



การใช้ภาพถ่ายเทียม SPOT-5 เพื่อประเมินดัชนีพื้นที่ใบของยางพารา  
กรณีศึกษา อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

**Application of SPOT-5 Image to Assess Leaf Area Index of Rubber Trees:  
Case Study of Namom District, Songkhla Province**

เจษฎา โสภารัตน์

**Jessada Sopharat**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Science in Plant Science  
Prince of Songkla University**

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)



ชื่อวิทยานิพนธ์	การใช้ภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 เพื่อประเมินดัชนีพื้นที่ใบของยางพารา กรณีศึกษาอำเภอหนองม่อม จังหวัดสงขลา
ผู้เขียน	นายเจษฎา โสภารัตน์
สาขาวิชา	พืชศาสตร์
ปีการศึกษา	2551

### บทคัดย่อ

การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 ประเมินดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของยางพาราในเขตพื้นที่ อำเภอหนองม่อม จังหวัดสงขลา ด้วยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่นในรูปของดัชนีพืชพรรณ และค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากการประมาณด้วยการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา พบว่า ดัชนี SAVI มีค่าความสัมพันธ์สูงสุด โดยมีสมการความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด คือ  $y = 757.27x^{3.2418}$  และ  $R^2 = 0.6521$  ตามลำดับ รองลงมา คือ ดัชนี SR และ MSR มีสมการความสัมพันธ์ คือ  $y = 0.0701x^{15.366}$  ( $R^2 = 0.6508$ ) และ  $y = 1619.2x^{3.0832}$  ( $R^2 = 0.6462$ ) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบสูงสุดในรอบปี และขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางพาราที่ระดับ 1.70 เมตร จากพื้นดิน มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดสูงสุด เท่ากับ 0.83

<b>Thesis Title</b>	Application of SPOT-5 Image to Assess Leaf Area Index of Rubber Trees : Case Study of Namom District, Songkhla Province
<b>Author</b>	Mr. Jessada Sopharat
<b>Major Program</b>	Plant Science
<b>Academic Year</b>	2008

### **Abstract**

The application of SPOT-5 image to assess leaf area index (LAI) of rubber trees was carried out at Namom district, Songkhla province. The regression analysis between bands reflection in term of vegetation indices and LAI derived from hemispherical photography was analyzed. The result showed that SAVI was strongest related to LAI, it showed the correlation equation in term of power equation and correlation determination as  $y = 757.27x^{3.2418}$  and  $R^2 = 0.6521$ , respectively. And SR and MSR were second and third strongly related to LAI, it showed the correlation equation as  $y = 0.0701x^{15.366}$  ( $R^2 = 0.6508$ ) and  $y = 1619.2x^{3.0832}$  ( $R^2 = 0.6462$ ), respectively. Besides, it was found the high correlation between maximum value of LAI in 2007 and tree girths at 1.70 m from ground could show by  $R^2 = 0.83$ .

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สายัณห์ สดุดี ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ ด้วยการให้คำปรึกษา คำแนะนำ ให้กำลังใจ ตลอดจนช่วยตรวจสอบ และแก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ ขงเฉลิมชัย กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัย และการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์จนสำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมปอง เตชะโต ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประมาณ เทพสงเคราะห์ กรรมการสอบผู้ทรงคุณวุฒิ จากคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้ทุนการศึกษา และทุนวิจัยตลอดหลักสูตรการศึกษา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิภา หลีระพันธ์ อดีตอาจารย์ภาควิชาธรรมศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผู้เริ่มต้นประสิทธิ์ประสาทวิชาทางด้านการสำรวจระยะไกล และให้คำแนะนำด้านการศึกษาวิจัย รวมทั้ง คุณอานันต์ คำภีระ (พี่หนึ่ง) คุณธิรดา ขงสถิตศักดิ์ (พี่ตา) และพี่ ๆ ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศภาคใต้ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้านการวิจัยและเทคนิคต่างๆ

สุดท้ายผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อจิ้นต์ และคุณแม่วันดี โสภารัตน์ ที่เป็นกำลังใจ และสนับสนุนให้มีโอกาสทางการศึกษา โดยเฉพาะคุณพ่อจิ้นต์ เป็นผู้ให้ทั้งกำลังใจและมีส่วนช่วยในการเก็บข้อมูลภาคสนามตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการศึกษา หากขาดท่านไปวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงยากที่จะสำเร็จลุล่วงด้วยความสมบูรณ์ และขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เกษญา โสภารัตน์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(7)
รายการภาพประกอบ	(9)
รายการตารางภาคผนวก	(11)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์	17
2 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	18
3 ผล	25
4 วิจารณ์	65
5 สรุป	70
เอกสารอ้างอิง	72
ภาคผนวก	77
ประวัติผู้เขียน	84

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า	
1	ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพื้นที่ไบบนที่ได้จากโครงตา ข่าย และดัชนีพื้นที่ไบบนที่ได้จากภาพถ่ายของแปลงที่ใช้ปรับความถูกต้อง ของการประมาณดัชนีพื้นที่ไบบน และค่าเฉลี่ย เส้นรอบวงลำต้นที่ระดับ 1.70 ม. จากพื้นดิน	28
2	รูปแบบสมการความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ไบบนที่ได้จากภาพถ่าย (x) และ ดัชนีพื้นที่ไบบนที่ได้จากโครงตาข่าย (y) ของแปลงตรวจสอบความถูกต้อง	29
3	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพื้นที่ไบบนของยางพารา กลุ่มยางอ่อน	31
4	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพื้นที่ไบบนของยางพารา กลุ่มยางหนุ่ม	33
5	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพื้นที่ไบบนของยางพารา กลุ่มยางแก่	35
6	สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ไบบนสูงสุดของแต่ละแปลง ในช่วงเดือน พฤษภาคม ถึง ตุลาคม (y) และ ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นรอบวงของลำต้นที่ระดับ 1.70 ม.จากพื้นดิน (x)	39
7	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างดัชนีพืชพรรณ และค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ไบบน ที่ปรับค่าแล้ว และค่าดัชนีพื้นที่ไบบนที่ยังไม่ปรับค่าหรือค่าที่ได้จากโปรแกรม GLA โดยตรง	42
8	รูปแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ไบบนที่ยังไม่ปรับค่า (y) และดัชนีพืชพรรณ (x)	44
9	รูปแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ไบบนที่ปรับค่าแล้ว (y) และดัชนีพืชพรรณ (x)	45
10	ค่าเฉลี่ยของดัชนี SAVI ดัชนีพื้นที่ไบบนภาคสนาม และค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ไบบนภาคสนาม ที่ได้จากการประมาณ และค่าคลาดเคลื่อนตกค้าง (Residual) ของการประมาณ	48
11	ค่าเฉลี่ยของดัชนี SR ดัชนีพื้นที่ไบบนภาคสนาม และค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ไบบนภาคสนาม ที่ได้จากการประมาณ และค่าคลาดเคลื่อนตกค้าง (Residual) ของการประมาณ	50

## รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
12	ค่าเฉลี่ยของดัชนี MSR ดัชนีพื้นที่ใบภาคสนาม และค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบภาคหมาย ที่ได้จากการประมาณ และค่าคลาดเคลื่อนตกค้าง (Residual) ของการประมาณ	52
13	รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นรอบวงลำต้นประจำเดือน เมษายน พ.ศ. 2550 (y) และดัชนีพืชพรรณ (x)	54
14	รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นรอบวงลำต้นประจำเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2550 (y) และดัชนีพืชพรรณ (x)	55
15	รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นรอบวงลำต้นประจำเดือน เมษายน พ.ศ. 2551 (y) และดัชนีพืชพรรณ (x)	56
16	ตารางเชื่อมโยงปฏิสัมพันธ์ความผิดพลาด (error matrix) ประเมินผลการจำแนก ประเภทสิ่งปกคลุมดิน	59



## รายการภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า	
1	กราฟแสดงข้อมูลภูมิอากาศสะสมทุก 26 วัน ในปี พ.ศ. 2550-2551 ของสถานี อุตุนิยมวิทยาคอหงส์	25
2	การเปลี่ยนแปลงของเส้นรอบวงเฉลี่ยของยางพาราในสามกลุ่มอายุ; กลุ่มยางอ่อน (A1-A9), กลุ่มยางหนุ่ม (B1-B10, A10) และกลุ่มยางแก่ (C1-C10)	26
3	แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จาก โครงตาข่าย และภาพถ่ายของ แปลงที่ใช้ปรับความถูกต้องในแต่ละเดือน	27
4	รูปแบบความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากภาพถ่าย และดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จาก โครงตาข่าย (บน) และความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ที่ปรับให้ตัดแกน y ที่ศูนย์ ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากภาพถ่ายและดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จาก โครงตาข่ายโดย (ล่าง)	30
5	การเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบรายเดือนของยางพารา กลุ่มยางอ่อน (A1-A10)	32
6	การเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบรายเดือนของยางพารา กลุ่มยางหนุ่ม (B1-B10)	34
7	การเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบรายเดือนของยางพารา กลุ่มยางแก่ (C1-C10)	36
8	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบรายเดือนของยางพารา ในสามกลุ่มอายุ; กลุ่มยางอ่อน (A1-A10), กลุ่มยางหนุ่ม (B1-B10) และกลุ่มยางแก่ (C1-C10) และปริมาณฝน และค่าการระเหยน้ำทั้งหมด	38
9	ภาพถ่ายดาวเทียมสีผสมเท็จแบนด์ 1 2 3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน) ของวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 บริเวณอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา	40
10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนี SAVI (a), SR (b) และ MSR (c)	46
11	ดัชนี SAVI ของพื้นที่ศึกษาอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ที่ซ้อนทับ ด้วยสี Rainbow	47
12	ดัชนี SR ของพื้นที่ศึกษาอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ที่ซ้อนทับ ด้วยสี Rainbow	49
13	ดัชนี MSR ของพื้นที่ศึกษาอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ที่ซ้อนทับ ด้วยสี Rainbow	51

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
14	แผนที่การจำแนกประเภทข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 ของวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 บริเวณอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา
15	แผนที่ดัชนี SAVI ของยางพาราในเขตพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา
16	แผนที่ดัชนี SR ของยางพาราในเขตพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา
17	แผนที่ดัชนี MSR ของยางพาราในเขตพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

## รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่		หน้า
1	ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพืชพรรณของยางพารา กลุ่มยางอ่อน	78
2	ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพืชพรรณของยางพารา กลุ่มยางอ่อน	79
3	ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพืชพรรณของยางพารา กลุ่มยางหนุ่ม	80
4	ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพืชพรรณของยางพารา กลุ่มยางหนุ่ม	81
5	ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพืชพรรณของยางพารา กลุ่มยางแก่	82
6	ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพืชพรรณของยางพารา กลุ่มยางแก่	83

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1. บทนำต้นเรื่อง

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2548 รายงานว่า ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกยางพารามากกว่า 2 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่ากว่าหนึ่งแสนสี่หมื่นล้านบาท และมีพื้นที่ปลูกรวมกว่า 12 ล้านไร่ ทั้งนี้เฉพาะในภาคใต้มีพื้นที่ปลูกประมาณ 11 ล้านไร่ จากสถานการณ์ยางพารามีราคาแพงเมื่อกลาง ปี พ.ศ. 2549 ที่ผ่านมา ส่งผลให้เกษตรกรชาวสวนยางหันมาสนใจปลูกยางพารากันเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับรัฐบาลมีนโยบายสนับสนุนการขยายพื้นที่ปลูกยางในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ยิ่งกระตุ้นให้เกษตรกรเร่งขยายพื้นที่ปลูกมากขึ้น ทำให้มีความจำเป็นต้องเร่งสร้างองค์ความรู้ทั้งความรู้พื้นฐาน และความรู้เชิงประยุกต์ ทั้งการเพิ่มผลผลิต และเพิ่มมูลค่าแก่ยางพารา นอกจากนี้ยางพารายังมีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศในพื้นที่ขนาดใหญ่ มีความสามารถในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะเป็นเงื่อนไขสำคัญในต่อรองทางการค้าระดับประเทศในอนาคต

การศึกษารูปแบบการเจริญเติบโตและการตอบสนองของยางพารา ต่อปัจจัยภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ขนาดใหญ่ ช่วยให้เข้าใจรูปแบบการปรับตัวในรอบปีของยางพาราต่อสิ่งแวดล้อม วิธีการหนึ่งในการศึกษาดังกล่าว คือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบของยางพาราในรอบปี ดัชนีดังกล่าวเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช สามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวแปรร่วมในการวิเคราะห์ศึกษา และช่วยให้สามารถวางแผนจัดการสวนยางพาราทั้งทางด้านสรีรวิทยาการเกษตร และทางนิเวศวิทยา ทั้งนี้การศึกษาดัชนีพื้นที่ใบของยางพาราในเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้ เวลา แรงงาน และต้นทุนสูง การศึกษาวิธีการในการประมาณดัชนีพื้นที่ใบจึงมีความจำเป็น และมีความเป็นไปได้ในการที่จะประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกล ช่วยในการประมาณและประเมินการเปลี่ยนแปลงของดัชนีดังกล่าว เนื่องจาก การสำรวจระยะไกลเป็นวิธีการหนึ่งที่มีศักยภาพในการประเมินและติดตามการเปลี่ยนแปลงของพืช ทั้งนี้การประยุกต์ใช้กับยางพาราคาดว่า จะสามารถช่วยให้ประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบของยางพาราได้สะดวกขึ้น และช่วยลดระยะเวลาการสำรวจภาคสนามในเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่ สามารถกำหนดขอบเขตหรือพื้นที่ สร้างเป็นแผนที่ของดัชนีพื้นที่ใบ ใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการประเมินการตอบ

สนองของยางพาราต่อสิ่งแวดล้อม สามารถประยุกต์กับการสร้างแบบจำลองหรือโมเดลการเจริญเติบโตของยางพารา หรืออาจใช้เป็นตัวแปรในการประมาณผลผลิตล่วงหน้า หรือเป็นฐานข้อมูลในการศึกษา การจัดการ และการประยุกต์กับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับยางพารา ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ จึงเป็นการศึกษาศักยภาพการประยุกต์ใช้การสำรวจระยะไกล เพื่อการประมาณดัชนีพื้นที่ใบของยางพารา โดยใช้พื้นที่ของ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา เป็นพื้นที่ตัวอย่างในการศึกษา ประเมินศักยภาพการประมาณดัชนีพื้นที่ใบ และลักษณะทางสรีรวิทยาอื่น ๆ ของยางพารา โดยอาศัยการแปลข้อมูลจากภาพถ่ายทางดาวเทียม SPOT-5 ร่วมกับการสำรวจข้อมูลภาคสนาม วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบของยางพารา และข้อมูลภาพถ่ายทางดาวเทียม และสร้างเป็นข้อมูลเชิงแผนที่ รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางด้านภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางสรีรวิทยาของยางพารา ในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตในรอบปีของยางพารา

## 2. การตรวจเอกสาร

### 2.1 ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index: LAI)

#### 2.1.1 ความหมายและความสำคัญของดัชนีพื้นที่ใบ

ดัชนีพื้นที่ใบ หมายถึง พื้นที่ใบต่อหน่วยพื้นที่ผิวดิน (Curran *et al.*, 1990; Wasseige *et al.*, 2003) เป็นตัวแปรที่สำคัญของพืช สัมพันธ์กับกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช หลายกระบวนการ เช่น การดูดกลืนแสงที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของทรงพุ่ม การแลกเปลี่ยนคาร์บอนและพลังงาน การคายระเหยน้ำ ความสามารถในการรองรับน้ำฝนของทรงพุ่ม การหายใจ (Xavier and Vettorazzi, 2003; Jonckheere *et al.*, 2005) มีค่าขึ้นกับชนิด อายุ และสภาพสิ่งแวดล้อม (Jonckheere *et al.*, 2004) นอกจากนี้ดัชนีพื้นที่ใบ เป็นตัวแปรสำคัญที่นิยมใช้โดยนักสรีรวิทยาและนักสร้างโมเดล ในการคาดการณ์การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ใช้ศึกษาความเข้าใจในกระบวนการชีวภาพของทรงพุ่มของพืช (Haboudane *et al.*, 2004b) ใช้ในการสร้างโมเดลการตอบสนองของทรงพุ่มต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม (Jonckheere *et al.*, 2005) เป็นตัวแปรหลักของทรงพุ่มที่มักใช้ในการสร้างโมเดลของกระบวนการต่าง ๆ ของพืช เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสง และการคายระเหยน้ำของทรงพุ่ม (Turner *et al.*, 1999; Weiss *et al.*, 2004) หรือเป็นตัวแปรในการประมาณค่าอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สาพิศ และคณะ, 2548) ในไม้ยืนต้นดัชนีพื้นที่ใบจะเพิ่มขึ้นตามอายุของต้นไม้ และมีค่าสูงสุดเมื่อต้นไม้เจริญเติบโตเต็มที่หรือเกือบโตเต็มที่ และอาจลดลงเล็กน้อยหลังจากโตเต็มที่ มีการเพิ่มขึ้นสูงสุดในหนึ่งฤดูกาลของรอบปี และการเปลี่ยนแปลงมักขึ้นกับอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน โดยเฉพาะในป่าฝนเขตร้อนมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงหรือชีพจักรของใบจะเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี และเปลี่ยนแปลงมากในช่วงฤดูร้อน ค่าดัชนีพื้นที่ใบสูงสุดสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศในระยะยาว ในสถานะที่น้ำเป็นปัจจัยจำกัดของพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง ดัชนีพื้นที่ใบยังมีค่าสูงสุดได้ หากปริมาณน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ทั้งหมดต่อพืชยังสามารถนำไปใช้ได้ พื้นที่ป่าแต่ละชนิดมีรูปแบบการกระจายของดัชนีพื้นที่ใบสูงสุดแตกต่างกัน และถูกควบคุมด้วยตัวแปรทางด้านสภาพภูมิอากาศในระยะยาว เช่น อุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในรอบปี ดัชนีความอบอุ่นและดัชนีความชื้น (Tianxiang *et al.*, 2002)

### 2.1.2 การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ

การประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบสามารถแบ่งได้ 2 วิธีหลัก คือ การประมาณโดยตรง และการประมาณโดยอ้อม และถือว่าการประมาณโดยตรงเป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด แต่ก็ยังเป็นวิธีที่ใช้เวลา และแรงงานสูง ดังนั้นการใช้สำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่และในระยะเวลาศึกษายาวนานจึงไม่ค่อยเหมาะสม แต่ก็มีข้อจำเป็นเพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของวิธีโดยอ้อม วิธีประมาณโดยตรง ได้แก่ วิธีการเก็บรวบรวมใบจากต้นมาวิเคราะห์โดยตรง (destructive sampling) หรือการใช้วิธีเก็บด้วยโครงตาข่าย (litter fall trap) ในช่วงที่ใบร่วง ซึ่งใช้ได้เฉพาะไม้ผลัดใบ ขณะที่วิธีประมาณโดยอ้อมที่นิยมใช้กัน คือ วิธีการอาศัยแสง (optical method) ในส่วนของวิธีเก็บใบจากต้นมาวิเคราะห์โดยตรง เป็นวิธีที่อาศัยสมมติฐานที่ต้นไม้มิในพื้นที่ที่มีลักษณะสม่ำเสมอ โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างใบมาหาพื้นที่ใบ หากข้อมูลมีการกระจายแบบปกติตัวอย่างเพียง 3 ถึง 5 ต้น ก็เป็นตัวอย่างที่เพียงพอ ส่วนวิธีเก็บใบด้วยโครงตาข่ายเป็นการเก็บใบที่ร่วงสะสม จากนั้นวิเคราะห์ดัชนีพื้นที่ใบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก หากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งและพื้นที่ใบ โดยคำนวณกับค่าของอัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งจำเพาะของใบ ซึ่งสามารถหาได้ด้วยวิธีการสุ่มใบจากแปลงทดลองมาวัดพื้นที่ใบ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิระหว่าง 75 ถึง 105 °C จนมีน้ำหนักคงที่ แล้วคำนวณค่าอัตราส่วนดังกล่าว (Jonckheere *et al.*, 2004)

โครงตาข่ายรองรับใบที่ร่วงของต้นไม้ เป็นวิธีการศึกษาการพัฒนาทางด้านชีวจักรของต้นไม้ เป็นวิธีโดยตรงในการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ จากใบที่เก็บด้วยโครงตาข่าย และคำนวณด้วยค่าอัตราส่วนพื้นที่ใบเฉพาะ (อัตราส่วนของพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งของใบมีหน่วยเป็น ตร.ซม./ก.) การกำหนดจำนวนจุดของการติดตั้งโครงตาข่าย ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการประเมินข้อมูล โดยทั่วไปควรวางให้ครอบคลุมชนิดดิน สภาพอากาศ และโครงสร้างของพืชที่แตกต่างกัน การวางสามารถวางได้ทั้งแบบสุ่มและแบบเป็นระบบ ข้อมูลที่ได้จากโครงตาข่ายเป็นค่าตัวแปรของทรงพุ่มไม่ใช่ของต้นไม้ต้นใดต้นหนึ่ง ดังนั้นจึงควรวางให้กระจายทั่วพื้นที่ศึกษาอย่างน้อย 10 จุดต่อพื้นที่ศึกษา หรืออาจเป็น 20 ถึง 30 จุด ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ศึกษาและชนิดของพืชที่ประเมิน วัสดุที่ใช้ทำโครงตาข่ายควรระบายน้ำได้ พื้นที่รองรับใบควรอยู่ในแนวระนาบกับพื้น (Anonymous, 2004)

การคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ใบแบบอาศัยหลักการของแสง เป็นการประยุกต์กฎของ Beer-Lambert (Beer-Lambert Law) (Rich *et al.*, Hemiview User Manual, Delta-T Devices Ltd) ได้ดังสมการ

$$G(\theta) = e^{-K(\theta)L}$$

เมื่อ

G คือ สัดส่วนช่องว่างทรงพุ่ม หรือ gap fraction

K ( $\theta$ ) คือ สัมประสิทธิ์ความแตกต่างที่มุม  $\theta$  (the extinction coefficient at angle  $\theta$ )

L คือ คำนีพื้นที่ใบ หรือ LAI

และ  $\theta$  คือ องศาของมุมในแนวตั้ง หรือ zenith angle

ในทรงพุ่มที่ใบมีการกระจายอย่างสุ่ม การประมาณคำนีพื้นที่ใบสามารถวัดโดยอาศัยหลักการวัดแสงที่ส่องผ่านทรงพุ่ม ซึ่งประยุกต์จากกฎของ Beer-Lambert โดยการวัดแสงที่ส่องกระทบทรงพุ่ม ซึ่งขึ้นอยู่กับรังสีที่ตกลงบนทรงพุ่ม โครงสร้างทรงพุ่มและคุณสมบัติเชิงแสง และเกี่ยวกับการวัดรังสีที่ส่องผ่านทรงพุ่มลงมาที่พื้นด้านล่าง แล้วประมาณเป็นค่าของคำนีพื้นที่ใบ ซึ่งอาศัยเครื่องมือวัดแบบอาศัยแสง ที่จะวัดช่องว่างทรงพุ่มทั้งแนวราบ (azimuth) และแนวตั้ง (zenith) แล้วประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความแตกต่างของทรงพุ่ม โดยอาศัยสมมติฐานที่ใบมีการกระจายอย่างสุ่มในแนวระนาบตลอดทั้งทรงพุ่ม ทำให้มีความสมมาตรของทรงพุ่มในแนวราบ รวมทั้งอาศัยสมมติฐานที่ว่าไม่มีรังสีที่สะท้อนหรือส่งผ่านมาจากใบ เทคนิคการประมาณดังกล่าวเป็นเทคนิคอาศัยแสง อาจมีปัจจัยรบกวนจากส่วนที่ไม่ใช่ใบ เช่น กิ่งก้านและส่วนของลำต้นต่อค่าคำนีพื้นที่ได้ ดังนั้นค่าที่ได้จึงควรเป็นคำนีพื้นที่ของพืชทั้งต้น (plant area index: PAI) อุปกรณ์แบบอาศัยแสงมักเป็นวิธีที่นิยมใช้ประมาณคำนีพื้นที่ใบ สามารถใช้ได้ทั้งการวิเคราะห์ช่องว่างของทรงพุ่ม (gap fraction) เช่น การใช้ LAI-2000 และการวิเคราะห์การกระจายของขนาดช่องในทรงพุ่ม (gap size distribution) เช่น การใช้ TRAC และ Hemispherical photography (Coops *et al.*, 2004; Jonckheere *et al.*, 2004)

เทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา หรือ Hemispherical photography เป็นวิธีการโดยอ้อมวิธีหนึ่งในการศึกษาคำนีพื้นที่ใบ และโครงสร้างของทรงพุ่ม รวมทั้งการศึกษาร่องผ่านของแสงภายในทรงพุ่ม โดยการถ่ายภาพทรงพุ่มจากพื้นดินขึ้นไปบนท้องฟ้าในแนวตั้ง ด้วยเลนส์ตาปลา (fisheye lens) ที่สามารถรับภาพได้ 180 องศา บันทึกขนาด รูปร่าง และตำแหน่งของช่องว่างของทรงพุ่ม ภาพถ่ายหรือภาพสแกนทรงพุ่มที่ได้สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กระบวนการในการวิเคราะห์ภาพจะเกี่ยวกับการแปลภาพให้อยู่ในตำแหน่งที่มีพิกัดและมุมแยกความแตกต่างระหว่างท้องฟ้ากับส่วนที่ไม่ใช่ท้องฟ้า จำแนกส่วนที่เป็นใบพืชหรือทรงพุ่มออกจากส่วนที่เป็นท้องฟ้า กำหนดการกระจายความสว่างของท้องฟ้า การถ่ายภาพควรถ่ายในสภาพ



ช่วงเย็นก่อนดวงอาทิตย์ตกหรือในสภาพท้องฟ้าไม่มีเมฆ หรือควรมีเมฆปกคลุมสม่ำเสมอ จากนั้นใช้ข้อมูลดังกล่าวในการคำนวณประมาณแสงที่ส่องผ่านทรงพุ่ม หรือคำนวณโครงสร้างทรงพุ่ม การเปิดกว้างของทรงพุ่ม ดัชนีพื้นที่ใบ และการกระจายของแสงในทรงพุ่ม (Lertzman, 1999; Coops *et al.*, 2004)

