2565 (ตารางที่21) โดยเดือนกุมภาพันธ์ 2565 ดัชนี NDVI และ ดัชนี NDII มีความสัมพันธ์กับความกว้างทรงพุ่มระดับปานกลาง โดยความสัมพันธ์สูงสุด ได้แก่ ค่า NDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Logarithmic มีค่า r^2 เท่ากับ 0.52 และ ค่า p-value เท่ากับ 0.00

3) ความขนาดลำต้น พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 พบความสัมพันธ์ต่ำมากในทุกเดือนที่ศึกษา

4) ปริมาณคลอโรฟิลล์ พ.ศ. 2564 พบความสัมพันธ์ต่ำมากและ พ.ศ.2565 พบความสัมพันธ์ระดับปานกลางในเมษายน 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 พฤษภาคม 2564 และกุมภาพันธ์ 2565 มีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าความสูงของอ้อย ดังนั้นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม sentinel-2 ในเดือนเมษายน 2564 พฤษภาคม 2564 และกุมภาพันธ์ 2565 มีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าความสูงของอ้อย

ตารางที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงอ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ. 2564 - พ.ศ. 2565

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

ตารางที่ 20 (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	-	-	-

ตารางที่ 20 (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	-	-	-

ตารางที่ 20 (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	-	-	0.65
		Logarithmic	-	-	-
		Power	-	-	-

ตารางที่ 20 (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	-	-	-

ตารางที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของพุ่มอ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ. 2564 – 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	-	-	-

ตารางที่ 21 (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	-	-	-

ตารางที่ 21 (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	-	-	-

ตารางที่ 21 (ต่อ)

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

ตารางที่ 21 (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	-	-	-

ตารางที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นอ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ. 2564 – 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	-	-	-

ตารางที่ 22 (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	-	-	-

ตารางที่ 22 (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	-	-	-

ตารางที่ 22 (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 = -0.025ln(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 = 0.1605ln(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 = 0.0983ln(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 = 0.0136ln(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	-	-	-

ตารางที่ 22 (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	-	-	-

ตารางที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์อ้อยกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ. 2564 – 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 = 3.951ln(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 = 7.6743ln(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 = 0.5975ln(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 = 3.3787ln(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 = -1.168ln(NDII) + 36.731	0.02	0.44
		Power	CHLO = 36.331NDII ^{0.034}	0.02	0.42

ตารางที่ 23 (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 = -3.359ln(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 = -7.047ln(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 = 0.2002ln(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 = 2.3148ln(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	-	-	-

ตารางที่ 23 (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 = -1.481ln(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 = -2.754ln(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 = -7.605ln(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 = -8.8ln(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	-	-	-

ตารางที่ 23 (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 = -1.187ln(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 = 1.5707ln(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 = -12.81ln(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 ^{-2.418x GNDVI}	0.58	0.00
		Logarithmic	CHLO = -24.82ln(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	-	-	-

4.3.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะลักษณะซีพลิกซ์ของมันสำปะหลัง

ค่าดัชนีพีชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม sentinel 2 มีความสัมพันธ์กับลักษณะลักษณะซีพลิกซ์ของมันสำปะหลังในบางเดือน ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

1) ความสูง พ.ศ. 2564 พบความสัมพันธ์ระดับปานกลาง ขณะที่ พ.ศ. 2565 ค่าดัชนีพีชพรรณมีความสัมพันธ์กับความสูงต่ำมาก (ตารางที่ 24)

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

1.2) เดือนมิถุนายน 2564 ค่าดัชนีพีชพรรณทั้งหมดมีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง ซึ่งดัชนี GNDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Linear ความสัมพันธ์สูงสุด โดย มีค่า r^2 เท่ากับ 0.62 และค่า p-value เท่ากับ 0.04

1.3) เดือนเมษายน 2565 ดัชนี NDII ความสัมพันธ์แบบ Exponential ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.15 และค่า p-value เท่ากับ 0.00

ดังนั้นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม sentinel-2 ในเดือนพฤษภาคม 2564 มิถุนายน 2564 และเมษายน 2565 มีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าความสูงของมันสำปะหลัง