การวิเคราะห์ดัชนีพื้นที่ใบและโครงสร้างของทรงพุ่ม ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา สามารถประยุกต์ใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้แก่ GLA (The gap light analyzer) ในรายงานของ Lertzman (1999) โปรแกรม GLA เป็นโปรแกรมประยุกต์บนระบบปฏิบัติการ Windows มีความสามารถในการแสดง และวิเคราะห์ภาพในระบบดิจิทัลของภาพถ่ายทรงพุ่มด้วยเลนส์ตาปลา โปรแกรม GLA ถูกพัฒนาโดย Dr.Chares Canham ของสถาบันศึกษานิเวศวิทยา (Institute of Ecosystem Studies; IES) ที่ New York โดยสามารถประยุกต์กับข้อมูลได้หลายรูปแบบ เช่น ภาพถ่ายดิจิทัล ภาพถ่ายด้วยฟิล์ม หรือภาพสแกน โปรแกรม GLA สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีจากเว็บไซต์ที่ให้บริการ ได้แก่ <http://www.ecostudies.org/gla/>

ความแม่นยำของการใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลาในระบบดิจิทัล ขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพดิจิทัล ที่สามารถปรับได้ด้วยการเพิ่มความละเอียดของภาพ และการถ่ายภาพภายใต้สภาพท้องฟ้าคงที่สม่ำเสมอ (Guevara-Escobar *et al.*, 2005) เนื่องจากสภาพบรรยากาศเป็นอิทธิพลหลักของการประมาณดัชนีพื้นที่ใบด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา การถ่ายภาพจำเป็นต้องทำในสภาพที่ไม่มีแสงจ้าและท้องฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ทั้งนี้เทคนิคดังกล่าวเป็นการถ่ายภาพทรงพุ่มของต้นไม้ในแนวตั้งภายใต้ทรงพุ่ม ดังนั้นการซ้อนกันของใบและกิ่งเป็นกลุ่ม (clumping) อาจเป็นอีกปัจจัยหลักที่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณดัชนีพื้นที่ใบ มีผลทำให้ค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าจริง (Mussche *et al.*, 2001; Jonckheere *et al.*, 2004)

Guevara-Escobar และคณะ (2005) ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลในการวิเคราะห์ลักษณะทรงพุ่ม การปกคลุมของทรงพุ่มของสวนป่ายูคาลิปตัส โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของสิ่งปกคลุมพื้นผิว เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างการใช้กล้อง Kodak DC-120 และ Canon EOS D1 พบว่า มีความแม่นยำใกล้เคียงกัน รวมทั้งมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จาก LAI-2000 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากกล้องทั้งสองชนิดมีค่าเท่ากับ -0.02 ส่วนค่าระหว่างกล้อง Kodak กับ LAI-2000 และระหว่างกล้อง Canon กับ LAI-2000 มีค่าเท่ากับ -0.07 และ -0.05 ตามลำดับ Coops และคณะ (2004) เปรียบเทียบวิธีการสามวิธี คือ การใช้ LAI-2000 การใช้วิธีถ่ายภาพแบบแบ่งส่วน (a point quadrat camera method) และเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา ประมาณดัชนีพื้นที่ใบของป่ายูคาลิปตัส พบว่า วิธีการทั้งสามให้ค่าการประมาณใกล้เคียงกัน และมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานระหว่างวิธีการน้อยกว่า 0.2 หน่วยของดัชนีพื้นที่ใบ

นอกเหนือจากวิธีการที่กล่าวมา ยังมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบ โดยส่วนใหญ่การศึกษาดังกล่าวจะเป็นการหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ (vegetation indices) ทั้งนี้วิธีการดังกล่าวจำเป็นต้องมีการตรวจสอบกับข้อมูลที่ได้จากการวัดในภาคสนาม (Xavier and Vettorazzi, 2003; Colombo *et al.*, 2003) Saito และคณะ (2001) ประมาณดัชนีพื้นที่ใบโดยใช้ภาพที่ถ่ายด้วยเลนส์ตาปลาเป็นข้อมูลภาคสนาม วิเคราะห์สัมพันธ์กับดัชนี Normalised difference vegetation indices (NDVI) ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-TM สร้างสมการในการประมาณดัชนีพื้นที่ใบจากภาพถ่ายดาวเทียมโดยตรง ได้สมการประมาณดัชนีพื้นที่ใบจาก NDVI ที่ระดับค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.46 ทั้งนี้ดัชนีพื้นที่ใบที่ประมาณได้ด้วยการใช้ภาพถ่ายดาวเทียม เป็นการวัดปริมาณพลังงานการสะท้อนช่วงคลื่นของทรงพุ่ม ข้อมูลภาคสนามที่แม่นยำมีความจำเป็นในการประมาณดัชนีพื้นที่ใบ ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบความถูกต้องของการสำรวจระยะไกล โดยข้อมูลภาคสนามอาจได้จากวิธีการเก็บใบมาวิเคราะห์ค่าโดยตรง การใช้โครงตาข่าย หรือการประมาณด้วยอุปกรณ์ใช้แสง (Shoemaker, 2005)

## 2.2 การประยุกต์การสำรวจระยะไกล

### 2.2.1 การสำรวจระยะไกล

การสำรวจระยะไกลเป็นศาสตร์และศิลป์ของการได้มาของข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้น ที่ หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากเครื่องมือ ที่ดำเนินการโดยไม่ต้องสัมผัสกับสิ่งต่าง ๆ เหล่านั้น (Lillesand and Kiefer, 1994 อ้างโดย อภินันท์, 2545) เราสามารถหาชนิดของวัตถุได้จากลักษณะการสะท้อน หรือการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุนั้น ๆ นั่นคือ วัตถุแต่ละชนิดจะมีลักษณะการสะท้อนแสง หรือการแผ่รังสีที่มีลักษณะเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปถ้าวัตถุหรือสภาพแวดล้อมเป็นคนละประเภทกัน การสำรวจระยะไกลจึงเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจำแนกและเข้าใจวัตถุหรือสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ทั้งนี้จะอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นสื่อของการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น รูปทรงสัญญาณของวัตถุบนพื้นโลก และการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา องค์ประกอบที่สำคัญของการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล คือ คลื่นแสงที่เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์หรือพลังงานจากตัวเอง (สุรชัย, 2536 อ้างโดย อภินันท์, 2545) การสำรวจข้อมูลระยะไกลเป็นเทคโนโลยีในการรวบรวมข้อมูลจากระยะไกล โดยการใช้อุปกรณ์ตรวจจับพลังงานที่

สะท้อนหรือแผ่ออกมาจาก พีช ดิน และสิ่งปกคลุมโลก ทั้งที่เป็นธรรมชาติ หรือถูกสร้างขึ้นโดยมนุษย์ วัตถุเหล่านี้จะสะท้อนและแผ่รังสีในทุกช่วงคลื่นด้วยลักษณะที่แตกต่างกัน ความแตกต่างเหล่านี้ทำให้การติดตามสถานะสิ่งแวดล้อม หรือการสังเกตการณ์ผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ง่าย และสามารถทำการวัดทำแผนที่ และใช้ประโยชน์จากภาพที่ถ่ายในเวลาต่าง ๆ กันได้ (นิภา, 2548)

ข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์นั้น มีอยู่ 2 ประเภท คือ ข้อมูลในลักษณะรูปถ่ายและข้อมูลในลักษณะข้อมูลภาพเชิงตัวเลข สิ่งที่น่าสนใจในข้อมูลทั้งสองรูปแบบ คือ ระดับการสะท้อนแสง หรือการแผ่รังสีของสิ่งปกคลุมและพื้นผิวต่าง ๆ ของโลกตามสภาพความเป็นจริง ซึ่งตรวจวัดได้ด้วยอุปกรณ์สำรวจ เราจะเรียกข้อมูลนี้ว่า ข้อมูลเบื้องต้นหรือข้อมูลดิบ (อภิรักษ์, 2545) ข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย

1) ข้อมูลในลักษณะรูปถ่าย ในการบันทึกสัญญาณภาพจากดาวเทียมโดยสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินนั้น สัญญาณภาพที่ได้รับจะเปลี่ยนเป็นตัวเลข แล้วบันทึกลงเทปความหนาแน่นสูง เพื่อถ่ายทอดเป็นข้อมูลรูปถ่ายหรือข้อมูลเชิงตัวเลขภายหลัง ในการผลิตข้อมูลรูปถ่ายข้อมูลตัวเลขจะเปลี่ยนเป็นระดับสีเทาแล้วบันทึกลงบนฟิล์มต้นฉบับ เพื่อนำไปอัดขยายให้อยู่ในลักษณะตามความต้องการของผู้ใช้ต่อไป รูปถ่ายแต่ละช่วงคลื่นของการถ่ายภาพจึงอยู่ในลักษณะภาพขาว-ดำ โดยมีระดับสีเทาเป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าการสะท้อนแสงจากสีขาว ซึ่งแสดงค่าการสะท้อนมากจนถึงสีดำ หรือจุดข้มมาก การทำภาพสีจะเป็นการเน้นภาพ สามารถทำได้โดยการให้สีแต่ละช่วงคลื่นเลียนแบบระบบธรรมชาติ แล้วนำภาพที่ให้แสงสีแล้วนี้มารวมกันอย่างน้อย 3 ภาพ จึงเกิดภาพสีผสมขึ้นโดยปกตินิยมใช้แสงสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง สำหรับช่วงคลื่นสั้นและยาวตามลำดับของแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นจนถึงอินฟราเรด (ธงชัย, 2536 อ้างโดย อภิรักษ์, 2545)

2) ข้อมูลเชิงตัวเลข คือ กลุ่มของพื้นที่ย่อย ๆ ที่ถูกแบ่งออก และแทนที่ด้วยค่าจำนวนเต็มของความเข้มเฉลี่ย ณ ตำแหน่งศูนย์กลางของพื้นที่นั้น ๆ การแบ่งภาพออกเป็นกลุ่มของพื้นที่ย่อย ๆ นี้เรียกว่าการสุ่มตัวอย่างพื้นที่ย่อย ๆ แต่ละพื้นที่เรียกเป็นจุดภาพ (pixel) ลักษณะรูปร่างของจุดภาพมักจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพื่อความสะดวกในการใช้งานกับคอมพิวเตอร์ ภาพเชิงตัวเลขมีการจัดเรียงตำแหน่งด้วยหมายเลขของจุดภาพเริ่มจากซ้ายมาขวา และด้วยหมายเลขของจุดภาพจากบนลงล่าง (สำนักงานคณะ กรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540 อ้างโดย อภิรักษ์, 2545)

การสำรวจระยะไกลสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับพืชปลูก การกระจายของพืช ดัชนีพื้นที่ใบ และชีพจักรของพืช การสร้างโมเดลของพืชสามารถประยุกต์ตัวแปรที่ได้จากการสำรวจระยะไกล และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (geographic information system: GIS) เพื่อตรวจดู

การเจริญเติบโตของพืช โดยนำเข้าสู่ข้อมูลทางด้านภูมิอากาศ สถานที่ และลักษณะการจัดการของพืช เข้าสู่โมเดล (Dadhwal, 2006)

## 2.2.2 การสะท้อนช่วงคลื่นของพืชพรรณ

### การสะท้อนจากพืช

การสำรวจข้อมูลระยะไกลเกี่ยวกับการสะท้อนช่วงคลื่นจากพืช มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนจากทรงพุ่มของพืชและลักษณะทางกายภาพของทรงพุ่มนั้น เพื่อที่จะได้สกัดเอาข้อมูลสถานะทางกายภาพของทรงพุ่มที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าโครงสร้างของใบจะแตกต่างกันตามชนิดและสิ่งแวดล้อม แต่ใบพืชทุกชนิดก็ประกอบด้วยส่วนสำคัญที่เหมือนกัน คือ เซลล์มีโซฟิลล์ที่ประกอบด้วยรงควัตถุต่าง ๆ น้ำ และอากาศ เมื่อแสงส่องลงมายังใบไม้สีเขียว จะเกิดการสะท้อนแสงหลายทิศทางที่ผนังเซลล์และภายในใบพืช โดยแสงจะสะท้อนอย่างกระจัดกระจายภายในอีพิเดอร์มิส และคลอโรพลาสต์ของเซลล์พาลีเสด ในขณะที่แสงจะถูกดูดซับโดยรงควัตถุภายในเซลล์พาลีเสด โดยน้ำในใบพืชและโดยองค์ประกอบทางเคมีในใบพืช (นิภา, 2548)

### ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นจากใบพืชสีเขียว

รูปแบบการสะท้อนช่วงคลื่นจากใบของพืชชนิดต่าง ๆ พืชจะดูดซับรังสีในช่วงคลื่นตามมองเห็นปริมาณมาก คลอโรฟิลล์ A และ B ดูดซับช่วงคลื่นสีแดงได้มากเพราะต้องใช้เป็นพลังงานในการสังเคราะห์แสง ที่ช่วงคลื่นประมาณ 0.7 ไมครอน หรือ ช่วง “ ขอบแดง ” มีการเปลี่ยนแปลงเส้นโค้งอย่างฉับพลัน เพราะการดูดซับโดยรงควัตถุหูดลง พืชทุกชนิดสะท้อนและส่งผ่านแสงอินฟราเรดใกล้ (near infrared; 0.76– 1.3 ไมครอน) ซึ่งไม่มีประโยชน์ในการสังเคราะห์ด้วยแสง และเป็นการขจัดความร้อนส่วนเกินออกจากใบพืชด้วย และเมื่อเลยจากความยาวคลื่น 1.2 ไมครอน ลักษณะการดูดซับโดยน้ำจะเด่นชัดขึ้น ใบพืชจะมีประสิทธิภาพในการเป็นตัวดูดซับและตัวแผ่กระจายความยาวคลื่นตั้งแต่ 2.0 ไมครอน ขึ้นไป เป็นการขจัดพลังงานความร้อนออกจากใบพืช

เนื่องจากในใบสีเขียวมีการส่งผ่านในช่วงคลื่นที่ตามมองเห็นปริมาณน้อย แต่มีการส่งผ่านในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ปริมาณสูง การส่งผ่านนี้มีผลต่อการสะท้อนจากทรงพุ่มของพืช

โดยพบว่าถ้าเพิ่มขึ้นใบพืชขึ้นทีละใบ การสะท้อนของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นของใบจนถึงประมาณ 6 ใบแต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น แสดงให้เห็นว่าการสะท้อนจากทรงพุ่มของพืชสีเขียวมีการเปลี่ยนแปลงการสะท้อนของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ จนดัชนีพื้นที่ใบสีเขียว (green leaf area index : GLAI) ประมาณ 6 แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยถ้า GLAI มากกว่านี้ การเปลี่ยนแปลงการสะท้อนช่วงคลื่นจากทรงพุ่มเมื่อ GLAI และการคลุมดินเพิ่มขึ้น การสะท้อนจากใบพืชสีเขียวจะเปลี่ยนแปลง ถ้าพืชขาดน้ำใบพืชจะสูญเสียความสามารถในการรักษาสมดุลอุณหภูมิ ทำให้อุณหภูมิในใบพืชเพิ่มขึ้น ในขณะที่ใบพืชเริ่มเหี่ยวจะมีผลต่อรูปร่างของทรงพุ่ม และการสะท้อนจากทรงพุ่มของพืช การสะท้อนจากใบพืชแต่ละใบจะเริ่มเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการคายน้ำจะลดลง อันเนื่องมาจากความชื้นในใบพืชลดลง อย่างไรก็ตามใบพืชจะรักษาองค์ประกอบการสะท้อนไว้ได้จนกว่ารงควัตถุในใบพืชจะสลายตัว ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากใบพืชเริ่มขาดน้ำและเหี่ยว (นิภา, 2548)

ใบของพืชจะสะท้อนแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ปริมาณมาก การสะท้อนไม่ได้เกิดจากส่วนของรงควัตถุ แต่เกิดจากเนื้อเยื่อสpongiformซิลิโคน โดยจะมีการกระเจิงของแสงดังกล่าวภายในเนื้อเยื่อซิลิโคน และช่องว่างภายในใบ โครงสร้างภายในของใบพืชที่ยังมีชีวิตจึงตอบสนองต่อการสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ โดยที่การสะท้อนคลื่นแสงสูงสุดของใบพืชที่ยังมีชีวิตไม่ใช่คลื่นแสงสีเขียว แต่เป็นคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ ดังนั้นจึงนิยมประยุกต์ใช้คลื่นแสงอินฟราเรดในการศึกษาทางด้านพืช (Campbell, 1987)

### การสะท้อนช่วงคลื่นจากทรงพุ่มของพืช

ลักษณะการสะท้อนรังสีจากพืชทุกชนิดจะมีรูปแบบที่เหมือนกัน ความแตกต่างในการสะท้อนไม่ค่อยมีความสำคัญมากนัก และไม่ค่อยมีประโยชน์ในการสำรวจระยะไกล แต่สิ่งที่มีความสำคัญ คือ ปัจจัยที่มีผลต่อการสะท้อนจากทรงพุ่มของพืช ได้แก่ ตำแหน่งการเรียงตัว การสะท้อน การดูดซับ และการส่งผ่านจากองค์ประกอบทุกอย่างของทรงพุ่มของพืช ได้แก่ การกระจายของแสงที่ตกกระทบ และการสะท้อนจากพื้นดิน พืชทุกชนิดใช้รงควัตถุชนิดเดียวกันในการสังเคราะห์แสงและใช้วัสดุเคมีที่เหมือนกันในการสร้างตัวเอง แต่การเปลี่ยนแปลงอายุและฤดูกาลทำให้พืชต้องปรับตัวทั้งทางด้านการปรับสัดส่วนของรงควัตถุ การเปลี่ยนแปลงทรงพุ่ม ปรับรูปแบบการเจริญเติบโต และปรับโครงสร้างของใบ ทั้งหมดนี้จะมีผลต่อการสะท้อนจากทรงพุ่มของพืชในช่วงชีวิตของพืช ดังนั้นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการสะท้อนจากทรงพุ่มของพืชระหว่างปีและระหว่างฤดูกาล จึงเป็นแนวทางสำคัญในการแยกชนิดของพืช พื้นที่เกษตรกรรมที่มีกิจกรรม

ของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง ตั้งแต่การไหลพรานจนถึงเก็บเกี่ยวมักจะมีรูปแบบที่แน่นอนในแต่ละพืช ทำให้ง่ายต่อการแยกชนิดพืชออกจากการใช้ที่ดินประเภทอื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงในช่วงเก็บเกี่ยว ส่วนใหญ่จะให้ข้อมูลที่สำคัญ เพราะในช่วงเก็บเกี่ยวจะเห็นได้ชัดจากภาพ และมักจะเป็นช่วงหน้าแล้งที่ไม่มีเมฆบัง (นิภา, 2548)

ในช่วงคลื่นที่เห็นด้วยตาเปล่า คลอโรฟิลล์ของใบพืชดูดกลืนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 0.45 ไมครอน (แสงสีน้ำเงิน: B) และ 0.65 ไมครอน (แสงสีแดง: R) สะท้อนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 0.55 ไมครอน (แสงสีเขียว: G) ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นใบพืชที่มีสีเขียว เพราะใบพืชดูดกลืนแสงสีน้ำเงินและสีแดงและสะท้อนแสงสีเขียว หากว่าใบพืชมีอาการผิดปกติ เช่น เหี่ยวแห้ง หรือ ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง จะทำให้การสะท้อนที่คลื่นสีเขียวลดลงปรากฏเป็นสีอื่นแทน ในช่วงความยาวคลื่น 0.7 – 1.3 ไมครอน (อินฟราเรดใกล้: NIR) ใบพืชสะท้อนพลังงานสูงประมาณร้อยละ 50 การสะท้อนพลังงานของพืชที่ความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรดใกล้ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของใบพืชที่แตกต่างกันไปตามชนิดพืช ทำให้สามารถจำแนกชนิดของพืชได้ แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชในช่วงคลื่นที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าจะใกล้เคียงกัน ในทำนองเดียวกันการสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ของพืชที่มีอาการผิดปกติทางใบ จะแตกต่างไปจากการสะท้อนของพืชที่สมบูรณ์ที่ความยาวคลื่นเดียวกัน ดังนั้นระบบการสำรวจระยะไกลที่สามารถบันทึกค่าการสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ สามารถใช้สำรวจอาการผิดปกติของพืชได้ ส่วนช่วงคลื่นที่มีขนาดสูงกว่า 1.3 ไมครอน พลังงานส่วนใหญ่ถูกดูดกลืนหรือสะท้อนโดยใบพืชแทบจะไม่มีการทะลุทะลวง มักพบค่าต่ำลงที่ 1.4, 1.9 และ 2.7 ไมครอน เพราะว่ามีน้ำในใบพืชจะดูดกลืนความยาวดังกล่าวเรียกว่า water absorption band และค่าสูงขึ้นที่ความยาวคลื่น 1.6 และ 2.2 ไมครอน ตลอดช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 1.3 ไมครอน ค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชแปรผกผันกับปริมาณน้ำทั้งหมดในใบพืช (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2538 อ้างโดย อภินันท์, 2545)

รูปแบบการสะท้อนแสงของทรงพุ่มขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น โครงสร้างของพืช องค์ประกอบทางชีวเคมีของใบ พื้นผิวดิน และลักษณะทางเรขาคณิตของข้อมูล (Houborg *et al.*, 2006) ดัชนีพื้นที่ใบของพื้นที่ป่าแปรปรวนขึ้นอยู่กับการปัจจัย เช่น ชนิดพืช ความหนาแน่นของต้นไม้ ความหนาแน่นของทรงพุ่ม ระดับเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพียงอก และความสูงลำต้น ซึ่งในพื้นที่ที่มีพืชหลายชนิด ถ้าค่าความสัมพันธ์กับการสะท้อนช่วงคลื่นที่ได้มีค่าต่ำก็ไม่ใช่ว่าเรื่องแปลก ดังนั้นจึงมีการแนะนำการใช้อินฟราเรดคลื่นสั้น (shortwave infrared: SWIR) ในการศึกษาพืช จะให้ค่าความสัมพันธ์ที่สูงกว่าการใช้อินฟราเรดใกล้ในการประยุกต์กับค่าดัชนีพืชพรรณ ซึ่งในดาวเทียมหลายดวงก็มีการบันทึกช่วงคลื่นดังกล่าว เช่น SPOT, MODIS และ ASTER (Lee *et al.*, 2006)

### 2.2.3 การสะท้อนช่วงคลื่นของดิน และน้ำ

**ดิน** ความสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนพลังงานของดินกับความยาวคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงน้อย การสะท้อนของดินนั้นไม่ขึ้นกับความยาวช่วงคลื่น แต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยบางอย่าง เช่น ความชื้นในดิน เนื้อดิน ความขรุขระของพื้นที่ ปริมาณเหล็กออกไซด์ และอินทรีย์วัตถุ เป็นต้น ถ้าความชื้นในดินสูง ความขรุขระและอินทรีย์วัตถุในดินสูง ตลอดจนการมีเหล็กออกไซด์ในดิน ค่าการสะท้อนของดินจะลดลง

**น้ำ** การสะท้อนพลังงานของน้ำมีลักษณะที่แตกต่างจากลักษณะวัตถุอื่นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ น้ำที่ปรากฏบนผิวโลกมีหลายสภาพ เช่น น้ำจืด น้ำใส น้ำมีวัชพืชปะปน จะมีค่าแตกต่างกัน น้ำใสดูดพลังงานเล็กน้อยที่ช่วงคลื่นต่ำกว่า 0.6 ไมครอน การส่งผ่านพลังงานจะเกิดขึ้นในช่วงแสงสีน้ำเงิน เขียว แต่น้ำที่มีตะกอนหรือสิ่งเจือปน การสะท้อนและการส่งผ่านพลังงานเปลี่ยนไป เช่น น้ำที่มีตะกอนแขวนลอย สะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นเห็นได้ด้วยตาเปล่ามากกว่าน้ำใส ถ้ามีคลอโรฟิลล์ในน้ำมากขึ้น การสะท้อนช่วงคลื่นสีน้ำเงินลดลง และเพิ่มขึ้นในช่วงคลื่นสีเขียว (สุทัศน์ และสมยศ, 2544)

### 2.2.4 ดัชนีพืชพรรณ

ด้วยหลักการที่รังควัตถุของใบพืชจะดูดยึดคลื่นแสงสีแดง ขณะที่คลื่นแสงอินฟราเรดใกล้จะมีการสะท้อนจากใบของพืชได้มากกว่า ดังนั้นการที่พื้นที่ใบของทรงพุ่มเพิ่มสูงขึ้น จะพบการดูดยึดแสงสีแดงมากขึ้น ทำให้มีการสะท้อนคลื่นแสงสีแดงได้น้อย แต่กลับเพิ่มการสะท้อนคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ (Xavier and Vettorazzi, 2004) ดัชนีพืชพรรณจึงเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ของคลื่นแสง ในการสังเกตพืชพรรณด้วยการสำรวจระยะไกล ซึ่งมักเป็นการคำนวณจากคลื่นแสงสีแดงและคลื่นอินฟราเรดใกล้ ดัชนีดังกล่าวใช้หลักการเปรียบเทียบความแตกต่างของการดูดยึดคลื่นแสงสีแดงของรงควัตถุในคลอโรฟิลล์ และการสะท้อนของคลื่นอินฟราเรดจากพืช ดัชนีพืชพรรณมีศักยภาพในการประมาณพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของพืช เช่น เปอร์เซ็นต์ปกคลุมของพื้นที่สีเขียวของพืช ดัชนีพื้นที่ใบ PAR (photosynthetically active radiation) ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความสามารถในการศึกษากระบวนการต่าง ๆ ของพืช เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ การคายระเหยน้ำ (Elvidge and Chen, 1995; Turner *et al.*, 1999) ดัชนีพืชพรรณมีหลายตัวที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ลักษณะของพืช แต่ที่เป็นที่นิยมใช้กัน คือ NDVI แต่ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของ NDVI กับพืชมักไม่เป็นเส้นตรง

เนื่องจากการตอบสนองของ NDVI ต่อพืช จะมีระดับอ้อมตัวที่ความหนาแน่นของพืชสูง ๆ หรือมีมวลชีวภาพของพืชสูง ๆ (Freitas *et al.*, 2005)

วัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้ดัชนีพืชพรรณ คือ การลดการตอบสนองของปัจจัยภายนอกที่ไม่ใช่สิ่งที่สนใจ เช่น พื้นผิวดิน หรือบรรยากาศ (Steven *et al.*, 2003) โดยทั่วไป จำแนกดัชนีพืชพรรณเป็น ratio indices และ orthogonal indices (Broge and Leblanc, 2000; Elvidge and Chen, 1995) ซึ่ง ratio indices คำนวณโดยไม่คำนึงถึงผลของคุณสมบัติการสะท้อนคลื่นแสงของพื้นผิวดิน ส่วน orthogonal indices คำนวณโดยพิจารณาถึงเส้นพื้นฐานของดิน โดยเส้นพื้นฐานของดินกำหนดจากค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งเป็นค่าของความชัน และจุดตัดของเส้นสมการรีเกรสชันของค่าการสะท้อนคลื่นแสงของดิน ระหว่างคลื่นแสงสีแดงและแสงอินฟราเรดใกล้ (Broge and Leblanc, 2000) ในการศึกษาทางด้านพืชส่วนมากเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบและดัชนีต่าง ๆ ที่ได้จากการสำรวจระยะไกล (Gobron *et al.*, 1997) โดยที่ดัชนี NDVI และ SR มักเป็นดัชนีที่นิยมใช้ศึกษาความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ (Aparicio *et al.*, 2002) Elvidge และ Chen (1995) รายงานว่า ดัชนีพืชพรรณมีศักยภาพในการประมาณดัชนีพื้นที่ใบของพืชได้ โดยมากนิยมใช้ NDVI และ RVI (ratio vegetation index) (ในที่นี้ RVI เป็นตัวเดียวกับ simple ratio; SR) และพบว่า การประมาณดัชนีพื้นที่ใบของพืชด้วยดัชนี NDVI และ RVI มักได้รับอิทธิพลจากการสะท้อนของพื้นผิวดิน และมีความคลาดเคลื่อนในการประมาณดัชนีพื้นที่ใบมากที่สุด ซึ่งสามารถลดอิทธิพลดังกล่าวได้ด้วยดัชนี PVI และ SAVI

### 2.3 ดาวเทียม SPOT และการประยุกต์ใช้ประโยชน์

ดาวเทียม SPOT โจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ เป็นดาวเทียมที่มีศักยภาพในการบันทึกข้อมูลที่มีรายละเอียดปานกลางถึงสูง ดาวเทียม SPOT มีหลายดวงเป็นชุด เช่น ดาวเทียม SPOT - 1, 2, 3, 4 และ 5 สามารถบันทึกทั้งภาพขาวดำ ได้ที่รายละเอียด 5-10 เมตร และบันทึกภาพสีหลายช่วงคลื่น ได้ที่รายละเอียด 10-20 เมตร ในระบบภาพสีจะครอบคลุมความยาวคลื่นแสงสีเขียว แสงสีแดง และอินฟราเรดใกล้ แต่ในดาวเทียม SPOT-4 และ 5 สามารถถ่ายภาพที่ความยาวคลื่นแสงอินฟราเรดคลื่นสั้น ซึ่งใช้สำรวจความชื้นได้ แต่ละภาพมีความกว้าง 60 กิโลเมตร รายละเอียดลำดับแบนด์หรือช่วงคลื่นของข้อมูล SPOT-5 มีดังนี้



แบนด์ 1 : ช่วงแสงสีเขียว 0.50-0.59 ไมโครเมตร

แบนด์ 2 : ช่วงแสงสีแดง 0.61-0.68 ไมโครเมตร

แบนด์ 3 : ช่วงแสงอินฟราเรด 0.78-0.89 ไมโครเมตร

แบนด์ 4 : ช่วงแสงอินฟราเรดคลื่นสั้น 1.58-1.75 ไมโครเมตร

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT ให้ความละเอียด 2 ระดับ คือ 5-10 และ 10-20 เมตร ซึ่งมีผลต่อการเลือกนำไปใช้ประโยชน์ เช่น ข้อมูลภาพถ่าย - ค่าที่ระดับ 5-10 เมตร ใช้ศึกษาแหล่งชุมชนหรือเมือง เส้นทางคมนาคมระดับหมู่บ้าน และพื้นที่เป้าหมายขนาดเล็กอื่น ๆ ข้อมูลภาพที่ระดับ 10 - 20 เมตร ใช้ศึกษาสิ่งปกคลุมดิน การใช้ที่ดิน ป่าไม้ เกษตร และภัยพิบัติ เป็นต้น (สุภาพิศ, 2549)

## 2.4 ข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียมที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจระยะไกล

จากรายงานของ ลิจิต และคณะ (2533) มีการประยุกต์การสำรวจระยะไกลสำรวจพื้นที่ปลูกยางพาราในประเทศไทยครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2514 โดยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ โดย Brookson และคณะ ในปี ค.ศ. 1973 ต่อมาวิระพันธ์ และคณะ ในปี พ.ศ. 2523 ทำการสำรวจพื้นที่ปลูกยางด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซ็ท มาตรฐาน 1:250000 และแปลภาพด้วยสายตาสวมศ และคณะ (2531) ได้ทำการสำรวจทำแผนที่ปลูกยางพาราของประเทศไทยเป็นครั้งที่ 3 โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซ็ท ระบบ Multispectral Scanner (MSS) มาตรฐาน 1:250000 และแปลข้อมูลด้วยสายตาสวมศ ลิจิต และคณะ (2533) สำรวจพื้นที่ปลูกยางพาราของประเทศไทยครั้งที่ 4 โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซ็ท ระบบ Thematic Mapper ในมาตรฐาน 1:100000 ทั้งนี้ ในอดีตที่ผ่านมาประเทศไทยเคยมีการศึกษาการสำรวจพื้นที่ปลูกยางพารา ด้วยการประยุกต์ข้อมูลการสำรวจระยะไกลหลายครั้ง แต่การประยุกต์ในการประมาณดัชนีพื้นที่ใบของยางพารายังไม่ปรากฏการศึกษา

### รูปแบบสวนยาง

การปลูกยางพาราโดยทั่วไปมักจะปลูกเป็นพื้นที่ติดต่อกันตลอดแปลงไม่ปนกับพืชอื่นต้นอย่างอื่น ขนาดของแปลงปลูกขึ้นอยู่กับเกษตรกรผู้เป็นเจ้าของ ส่วนใหญ่เป็นเจ้าของขนาดเล็กพื้นที่ถือครองเฉลี่ยไม่เกิน 10 ไร่ต่อราย พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่จึงมีพื้นที่ปลูกพืชอื่นสลับกันไป

ระหว่างแปลงปลูกยาง การสะท้อนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของพื้นที่ปลูกยางค่อนข้างมีความหลากหลาย ซึ่งมีปัจจัยหลัก ๆ ดังนี้ (สุทัศน์ และสมยศ, 2544)

**ระยะปลูกยาง และการใช้ประโยชน์ระหว่างแถว** ยางพาราทั่วไปปลูกเป็นแนวด้วยระยะปลูก 3 x 7 เมตรหรือ 2.5 x 8 เมตร ซึ่งเป็นระยะปลูกที่สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตรแนะนำ ระยะเริ่มแรกของยางอายุ 1-3 ปี ของสวนยางมีการใช้พื้นที่ว่างระหว่างแถวต่างกันแล้วแต่พื้นที่ ค่าการสะท้อนจึงมีความหลากหลาย สำหรับยางพื้นเมืองส่วนใหญ่ อายุมากกว่า 50 ปี มีระยะปลูกไม่แน่นอน อาจห่างหรือชิดกว่าคำแนะนำ

พุ่มใบของต้นยางในระยะเริ่มปลูกจะห่างกันมากในปีแรก และพุ่มใบระหว่างต้น (2.5 หรือ 3 เมตร) จะชิดกันในปีที่ 3 ขณะที่พุ่มใบในระหว่างแถว (8 หรือ 7 เมตร) จะเริ่มชิดกันเมื่อยางอายุประมาณ 5 ปี พุ่มใบจะยิ่งแน่นขึ้นเมื่อยางอายุมากขึ้น ค่าการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณเหล่านี้ จึงมีความแตกต่างกัน

**พันธุ์ยาง** โดยทั่วไปทรงพุ่มของยางพารา มักเป็นแบบกลมรี ยางแต่ละพันธุ์มีดัชนีพื้นที่ใบต่างกัน การสะท้อนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของบริเวณพื้นที่ปลูกยางจึงมีความหลากหลายเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพันธุ์ต่างกัน ขนาดของลำต้น อัตราการเจริญเติบโต ทรงพุ่ม ความแน่นทึบ หรือประสิทธิภาพของคลอโรฟิลล์ การผลัดใบ ฯลฯ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ยังไม่เหมือนกันด้วย

**การผลัดใบ** ยางพาราจะปรากฏการผลัดใบในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่อายุ 3-4 ปี ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน และการกระจายของฝน พันธุ์ยาง ลักษณะสภาพพื้นที่ปลูก แต่โดยทั่วไป ยางพาราที่ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะเริ่มผลัดใบก่อน เริ่มตั้งแต่เดือนธันวาคม และผลัดใบอ่อนประมาณปลายเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ ภาคใต้ตอนบนยางจะเริ่มผลัดใบช่วงมกราคม ส่วนภาคใต้ตอนล่างเริ่มผลัดใบประมาณเดือนกุมภาพันธ์ และผลัดใบอ่อนประมาณมีนาคมถึงเมษายน ค่าการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กช่วงนี้ของยางพาราจึงมีความแตกต่างจากพืชยืนต้นเศรษฐกิจอื่น ๆ ที่มีการใช้ที่ดินคล้ายยางและมักมีพื้นที่ติดกับยาง เช่น ไม้ผล ปาล์มน้ำมัน หรือ ไม้ป่าดิบชื้น (evergreen forest) ที่ไม่มีการผลัดใบอย่างชัดเจน

**การระบาดของโรค** การระบาดของโรคใบร่วงของยางมีหลายชนิด เป็นกับยางหลายพันธุ์ เกิดเป็นประจำปกติช่วงเวลาสั้น ๆ ทุกปี เมื่อสภาพภูมิอากาศเหมาะสมต่อการระบาดของโรค เพราะช่วงนี้อาจเป็นช่วงที่ไม่มีใบยางเหลืออยู่บนต้นเลย

สมยศ และคณะ (2531) ใช้ภาพจากดาวเทียม Landsat สร้างภาพสีผสมจากภาพที่ผ่านวิธี histogram equalization ให้ผลดีที่สุดในการศึกษาพื้นที่ปลูกยางพารา และผลจากการจำแนกโดยใช้ MSS 4, 5, 7 และดัชนีพืชพรรณ ได้ผลดีกว่าการใช้ combination ของ MSS 4, 5, 6 และ 7 และพบว่า supervised classification ให้ผลถูกต้องกว่าวิธี unsupervised classification และภาพที่ให้ผลดีที่สุดเป็นภาพช่วงที่ยางพาราผลิใบอ่อน

โดยทั่วไปลักษณะทางด้านเกษตรมักมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว ซึ่งการใช้ภาพที่มีความละเอียดสูงควรจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบและดัชนีพืชพรรณที่สูงกว่า จากภาพที่มีรายละเอียดต่ำ (Colombo *et al.*, 2003) สวนยางพารามีลักษณะของความสม่ำเสมอ ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์มีค่าสูง ซึ่งไม่มีนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างการปกคลุมของทรงพุ่มและทั้งความหนาแน่นของต้น (ต้น/เฮกตาร์) และอายุของต้น เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 1.30 เมตร และความสูงต้น เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับปริมาตรไม้ ( $r = 0.94$  และ  $0.98$ ) และอายุต้นยาง ( $r = 0.94$  และ  $0.71$ ) (Suratman *et al.*, 2002)

### 3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลง และการพัฒนาของดัชนีพื้นที่ใบหรือชีพจักรของ ยางพาราในรอบปี
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบของยางพารา และดัชนีพืชพรรณ จากภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5

## บทที่ 2

### วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

#### 1. วัสดุและอุปกรณ์

##### 1.1 วัสดุ

1. แปลงยางพาราที่อยู่ในพื้นที่ของ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ตั้งอยู่ที่บริเวณพิกัด  $6^{\circ} 58' N$  และ  $100^{\circ} 33' E$  เพื่อใช้ศึกษาดัชนีพื้นที่ใบภาคสนามจำนวน 30 แปลง แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 10 แปลง คือ ยางอ่อนอายุ 3-6 ปี ยางหนุ่มอายุ 7-15 ปี หรือมีหน้ากรีดไม่เกิน 1 หน้า และยางแก่มีอายุมากกว่า 15 ปี โดยพิจารณาจากขนาดเส้นรอบวงลำต้นที่ระดับ 1.70 ม. จากพื้นดิน ซึ่งยางอ่อนมีขนาดไม่เกิน 40 ซม. ยางหนุ่มมีขนาดไม่เกิน 60 ซม. แต่ไม่ต่ำกว่า 40 ซม. และยางแก่มีขนาดมากกว่า 60 ซม. และแปลงยางพาราที่ใช้สำหรับปรับค่าดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จากเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา จำนวน 2 แปลง คือ แปลงอายุ 18 และ 20 ปี ชนิดละ 1 แปลง

2. ภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงคลื่นของดาวเทียม SPOT-5 ของพื้นที่บริเวณ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา บันทึกเมื่อวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ในระบบดิจิทัล

3. ข้อมูลเส้นขอบเขตของอำเภอต่าง ๆ ใน จังหวัดสงขลา ที่บันทึกในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ด้วยระบบข้อมูล WGS 84

##### 1.2 อุปกรณ์สำนักงาน

1. แผนที่ดิจิทัลแสดงภูมิประเทศของประเทศไทย ระบบข้อมูล WGS 84 มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวังอำเภอจะนะ 5122 IV และระวังจังหวัดสงขลา 5123 III
2. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลข้อมูลภาพ และวิเคราะห์ข้อมูล
3. โปรแกรมทางด้านกระบวนการจัดข้อมูลภาพ Erdas imagine สำหรับการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมในรูปแบบของข้อมูลเชิงพื้นที่
4. โปรแกรมประมวลผลข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบจากภาพถ่ายด้วยเลนส์ตาปลา GLA

5. เครื่องวัดพื้นที่ใบ (Leaf area and root length meter, Delta-T Devices Ltd)

### 1.3 อุปกรณ์ในสนาม

1. เทปวัดขนาดของต้นไม้ยาว 1.5 เมตร
2. สายวัดสำหรับใช้ในการวางแปลงตัวอย่าง ขนาดยาว 50 เมตร
3. เครื่องกำหนดพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS : global positioning system)
4. กล้องถ่ายภาพระบบดิจิทัลพร้อมเลนส์ชนิดเลนส์ตาปลา (Delta-T Devices Ltd)
5. แผนที่แสดงภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหารระวาง  
อำเภอจะนะ 5122 IV และระวางจังหวัดสงขลา 5123 III
6. โครงตาข่าย ขนาดพื้นที่รองรับ 1 ตร.ม. จำนวน 20 อัน
7. แบบฟอร์มสำหรับบันทึกข้อมูลและเครื่องเขียน

## 2. วิธีการ

### 2.1 สร้างกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ประมาณดัชนีพื้นที่ใบ ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา

สร้างกราฟมาตรฐาน หรือสมการปรับความถูกต้องของความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงของดัชนีพื้นที่ใบ และค่าที่ได้จากภาพถ่ายด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา เพื่อใช้ปรับค่าตัวเลขดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จากเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา

#### การใช้วิธีการเก็บใบจากโครงตาข่าย

เลือกใช้แปลงยางพาราของเกษตรกรในตำบลทุ่งขมิ้น อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา 2 แปลง อายุประมาณ 18 ปี และ 20 ปี ตามลำดับ โดยสุ่มวางแปลงเก็บข้อมูลพื้นที่ขนาด 40 x 40 ตร.ม. วัดระยะปลูกและเส้นรอบวงของลำต้นที่ระดับ 1.70 ม. จากพื้นดิน สุ่มติดตั้งโครงตาข่ายในพื้นที่แปลงศึกษาโดยวิธีสุ่มอย่างง่าย ใช้โครงตาข่ายขนาดพื้นที่รองรับ 1 ตร.ม. แปลงละ 10 อัน เว้นการติดตั้งบริเวณขอบแปลงห่างเข้ามาด้านละ 10 ม. เริ่มติดตั้งต้นเดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2550 (ระยะที่ยางภาคใต้ตอนล่างเริ่มผลัดใบ) สิ้นสุดการเก็บข้อมูลเดือนเมษายน พ.ศ. 2551 (ระยะที่

ไปยังภาคใต้ตอนล่างสิ้นสุดการผลัดใบ) ทำการถ่ายภาพทรงพุ่มของยางพาราในพื้นที่ศึกษาด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา โดยใช้โหมดการถ่ายภาพอัตโนมัติ sunset ของกล้อง Nikon Coolpix 8400 สุ่มถ่ายภาพ ณ จุดที่ติดตั้งโครงตาข่ายจุดละ 2 ภาพ โดยทำการถ่ายภาพซ้ำทุกสิ้นเดือนตลอดทั้งปีจนสิ้นสุดการผลัดใบในปีถัดไป นำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ประมาณค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบด้วยโปรแกรมประมวลข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบ หรือ GLA

สร้างค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งมาตรฐานของแปลงยางดังกล่าว โดยการสุ่มเก็บใบแห้งในฤดูกาลผลัดใบของปี พ.ศ. 2551 จากโครงตาข่ายมาตาข่ายละ 50 ใบ นำมารวมกันแล้วแบ่งเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน นำไปอบที่อุณหภูมิ 65 ° ซ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนมีน้ำหนักคงที่แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำใบยางทั้งหมดมาจุ่มแช่น้ำประมาณหนึ่งคืนให้ใบยางแผ่ขยายจนมีขนาดคงเดิม แล้วนำไปทับด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์จนใบยางเรียบและแห้งสนิท จึงนำไปวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบแล้วรวมพื้นที่ใบทั้งหมด นำค่าพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยอัตราส่วนพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งมาตรฐาน ทั้งนี้ติดตามเก็บใบยางพาราจากโครงตาข่ายทุกสิ้นเดือนมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบในแต่ละเดือน โดยนำใบจากแต่ละโครงตาข่ายมาแยกอบที่อุณหภูมิ 65 ° ซ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนมีน้ำหนักคงที่ นำค่าน้ำหนักแห้งที่ได้แต่ละโครงตาข่ายมาคำนวณค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบ โดยนำค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบต่อน้ำหนักแห้งมาตรฐานมาคูณด้วยค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งที่ได้แต่ละโครงตาข่าย แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบ โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบแต่ละโครงตาข่ายสะสมในแต่ละเดือนหารด้วยพื้นที่โครงตาข่าย (1 ตร.ม.) ตั้งแต่ยางเริ่มแตกใบใหม่จนสิ้นสุดระยะการผลัดใบ ตามสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ย} = \frac{A}{B}$$

เมื่อ A คือ ค่าเฉลี่ยพื้นที่ใบของโครงตาข่ายสะสมในแต่ละเดือน และ B คือ พื้นที่เฉลี่ยของโครงตาข่ายที่กำหนดให้เท่ากับ 1 ตร.ม.

สร้างสมการรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงของดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จากโครงตาข่าย และค่าที่ได้จากภาพถ่ายด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา ด้วยการวิเคราะห์สมการรีเกรสชัน เพื่อใช้ในการเป็นสมการในการปรับค่าประมาณดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จากเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา

## 2.2 ประเมินการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบ

ประเมินการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบ ของแปลงยางอีก 30 แปลงในเขตพื้นที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ด้วยการสุ่มเลือกแปลงยางในพื้นที่ดังกล่าวอีก 30 แปลง จำแนกแปลงออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ กลุ่มละ 10 แปลง ได้แก่ ยางอ่อน (3-6 ปี) ยางหนุ่ม (7-15 ปี หรือมีหน้ากรีดไม่เกิน 1 หน้า) และยางแก่ (มากกว่า 15 ปี) โดยพิจารณาจากขนาดเส้นรอบวงลำต้นสำหรับยางอ่อนขนาดเส้นรอบวงไม่เกิน 40 ซม. ยางหนุ่มขนาดเส้นรอบวงไม่เกิน 60 แต่ไม่ต่ำกว่า 40 ซม. และยางแก่มีขนาดเส้นรอบวงมากกว่า 60 ซม. สุ่มวางแปลงเก็บข้อมูลขนาดพื้นที่ 40 x 40 ตร.ม. วัดระยะปลูกและเส้นรอบวงของลำต้นที่ระดับ 1.70 ม. จากพื้นดิน ถ่ายภาพทรงพุ่มของยางพาราในพื้นที่ศึกษาด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา โดยสุ่มถ่ายภาพแปลงละ 10 ภาพ ทำการถ่ายภาพซ้ำทุก 26 วัน เริ่มตั้งแต่วันที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2550 จนถึงสิ้นสุดการผลัดใบในปี พ.ศ. 2551 นำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ประมาณค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบ ด้วยโปรแกรมประมวลผลข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบ GLA แล้วปรับค่าดังกล่าวด้วยสมการที่ได้จากขั้นตอนที่ 1

## 2.3 วิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

คัดเลือกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 ที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาบริเวณพื้นที่อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ที่สอดคล้องกับวันที่ออกไปเก็บข้อมูลภาคสนาม และมีการปกคลุมจากเมฆน้อยที่สุด ในที่นี้มีเพียงภาพเดียวที่เหมาะสมที่สุด โดยเป็นภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 ของวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ภายใต้ลิขสิทธิ์ของศูนย์ศึกษาด้านอวกาศแห่งชาติฝรั่งเศส (CCNES) ทำการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตของข้อมูล (geometric correction) โดยกระบวนการ Image to map registration ด้วยการใช้อุปกรณ์ควบคุมทางภาคพื้นดิน (GCP : ground control point) ที่ได้จากรีโมทเซนซิง (GPS) โดยเลือกจุดตัดของถนนเป็นจุดเก็บพิกัด และได้ทำการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตโดยใช้สมการพหุนามดีกรี 1 เป็นสมการในการแปลงจุดภาพ คำนวณหาค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (RMS Error : root mean square error) โดยให้ค่าความผิดพลาดไม่เกิน 1 จุดภาพ หรือ 10 เมตร



## 2.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลดาวเทียม

จากข้อมูลดาวเทียมของวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ที่ผ่านการปรับแก้ทางเรขาคณิตแล้ว ทำการคัดเลือกช่วงคลื่นมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าการสะท้อนแสง จากข้อมูลดาวเทียมทั้ง 4 แบนด์ด้วยการหาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลดาวเทียมช่วงคลื่นต่าง ๆ ให้เป็นดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. Simple ratio (SR) (Jordan, 1969 อ้างโดย Fernandes *et al.*, 2004)

$$SR = \frac{NIR}{R}$$

2. Modified simple ratio (MSR) (Chen, 1996 อ้างโดย Fernandes *et al.*, 2004)

$$MSR = \frac{SR - 1}{SR^{0.5} + 1}$$

3. Infrared simple ratio (ISR) (Ahern *et al.*, 1991 อ้างโดย Fernandes *et al.*, 2004)

$$ISR = \frac{SWIR}{NIR}$$

4. Normalized difference vegetation index (NDVI) (Rouse *et al.*, 1973 อ้างโดย McDonald *et al.*, 1998)

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

5. The perpendicular vegetation index (PVI) (Richardson and Wiegand, 1977 อ้างโดย Broge and Leblanc, 2000)

$$PVI = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}} (NIR - a \times R - b)$$

เมื่อ ค่าของเส้นพื้นฐานของดิน (soil base line) มีค่า  $a = 1$  และ  $b = 0$

6. Soil adjusted vegetation index (SAVI) (Huete, 1988 อ้างโดย Haboudane *et al.*, 2004a)

$$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - R)}{(NIR + R + L)}$$

เมื่อ  $L$  คือค่าวิกฤติที่อิทธิพลของคุณสมบัติของดินมีผลน้อยที่สุดต่อดัชนีพืชพรรณ  
ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 0.5

7. Modified second soil-adjusted vegetation index (MSAVI2) (Qi *et al.*, 1994 อ้างโดย Haboudane  
*et al.*, 2004b)

$$MSAVI2 = \frac{1}{2} [ 2 \cdot NIR + 1 - \sqrt{(2 \cdot NIR + 1)^2 - 8 \cdot (NIR - R)} ]$$

8. Weighted difference vegetation index (WDVI) (Clevers, 1989 อ้างโดย Broge and Leblanc,  
2000)

$$WDVI = NIR - a \times R$$

เมื่อ  $a$  มีค่าเท่ากับ 1 (ค่าของเส้นพื้นฐานของดิน; soil base line)

9. The transformed SAVI (TSAVI) (Baret *et al.*, 1991 อ้างโดย Broge and Leblanc, 2000)

$$TSAVI = \frac{a(NIR - a \times R - b)}{a + NIR + R - ab + 0.08(1 + a^2)}$$

เมื่อ ค่าของเส้นพื้นฐานของดิน (soil base line;  $NIR_{soil} = aR + b$  (Gilabert *et al.*,  
2002)) มีค่า  $a = 1$  และ  $b = 0$

10. MCARI1 พัฒนาจาก MCARI: Modified chlorophyll absorption ratio index (Haboudane *et al.*,  
2004a)

$$MCARI1 = 1.2[2.5(NIR - R) - 1.3(NIR - G)]$$

11. MCARI2 พัฒนาจาก MCARI: Modified chlorophyll absorption ratio index (Haboudane *et al.*,  
2004a)

$$MCARI2 = \frac{1.5[2.5(NIR - R) - 1.3(NIR - G)]}{\sqrt{(2NIR + 1)^2 - (6NIR - 5\sqrt{R})} - 0.5}$$

12. MTVI1 พัฒนาจาก TVI: Triangular vegetation index (Haboudane *et al.*, 2004a)

$$MTVI1 = 1.2[1.2(NIR - G) - 2.5(R - G)]$$

13. Modified second triangular vegetation index (MTVI2) (Haboudane *et al.*, 2004a)

$$\text{MTVI2} = \frac{1.5[1.2 \cdot (\text{NIR} - G) - 2.5 \cdot (R - G)]}{\sqrt{(2 \cdot \text{NIR} + 1)^2 - (6 \cdot \text{NIR} - 5\sqrt{R})} - 0.5}$$

$$14. \text{TNDVI} = \sqrt{\left(\frac{\text{NIR} - R}{\text{NIR} + R} + 0.5\right)}$$

$$15. \text{sqrt\_SR} = \sqrt{\frac{\text{NIR}}{R}}$$

เมื่อ *NIR* เป็นค่าการสะท้อนของคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้, *R* เป็นค่าการสะท้อนของคลื่นแสงสีแดง, *G* เป็นค่าการสะท้อนของคลื่นแสงสีเขียว และ *SWIR* เป็นค่าการสะท้อนของคลื่นแสงอินฟราเรดคลื่นสั้น