2) ความกว้างทรงพุ่ม พ.ศ. 2564 พบความสัมพันธ์ระดับต่ำถึงปานกลาง ขณะที่ พ.ศ. 2565 ค่าดัชนีพีชพรรณมีความสัมพันธ์กับกว้างทรงพุ่มระดับต่ำมาก (ตารางที่ 25)

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

2.2) เดือนเมษายน 2565 ค่าดัชนีพีชพรรณทั้งหมดมีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง ซึ่งดัชนี NDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Power ความสัมพันธ์สูงสุด โดย มีค่า r^2 เท่ากับ 0.12 และค่า p-value เท่ากับ 0.01

3) ความขนาดลำต้น พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 พบความสัมพันธ์ระดับต่ำมากถึงต่ำ (ตารางที่ 26)

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

3.2) เดือนเมษายน 2565 ความสัมพันธ์สูงสุด ได้แก่ ค่า NDII ที่มีความสัมพันธ์แบบ Linear โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.13 และค่า p-value เท่ากับ 0.01

4) ปริมาณคลอโรฟิลล์ ทั้ง พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565 พบความสัมพันธ์ระดับต่ำมาก (ตารางที่ 27)

จากการศึกษาพบว่าซีพลิกซ์บางซีพลิกซ์ของมันสำปะหลังมีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพีชพรรณและมีความสัมพันธ์เพียงบางเดือนซึ่งสอดคล้องกับ Cilek and Berberoglu (2018) ที่รายงานว่าค่าดัชนีพีชพรรณมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืชในบางฤดูกาล ดังนั้นจากการศึกษาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม sentinel-2 ในเดือนพฤษภาคม 2564 และมิถุนายน 2564 มีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าความสูงของมันสำปะหลัง ขณะที่เดือนเมษายน 2565 สามารถใช้ทำ

แบบจำลองได้แต่ความถูกต้องยังต่ำ ส่วนเดือนกรกฎาคม 2564 และ เดือนเมษายน 2565 สามารถใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าขนาดทรงพุ่มได้แต่ความถูกต้องยังต่ำ

ตารางที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงมันสำปะหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ. 2564 – 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	-	-	-

ตารางที่ 24 (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	-	-	-

ตารางที่ 24 (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

ตารางที่ 24 (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	-

ตารางที่ 24 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
กุมภาพันธ์ 2565	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	-	-	-

ตารางที่ 24 (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	-	-	-

ตารางที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของพุ่มไม้สำหรับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ. 2564 – พ.ศ. 2565

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

ตารางที่ 25 (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	$W = 18.407\ln(NDVI) + 112.9$	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	-	-	-

ตารางที่ 25 (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	-	-	0.4
	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

ตารางที่ 25 (ต่อ)

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

ตารางที่ 25 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
กุมภาพันธ์ 2565	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	-	-	-

ตารางที่ 25 (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	-	-	-

ตารางที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นมันสำปะหลังกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ. 2564 – 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 = 1.3868ln(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 = 1.4473ln(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 = 0.3432ln(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 = 1.0079ln(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	-	-	-

ตารางที่ 26 (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	$SZ = -0.416\ln(NDVI) + 1.6054$	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	$SZ = -0.826\ln(GNDVI) + 1.301$	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	$SZ = 0.4904\ln(NDVI) + 2.0039$	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	$SZ = 0.8604\ln(GNDVI) + 2.3273$	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	-	-	-

ตารางที่ 26 (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

ตารางที่ 26 (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 = 0.8528ln(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 = 1.1855ln(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 = 0.2665ln(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 = 0.3552ln(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	-	-	-

ตารางที่ 26 (ต่อ)

เดือน	ดัชนีพืชพรรณ	โมเดล	สมการ	r ²	p-value
กุมภาพันธ์ 2565	NDVI	Linear	SZ = 0.4354NDVI + 1.3931	0.00	0.80
		Exponential	SZ = 1.1398e ^{0.6513NDVI}	0.00	0.73
		Logarithmic	SZ = 0.0782ln(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 = -0.567ln(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 = 0.639ln(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 = 0.8364ln(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	-	-	-

ตารางที่ 26 (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	-	-	-

ตารางที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์มันส์สำหรับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ. 2564 – 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	-	-	-