## 2.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดาวเทียม และข้อมูลภาคสนาม

วิเคราะห์หารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณรูปแบบต่าง ๆ ทั้ง 15 รูปแบบ และค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบ และขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางพาราที่ระดับ 1.7 ม. จากพื้นดิน ตามลำดับ โดยนำค่าเฉลี่ยดัชนีของข้อมูลดาวเทียมในรูปแบบต่าง ๆ ช่างต้น ในบริเวณเดียวกับแปลงข้อมูลภาคสนามทั้ง 30 แปลง ๆ ละ 16 จุดภาพ ซึ่งจะมีพื้นที่ในภาคสนามเท่ากับ 1600 ตร.ม. หรือ 1 ไร่ มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ โดยใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ และรีเกรสชันทั้งรูปแบบเป็นเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรง โดยพิจารณาเลือกสมการที่ดีที่สุด จากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด

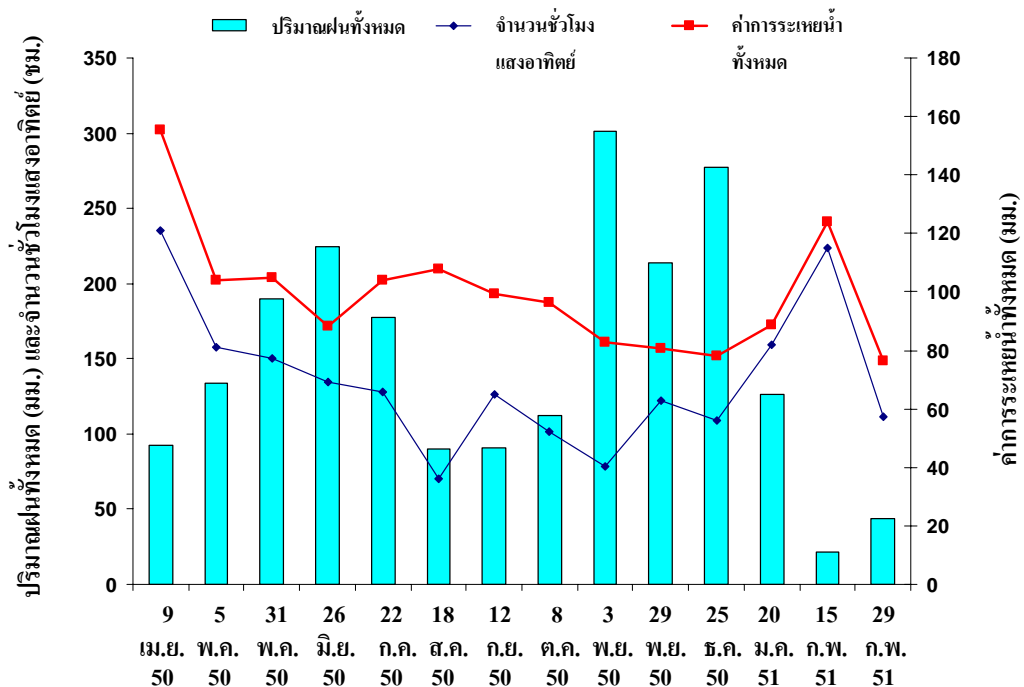
### บทที่ 3

#### ผล

## 1. ข้อมูลภาคสนาม

### 1.1 ข้อมูลภูมิอากาศ

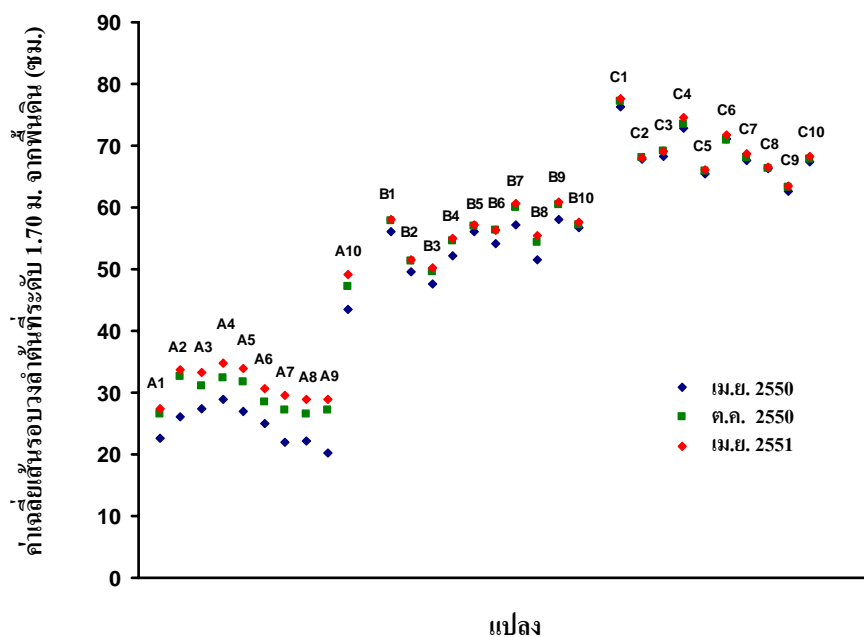
ข้อมูลภูมิอากาศแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2550 และ 2551 (ภาพที่ 1) ที่ได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยา อำเภอลำปาง จังหวัดลำปาง ปรากฏช่วงแล้งที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ มีฝนตกปริมาณสูงในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม และอีกช่วงในเดือนตุลาคมถึงธันวาคม โดยทั้งสองครั้งที่มีฝนตกปริมาณมากติดต่อกันในช่วงเวลาดังกล่าว พบว่า มีผลส่งให้ใบยางพาราในเขตพื้นที่อำเภอลำปางเกิดการทิ้งใบ เนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อราจากความชื้นที่สูงเกินไป ซึ่งจะแสดงให้เห็นในส่วนถัดไป



ภาพที่ 1 กราฟแสดงข้อมูลภูมิอากาศสะสมทุก 26 วัน ในปี พ.ศ. 2550-2551 ของสถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอลำปาง

## 1.2 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นรอบวงลำต้น

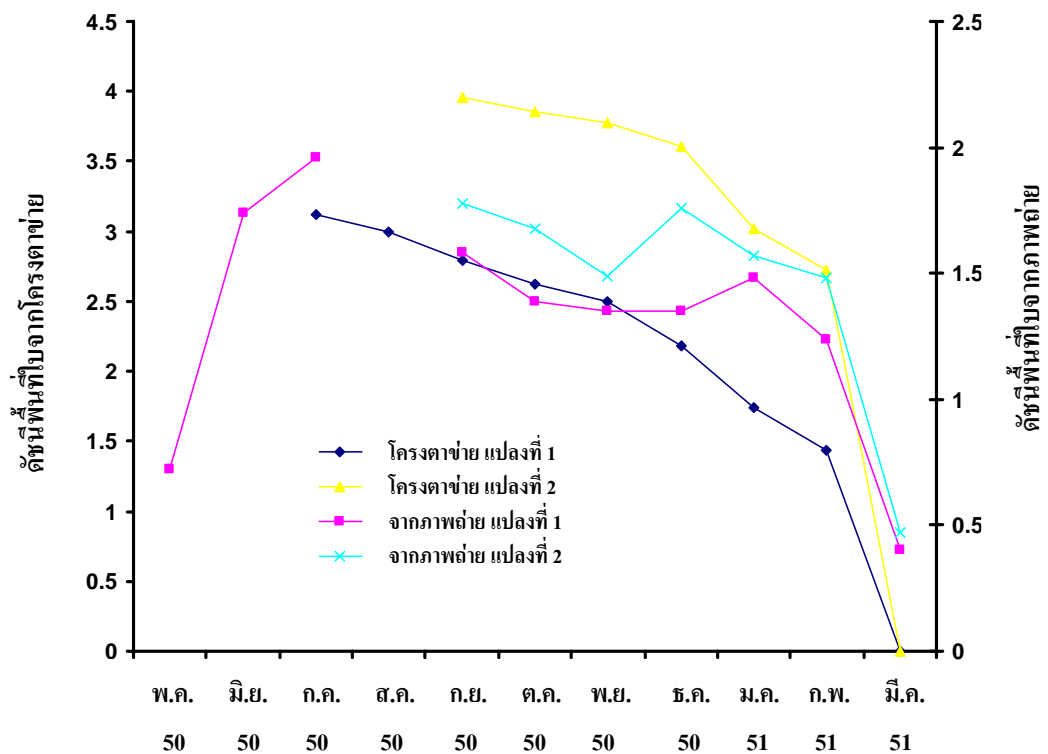
ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวัดขนาดเส้นรอบวงลำต้นที่ระดับ 1.70 ม. จากพื้นดิน โดยวัดทุกต้นในพื้นที่แปลงตัวอย่างทั้ง 30 แปลง และทำการวัดซ้ำทุก 6 เดือน ครั้งแรกในเดือน เมษายน พ.ศ. 2550 ครั้งที่สองในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2550 และครั้งสุดท้ายในเดือนเมษายน พ.ศ. 2551 พบว่า ขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางขนาดเล็ก (A1-A9) ซึ่งทรงพุ่มระหว่างแถวยังไม่ชิดติดกัน มีอัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดที่สูงที่สุดเท่ากับ 0.55 ซม./เดือน รองลงมาเป็นยางหนุ่ม (B1-B11, A10); ในกรณีนี้พิจารณาให้แปลง A10 เป็นหนึ่งในยางหนุ่ม) มีค่าเท่ากับ 0.22 ซม./เดือน และต่ำที่สุดคือยางแก่ (C1-C10) มีค่าเท่ากับ 0.07 ซม./เดือน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของเส้นรอบวงเฉลี่ยของยางพาราในสามกลุ่มอายุ; กลุ่มยางอ่อน (A1-A9), กลุ่มยางหนุ่ม (B1-B10, A10) และกลุ่มยางแก่ (C1-C10)

### 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากโครมตาข่าย และค่าที่ได้จากภาพถ่ายด้วยเลนส์ตาปลา

ข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จากภาพถ่ายของแปลงยางที่ใช้ปรับความถูกต้องของการประมาณดัชนีพื้นที่ใบ มีความแปรปรวนไม่คงที่ มีค่าขึ้นลงในบางช่วงเวลาของการเก็บข้อมูล แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มและลดของค่าจริงของดัชนีพื้นที่ใบตลอดเวลา ซึ่งการใช้ข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากโครมตาข่ายในการวิเคราะห์ความถูกต้องของการประมาณดัชนีพื้นที่ใบ ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา ที่สะท้อนค่าจริงที่สัมพันธ์กับภาพถ่ายมากที่สุด ควรเป็นข้อมูลที่อยู่ในช่วงเวลาเดียวกับข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายที่แสดงการลดลงของดัชนีพื้นที่ใบอย่างสม่ำเสมอ และต้องเป็นค่าที่ลดลงอย่างต่อเนื่องดังภาพที่ 3 ดังนั้นค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากโครมตาข่าย ที่สามารถใช้ตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณดัชนีพื้นที่ใบของแปลงที่ 1 จึงอยู่ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงมีนาคม พ.ศ. 2551 และแปลงที่ 2 อยู่ในช่วงธันวาคม พ.ศ. 2550 ถึงมีนาคม พ.ศ. 2551 (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จากโครมตาข่าย และภาพถ่ายของแปลงที่ใช้ปรับความถูกต้องในแต่ละเดือน

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จากโครงตาข่ายและ ดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จากภาพถ่ายของแปลงที่ใช้ปรับความถูกต้องของการประมาณดัชนีพื้นที่ใบ และค่าเฉลี่ยเส้นรอบวงลำต้นที่ระดับ 1.70 ม. จากพื้นดิน

แปลง	เดือน-ปี	พื้นที่ใบในโครงตาข่าย (ตร.ม.)	ดัชนีพื้นที่ใบ จากโครงตา ข่าย	ดัชนีพื้นที่ใบ จากภาพถ่าย	ค่าเฉลี่ยเส้น รอบวงลำต้น (ซม.)
1	พ.ค. 2550			0.72 ±0.12	
	มิ.ย. 2550			1.74 ±0.06	
	ก.ค. 2550		3.12	1.96 ±0.13	
	ส.ค. 2550	0.12 ±0.03	3.00		
	ก.ย. 2550	0.21 ±0.06	2.79	1.58 ±0.20	
	ต.ค. 2550	0.17 ±0.05	2.62	1.39 ±0.11	
	พ.ย. 2550	0.12 ±0.03	2.50	1.35 ±0.05	
	ธ.ค. 2550	0.32 ±0.09	2.18	1.35 ±0.07	
	ม.ค. 2551	<b>0.44 ±0.12</b>	<b>1.74</b>	<b>1.48 ±0.06</b>	
	ก.พ. 2551	<b>0.30 ±0.04</b>	<b>1.44</b>	<b>1.24 ±0.08</b>	
	มี.ค. 2551	<b>1.44 ±0.26</b>	<b>0.00</b>	<b>0.40 ±0.04</b>	64.01±8.73
2	ก.ย. 2550		3.96	1.78 ±0.082	
	ต.ค. 2550	0.01 ±0.03	3.86	1.68 ±0.057	
	พ.ย. 2550	0.08 ±0.02	3.78	1.49 ±0.055	
	ธ.ค. 2550	<b>0.17 ±0.03</b>	<b>3.61</b>	<b>1.76 ±0.074</b>	
	ม.ค. 2551	<b>0.59 ±0.18</b>	<b>3.02</b>	<b>1.57 ±0.081</b>	
	ก.พ. 2551	<b>0.29 ±0.04</b>	<b>2.73</b>	<b>1.48 ±0.076</b>	
	มี.ค. 2551	<b>2.73 ±0.31</b>	<b>0.00</b>	<b>0.47 ±0.025</b>	73.36±10.36

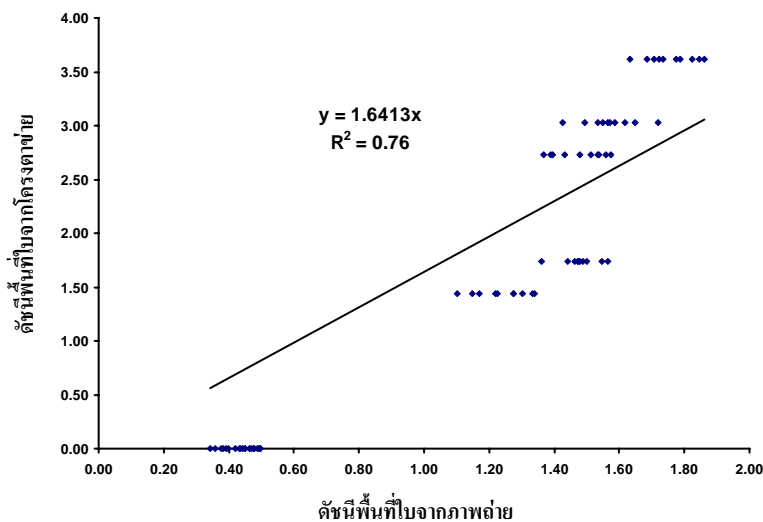
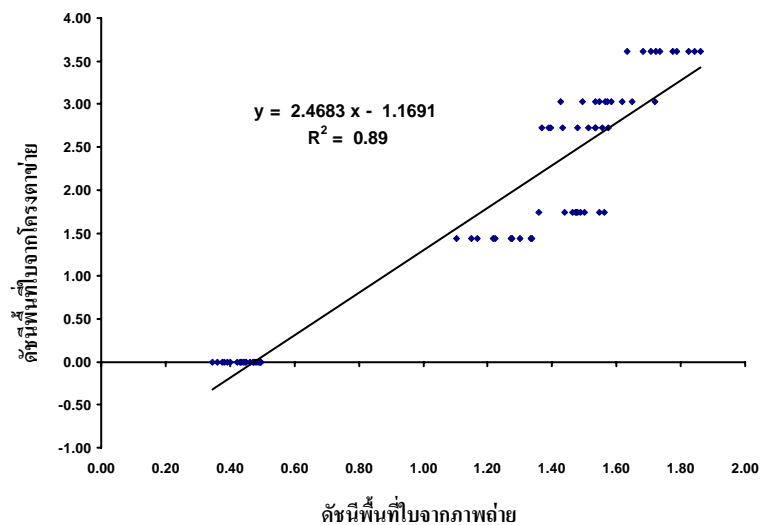
หมายเหตุ: การสร้างสมการปรับความถูกต้องในการประมาณดัชนีพื้นที่ใบ ใช้เฉพาะค่าที่พิมพ์ด้วยตัวหนา

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จากโครมตาข่ายซึ่งถือเป็นค่าจริง และค่าที่ได้จากภาพถ่าย ได้ผลการวิเคราะห์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient: r) เท่ากับ 0.95 ( $P < 0.01$ ) และการวิเคราะห์รีเกรสชันความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากโครมตาข่ายและค่าที่ได้จากภาพถ่าย สามารถวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบเส้นตรง แบบเส้นตรงตัดแกน y ที่ศูนย์ และแบบลอการิทึม ดังตารางที่ 2 ทั้งนี้การปรับค่าดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จากภาพถ่ายสำหรับกลุ่มยางหนุ่ม (B1-B10, A10; การพิจารณาปรับค่าของแปลง A10 ใช้สมการเดียวกับแปลง B1-B10) และยางแก่ (C1-C10) ในการทดลองครั้งนี้เลือกใช้เฉพาะสมการความสัมพันธ์แบบเส้นตรง  $y = 2.4683x - 1.1691$  ( $R^2 = 0.89$ ) (ภาพที่ 4) ส่วนกลุ่มยางอ่อน (A1-A9) ที่ทรงพุ่มระหว่างแถวยังไม่ชิดติดกัน ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากภาพถ่ายจึงมีค่าต่ำ ทำให้ค่าดัชนีพื้นที่ใบของยางกลุ่มดังกล่าวบางแปลงและบางช่วงเวลา โดยเฉพาะระยะที่มีการผลัดใบในฤดูแล้ง หรือแปลงที่มีค่าต่ำกว่า 0.48 ไม่สามารถใช้สมการ  $y = 2.4683x - 1.1691$  ในการปรับค่าได้ ดังนั้นจึงต้องปรับค่าดัชนีพื้นที่ใบของยางกลุ่มดังกล่าวด้วยสมการ  $y = 1.6413x$  ( $R^2 = 0.76$ ) (ภาพที่4) ซึ่งเป็นสมการที่ได้ปรับค่าให้ตัดแกน y ที่ศูนย์ ทำให้สามารถขยายค่าของดัชนีพื้นที่ใบ ที่ได้จากภาพถ่ายที่มีค่าต่ำได้

ตารางที่ 2 รูปแบบสมการความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากภาพถ่าย (x) และดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากโครมตาข่าย (y) ของแปลงตรวจสอบความถูกต้อง

Linear		Linear intercept at 0		Logarithmic	
สมการ	$R^2$	สมการ	$R^2$	สมการ	$R^2$
$y = 2.4683x - 1.1691$	0.89	$y = 1.6413x$	0.76	$y = 2.1226\text{Ln}(x) + 1.6895$	0.83





ภาพที่ 4 รูปแบบความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากภาพถ่าย และดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากโครงสร้าง (บน) และความสัมพันธ์แบบเส้นตรงที่ปรับให้ตัดแกน y ที่ศูนย์ ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากภาพถ่าย และ ดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากโครงสร้างโดย (ล่าง)

เมื่อนำค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ผ่านการปรับค่าแล้ว ด้วยสมการดังกล่าวข้างต้น ดังตารางที่ 3 4 และ 5 มาสร้างกราฟการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบรายเดือน พบการเปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 5 6 และ 7 พบว่า ในปี พ.ศ. 2550 ค่าดัชนีพื้นที่ใบของยางพาราในเขตพื้นที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี โดยยางหนุ่มและยางแก่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูที่ค่อนข้างชัดเจนกว่ายางอ่อน และการศึกษาในครั้งนี้สามารถแบ่งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของยางหนุ่มและยางแก่ได้ 4

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ LAI ของยางพารากลุ่มยางอ่อน

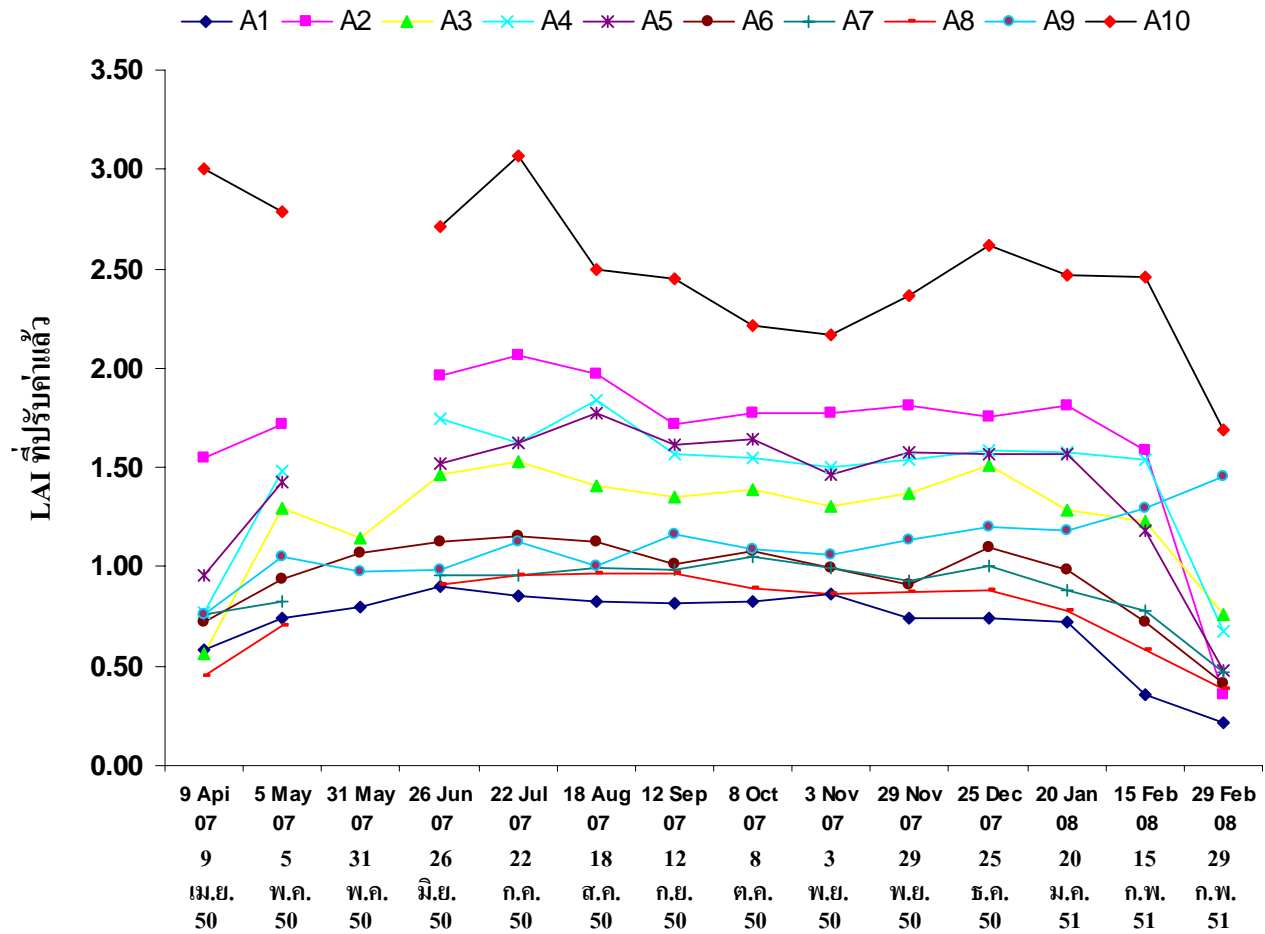
รหัสแปลง	วันที่													
	9 เม.ย. 50	5 พ.ค. 50	31 พ.ค. 51	26 มิ.ย. 50	22 ก.ค. 50	18 ส.ค. 50	12 ก.ย. 50	8 ต.ค. 50	3 พ.ย. 50	29 พ.ย. 50	25 ธ.ค. 50	20 ม.ค. 51	15 ก.พ. 51	29 ก.พ. 51
A1	0.58 ±0.08	0.74 ±0.11	0.80 ±0.14	0.91 ±0.12	0.85 ±0.09	0.83 ±0.10	0.81 ±0.07	0.83 ±0.12	0.86 ±0.07	0.74 ±0.06	0.74 ±0.05	0.72 ±0.05	0.35 ±0.07	0.22 ±0.05
A2	1.55 ±0.23	1.72 ±0.13	-	1.96 ±0.08	2.06 ±0.12	1.97 ±0.09	1.72 ±0.04	1.78 ±0.09	1.77 ±0.11	1.82 ±0.08	1.75 ±0.08	1.81 ±0.07	1.59 ±0.15	0.36 ±0.03
A3	0.56 ±0.07	1.30 ±0.12	1.15 ±0.12	1.46 ±0.10	1.53 ±0.11	1.41 ±0.15	1.35 ±0.11	1.39 ±0.10	1.31 ±0.07	1.37 ±0.07	1.51 ±0.07	1.28 ±0.06	1.23 ±0.10	0.76 ±0.14
A4	0.77 ±0.12	1.48 ±0.12	-	1.75 ±0.12	1.62 ±0.11	1.84 ±0.09	1.57 ±0.09	1.55 ±0.13	1.50 ±0.08	1.54 ±0.08	1.58 ±0.11	1.58 ±0.08	1.54 ±0.09	0.67 ±0.12
A5	0.96 ±0.15	1.42 ±0.13	-	1.52 ±0.13	1.62 ±0.12	1.78 ±0.13	1.62 ±0.09	1.64 ±0.11	1.47 ±0.04	1.58 ±0.08	1.56 ±0.11	1.57 ±0.14	1.18 ±0.08	0.48 ±0.05
A6	0.72 ±0.09	0.94 ±0.10	1.07 ±0.13	1.12 ±0.09	1.15 ±0.14	1.12 ±0.12	1.01 ±0.09	1.08 ±0.10	0.99 ±0.08	0.91 ±0.10	1.10 ±0.09	0.99 ±0.12	0.73 ±0.13	0.41 ±0.06
A7	0.76 ±0.09	0.82 ±0.10	-	0.96 ±0.13	0.95 ±0.07	1.00 ±0.09	0.99 ±0.09	1.05 ±0.15	0.99 ±0.08	0.93 ±0.10	1.01 ±0.05	0.89 ±0.04	0.78 ±0.08	0.47 ±0.05
A8	0.45 ±0.09	0.70 ±0.05	-	0.91 ±0.08	0.96 ±0.09	0.96 ±0.07	0.97 ±0.06	0.89 ±0.07	0.86 ±0.05	0.87 ±0.05	0.88 ±0.05	0.78 ±0.05	0.59 ±0.06	0.38 ±0.03
A9	0.76 ±0.12	1.05 ±0.09	0.98 ±0.12	0.99 ±0.09	1.12 ±0.25	1.00 ±0.19	1.17 ±0.15	1.08 ±0.16	1.06 ±0.15	1.14 ±0.22	1.20 ±0.25	1.18 ±0.26	1.29 ±0.31	1.45 ±0.29
A10	3.35 ±0.23	3.02 ±0.16	-	2.92 ±0.19	3.45 ±0.13	2.59 ±0.25	2.51 ±0.14	2.17 ±0.18	2.09 ±0.16	2.39 ±0.19	2.76 ±0.17	2.54 ±0.09	2.52 ±0.10	1.37 ±0.15

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ LAI ของยางพาราในกลุ่มยางหนุ่ม

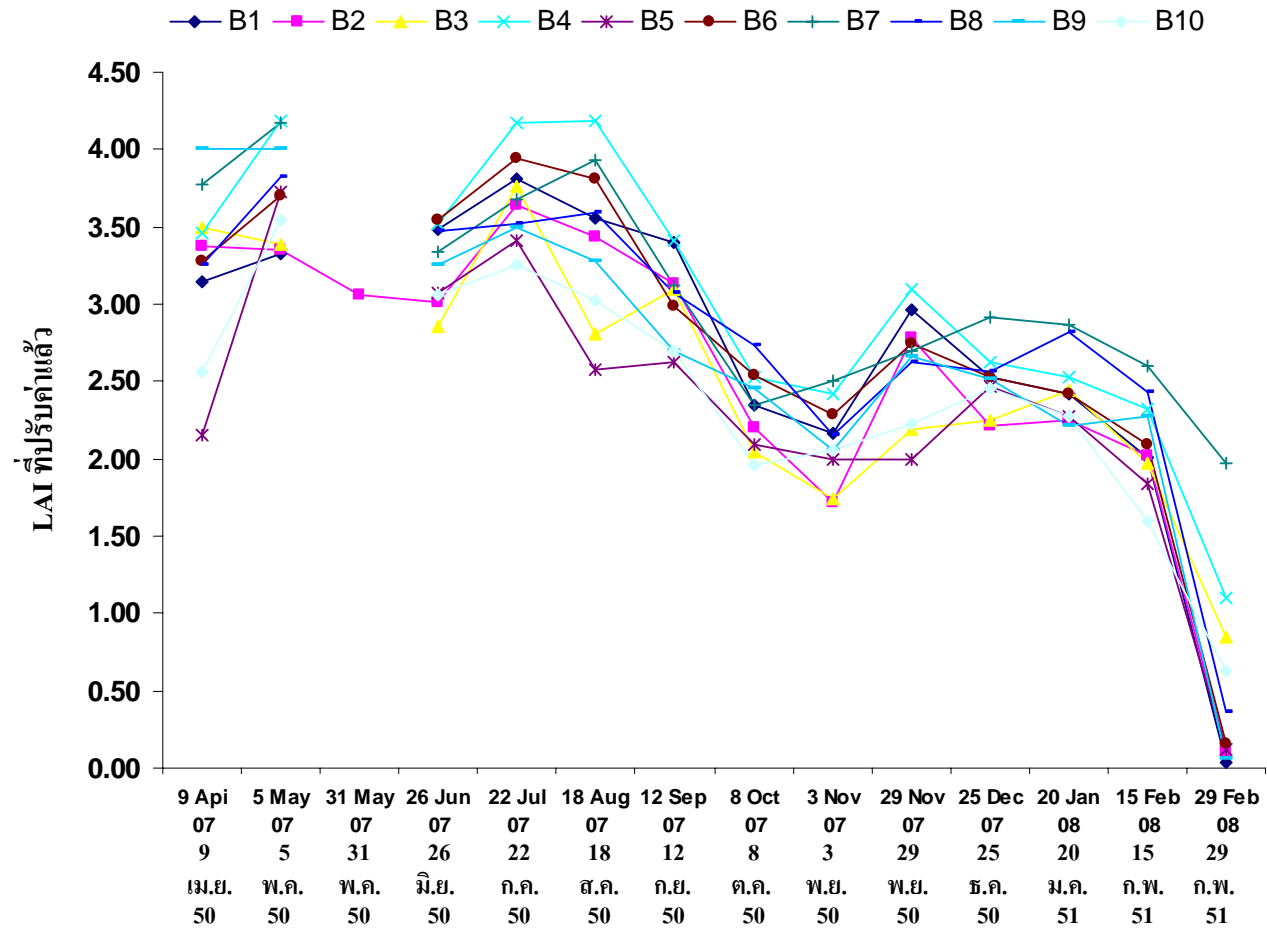
รหัสแปลง	วันที่													
	9 เม.ย. 50	5 พ.ค. 50	31 พ.ค. 51	26 มิ.ย. 50	22 ก.ค. 50	18 ส.ค. 50	12 ก.ย. 50	8 ต.ค. 50	3 พ.ย. 50	29 พ.ย. 50	25 ธ.ค. 50	20 ม.ค. 51	15 ก.พ. 51	29 ก.พ. 51
<b>B1</b>	3.15 ±0.13	3.33 ±0.13	-	3.48 ±0.43	3.81 ±0.23	3.56 ±0.27	3.40 ±0.23	2.34 ±0.14	2.16 ±0.10	2.97 ±0.15	2.53 ±0.09	2.42 ±0.11	2.01 ±0.10	0.04 ±0.09
<b>B2</b>	3.37 ±0.16	3.35 ±0.17	3.06 ±0.15	3.01 ±0.19	3.64 ±0.17	3.44 ±0.23	3.14 ±0.22	2.20 ±0.10	1.72 ±0.10	2.78 ±0.16	2.22 ±0.10	2.25 ±0.13	2.03 ±0.12	0.11 ±0.14
<b>B3</b>	3.50 ±0.63	3.38 ±0.14	-	2.85 ±0.14	3.76 ±0.38	2.81 ±0.23	3.09 ±0.16	2.05 ±0.20	1.74 ±0.14	2.19 ±0.22	2.25 ±0.26	2.45 ±0.21	1.97 ±0.19	0.84 ±0.17
<b>B4</b>	3.46 ±0.25	4.19 ±0.30	-	3.52 ±0.17	4.18 ±0.31	4.18 ±0.26	3.41 ±0.17	2.53 ±0.15	2.42 ±0.17	3.09 ±0.27	2.62 ±0.19	2.53 ±0.19	2.32 ±0.13	1.10 ±0.09
<b>B5</b>	2.15 ±0.17	3.73 ±0.23	-	3.08 ±0.20	3.41 ±0.20	2.57 ±0.15	2.62 ±0.18	2.10 ±0.16	2.00 ±0.19	2.00 ±0.16	2.47 ±0.15	2.27 ±0.18	1.84 ±0.21	0.12 ±0.19
<b>B6</b>	3.28 ±0.17	3.70 ±0.21	-	3.55 ±0.22	3.94 ±0.28	3.81 ±0.24	2.98 ±0.15	2.55 ±0.11	2.29 ±0.08	2.75 ±0.21	2.53 ±0.13	2.42 ±0.04	2.09 ±0.07	0.16 ±0.03
<b>B7</b>	3.77 ±0.15	4.17 ±0.34	-	3.34 ±0.17	3.68 ±0.26	3.93 ±0.30	3.12 ±0.14	2.35 ±0.17	2.51 ±0.19	2.70 ±0.27	2.92 ±0.19	2.87 ±0.15	2.60 ±0.12	1.97 ±0.18
<b>B8</b>	3.25 ±0.21	3.82 ±0.29	-	3.48 ±0.36	3.53 ±0.18	3.59 ±0.17	3.08 ±0.28	2.74 ±0.22	2.15 ±0.10	2.63 ±0.14	2.57 ±0.16	2.82 ±0.09	2.44 ±0.16	0.37 ±0.13
<b>B9</b>	4.00 ±0.36	4.01 ±0.18	-	3.26 ±0.19	3.50 ±0.33	3.28 ±0.17	2.70 ±0.07	2.45 ±0.11	2.05 ±0.16	2.66 ±0.16	2.52 ±0.17	2.22 ±0.14	2.28 ±0.16	0.06 ±0.02
<b>B10</b>	2.57 ±0.27	3.55 ±0.16	-	3.05 ±0.21	3.25 ±0.21	3.02 ±0.17	2.70 ±0.23	1.96 ±0.23	2.06 ±0.19	2.23 ±0.13	2.46 ±0.19	2.28 ±0.14	1.60 ±0.16	0.62 ±0.04

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ LAI ของยางพารากลุ่มยางแก่

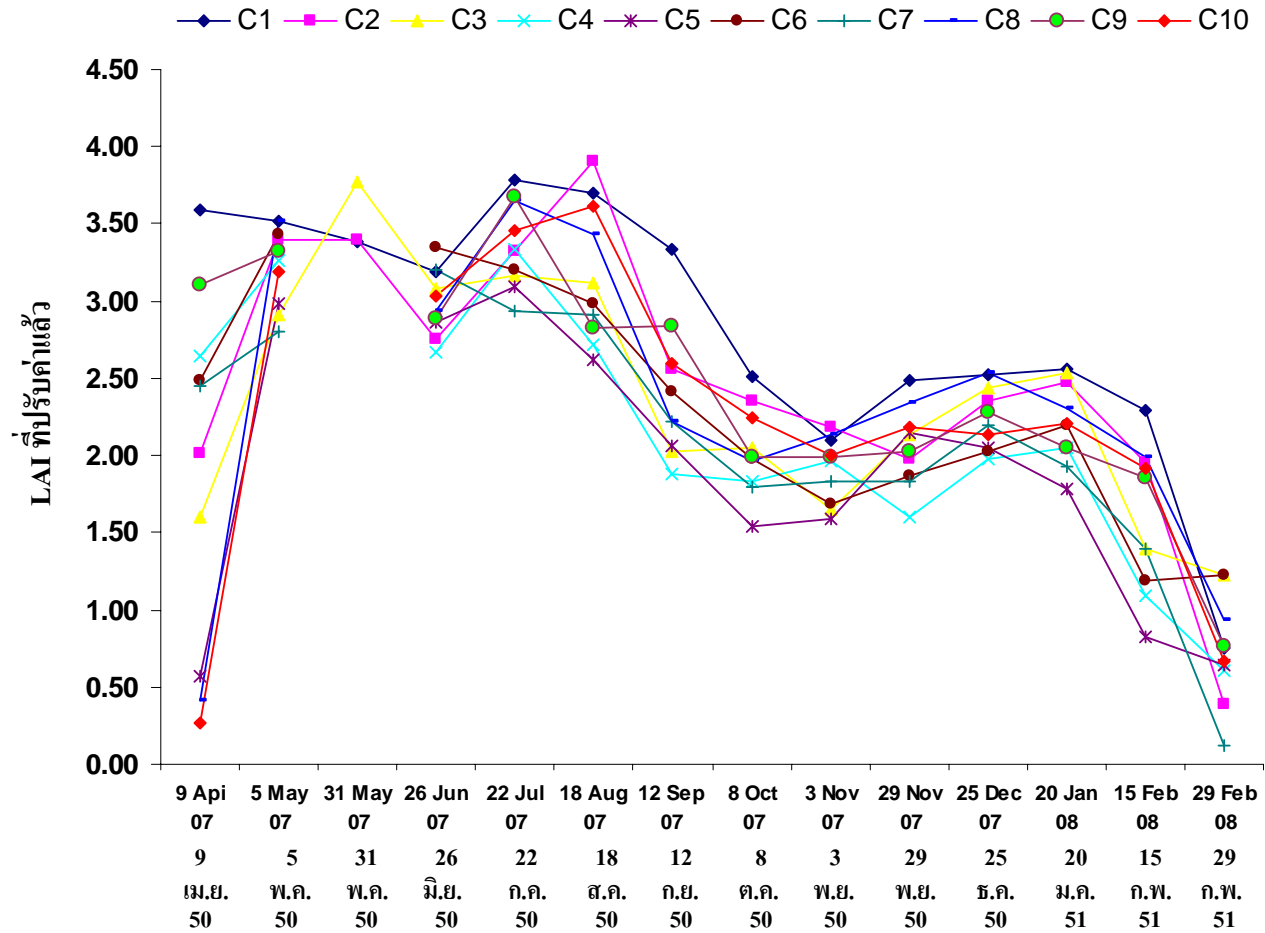
รหัสแปลง	วันที่													
	9 เม.ย. 50	5 พ.ค. 50	31 พ.ค. 51	26 มิ.ย. 50	22 ก.ค. 50	18 ส.ค. 50	12 ก.ย. 50	8 ต.ค. 50	3 พ.ย. 50	29 พ.ย. 50	25 ธ.ค. 50	20 ม.ค. 51	15 ก.พ. 51	29 ก.พ. 51
C1	3.59 ±0.19	3.51 ±0.12	3.39 ±0.20	3.19 ±0.20	3.79 ±0.27	3.69 ±0.21	3.33 ±0.19	2.51 ±0.23	2.10 ±0.07	2.49 ±0.23	2.52 ±0.11	2.56 ±0.10	2.30 ±0.14	0.76 ±0.13
C2	2.01 ±0.09	3.40 ±0.30	3.40 ±0.21	2.75 ±0.22	3.33 ±0.36	3.90 ±0.16	2.56 ±0.14	2.35 ±0.14	2.19 ±0.21	1.97 ±0.21	2.35 ±0.06	2.48 ±0.18	1.95 ±0.10	0.39 ±0.07
C3	1.60 ±0.13	2.91 ±0.30	3.77 ±0.35	3.08 ±0.44	3.16 ±0.14	3.12 ±0.18	2.03 ±0.21	2.05 ±0.18	1.65 ±0.08	2.13 ±0.11	2.44 ±0.16	2.53 ±0.08	1.39 ±0.13	1.22 ±0.07
C4	2.64 ±0.29	3.27 ±0.20	-	2.66 ±0.32	3.33 ±0.19	2.72 ±0.23	1.88 ±0.10	1.83 ±0.12	1.97 ±0.12	1.60 ±0.05	1.97 ±0.10	2.05 ±0.07	1.10 ±0.09	0.61 ±0.11
C5	0.57 ±0.14	2.99 ±0.26	-	2.87 ±0.32	3.09 ±0.23	2.62 ±0.14	2.06 ±0.08	1.55 ±0.18	1.59 ±0.09	2.15 ±0.21	2.04 ±0.07	1.79 ±0.11	0.83 ±0.15	0.64 ±0.10
C6	2.48 ±0.21	3.43 ±0.17	-	3.34 ±0.35	3.20 ±0.13	2.99 ±0.31	2.41 ±0.18	1.98 ±0.13	1.69 ±0.19	1.87 ±0.10	2.03 ±0.12	2.20 ±0.15	1.18 ±0.16	1.22 ±0.10
C7	2.45 ±0.29	2.80 ±0.13	-	3.20 ±0.22	2.93 ±0.25	2.91 ±0.24	2.22 ±0.18	1.79 ±0.13	1.84 ±0.15	1.83 ±0.19	2.20 ±0.22	1.92 ±0.16	1.39 ±0.14	0.12 ±0.08
C8	0.41 ±0.10	3.52 ±0.18	-	2.93 ±0.19	3.65 ±0.21	3.43 ±0.22	2.23 ±0.11	1.96 ±0.10	2.13 ±0.15	2.34 ±0.16	2.53 ±0.17	2.30 ±0.11	1.99 ±0.07	0.93 ±0.09
C9	3.11 ±0.23	3.32 ±0.16	-	2.88 ±0.19	3.67 ±0.33	2.83 ±0.14	2.83 ±0.13	1.99 ±0.15	1.99 ±0.18	2.02 ±0.10	2.28 ±0.15	2.05 ±0.35	1.86 ±0.22	0.77 ±0.30
C10	0.26 ±0.09	3.19 ±0.21	-	3.03 ±0.18	3.46 ±0.33	3.61 ±0.30	2.59 ±0.17	2.24 ±0.20	2.00 ±0.14	2.18 ±0.11	2.14 ±0.08	2.20 ±0.17	1.91 ±0.07	0.66 ±0.08



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบรายเดือนของยางพาราในกลุ่มยางอ่อน (A1-A10)



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบรายเดือนของยางพาราในกลุ่มยางหนุ่ม (B1-B10)



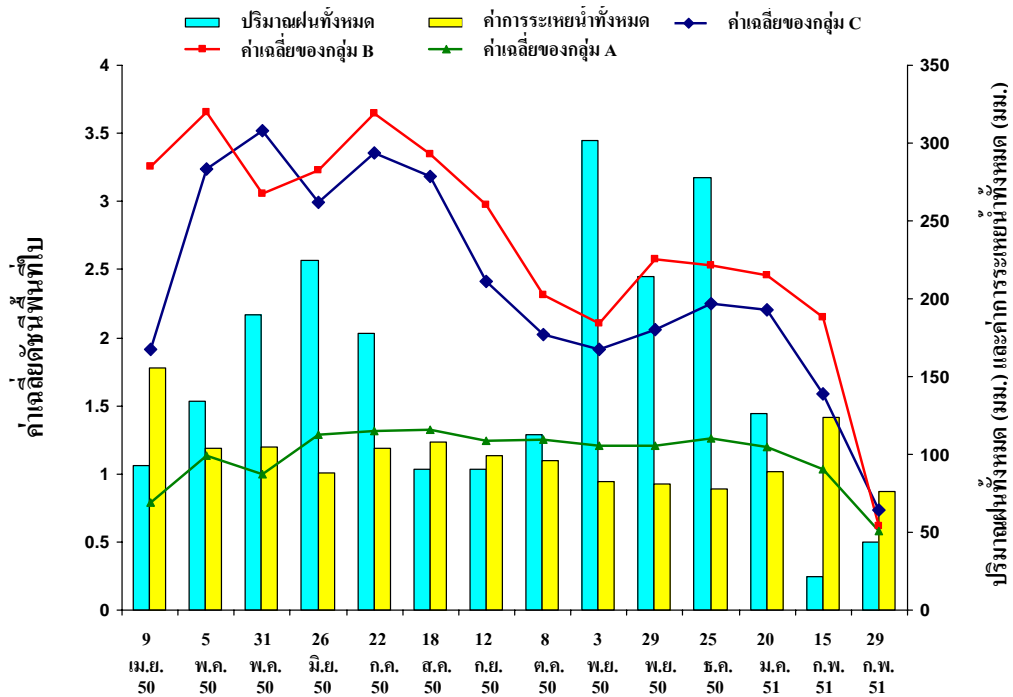
ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบรายเดือนของยางพาราในกลุ่มยางแก่ (C1-C10)

ระยะ หลัก ได้แก่ 1) ระยะที่มีการผลัดใบ เริ่มต้นประมาณปลายเดือนมกราคมเป็นช่วงที่ยางพาราผลัดใบอย่างรวดเร็ว มีระยะเวลาของการผลัดใบประมาณ 3-4 สัปดาห์ 2) ระยะแตกใบใหม่ เป็นระยะหลังจากที่ยางผลัดใบ ในการศึกษาครั้งนี้ระยะดังกล่าวเป็นช่วงที่เริ่มต้นของการศึกษา นั่นคืออยู่ในช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ถึงต้นเดือนมีนาคม 3) ระยะการเปลี่ยนแปลงต้นฤดูฝนอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงที่ยางพารายังมีใบอ่อน หรือกำลังเป็นใบเพศลาดหลังจากการผลัดใบไม่นาน แต่เกิดอาการใบร่วงจากการเข้าทำลายของเชื้อรา เนื่องจากฝนที่ตกในระบะดังกล่าว และ 4) ระยะการเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูฝน โดยหลังจากที่ดัชนีพื้นที่ใบมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนกรกฎาคม และสิงหาคม เกิดอาการใบร่วงอีกครั้ง เนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อราจากฝนที่ตกมากเกินไป ประกอบกับในช่วงดังกล่าวมีกระแสลมพัดค่อนข้างรุนแรง ทั้งนี้มีข้อมูลที่น่าสนใจของกลุ่มยางอ่อนอยู่หนึ่งแปลง คือ แปลง A9 ซึ่งในฤดูกาลผลัดใบประจำปี พ.ศ. 2551 (ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม) ไม่มีการผลัดใบ ทั้งยังมีการแตกใบอ่อนในฤดูดังกล่าวด้วย ทำให้ดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มอย่างต่อเนื่อง

การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบรายเดือนของยางพาราทั้ง 3 กลุ่มอายุ คือ กลุ่มยางอ่อน (A1-A10), กลุ่มยางหนุ่ม (B1-B10) และกลุ่มยางแก่ (C1-C10) มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูคล้ายกัน แต่มีค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบแตกต่างกันชัดเจน โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบสูงสุดของแต่ละกลุ่มในช่วงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2550 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 กลุ่มยางหนุ่มมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 3.67 รองลงมาเป็นของกลุ่มยางแก่ เท่ากับ 3.52 และต่ำที่สุดเป็นของกลุ่มยางอ่อนหรือยางขนาดเล็ก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.53 (ตารางที่ 3 ถึง 5) นอกจากนี้หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบโดยรวมในแต่ละกลุ่มอายุของยางพารา ดังภาพที่ 8 พบว่า กลุ่มยางหนุ่ม (B1-B10) มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบที่เร็วกว่ากลุ่มยางแก่ (C1-C10) ซึ่งในช่วงเริ่มต้นของการเกิดใบใหม่ประจำปี พ.ศ. 2550 (9 เมษายน พ.ศ. 2550) ปรากฏค่าเฉลี่ยดัชนีพื้นที่ใบของยางหนุ่มมีค่าสูงกว่ายางแก่ นั้นแสดงถึงยางหนุ่มมีพัฒนาการของการเกิดใบใหม่เร็วกว่ายางแก่ และในฤดูของการร่วงของใบประจำปี พ.ศ. 2551 ยางหนุ่มมีแนวโน้มการลดลงของจำนวนใบตั้งแต่วันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ. 2550 ขณะยางแก่ปรากฏแนวโน้มประมาณวันที่ 20 มกราคม พ.ศ. 2551

หากพิจารณาช่วงระยะเวลาของการเก็บข้อมูลครั้งสุดท้ายในวันที่ 29 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พบว่า มีระยะเวลาการเก็บข้อมูลเร็วกว่าทุกครั้งก่อนหน้านี้ ซึ่งปกติจะเก็บทุก 26 วัน แต่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์เป็นช่วงที่ยางพารามีการผลัดใบอย่างรวดเร็ว ดังนั้นระยะเวลาของการเก็บบันทึกข้อมูลจึงเร็วขึ้นมาเป็น 14 วัน นับจากหลังวันที่ 15 กุมภาพันธ์ ความถี่ของข้อมูลจึงแคบลงทำให้กราฟการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบ ในช่วงดังกล่าวมีการเปลี่ยนของความชันค่อนข้างสูง





ภาพที่ 8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบ ดัชนีพื้นที่ใบ รายเดือนของ ยางพาราในสามกลุ่มอายุ ; กลุ่มยางอ่อน (A1-A10), กลุ่มยางหนุ่ม (B1-B10) และกลุ่มยางแก่ (C1-C10) และปริมาณฝนทั้งหมด และค่าการระเหยน้ำทั้งหมด

#### 1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และค่าเฉลี่ยของเส้นรอบวงลำต้น

การวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าสูงสุดของดัชนีพื้นที่ใบ ของแปลง ตัวอย่างทั้ง 30 แปลง โดยเลือกเฉพาะค่าที่สูงที่สุดในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2550 และค่าเฉลี่ยขนาดเส้นรอบวงของลำต้นที่ระดับ 1.70 ม. จากพื้นดินทั้งรูปแบบเส้นตรงและไม่เป็น เส้นตรง โดยกำหนดให้ขนาดเส้นรอบวงของลำต้นเป็นตัวแปรอิสระ (x) และดัชนีพื้นที่ใบเป็นตัว แปรตาม (y) ผลแสดงดังตารางที่ 6 พบว่า รูปแบบความสัมพันธ์ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด สูงสุด คือ รูปแบบสมการแบบพาวเวอร์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.83 ทั้งสามรอบ ของการวัด รองลงมาเป็นรูปแบบสมการแบบลอการิทึม มีค่า 0.81 - 0.83 และต่ำสุด คือ รูปแบบ สมการแบบเส้นตรง มีค่า 0.73 - 0.74