ตารางที่ 27 (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	-	-	-

ตารางที่ 27 (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	-	-	-

ตารางที่ 27 (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 = -3.151ln(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 = -5.787ln(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 = 1.9685ln(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 = 8.5973ln(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	-	-	-

ตารางที่ 27 (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	-	-	-

4.3.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะลักษณะซีพลิกซ์ของสับปะรด

ค่าดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม sentinel-2 มีความสัมพันธ์กับลักษณะลักษณะซีพลิกซ์ของสับปะรดในบางเดือน ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

1) ความสูง พ.ศ. 2564 พบความสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ขณะที่ พ.ศ. 2565 ค่าดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์กับความสูงปานกลาง (ตารางที่ 28)

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

1.2) เดือนพฤษภาคม 2564 ซึ่งความสัมพันธ์สูงสุดได้แก่ ค่า GNDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ 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

1.3) เดือนมิถุนายน 2564 ค่าดัชนีพืชพรรณทั้งหมดมีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง ซึ่งดัชนี NDVI ที่มีความสัมพันธ์แบบ Linear ให้ความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.39 และค่า p-value เท่ากับ 0.02

1.4) เดือนกรกฎาคม 2564 ดัชนี NDII ความสัมพันธ์แบบ Linear ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.29 และค่า p-value เท่ากับ 0.02

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

1.6) เดือนพฤศจิกายน 2564 ดัชนี NDVI และ NDII พบความสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง โดยดัชนี NDVI ความสัมพันธ์แบบ Logarithmic ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.68 และค่า p-value เท่ากับ 0.05

1.7) เดือนสิงหาคม 2564 ค่าดัชนีพืชพรรณทั้งหมดมีความสัมพันธ์ระดับต่ำถึงปานกลาง โดยดัชนี NDVI ความสัมพันธ์แบบ Logarithmic ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.32 และ ค่า p-value เท่ากับ 0.01

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

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

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

2) ความกว้างทรงพุ่ม พ.ศ. 2564 พบความสัมพันธ์ระดับต่ำถึงสูง ขณะที่ พ.ศ. 2565 พบความสัมพันธ์ระดับต่ำมากถึงต่ำ (ตารางที่ 29)

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

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

2.3) เดือนมิถุนายน 2564 ค่าดัชนีพืชพรรณทั้งหมดมีความสัมพันธ์ระดับต่ำถึงปานกลาง ซึ่งดัชนี NDII ที่มีความสัมพันธ์แบบ Exponential ให้ความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.40 และ ค่า p-value เท่ากับ 0.00

2.4) เดือนพฤศจิกายน 2564 ดัชนี NDVI และ NDII พบความสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง โดยดัชนี NDVI ความสัมพันธ์แบบ Exponential ให้ค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.58 และค่า p-value เท่ากับ 0.08

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

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

3) ปริมาณคลอโรฟิลล์ พ.ศ. 2564 พบความสัมพันธ์ระดับต่ำถึงค่อนข้างสูง ขณะที่ พ.ศ. 2565 พบความสัมพันธ์ระดับต่ำมากถึงปานกลาง (ตารางที่ 30)

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

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

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 และปริมาณคลอโรฟิลล์ของสับปะรดเกือบทุกเดือน โดยเฉพาะ NDVI และ NDII ดังนั้นข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม sentinel-2 จึงมีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าทางชีวฟิสิกส์ของสับปะรดได้

ตารางที่ 28 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงสลับแปรกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ. 2564 – 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	-	-	-

ตารางที่ 28 (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	-	-	-

ตารางที่ 28 (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

ตารางที่ 28 (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	-	-	-

ตารางที่ 28 (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	-	-	-

ตารางที่ 28 (ต่อ)

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

ตารางที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของพุ่มสับปรดกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ. 2564 – 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	-	-	-

ตารางที่ 29 (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	-	-	-

ตารางที่ 29 (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

ตารางที่ 29 (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	-	-	-

ตารางที่ 29 (ต่อ)

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

ตารางที่ 29 (ต่อ)

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

ตารางที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์สับปรดกับค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ. 2564 – 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 = 28.843ln(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 = 134.4ln(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 = -8.929ln(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 = 111.28ln(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	-	-	-