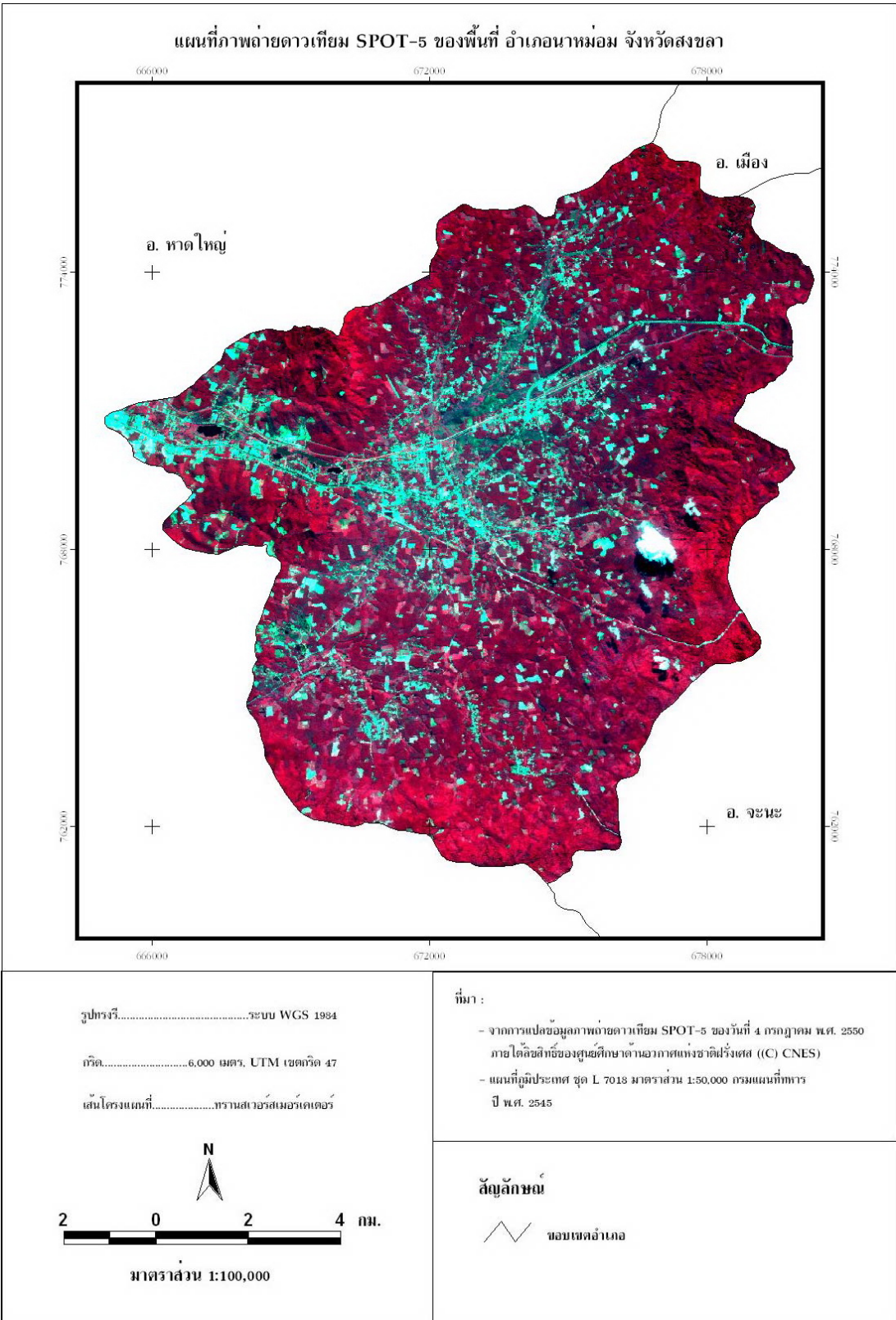
ตารางที่ 6 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ใบสูงสุดของแต่ละแปลง ในช่วงเดือน พฤษภาคมถึง ตุลาคม (y) และ ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นรอบวงของลำต้นที่ระดับ 1.70 ม.จากพื้นดิน (x)

		สมการ					
	Linear	R <sup>2</sup>	Logarithmic	R <sup>2</sup>	Power	R <sup>2</sup>	
เม.ย. 2550	$y = 0.0522x + 0.4222$	0.73	$y = 2.3213\ln(x) - 5.8659$	0.83	$y = 0.0494x^{1.0495}$	0.83	
ค.ค. 2550	$y = 0.058x - 0.005$	0.74	$y = 2.8\ln(x) - 7.8939$	0.83	$y = 0.0197x^{1.2667}$	0.83	
เม.ย. 2551	$y = 0.0598x - 0.1554$	0.73	$y = 2.9789\ln(x) - 8.6638$	0.81	$y = 0.0137x^{1.3508}$	0.83	

## 2. การสำรวจระยะไกล

### 2.1 ผลการปรับแก้ทางเรขาคณิต (geometric correction)

ผลการคัดเลือกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 ที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาบริเวณพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ที่ถ่ายตลอดทั้งปี พ.ศ. 2550 ที่สอดคล้องกับวันที่ออกไปเก็บข้อมูลภาคสนาม และมีการปกคลุมของเมฆน้อยที่สุด ในที่นี้ภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 ของวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 เป็นเพียงภาพเดียวที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาวิเคราะห์หัดดัชนีพืชพรรณ ได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ภายใต้ลิขสิทธิ์ของศูนย์ศึกษาด้านอวกาศแห่งชาติฝรั่งเศส (© CNES) ทำการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตโดยใช้กระบวนการ Image to Map Registration ด้วยการใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) ที่ได้จากเครื่องกำหนดพิกัด GPS โดยเลือกจุดตัดของถนนเป็นจุดเก็บพิกัด และได้ใช้สมการพหุนามดีกรี 1 เป็นสมการ และวิธีการสุ่มการจัดเรียงข้อมูลแบบ Nearest Neighbor ในการแปลงข้อมูล จากนั้นคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (RMS Error) โดยกำหนดให้ค่าความผิดพลาดไม่เกิน 1 จุดภาพ หรือ 10 ม. ซึ่งภาพดังกล่าวใช้จุดควบคุมทั้งสิ้น 52 จุด และมีความผิดพลาดเฉลี่ย เท่ากับ  $\pm 0.6428$  จุดภาพ หรือเท่ากับ  $\pm 6.4280$  ม. เมื่อทำการปรับแก้ทางเรขาคณิตแล้ว จึงตัดภาพเอาเฉพาะขอบเขตของพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา มาสร้างแผนที่ (ภาพที่ 9) และทำการวิเคราะห์ข้อมูลศึกษาความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบภาคสนาม



ภาพที่ 9 ภาพถ่ายดาวเทียมสีผสมเท็จแบนด์ 1 2 3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน) ของวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 บริเวณ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

## 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ

ผลการเน้นภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่าง ๆ ทั้ง 15 รูปแบบ ได้แก่ SR, MSR, ISR, NDVI, PVI, SAVI, MSAVI2, WdVI, TSAVI, MCARI1, MCARI2, MTVI1, MTVI2, TNDVI และ sqrt SR โดยกำหนดให้ผลลัพธ์ของการคำนวณอยู่ในรูปของเลขทศนิยม ได้ภาพใหม่ที่มีค่าทางคณิตศาสตร์เปลี่ยนไปจากเดิมขึ้นอยู่กับดัชนีแต่ละตัว ค่าที่ได้ อยู่ในรูปของทศนิยมหลายตำแหน่ง ค่าเฉลี่ยของดัชนีแต่ละตัวในแปลงตัวอย่างแสดงดังตารางผนวกที่ 1 ถึง 6 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจาก 16 จุดภาพของบริเวณแปลงตัวอย่าง นั่นคือเมื่อเทียบกับภาคสนามจะมีพื้นที่เท่ากับ 1 ไร่ หรือ 40 x 40 ตร.ม. โดยค่าของแปลง A6 ไม่ปรากฏในตารางเนื่องจากบริเวณดังกล่าวในภาพถ่ายดาวเทียมเกิดการบดบังของเมฆ

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ ที่เป็นข้อมูลภาคสนาม และดัชนีพืชพรรณ ในการศึกษาครั้งนี้จำเป็นต้องใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาคสนามของวันที่ 26 มิถุนายน และ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งเป็นข้อมูลของวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 มากที่สุด ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่ยังไม่ปรับค่า ซึ่งได้จากโปรแกรม GLA โดยตรง และค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่าง ๆ ทั้ง 15 รูปแบบ พบว่า ดัชนี SAVI มีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบที่ยังไม่ปรับค่าสูงที่สุด โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.8012 รองลงมา คือ ดัชนี SR และ MSR มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.8005 และ 0.7957 ตามลำดับ และดัชนีที่มีความสัมพันธ์ต่ำที่สุด คือ ดัชนี ISR และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.2436 ดังตารางที่ 7 ขณะที่ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่ได้ปรับค่าแล้ว และค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่าง ๆ ทั้ง 15 รูปแบบ พบว่า ดัชนี SR มีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบที่ปรับค่าแล้วสูงที่สุด โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.7943 รองลงมา คือ ดัชนี SAVI และ MSR มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.7942 และ 0.7881 ตามลำดับ และดัชนีที่มีความสัมพันธ์ต่ำที่สุด คือ ดัชนี ISR และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.2577 ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างดัชนีพืชพรรณ และค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบที่ปรับค่าแล้ว และดัชนีพื้นที่ใบที่ยังไม่ปรับค่าหรือค่าที่ได้จากโปรแกรม GLA โดยตรง

ดัชนี	ดัชนีพื้นที่ใบที่ปรับค่าแล้ว	ดัชนีพื้นที่ใบที่ยังไม่ปรับค่า
SR	0.7943 <sup>*</sup>	0.8005 <sup>*</sup>
MSR	0.7881 <sup>*</sup>	0.7957 <sup>*</sup>
ISR	0.2577 <sup>ns</sup>	0.2436 <sup>ns</sup>
NDVI	0.7872 <sup>*</sup>	0.7937 <sup>*</sup>
PVI	0.6819 <sup>*</sup>	0.6907 <sup>*</sup>
SAVI	0.7942 <sup>*</sup>	0.8012 <sup>*</sup>
MSAVI2	0.7822 <sup>*</sup>	0.7887 <sup>*</sup>
WDVI	0.6828 <sup>*</sup>	0.6921 <sup>*</sup>
TSAVI	0.7738 <sup>*</sup>	0.7806 <sup>*</sup>
MCARI1	0.6513 <sup>*</sup>	0.6595 <sup>*</sup>
MCARI2	0.7366 <sup>*</sup>	0.7433 <sup>*</sup>
MTVI1	0.6363 <sup>*</sup>	0.6462 <sup>*</sup>
MTVI2	0.7214 <sup>*</sup>	0.7274 <sup>*</sup>
TNDVI	0.7784 <sup>*</sup>	0.7867 <sup>*</sup>
sqrt SR	0.7798 <sup>*</sup>	0.7872 <sup>*</sup>

\* = มีนัยสำคัญทางสถิติที่  $P < 0.01$ , ns = ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ส่วนผลการวิเคราะห์รีเกรสชันระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่ยังไม่ปรับค่า และค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่าง ๆ ทั้ง 15 รูปแบบ โดยกำหนดให้ดัชนีพื้นที่ใบเป็นตัวแปรตาม (y) และค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณเป็นตัวแปรอิสระ (x) วิเคราะห์ด้วยสมการทั้งรูปแบบที่เป็นเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรง พบว่า ดัชนี SAVI มีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบที่ยังไม่ปรับค่าสูงที่สุด โดยมีสมการความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์ คือ  $y = 247.04x^{2.9297}$  ( $R^2 = 0.6548$ ) รองลงมา คือ ดัชนี SR และ MSR มีสมการความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์เช่นเดียวกัน คือ  $y = 0.0563x^{13.86}$  ( $R^2 = 0.6510$ ) และ  $y = 492.75x^{2.788}$  ( $R^2 = 0.6496$ ) ตามลำดับ (ตารางที่ 8)

และผลการวิเคราะห์รีเกรสชันระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่ได้ปรับค่าแล้ว และค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่าง ๆ เช่นเดียวกับดัชนีพื้นที่ใบที่ยังไม่ปรับค่า พบว่าดัชนี SAVI มีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบสูงที่สุด โดยมีสมการความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์ คือ  $y = 757.27x^{3.2418}$  ( $R^2 = 0.6521$ ) รองลงมา คือ ดัชนี SR และ MSR มีสมการความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์เช่นกัน คือ  $y = 0.0701x^{15.366}$  ( $R^2 = 0.6508$ ) และ  $y = 1619.2x^{3.0832}$  ( $R^2 = 0.6462$ ) (ภาพที่ 10) ตามลำดับ โดยค่าคลาดเคลื่อนตกค้าง (residual) ของการประมาณดัชนีพื้นที่ใบด้วยสมการความสัมพันธ์ของดัชนีทั้งสาม แสดงดังตารางที่ 10 ถึง 12 และสามารถสร้างข้อมูลภาพแบบราสเตอร์ได้ดังภาพที่ 11 ถึง 13 และพบว่าดัชนีที่มีสมการความสัมพันธ์ต่ำที่สุด คือ ISR ซึ่งมีสมการ คือ  $y = 0.3285x^{2.581}$  และมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด เท่ากับ 0.0581 และเป็นดัชนีเพียงตัวเดียวที่มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดต่ำกว่า 0.4000 ขณะที่ดัชนีตัวอื่นมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดอยู่ในช่วง 0.4000 ถึง 0.6521 (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 8 รูปแบบสหสัมพันธ์เชิงเส้น ระหว่างค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบที่ยังไม่ปรับค่า (y) และดัชนีพืชพรรณ (x)

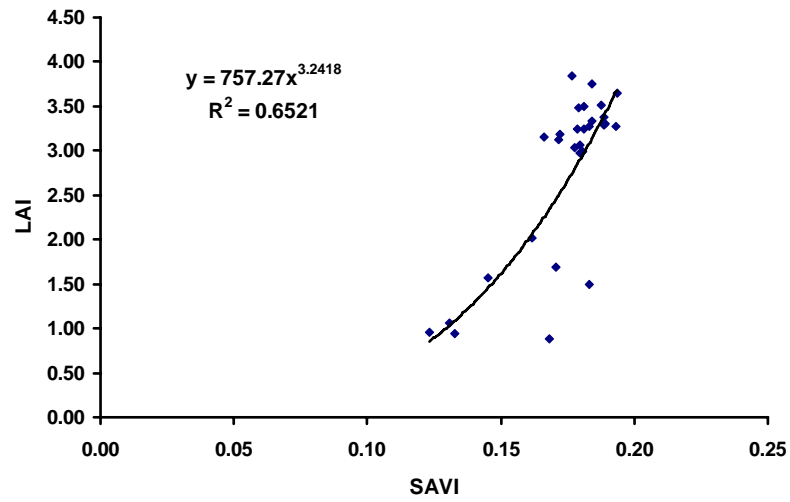
ดัชนี	สมการ					
	Linear	R <sup>2</sup>	Logarithmic	R <sup>2</sup>	Power	R <sup>2</sup>
SR	$y = 12.695x - 14.502$	0.6408	$y = 15.757\ln(x) - 2.1426$	0.6412	$y = 0.0563x^{13.86}$	0.6510
MSR	$y = 28.14x - 1.9493$	0.6331	$y = 3.1482\ln(x) + 8.1327$	0.6312	$y = 492.75x^{2.788}$	0.6496
ISR	$y = 1.235x - 1.1914$	0.0593	$y = 2.7708\ln(x) - 0.6566$	0.0627	$y = 0.2398x^{2.2571}$	0.0546
NDVI	$y = 31.808x - 2.1605$	0.6299	$y = 3.354\ln(x) + 8.7748$	0.6271	$y = 849.05x^{2.9589}$	0.6404
PVI	$y = 0.411x - 2.3279$	0.4771	$y = 3.6132\ln(x) - 6.5459$	0.4880	$y = 0.0011x^{3.2087}$	0.5050
SAVI	$y = 21.105x - 2.1235$	0.6418	$y = 3.3141\ln(x) + 7.3635$	0.6385	$y = 247.04x^{2.9297}$	0.6548
MSAVI2	$y = 19.65x - 2.5167$	0.6221	$y = 3.7199\ln(x) + 7.4266$	0.6208	$y = 258.63x^{3.2821}$	0.6342
WDVI	$y = 0.2976x - 2.421$	0.4789	$y = 3.6965\ln(x) - 8.0145$	0.4879	$y = 0.0003x^{3.2853}$	0.5057
TSAVI	$y = 30.81x - 2.002$	0.6093	$y = 3.2072\ln(x) + 8.4975$	0.6088	$y = 684.01x^{2.8425}$	0.6275
MCARI1	$y = 0.0225x - 1.3836$	0.4350	$y = 2.7473\ln(x) - 11.809$	0.4516	$y = 9E-06x^{2.4617}$	0.4759
MCARI2	$y = 2.3396x - 1.4304$	0.5526	$y = 2.7379\ln(x) + 0.9081$	0.5652	$y = 0.818x^{2.4367}$	0.5875
MTVI1	$y = 0.0219x - 1.301$	0.4176	$y = 2.6642\ln(x) - 11.399$	0.4364	$y = 1E-05x^{2.4091}$	0.4682
MTVI2	$y = 2.3518x - 1.4393$	0.5291	$y = 2.7698\ln(x) + 0.9057$	0.5437	$y = 0.8154x^{2.4698}$	0.5673
TNDVI	$y = 28.193x - 5.2391$	0.6190	$y = 6.4214\ln(x) + 10.702$	0.6164	$y = 4816.6x^{5.6897}$	0.6351
sqrt SR	$y = 28.381x - 30.361$	0.6197	$y = 31.608\ln(x) - 2.1539$	0.6198	$y = 0.055x^{27.913}$	0.6343

ตารางที่ 9 รูปแบบสหสัมพันธ์เชิงเส้น ระหว่างค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบที่ปรับค่าแล้ว (y) และดัชนีพืชพรรณ (x)

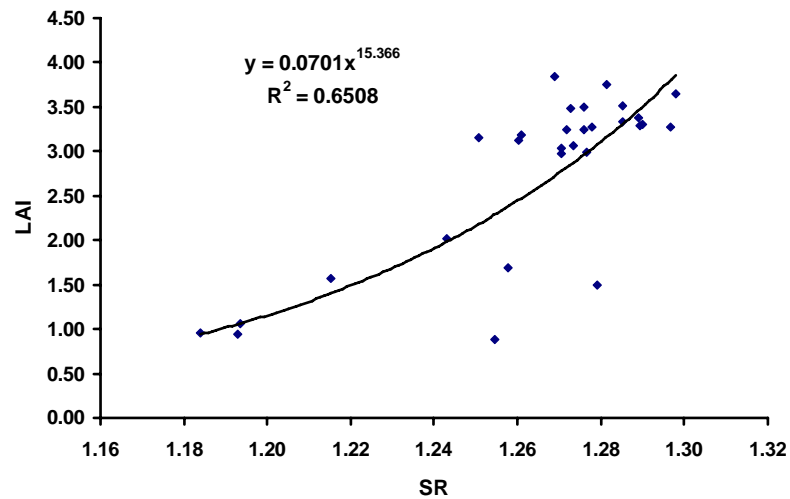
ดัชนี	สมการ					
	Linear	R <sup>2</sup>	Logarithmic	R <sup>2</sup>	Power	R <sup>2</sup>
<b>SR</b>	$y = 24.761x - 28.519$	0.6309	$y = 30.719\ln(x) - 4.4098$	0.6307	$y = 0.0701x^{15.366}$	0.6508
<b>MSR</b>	$y = 54.786x - 4.0239$	0.6211	$y = 6.1159\ln(x) + 15.577$	0.6166	$y = 1619.2x^{3.0832}$	0.6462
<b>ISR</b>	$y = 2.5687x - 2.9108$	0.0664	$y = 5.7504\ln(x) - 1.7888$	0.0699	$y = 0.3285x^{2.581}$	0.0581
<b>NDVI</b>	$y = 62.014x - 4.4451$	0.6197	$y = 6.5252\ln(x) + 16.845$	0.6143	$y = 2979.5x^{3.2759}$	0.6385
<b>PVI</b>	$y = 0.7976x - 4.7359$	0.4650	$y = 7.0002\ln(x) - 12.896$	0.4741	$y = 0.0009x^{3.5407}$	0.5001
<b>SAVI</b>	$y = 41.126x - 4.3692$	0.6308	$y = 6.4441\ln(x) + 14.093$	0.6248	$y = 757.27x^{3.2418}$	0.6521
<b>MSAVI2</b>	$y = 38.308x - 5.1387$	0.6119	$y = 7.2376\ln(x) + 14.223$	0.6082	$y = 798.66x^{3.6334}$	0.6321
<b>WDVI</b>	$y = 0.5771x - 4.9123$	0.4662	$y = 7.1585\ln(x) - 15.733$	0.4735	$y = 0.0002x^{3.6244}$	0.5006
<b>TSAVI</b>	$y = 60.031x - 4.1317$	0.5987	$y = 6.2344\ln(x) + 16.294$	0.5954	$y = 2326.6x^{3.1433}$	0.6241
<b>MCARI1</b>	$y = 0.0438x - 2.9058$	0.4242	$y = 5.3236\ln(x) - 23.097$	0.4389	$y = 5E-06x^{2.7076}$	0.4682
<b>MCARI2</b>	$y = 4.5572x - 3.0165$	0.5426	$y = 5.3198\ln(x) + 1.5419$	0.5523	$y = 1.3671x^{2.6885}$	0.5816
<b>MTVI1</b>	$y = 0.0425x - 2.7291$	0.4049	$y = 5.1473\ln(x) - 22.23$	0.4216	$y = 7E-06x^{2.6428}$	0.4583
<b>MTVI2</b>	$y = 4.5848x - 3.0385$	0.5204	$y = 5.3848\ln(x) + 1.5365$	0.5319	$y = 1.3626x^{2.7237}$	0.5611
<b>TNDVI</b>	$y = 54.833x - 10.415$	0.6060	$y = 12.475\ln(x) + 20.569$	0.6021	$y = 20119x^{6.291}$	0.6315
<b>sqrt SR</b>	$y = 55.263x - 59.348$	0.6082	$y = 61.532\ln(x) - 4.4213$	0.6080	$y = 0.0686x^{30.907}$	0.6325



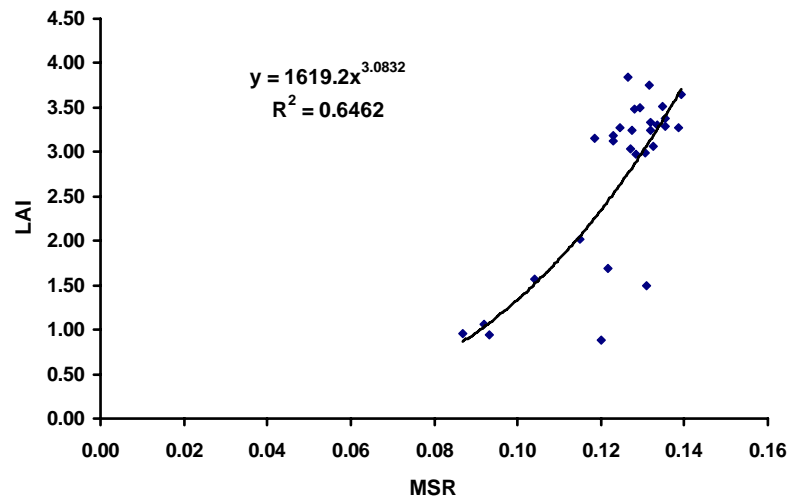
(a)



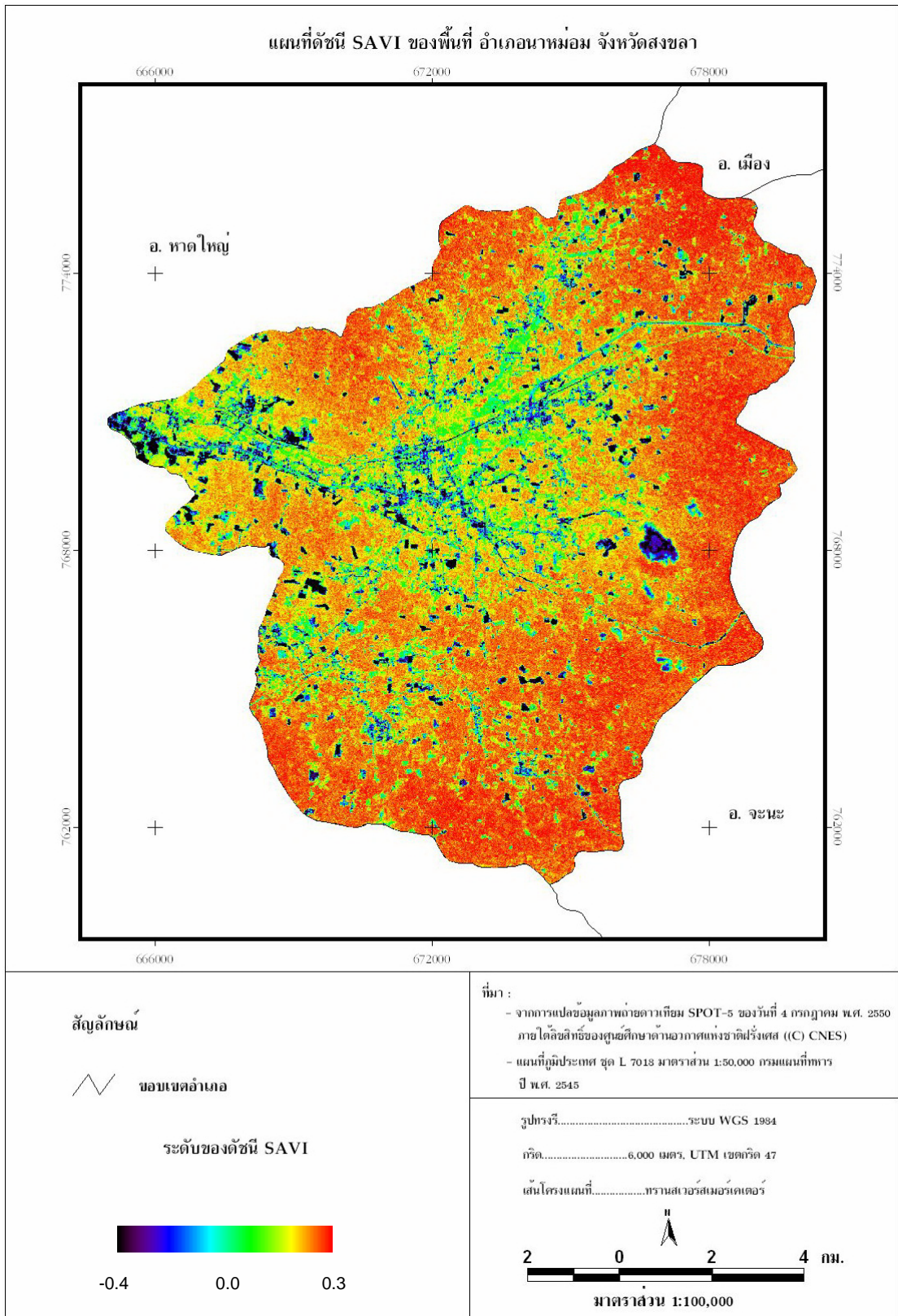
(b)



(c)



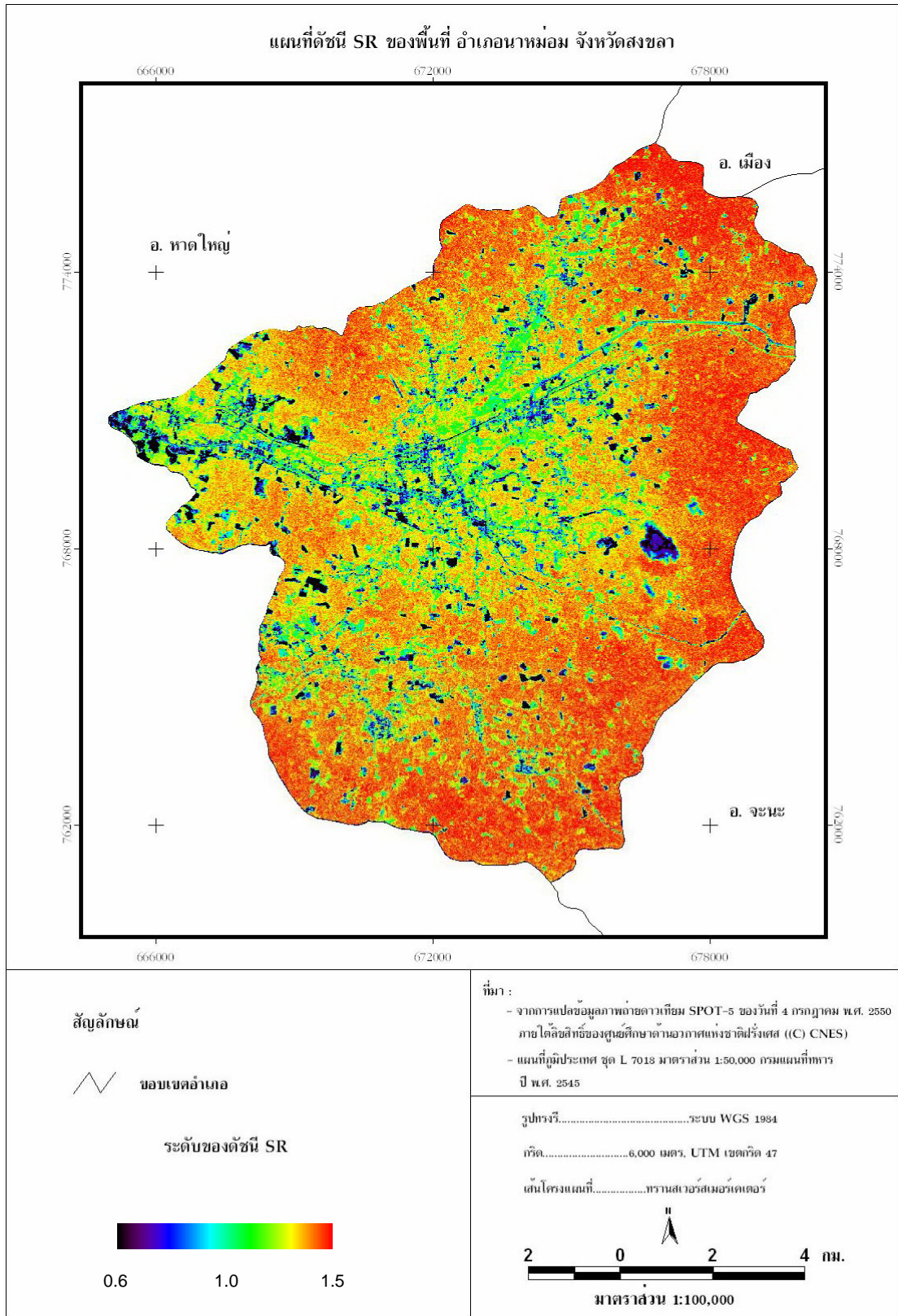
ภาพที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนี SAVI (a), SR (b) และ MSR (c)



ภาพที่ 11 ดัชนี SAVI ของพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ที่ซ้อนทับด้วยสี Rainbow

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยของดัชนี SAVI ดัชนีพื้นที่ใบภาคสนาม และค่าดัชนีพื้นที่ใบภาคสนามที่ได้จากการประมาณ และค่าคลาดเคลื่อนตกค้าง (Residual) ของการประมาณ

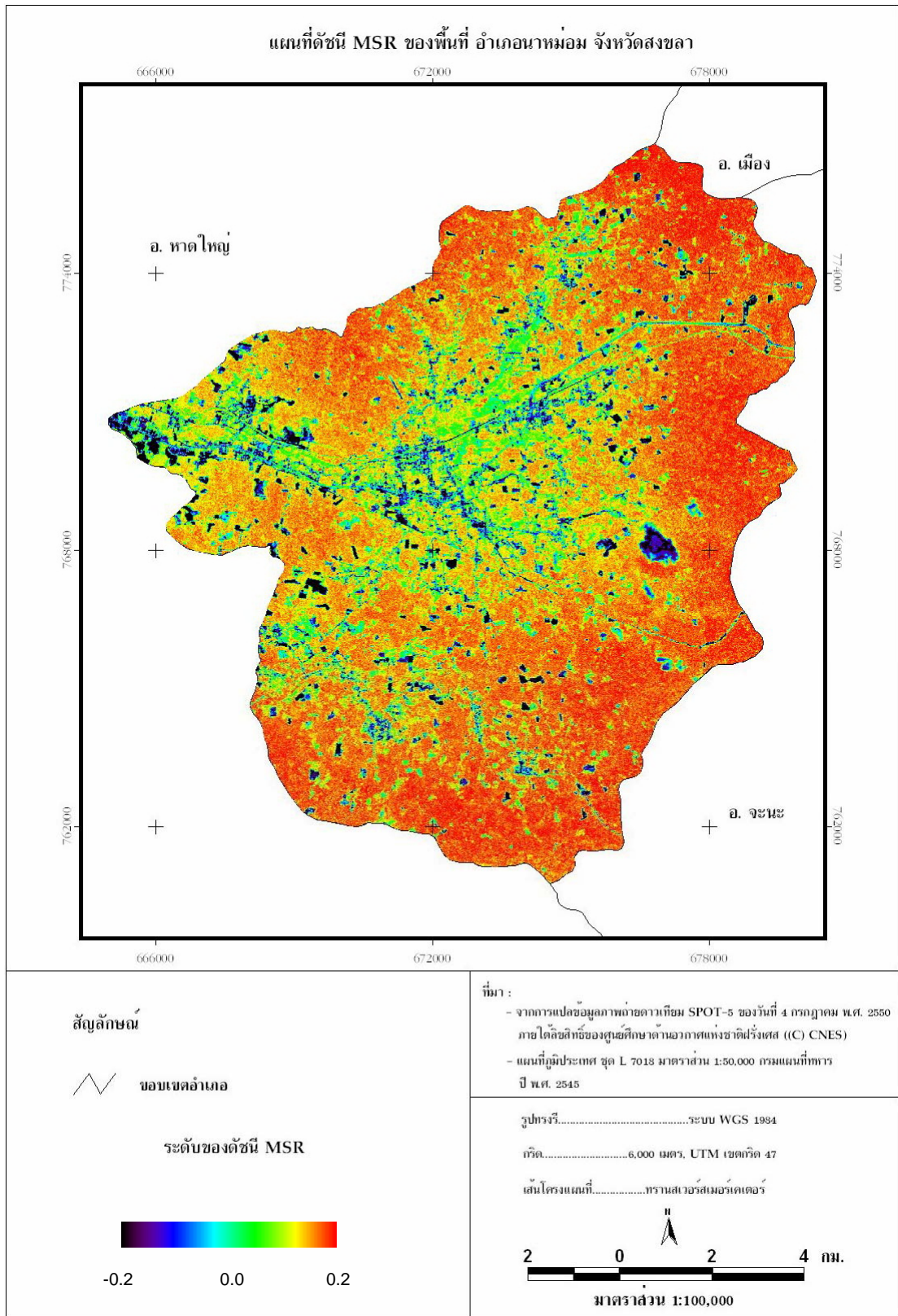
รหัสแปลง	X	Y	SAVI	ดัชนีพื้นที่ใบ	ดัชนีพื้นที่ใบภาคสนาม	Residual
A1	670529	766971	0.168043	0.877934	2.334614	-1.456679
A2	670909	767401	0.161873	2.010931	2.068014	-0.057083
A3	670399	768291	0.182933	1.493874	3.074303	-1.580429
A4	671459	768371	0.170533	1.687213	2.448656	-0.761443
A5	675839	774931	0.145063	1.570872	1.449379	0.121493
A6	676469	771971	*	*	*	*
A7	675949	769081	0.123064	0.956355	0.850435	0.105920
A8	675129	769251	0.132782	0.934556	1.088041	-0.153486
A9	666659	771021	0.130858	1.054675	1.037751	0.016924
A10	671029	768491	0.172399	3.182505	2.536601	0.645904
B1	669769	763361	0.193401	3.646422	3.682098	-0.035676
B2	670219	763691	0.184130	3.329526	3.139993	0.189533
B3	673019	763771	0.189055	3.306424	3.420508	-0.114084
B4	674239	767921	0.176859	3.848446	2.755551	1.092895
B5	673269	766421	0.178500	3.245039	2.839315	0.405724
B6	675309	767261	0.184150	3.745069	3.141119	0.603950
B7	669549	767861	0.187831	3.508616	3.349258	0.159358
B8	673049	771921	0.180928	3.500764	2.966426	0.534338
B9	674789	773581	0.188461	3.376548	3.385794	-0.009246
B10	673019	770521	0.166122	3.153743	2.249226	0.904517
C1	671359	765031	0.179199	3.489392	2.875521	0.613872
C2	671589	765541	0.177879	3.041683	2.807417	0.234266
C3	674349	771921	0.171902	3.120292	2.512936	0.607356
C4	674309	774761	0.180609	2.997444	2.949521	0.047924
C5	674719	770751	0.179471	2.978013	2.889681	0.088332
C6	673219	772321	0.182971	3.270454	3.076412	0.194042
C7	671529	772461	0.179658	3.068294	2.899460	0.168834
C8	670479	768221	0.188709	3.289484	3.400263	-0.110779
C9	674289	762951	0.192870	3.277641	3.649414	-0.371773
C10	672119	766921	0.180951	3.246622	2.967632	0.278990



ภาพที่ 12 ดัชนี SR ของพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ที่ซ้อนทับด้วยสี Rainbow

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ยของดัชนี SR ดัชนีพื้นที่ไปภาคสนาม และค่าดัชนีพื้นที่ไปคาดหมายที่ได้จากการประมาณ และค่าคลาดเคลื่อนตกค้าง (Residual) ของการประมาณ

รหัสแปลง	X	Y	SR	ดัชนีพื้นที่ไป	ดัชนีพื้นที่ไปคาดหมาย	Residual
A1	670529	766971	1.254422	0.877934	2.282450	-1.404516
A2	670909	767401	1.243151	2.010931	1.986889	0.024042
A3	670399	768291	1.279265	1.493874	3.085120	-1.591246
A4	671459	768371	1.257867	1.687213	2.380701	-0.693488
A5	675839	774931	1.215366	1.570872	1.403866	0.167006
A6	676469	771971	*	*	*	*
A7	675949	769081	1.184047	0.956355	0.939954	0.016401
A8	675129	769251	1.192918	0.934556	1.054186	-0.119630
A9	666659	771021	1.193541	1.054675	1.062669	-0.007994
A10	671029	768491	1.261041	3.182505	2.474704	0.707800
B1	669769	763361	1.298085	3.646422	3.861321	-0.214899
B2	670219	763691	1.285209	3.329526	3.312911	0.016615
B3	673019	763771	1.290125	3.306424	3.513080	-0.206657
B4	674239	767921	1.268775	3.848446	2.718463	1.129984
B5	673269	766421	1.271632	3.245039	2.814065	0.430974
B6	675309	767261	1.281397	3.745069	3.165071	0.579997
B7	669549	767861	1.285250	3.508616	3.314513	0.194103
B8	673049	771921	1.275803	3.500764	2.959292	0.541472
B9	674789	773581	1.288956	3.376548	3.464483	-0.087935
B10	673019	770521	1.250719	3.153743	2.181102	0.972641
C1	671359	765031	1.272832	3.489392	2.855143	0.634249
C2	671589	765541	1.270573	3.041683	2.778285	0.263398
C3	674349	771921	1.260196	3.120292	2.449348	0.670944
C4	674309	774761	1.276547	2.997444	2.985912	0.011532
C5	674719	770751	1.270456	2.978013	2.774367	0.203645
C6	673219	772321	1.277890	3.270454	3.034578	0.235876
C7	671529	772461	1.273214	3.068294	2.868360	0.199934
C8	670479	768221	1.289388	3.289484	3.482332	-0.192848
C9	674289	762951	1.296716	3.277641	3.799184	-0.521543
C10	672119	766921	1.275906	3.246622	2.962976	0.283646



ภาพที่ 13 ดัชนี MSR ของพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา ที่ซ้อนทับด้วยสี Rainbow

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยของดัชนี MSR ดัชนีพื้นที่ใบภาคสนาม และค่าดัชนีพื้นที่ใบภาคสนามที่ได้จากการประมาณ และค่าคลาดเคลื่อนตกค้าง (Residual) ของการประมาณ

รหัสแปลง	X	Y	MSR	ดัชนีพื้นที่ใบ	ดัชนีพื้นที่ใบภาคสนาม	Residual
A1	670529	766971	0.119997	0.877934	2.345282	-1.467348
A2	670909	767401	0.114948	2.010931	2.054197	-0.043266
A3	670399	768291	0.131027	1.493874	3.075687	-1.581813
A4	671459	768371	0.121526	1.687213	2.438691	-0.751477
A5	675839	774931	0.103995	1.570872	1.508547	0.062325
A6	676469	771971	*	*	*	*
A7	675949	769081	0.086776	0.956355	0.863329	0.093026
A8	675129	769251	0.093250	0.934556	1.077775	-0.143219
A9	666659	771021	0.091834	1.054675	1.028086	0.026590
A10	671029	768491	0.122948	3.182505	2.527724	0.654780
B1	669769	763361	0.139127	3.646422	3.700583	-0.054162
B2	670219	763691	0.131963	3.329526	3.144004	0.185522
B3	673019	763771	0.133365	3.306424	3.248101	0.058322
B4	674239	767921	0.126523	3.848446	2.761269	1.087177
B5	673269	766421	0.127482	3.245039	2.826319	0.418720
B6	675309	767261	0.131630	3.745069	3.119562	0.625507
B7	669549	767861	0.134634	3.508616	3.344316	0.164300
B8	673049	771921	0.129494	3.500764	2.966150	0.534614
B9	674789	773581	0.135307	3.376548	3.396118	-0.019570
B10	673019	770521	0.118331	3.153743	2.246334	0.907409
C1	671359	765031	0.128176	3.489392	2.874027	0.615366
C2	671589	765541	0.127170	3.041683	2.805020	0.236663
C3	674349	771921	0.122835	3.120292	2.520580	0.599712
C4	674309	774761	0.130561	2.997444	3.042117	-0.044673
C5	674719	770751	0.128354	2.978013	2.886320	0.091693
C6	673219	772321	0.124421	3.270454	2.622246	0.648208
C7	671529	772461	0.132379	3.068294	3.174653	-0.106359
C8	670479	768221	0.135482	3.289484	3.409694	-0.120210
C9	674289	762951	0.138718	3.277641	3.667129	-0.389488
C10	672119	766921	0.131738	3.246622	3.127455	0.119167

ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นรอบวงลำต้นที่ระดับ 1.70 ม. จากพื้นดิน (y) และดัชนีพืชพรรณ (x) ในรูปแบบต่าง ๆ เช่นเดียวกับที่วิเคราะห์ด้วย

ดัชนีพื้นที่ใบ พบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นรอบวงลำต้นประจำเดือนเมษายน พ.ศ. 2550 มีความสัมพันธ์กับดัชนี MSR สูงที่สุด โดยมีสมการความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์ คือ  $y = 12724x^{2.6777}$  ( $R^2 = 0.5713$ ) รองลงมา คือ ดัชนี SAVI และ NDVI มีสมการความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์ คือ  $y = 6425.3x^{2.8023}$  ( $R^2 = 0.5712$ ) และ  $y = 21639x^{2.8457}$  ( $R^2 = 0.5648$ ) ตามลำดับ (ตารางที่ 13) ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นรอบวงลำต้นประจำเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550 มีความสัมพันธ์กับดัชนี MSR สูงที่สุด โดยมีสมการความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์เช่นกัน คือ  $y = 4414.9x^{2.1395}$  ( $R^2 = 0.5379$ ) รองลงมา คือ ดัชนี SAVI และ SR มีสมการ คือ  $y = 2555.1x^{2.2385}$  ( $R^2 = 0.5375$ ) และ  $y = 4.1933x^{10.606}$  ( $R^2 = 0.5360$ ) ตามลำดับ (ตารางที่ 14) และความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นรอบวงลำต้นประจำเดือนเมษายน พ.ศ. 2551 มีความสัมพันธ์กับดัชนี MSR สูงที่สุด โดยมีสมการความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์ คือ  $y = 3146.9x^{1.9671}$  ( $R^2 = 0.5201$ ) รองลงมา คือ ดัชนี SAVI และ SR มีสมการความสัมพันธ์ คือ  $y = 1901.8x^{2.0577}$  ( $R^2 = 0.5194$ ) และ  $y = 5.2354x^{9.7522}$  ( $R^2 = 0.5183$ ) ตามลำดับ (ตารางที่ 15)



ตารางที่ 13 รูปแบบความสัมพันธ์ ระหว่างค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นรอบวงลำต้นประจำเดือนเมษายน พ.ศ. 2550 (y) และดัชนีพืชพรรณ (x)

ดัชนี	สมการ					
	Linear	R <sup>2</sup>	Logarithmic	R <sup>2</sup>	Power	R <sup>2</sup>
SR	$y = 393.04x - 446.31$	0.4405	$y = 487.6\ln(x) - 63.602$	0.4410	$y = 2.3723x^{12.729}$	0.5235
MSR	$y = 920.82x - 63.63$	0.4869	$y = 102.79\ln(x) + 265.8$	0.4834	$y = 12724x^{2.6777}$	0.5713
ISR	$y = -13.395x + 80.09$	0.0050	$y = -25.865\ln(x) + 70.975$	0.0039	$y = 47.975x^{-0.036}$	0.00001
NDVI	$y = 1036.5x - 70.03$	0.4804	$y = 109.2\ln(x) + 286.11$	0.4775	$y = 21639x^{2.8457}$	0.5648
PVI	$y = 12.959x - 71.408$	0.3407	$y = 113.94\ln(x) - 204.43$	0.3486	$y = 0.0549x^{3.0142}$	0.4249
SAVI	$y = 685.46x - 68.433$	0.4863	$y = 107.57\ln(x) + 239.57$	0.4832	$y = 6425.3x^{2.8023}$	0.5712
MSAVI2	$y = 632.64x - 80.053$	0.4632	$y = 119.83\ln(x) + 240.18$	0.4627	$y = 6664.1x^{3.1347}$	0.5515
WDVI	$y = 9.3224x - 73.536$	0.3376	$y = 115.91\ln(x) - 249.04$	0.3445	$y = 0.0165x^{3.076}$	0.4226
TSAVI	$y = 967.91x - 60.725$	0.4320	$y = 101.06\ln(x) + 269.79$	0.4342	$y = 15051x^{2.6623}$	0.5248
MCARI1	$y = 0.4948x - 13.645$	0.1505	$y = 63.319\ln(x) - 257.12$	0.1723	$y = 0.0059x^{1.8458}$	0.2550
MCARI2	$y = 58.87x - 24.207$	0.2513	$y = 71.117\ln(x) + 34.126$	0.2739	$y = 29.573x^{1.979}$	0.3694
MTVI1	$y = 0.4719x - 10.56$	0.1387	$y = 60.421\ln(x) - 242.9$	0.1612	$y = 0.0084x^{1.7749}$	0.2423
MTVI2	$y = 55.909x - 20.293$	0.2148	$y = 68.418\ln(x) + 34.869$	0.2383	$y = 29.957x^{1.938}$	0.3330
TNDVI	$y = 911.26x - 168.56$	0.4645	$y = 207.41\ln(x) + 346.5$	0.4620	$y = 106700x^{5.4203}$	0.5495
sqrt SR	$y = 921.2x - 984.92$	0.4690	$y = 1025.9\ln(x) - 69.336$	0.4690	$y = 2.0428x^{26.779}$	0.5566

ตารางที่ 14 รูปแบบความสัมพันธ์ ระหว่างค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นรอบวงลำต้นประจำเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550 (y) และดัชนีพืชพรรณ (x)

ดัชนี	สมการ					
	Linear	R <sup>2</sup>	Logarithmic	R <sup>2</sup>	Power	R <sup>2</sup>
SR	$y = 365.12x - 408.53$	0.4682	$y = 453.3\ln(x) - 53.081$	0.4687	$y = 4.1933x^{10.606}$	0.5360
MSR	$y = 820.24x - 48.847$	0.4751	$y = 91.537\ln(x) + 244.55$	0.4713	$y = 4414.9x^{2.1395}$	0.5379
ISR	$y = -9.5316x + 73.871$	0.0031	$y = -17.701\ln(x) + 66.826$	0.0023	$y = 47.169x^{0.0723}$	0.0001
NDVI	$y = 922.04x - 54.408$	0.4675	$y = 97.127\ln(x) + 262.38$	0.4645	$y = 6701x^{2.2705}$	0.5303
PVI	$y = 11.459x - 54.981$	0.3276	$y = 100.8\ln(x) - 172.72$	0.3354	$y = 0.2418x^{2.3826}$	0.3915
SAVI	$y = 610.19x - 53.056$	0.4739	$y = 95.743\ln(x) + 221.1$	0.4707	$y = 2555.1x^{2.2385}$	0.5375
MSAVI2	$y = 563.16x - 63.398$	0.4513	$y = 106.64\ln(x) + 221.62$	0.4506	$y = 2613.5x^{2.5}$	0.5174
WDVI	$y = 8.2216x - 56.573$	0.3229	$y = 102.28\ln(x) - 211.5$	0.3299	$y = 0.095x^{2.4241}$	0.3871
TSAVI	$y = 859.89x - 45.995$	0.4192	$y = 89.796\ln(x) + 247.66$	0.4215	$y = 4957.1x^{2.1187}$	0.4902
MCARI1	$y = 0.4404x - 4.2733$	0.1466	$y = 56.281\ln(x) - 220.61$	0.1674	$y = 0.0447x^{1.4447}$	0.2305
MCARI2	$y = 52.629x - 13.971$	0.2470	$y = 63.519\ln(x) + 38.192$	0.2687	$y = 34.805x^{1.57}$	0.3429
MTVI1	$y = 0.4195x - 1.4596$	0.1348	$y = 53.67\ln(x) - 207.82$	0.1564	$y = 0.0595x^{1.3865}$	0.2181
MTVI2	$y = 50.019x - 10.518$	0.2114	$y = 61.123\ln(x) + 38.852$	0.2339	$y = 35.208x^{1.5317}$	0.3068
TNDVI	$y = 811.23x - 142.2$	0.4526	$y = 184.63\ln(x) + 316.31$	0.4501	$y = 24003x^{4.3268}$	0.5164
sqrt SR	$y = 820.23x - 869.12$	0.4572	$y = 913.41\ln(x) - 53.883$	0.4572	$y = 4.1103x^{21.382}$	0.5234

ตารางที่ 15 รูปแบบความสัมพันธ์ ระหว่างค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นรอบวงลำต้นประจำเดือนเมษายน พ.ศ. 2551 (y) และดัชนีพืชพรรณ (x)

ดัชนี	สมการ					
	Linear	R <sup>2</sup>	Logarithmic	R <sup>2</sup>	Power	R <sup>2</sup>
SR	$y = 347.69x - 385.65$	0.4566	$y = 431.66\ln(x) - 47.174$	0.4571	$y = 5.2354x^{9.7522}$	0.5183
MSR	$y = 781.46x - 43.191$	0.4638	$y = 87.193\ln(x) + 236.31$	0.4600	$y = 3146.9x^{1.9671}$	0.5201
ISR	$y = -9.636x + 74.952$	0.0034	$y = -17.962\ln(x) + 67.884$	0.0025	$y = 48.519x^{0.065}$	0.0001
NDVI	$y = 877.44x - 48.371$	0.4553	$y = 92.424\ln(x) + 253.08$	0.4523	$y = 4595.6x^{2.0853}$	0.5115
PVI	$y = 10.847x - 48.368$	0.3157	$y = 95.452\ln(x) - 159.9$	0.3235	$y = 0.3945x^{2.1738}$	0.3727
SAVI	$y = 581.23x - 47.18$	0.4624	$y = 91.183\ln(x) + 213.94$	0.4592	$y = 1901.8x^{2.0577}$	0.5194
MSAVI2	$y = 535.71x - 56.884$	0.4392	$y = 101.44\ln(x) + 214.24$	0.4386	$y = 1932.5x^{2.2951}$	0.4986
WDVI	$y = 7.7797x - 49.844$	0.3109	$y = 96.822\ln(x) - 196.55$	0.3180	$y = 0.1682x^{2.2119}$	0.3686
TSAVI	$y = 816.81x - 40.195$	0.4068	$y = 85.308\ln(x) + 238.77$	0.4091	$y = 3461.4x^{1.9429}$	0.4714
MCARI1	$y = 0.4138x + 0.021$	0.1392	$y = 52.987\ln(x) - 203.76$	0.1596	$y = 0.088x^{1.3099}$	0.2167
MCARI2	$y = 49.841x - 9.5833$	0.2382	$y = 60.203\ln(x) + 39.805$	0.2596	$y = 36.723x^{1.4346}$	0.3274
MTVI1	$y = 0.3939x + 2.6976$	0.1278	$y = 50.506\ln(x) - 191.6$	0.1490	$y = 0.1149x^{1.2556}$	0.2045
MTVI2	$y = 47.282x - 6.2023$	0.2031	$y = 57.841\ln(x) + 40.452$	0.2252	$y = 37.132x^{1.3972}$	0.2920
TNDVI	$y = 771.66x - 131.84$	0.4405	$y = 175.62\ln(x) + 304.29$	0.4380	$y = 14772x^{3.9708}$	0.4974
sqrt SR	$y = 780.92x - 824.08$	0.4457	$y = 869.63\ln(x) - 47.919$	0.4457	$y = 5.1444x^{19.653}$	0.5057

## 2.3 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ภาพถ่ายเทียมของวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ที่ผ่านการปรับแก้ทางเรขาคณิตแล้ว แสดงภาพในลักษณะภาพสีผสมที่มาจากข้อมูลแบนด์ 1 2 3 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน) เน้นภาพด้วยการใช้การปรับภาพเชิงรังสีแบบเส้นตรง (linear enhancement) ซึ่งปรับเปอร์เซ็นต์ความคมชัดและความสว่าง ที่ 74 และ 24 % ตามลำดับ

ทำการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินของภาพดังกล่าว โดยการกำหนดประเภทการจำแนกได้เป็น 6 ชนิดข้อมูล ซึ่งจำแนกเป็น ยางแก็ ยางหนุ่มและยางบนไหล่เขา ยางเล็ก 1 ยางเล็ก 2 ป่าไม้และไม้ยืนต้น และที่ดินว่างเปล่า ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