ตารางที่ 30 (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

ตารางที่ 30 (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

ตารางที่ 30 (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	-	-	-

ตารางที่ 30 (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	-	-	-

ตารางที่ 30 (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	-	-	-

4.3.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะลักษณะชีพลักษ์ของยางพารา

จากการใช้ข้อมูลภาคสนามด้านชีพลักษ์ของปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดรอบลำต้น ที่วัดขนาดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2564-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

1) ความสูง มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 31) 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 แบบ มีค่า r^2 เท่ากับ 0.43 และ p-value เท่ากับ 0.00

2) ความกว้างทรงพุ่ม มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 32) 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

3) ขนาดลำต้น มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 33) 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) ปริมาณคลอโรฟิลล์ มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 34) ในระดับต่ำมากถึงสูง ทั้ง พ.ศ. 2564 และ พ.ศ. 2565

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

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

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) 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

4.5) 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 และปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด ซึ่งปริมาณความสัมพันธ์ความแม่นยำขึ้นอยู่กับค่าดัชนีในเดือน ดังนั้นดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม sentinel-2 จึงมีศักยภาพในการใช้ทำแบบจำลองสำหรับประมาณค่าทางชีวลักษณะของยางพารา

ตารางที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เมษายน พ.ศ. 2565

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

ตารางที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เมษายน 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

ตารางที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นยางพารากับค่าดัชนีพืชพรรณเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เมษายน 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	$SZ = 23.558\ln(NDVI) + 69.743$	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	$SZ = 27.231\ln(GNDVI) + 76.511$	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	$SZ = 29.093\ln(NDVI) + 84.064$	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	$SZ = 35.973\ln(GNDVI) + 95.209$	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	$SZ = 4.1326\ln(NDII) + 66.655$	0.11	0.03
		Power	$SZ = 67.021NDII^{0.0747}$	0.11	0.03

ตารางที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ที่วัดได้จากค่าดัชนีพืชพรรณช่วง พ.ศ. 2564 – 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 = 39.276ln(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 = 41.741ln(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 = 7.1526ln(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 = 8.6803ln(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 = 11.881ln(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 = 6.4075ln(NDII) + 69.739	0.11	0.02
		Power	CHLO = 71.148NDII ^{0.1186}	0.11	0.02

ตารางที่ 34 (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 = 31.432ln(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 = 40.269ln(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 = 3.1704ln(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 = 4.955ln(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 = 6.2821ln(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 = 17.609ln(NDII) + 92.657	0.51	0.00
		Power	CHLO = 108.44NDII ^{0.3342}	0.51	0.00

ตารางที่ 34 (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	-	-	-

ตารางที่ 34 (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	-	-	-

ตารางที่ 34 (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	-	-	-

4.3.5 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะลักษณะซีพลักษณ์ของปาล์มน้ำมัน

จากการใช้ข้อมูลภาคสนามด้านซีพลักษณ์ของปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ความสูง ความกว้าง ทรงพุ่ม 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

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

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

3) ปริมาณคลอโรฟิลล์ มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 34) 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 35 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เมษายน 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	0.5
	NDII	Linear	$H = 2726.4\text{NDII} + 716.84$	0.72	0.0
		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	0.1

ตารางที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เมษายน พ.ศ. 2565

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

ตารางที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดลำต้นปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 และ เมษายน 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	$SZ = 194.02\ln(NDVI) + 354.88$	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	$SZ = 88.645\ln(GNDVI) + 295.79$	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	$SZ = 278.38\ln(NDVI) + 474.86$	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	$SZ = 354.66\ln(GNDVI) + 593.67$	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	$SZ = 31.822\ln(NDII) + 269.94$	0.03	0.43
		Power	$SZ = 254.22NDII^{0.143}$	0.03	0.62

ตารางที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างคลอโรฟิลล์ปาล์มกับค่าดัชนีพืชพรรณระหว่าง

พ.ศ. 2564 – 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

ตารางที่ 38 (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

ตารางที่ 38 (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 = -1.122ln(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 = 6.8163ln(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
		Logarithmic	CHLO = -0.185ln(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 = 14.118ln(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 = 3.0938ln(NDII) + 73.95	0.05	0.28
		Power	CHLO = 72.705NDII ^{0.0392}	0.05	0.44

ตารางที่ 38 (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	$CHLO = -0.795\ln(NDVI) + 71.533$	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	$CHLO = 4.6787\ln(GNDVI) + 77.962$	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	$CHLO = -0.145\ln(NDVI) + 69.076$	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	$CHLO = 1.6284\ln(GNDVI) + 70.603$	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	$CHLO = 2.5629\ln(NDII) + 73.555$	0.02	0.46
		Power	$CHLO = 72.978NDII^{0.0341}$	0.02	0.52

ตารางที่ 38 (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

บทที่ 5

สรุป

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 การสร้างฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลในรอบปีของพืชเศรษฐกิจจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจินในการรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและจัดเตรียมภาพโดยการโมเสก (mosiac) ทำให้ได้ภาพถ่ายรายเดือนซึ่งสามารถใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงซีพีลักษณะรายปีของพืชทั้ง 5 ชนิดได้ และสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการทำปฏิทินการปลูกพืชในแต่ละท้องถิ่น เพื่อใช้ศึกษาเวลาปลูกและเวลาเก็บเกี่ยวพืชเศรษฐกิจ ทำให้ทราบปริมาณพื้นที่ปลูกและประมาณการณ์เนื้อที่เก็บเกี่ยวได้ต่อไป ซึ่งค่าดัชนีที่นำมาศึกษาโดยการนำมาจัดทำเป็นกราฟ การเปลี่ยนแปลงรายเดือนสามารถใช้อำนาจชนิดพืชได้ โดยอาศัยความแตกต่างของค่าดัชนีต่างๆ ระหว่างชนิดพืช เช่น ยางพาราและปาล์มน้ำมันจะมีค่าดัชนีต่างๆ สูงกว่าอ้อย มันสำปะหลัง และสับปะรด ซึ่งเป็นพืชไร่ และนอกจากนี้การจำแนกระหว่างอ้อยและมันสำปะหลังสามารถใช้ค่าความต่างที่เปลี่ยนไปของดัชนี NDVI และ ดัชนี GNDVI

5.1.2 ดัชนีพืชพรรณมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงทางซีพีลักษณะ เช่น ความสูง และความกว้างทรงพุ่ม ซึ่งลักษณะของแต่ละปีคล้ายกันทำให้สามารถนำมาพิจารณาความสมบูรณ์ของต้นพืชในแต่ละปี เช่น ปีที่สภาพอากาศไม่เหมาะสมเช่นฝนตกน้อย ต้นพืชเจริญเติบโตไม่ดี ค่าดัชนีพืชพรรณ เช่น NDVI และ GNDVI จะต่ำกว่าปีที่สภาพอากาศเหมาะสม เป็นต้น

5.1.3 ดัชนีพืชพรรณมีศักยภาพในการใช้สร้างแบบจำลองเพื่อประเมินการเจริญเติบโตที่ต่างกัน และสามารถใช้อุณหภูมิภาพถ่ายดาวเทียมมาทำแบบจำลองได้เพียงบางเดือนเท่านั้น 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

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรใช้ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ชนิดเป็นปัจจัยหนึ่งในการจำแนกชนิดพืชโดยเฉพาะการพัฒนาการจำแนกชนิดพืชแบบอัตโนมัติเนื่องจากการสร้างฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลในรอบปีของพืชเศรษฐกิจจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม พบว่ามีมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีพืชพรรณในแต่ละชนิดแตกต่างกันในแต่ละเดือนตลอดช่วงปี ซึ่งจากความแตกต่างนี้ทำให้ ค่าดัชนีพืชพรรณมีศักยภาพในการจำแนกชนิดพืช

5.2.2 ควรมีการจัดเก็บข้อมูลค่าการสะท้อนแสง และศึกษารูปแบบการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปีในพื้นที่อื่น และพืชเศรษฐกิจชนิดอื่นเพิ่มเติม โดยเฉพาะพืชที่มีลักษณะการเจริญเติบโตคล้ายกัน ซึ่งการแปลภาพด้วยสายตาแปลได้ยาก เพื่อใช้ในการบริการจัดการแปลงให้มีประสิทธิภาพ เช่น

สามารถนำไปใช้ประมาณการผลิตพืชในแต่ละช่วงของปี เนื่องจากสามารถพิจารณาได้ว่าพืชในแต่ละพื้นที่มีอยู่ในระยะใดของการเจริญเติบโต เช่น ระยะงอก ระยะช่วงกำลังเจริญเติบโต หรือระยะพร้อมเก็บเกี่ยว โดยใช้ค่าความสูงต่ำของดัชนีพืชพรรณ

5.2.3 ควรทดสอบโมเดลกับพื้นที่ข้างเคียงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพเพื่อความถูกต้องแม่นยำ และสามารถขยายผลนำไปใช้กับพื้นที่อื่นได้

5.2.4 เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชมีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี การใช้โมเดลควรมีการคำนึงถึงลักษณะสภาพอากาศในแต่ละปี และใช้แยกโมเดล เช่น โมเดลสำหรับปีที่น้ำฝนน้อย หรือปีที่มีความแห้งแล้ง เป็นต้น

5.2.5 ควรใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะข้อมูลการเจริญเติบโตที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม กับปัจจัยอื่นๆ โดยเฉพาะการจำแนกอายุของพืช ซึ่งโดยปกติจะสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตทางด้านสำคัญ เช่น ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม และขนาดลำต้น นอกจากนี้อาจใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับปริมาณคลอโรฟิลล์ในการศึกษาความสมบูรณ์ของต้นพืช เช่น การขาดน้ำ ขาดธาตุอาหาร หรือการเกิดโรค เป็นต้น

5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

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

5.3.2 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 ดังนั้นผู้วิจัยและผู้ใช้ประโยชน์ด้านรีโมทเซ็นซิงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไปงานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการและจัดทำแบบจำลองเพื่อใช้ในการจำแนกพื้นที่และคาดการณ์ผลผลิตพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด จากข้อมูลรีโมทเซ็นซิง ซึ่งการใช้แบบจำลองช่วยให้ผู้บริหาร นักวิชาการ หรือนักวางแผน นำไปใช้ในการวางแผนการผลิตและการตลาดได้ต่อไป

5.3.3 การจัดทำแบบจำลองรูปแบบการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจจากการเปลี่ยนแปลงของค่าสะท้อนแสงในรอบปี จากการประยุกต์ใช้ข้อมูลรีโมทเซ็นซิงซึ่งเก็บข้อมูลได้ครอบคลุมในบริเวณกว้าง ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างลายเซ็นเชิงคลื่นกับลักษณะข้อมูลการเจริญเติบโตที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม ซึ่งใช้สำหรับการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้วิเคราะห์การจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชจะช่วยให้ภาครัฐ นักวางแผน หรือนักการตลาด นำไปใช้ในการวางแผนการผลิตและการตลาดซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเกษตรกรได้โดยตรง เช่น การกำหนดราคาที่เป็นธรรม การให้ความช่วยเหลือเมื่อเกิดภัยธรรมชาติ

5.3.4 การใช้ข้อมูลรีโมทเซ็นซิงซึ่งสามารถใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติซึ่งเชื่อมโยงกับผลผลิตพืช เมื่อนำมาใช้ร่วมกับแบบจำลองจะช่วยให้สามารถป้องกันการสูญเสียจากการเกิดภัยธรรมชาติ เช่น ภัยแล้ง น้ำท่วม เป็นต้น

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. ส่องราคาพืชเศรษฐกิจสำคัญของไทยจะ 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: ในมิติด้านการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิตในมิติด้านการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต. วารสารพัฒนศาสตร์ ปีที่ 4 ฉบับที่ 1. หน้า 133-162.
- เกียรติคุณ สัมฤทธิ์เปี่ยม สุเมธ พฤกษ์ฤดี 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 พลธิ์รักษ์. 2561. การศึกษาค่าสะท้อนพลังงานของมันสำปะหลังจากข้อมูลดาวเทียม ในเขตอำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 13 ฉบับที่ 3 หน้า 12-22.
- คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. ม.ป.ป. คู่มือ การจัดการไร่อ้อยอย่างยั่งยืน. กลุ่มพัฒนาดานอ้อย สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมอ้อย น้ำตาลทราย และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 62 หน้า
- แคสเสด มงคลสวัสดิ์ และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. 5552. แนวทางการใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูลดาวเทียมหลายช่วงเวลาเพื่อติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งจากสถานะดัชนีลักษณะของป่ามรสุมเขตร้อน. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย.

แหล่งที่มา: https://gecnet.kku.ac.th/research/n_journal/2552/2_Journal_10-2.pdf,
10 มกราคม 2564

จินดารัฐ วีระวุฒิ. 2541. สับปะรด และสรีรวิทยาการเจริญเติบโตของสับปะรด. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 196 หน้า.

ชัยวัช โขวเจริญสุข. 2564ก. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม 2565-2567 : มั่นล่าปะหลัง. วิจัยกรุงศรี.
แหล่งที่มา: <https://www.krungsri.com/th/research/industry>, 10 มกราคม 2566

ชัยวัช โขวเจริญสุข. 2564ข. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566: อุตสาหกรรมน้ำตาล. วิจัยกรุงศรี.
<https://www.krungsri.com/th/research/industry>, 10 มกราคม 2566

ธีระพงศ์ จันทรมนิม. 2562. คู่มือเกษตรกร การผลิตปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ. ศูนย์วิจัยและ
พัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่
จ.สงขลา. 128 หน้า.

ปัญญา สมบูรณ์สุข, ไชยยะ คงมณี, นริสา ทรงไตรย์ และ ปุริวิชญ์ พิทยาภินันท์. 2561. ศักยภาพการผลิต
ยางพาราไทย: การจัดการเทคโนโลยีการผลิต ปัญหาและแนวทางการเพิ่มผลผลิต. Kasetsart
Journal of Social science. vol.39 แหล่งที่มา: [https://www.thaiscience.info/
Journals/Article/TKJS/10989600.pdf](https://www.thaiscience.info/Journals/Article/TKJS/10989600.pdf), 15 มีนาคม 2564

ปณิธิ ยองประยูร, ภัคจี คงศีล, ณัฐธิดา พุ่มมี, และ ปทมา ทองพิทักษ์. 2558. การเจริญเติบโตของมัน
สำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ในพื้นที่แล้งในจังหวัดกาญจนบุรี. การประชุมทางวิชาการของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53 สาขาพืช. หน้า 523-530. แหล่งที่มา:
https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/kukr/index, 15 มีนาคม 2564

ปรารธนา ปลอดดี, ศิริขวัญ ภูंना และ บุษยรัตน์ หมอกมัว. 2560. แนวทางการประเมินกำลังผลิตของดิน
สำหรับปลูกมันสำปะหลังจังหวัดนครราชสีมา. กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แหล่งที่มา: [http://e-library.ldd.go.th/library/flip/bib10066f/
/bib10066f.html#p=2](http://e-library.ldd.go.th/library/flip/bib10066f/bib10066f.html#p=2), 15 มีนาคม 2564

มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2561. องค์ความรู้สำหรับการพัฒนาด้านอ้อย. โครงการสร้างองค์ความรู้และพัฒนา
ด้านอ้อย ปิงปประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 120 หน้า.

มูลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ. มปป. **การเจริญเติบโตของอ้อย**. โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร.

ยศธร ไตรพรพมา. 2562. **การใช้เทคนิค NDVI และ NDWI ในการจำแนกชนิดป่าไม้ในเขตอำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก**. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร. 62 หน้า.

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.

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.

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
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2565ก. **ภาวะเศรษฐกิจการเกษตร ระดับภาค ครั้งแรกของปี 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
- หัตถยา ทรงนรินทร์ และ ปุณณมี สัจจกมล. 2559. **การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์สับปรดแปรรูปในกระป๋อง**. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54 สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 479-486.
- อนุรักษ์ อรัญญานาค, นงลักษณ์ เทียนเสรี และ ศัทธิตยา ฉัตรเที่ยง. **การปลูกและการไว้ตของอ้อยที่ปลูกในจังหวัดกาญจนบุรี สุพรรณบุรี และราชบุรี**. 2563. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรและการจัดการ ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 หน้า 26-33.
- อมร เพชรสว่าง. 2558. **องค์ประกอบของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ**. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). แหล่งที่มา <http://www.gistda.or.th/main/th/node/817>, 23 กุมภาพันธ์ 2560.
- อมรเทพ เจริญสุข พงศธร โสภภาพันธุ์ และ ไชยาพงษ์ เทพประสิทธิ์. 2562. **การวางแผนจัดการทรัพยากรน้ำในกลุ่มน้ำลำภาชี**. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 29 ฉบับที่ 4. หน้า 552-564.
- เอกสิทธิ์ โขสิตสกุลชัย สิทธา ยอดเจริญ และ ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์. 2561. **การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำลำภาชีโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมและแบบจำลอง SWAT**. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 7 ฉบับที่ 3. 16 หน้า แหล่งที่มา: <https://kuojs.lib.ku.ac.th/index.php/jstku/article/view/3473/1674>, 3 กุมภาพันธ์ 2565.
- 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>, 3 กุมภาพันธ์ 2565.

- 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*. IX (1): 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.
- 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. Volterran. 2016. **Unmanned Aerial Vehicle to Estimate Nitrogen Status of Turfgrasses.** *PLOS ONE*, 11(6).
- 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, Issue 4, (Part -II) April 2018, pp.34-37.
- European Space Agency. 2022. **SENTINEL-2 MISSION GUIDE.** Available source: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>, April 10, 2022.
- 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*. 13(1), e02-004, 9 pages.
- Gao, B. 1996. **NDWI -A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space.** *Remote Sensing of Environment*. Volume 58, Issue 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, Issue 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 58(3): 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. 11(2):112.
- Gxokwe, S., T. Dube, and D. Mazvimav. 2020. **Multispectral Remote Sensing of Wetlands in Semi-Arid and Arid Areas: A Review on Applications, Challenges and Possible Future Research Directions**. Remote Sens. 2020, 12. Available Source: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/24/4190>, July 2022, 23.
- 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 49 (1983): 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 souse: <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 souse: <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., 30, 43–54, Available souse: [doi:10.1016/0034-4257\(89\)90046-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1), April 10, 2022.

- Liaghat, S. and S.K. Balasundram, 2010. **A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture**. Am. J. Agric. Biol. Sci. 5, 50-55.
- Jensen, J.R. 2000. **Remote Sensing of Environment: An Earth Resource Perspective Second edition**. Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA. 592p.
- 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.
- Ochoa, C. G., F. Villarreal-Guerrero , J. A. Prieto-Amparán, H. R. Garduño, F. Huang, and C. Ortega-Ochoa. **Precipitation, Vegetation, and Groundwater Relationships in a Rangeland Ecosystem in the Chihuahuan Desert, Northern Mexico**. Hydrology, vol.10,41. Available source: <https://doi.org/10.3390/hydrology10020041>
<https://www.mdpi.com/journal/hydrology>, 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.
- Purwanto, A. D., K. Wikantika, A. Deliar, and S. Darmawan. 2022. **Decision Tree and Random Forest Classification Algorithms for Mangrove Forest Mapping in Sembilang National Park, Indonesia**. Remote Sens.
- 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 Sens, 8 (117).
- 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, Volume IV-3, 2018. ISPRS TC III Mid-term Symposium

“Developments, Technologies and Applications in Remote Sensing”, 7–10 May, Beijing, China. Available source: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-3-185-2018>, December 1, 2021.

Sentinel Hub. 2017. **NDII (Normalized difference 819/1600)**. Available source: <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/ndii/#>, December 1, 2021.

Simms, É. L. and H. Ward. 2013. **Multisensor NDVI-Based Monitoring of the Tundra-Taiga Interface (Mealy Mountains, Labrador, Canada. Remote Sensing.** Available source: www.mdpi.com/journal/remotesensing, December 21, 2022.

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 source: <https://www.researchgate.net/topic/Landsat/publications>, December 21, 2022.