**ยางแก็** เป็นไม้ยืนต้นทางเศรษฐกิจ มีอายุ 12 ปีขึ้นไป เรือนยอดสูง กิ่งก้านมีลักษณะโปร่งแต่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ มีลักษณะปรากฏในภาพมีเนื้อภาพราบเรียบสม่ำเสมอและมีสีเขียวเข้ม

**ยางหนุ่มและยางบนไหล่เขา** เป็นพืชยืนต้นเช่นเดียวกับยางแก็ เป็นการรวมกันของยางหนุ่มที่ปรากฏในที่ราบมีอายุการกรีดไม่เกิน 4 ปี และยางแก็บนพื้นที่ลาดชัน แต่มีลักษณะการสะท้อนแสงใกล้เคียงกัน นั่นคือลักษณะที่ปรากฏในภาพมีสีสดใสมากกว่ายางแก็ ในยางหนุ่มมีความหนาแน่นของกิ่งก้านมากกว่ายางแก็ แต่มีขนาดเล็กกว่า และเรือนยอดต่ำกว่ายางแก็

**ยางเล็ก 1** ยางที่มีอายุ 4-7 ปี หรือยางที่ทรงพุ่มระหว่างแถวยังไม่ชิดติดกันและมีระดับความสูงลำต้นน้อยกว่ายางแก็และยางหนุ่ม

**ยางเล็ก 2** ยางที่มีอายุ 1-3 ปี ทรงพุ่มระหว่างแถวและต้นยังไม่ชิดติดกัน ในพื้นที่ระหว่างแถวยางมักมีการปลูกพืชแซม หรือมีวัชพืชจำพวกหญ้าขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นมากกว่ายางในกลุ่มอื่น

**ป่าไม้และไม้ยืนต้น** เป็นพื้นที่ป่าไม้ ไม้ผลและไม้ยืนต้นทุกชนิด

**ที่ดินว่างเปล่า** เป็นพื้นที่ของที่ดินว่างเปล่าหรือทุ่งโล่งปกคลุมด้วยหญ้าเดี่ยว ๆ

ในการจำแนกได้ผสมผสานวิธีการทั้งการจำแนกแบบมีการกำกับ (supervised classification) และการแปลด้วยสายตา ซึ่งวิธีการจำแนกแบบมีการกำกับได้กำหนดพื้นที่ฝึกหัด (training area) ให้แก่คอมพิวเตอร์ที่ละประเภทข้อมูล และในขั้นตอนของการจำแนกแบบไม่มีพารามิเตอร์กำหนดใช้กฎการตัดสินใจแบบวิธีเส้นคู่ขนาน (parallelepiped) และขั้นตอนการจำแนกแบบมีพารามิเตอร์ใช้กฎการตัดสินใจแบบความน่าจะเป็นมากที่สุด (maximum likelihood) ซึ่งประเภทข้อมูลที่ใช้การจำแนกด้วยพื้นที่ฝึกหัด ได้แก่ ยางแก็ ยางหนุ่มและยางบนไหล่เขา ป่าไม้และไม้ยืนต้น และที่ดินว่างเปล่า ส่วนการจำแนกด้วยการใช้สายตาวาดเส้นขอบเขตของข้อมูลบาง

ประเภทในภาพโดยตรง (digitize) ได้แก่ ยางเล็ก 1 และยางเล็ก 2 ซึ่งการจำแนกด้วยการใช้สายตา เป็นการวิเคราะห์ตีความจาก รูปร่าง ขนาด สี ความหยابละเอียด เงา รูปแบบของวัตถุ สภาพแวดล้อมใกล้เคียง และประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์มาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล แล้วนำข้อมูลประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทมาซ้อนทับกัน เนื่องจากหากทำการกำหนดพื้นที่ที่ผิดพลาดให้กับภาพดังกล่าว และจำแนกครั้งเดียวพร้อมกันหลายประเภท จะทำให้ข้อมูลบางประเภทเกิดการซ้อนทับกัน หรือมีการจำแนกผิดเป็นข้อมูลประเภทอื่นสูงกว่าการกำหนดทีละประเภท

การจำแนกแบบมีการกำกับกระทำโดยนำข้อมูลภาพจากดาวเทียม SPOT-5 จำนวน 4 ช่วงคลื่น ได้แก่ แบนด์ 1 : ช่วงคลื่นแสงสีเขียว 0.50-0.59 ไมโครเมตร แบนด์ 2 : ช่วงคลื่นแสงสีแดง 0.61-0.68 ไมโครเมตร แบนด์ 3 : ช่วงคลื่นแสงอินฟราเรด 0.78-0.89 ไมโครเมตร และแบนด์ 4 : ช่วงคลื่นแสงอินฟราเรดคลื่นสั้น 1.58-1.75 ไมโครเมตร ทำให้เป็นภาพสีผสมโดยภาพสีผสมนี้ให้รายละเอียดลักษณะของพืชแตกต่างกัน ภาพสีผสมแบนด์ 1 2 4 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน) จะให้พืชพรรณเป็นสีชมพูแกมม่วง หรือแบนด์ 1 4 2 (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน) จะให้พืชพรรณเป็นสีส้มแดง ทำให้แยกความแตกต่างของยางพาราออกจากพืชชนิดอื่น โดยเฉพาะแยกยางพาราออกจากพื้นที่ป่าหรือกลุ่มไม้ยืนต้นหรือ ไม้ผล ได้ดี สามารถเลือกพื้นที่ที่ใช้เป็นพื้นที่ฝึกหัดได้ง่ายขึ้น

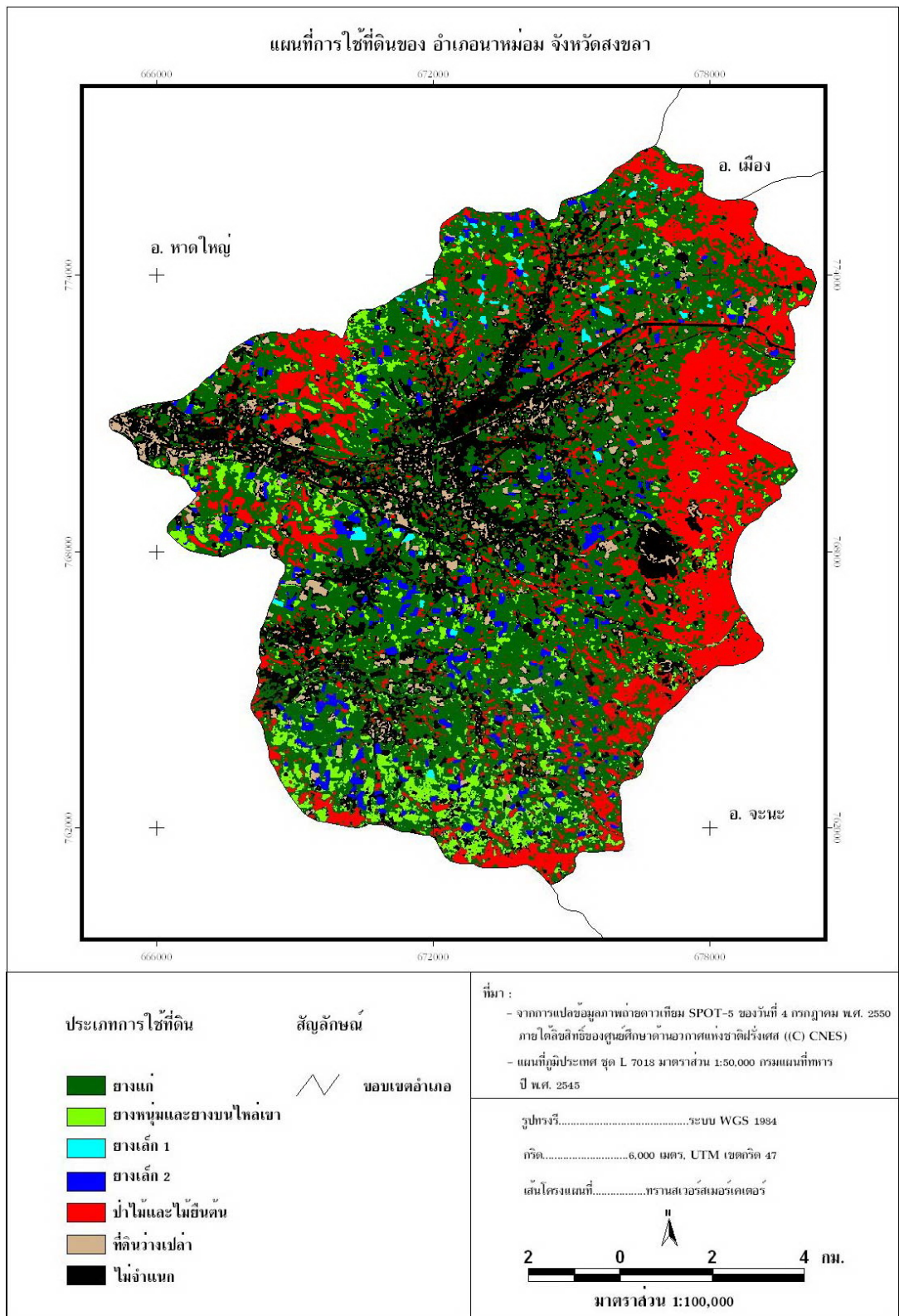
ประเมินค่าความถูกต้องของการจำแนกประเภทข้อมูล โดยการสุ่มจุดตรวจสอบ ด้วยคอมพิวเตอร์จำนวน 500 จุด เปรียบเทียบกับผลการตรวจสอบกับข้อมูลในภาคสนามและใช้ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงจากภาพ Panchromatic ฉากเดียวกับภาพ Multispectral ที่ใช้ในการจำแนก และจากโปรแกรม Google Earth ซึ่งเป็นภาพที่ถ่ายเมื่อวันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2548 วันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 และวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ. 2549 ร่วมกับประสบการณ์ความคุ้นเคยในพื้นที่ของผู้วิเคราะห์ พบว่า มีค่าความถูกต้องทั้งหมดของการจำแนก (overall accuracy) เท่ากับ 87.20 % และค่าสถิติ Kappa (Kappa statistics) เท่ากับ 0.7958 นั่นคือ การจำแนกของเราดีกว่าที่คาดหวังจากการกำหนดประเภทจุดภาพแบบเดาสุ่มถึง 79.58 %

ตารางที่ 16 ตารางเชื่อมโยงปฏิสัมพันธ์ความผิดพลาด (error matrix) ประเมินผลการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดิน

		ข้อมูลอ้างอิงจากภาคสนามและจากโปรแกรม Google Earth						รวม	User's Accuracy (%)
		ยางแก่	ยางหนุ่มและยางบนไหล่เขา	ยางเล็ก 1	ยางเล็ก 2	ป่าและไม้ยืนต้น	ที่ดินว่างเปล่า		
ข้อมูลที่ ได้จากการ จำแนกจาก ภาพถ่ายดาว เทียม	ยางแก่	235	0	0	6	46	1	288	81.60
	ยางหนุ่มและยางบนไหล่เขา	2	40	0	0	1	0	43	93.02
	ยางเล็ก 1	0	0	3	0	0	0	3	100.00
	ยางเล็ก 2	0	0	0	18	0	0	18	100.00
	ป่าและไม้ยืนต้น	8	0	0	0	115	0	123	93.50
	ที่ดินว่างเปล่า	0	0	0	0	0	25	25	100.00
	รวม	245	40	3	24	162	26	500	
Producer's Accuracy (%)		95.92	100.00	100.00	75.00	70.99	96.15		

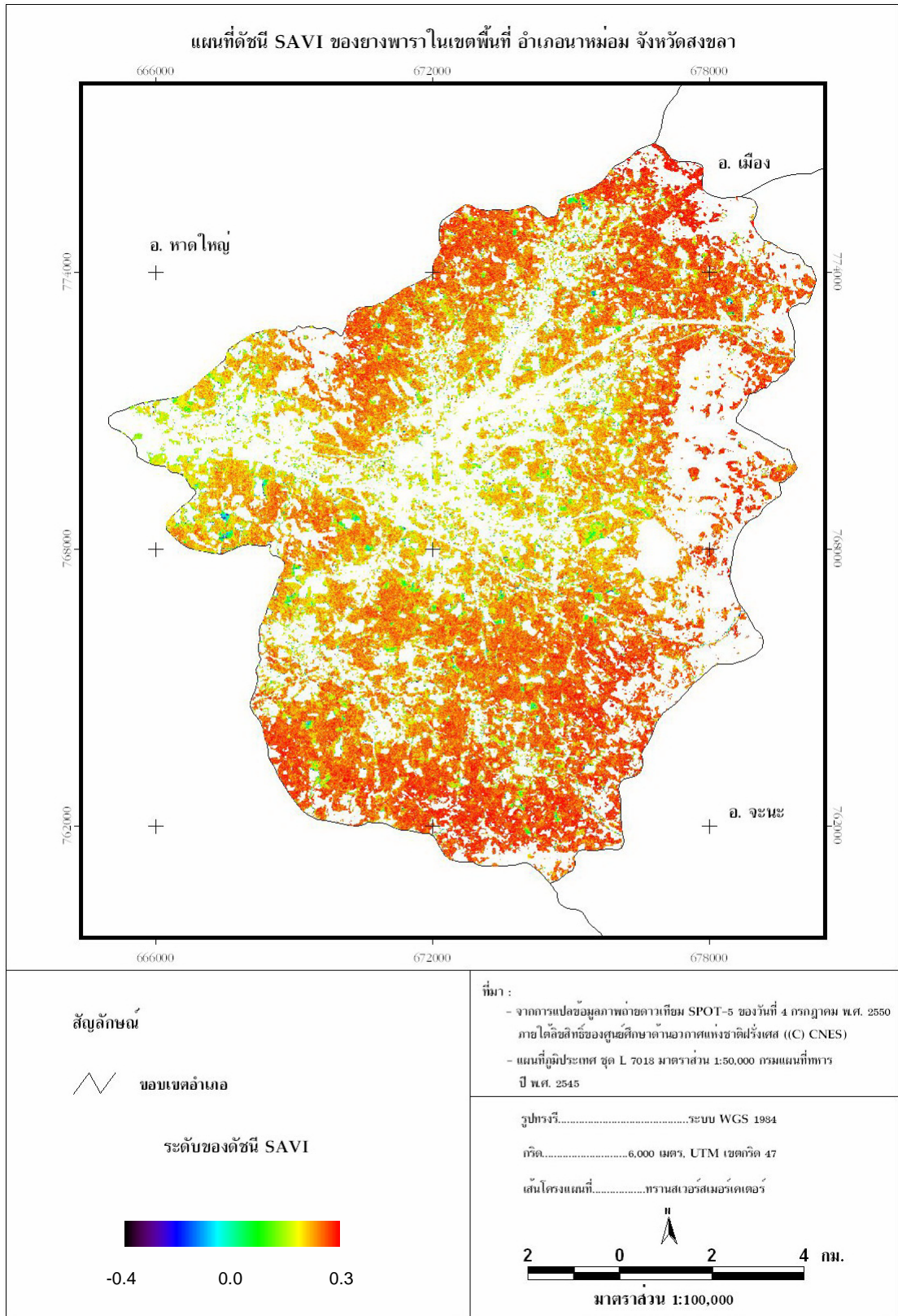
จากตารางที่ 16 แสดงให้เห็นว่าการจำแนกประเภทข้อมูลในพื้นที่ศึกษาจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 ของวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ด้วยวิธีดังกล่าว ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในบางส่วน ตัวอย่างเช่น ประเภทข้อมูลยางแก่มีค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (producer's accuracy) เท่ากับ 95.92 % เป็นค่าแสดงความผิดพลาดที่เกิดจากการหายไปของจุดภาพที่ถูกต้อง (omission error) ซึ่งถูกจำแนกผิดไปอยู่ในกลุ่มอื่น นั่นหมายความว่าพื้นที่จริง 100 ส่วน จำแนกถูกเพียง 95.92 ส่วน และจำแนกผิด 4.08 ส่วน ซึ่งจำแนกขาดหายไปเป็นประเภทข้อมูลอื่น ๆ ได้แก่ ยางหนุ่มและยางบนไหล่เขา และป่าไม้และไม้ยืนต้น ตามลำดับ ส่วนค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (user's Accuracy) มีค่าเท่ากับ 81.60 % เป็นค่าแสดงความผิดพลาด ที่เกิดจากการได้จุดภาพที่จำแนกผิดเพิ่มเข้ามา (commission error) ในกลุ่ม หมายความว่า การจำแนกประเภทยางแก่ตรงกับสภาพความเป็นจริง 81.60 ส่วน แต่มีความผิดพลาดในการจำแนกจากประเภทข้อมูลอื่น ๆ ถูกจำแนกเกินมาเป็นยางแก่ถึง 18.40 ส่วน ซึ่งประเภทข้อมูลที่เกินมา คือ ยางเล็ก 2 ป่าไม้และไม้ยืนต้น และที่ดินว่างเปล่า

ตามลำดับ ผลของการจำแนกแสดงได้ดังภาพที่ 14 และเมื่อนำภาพของดัชนีพืชพรรณ SAVI, SR และ MSR มาสร้างแผนที่ใหม่โดยแสดงเฉพาะพื้นที่ที่ถูกจำแนกเป็นยางพารา สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 15 ถึง 17 ซึ่งบริเวณที่มีสีเข้ม (สีส้ม) เป็นบริเวณพื้นที่ที่ค่าดัชนีพื้นที่ใบมีค่าสูง

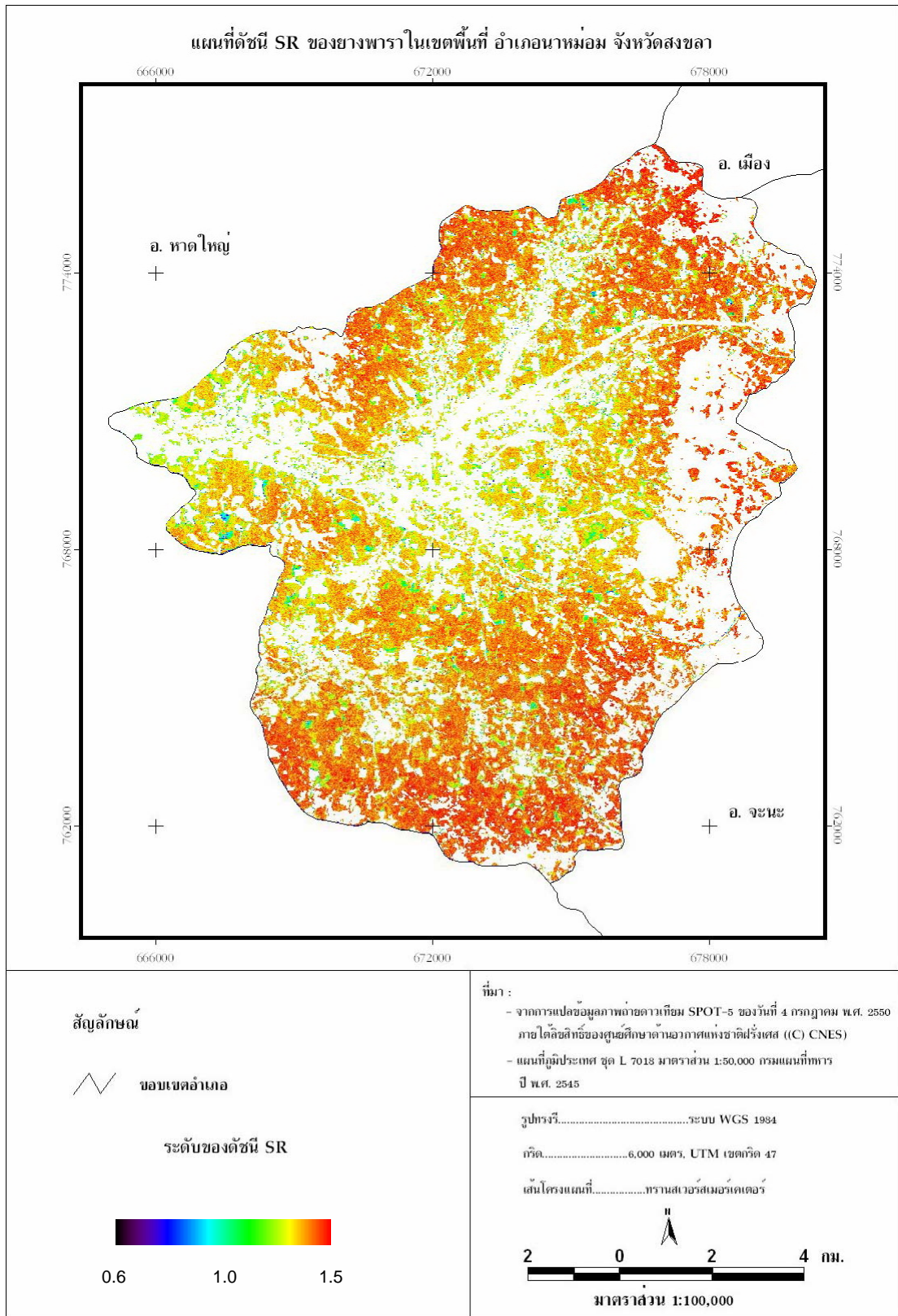


ภาพที่ 14 แผนที่การจำแนกประเภทข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 ของวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 บริเวณอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

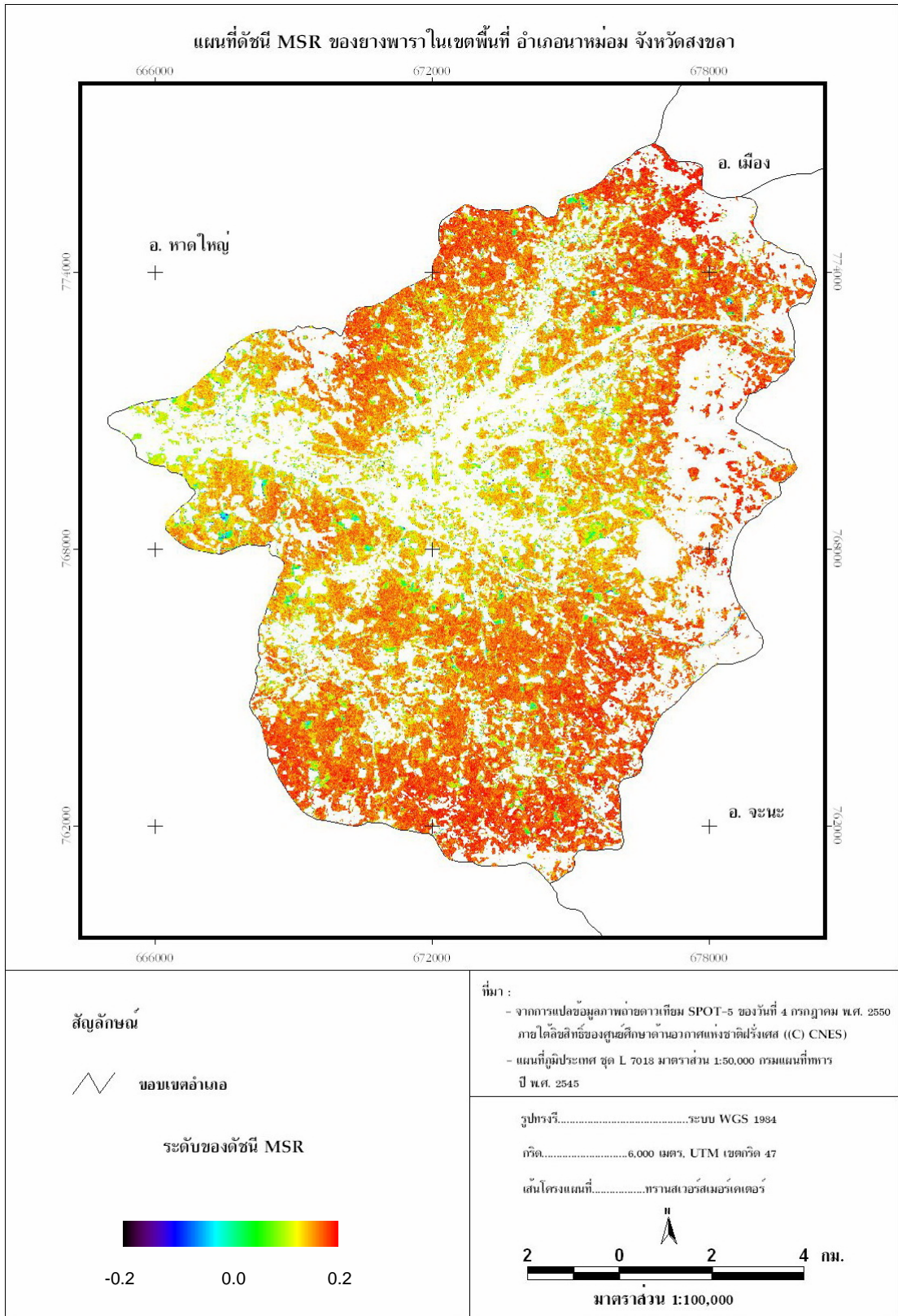




ภาพที่ 15 แผนที่ดัชนี SAVI ของยางพาราในเขตพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา



ภาพที่ 16 แผนที่ดัชนี SR ของยางพาราในเขตพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา



ภาพที่ 17 แผนที่ดัชนี MSR ของยางพาราในเขตพื้นที่ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

## บทที่ 4

### วิจารณ์

#### 1. การเปลี่ยนแปลงดัชนีพื้นที่ใบของยางพารา

ในการศึกษาครั้งนี้การเปลี่ยนแปลงดัชนีพื้นที่ใบ ของยางพาราในเขตพื้นที่อำเภอ นาม่อม ในช่วงระหว่างฤดูกาลเจริญเติบโตมีปัจจัยกำหนด คือ ปริมาณฝนที่ตกมากเกินไป ทำให้มีการทิ้งใบดัชนีพื้นที่ใบ จึงมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดทั้งปี ซึ่งตามปกติการผลัดใบของยางพารา ในพื้นที่ดังกล่าว หรือ ในเขตพื้นที่ภาคใต้ฝั่งตะวันออก จะเกิดในช่วงฤดูแล้งในช่วงเดือนมกราคม ถึงกุมภาพันธ์ และเป็นช่วงที่มกแล้งที่สุดในรอบปี จากนั้นจะเริ่มแตกใบใหม่ในช่วงปลายเดือน กุมภาพันธ์ และต้นเดือนมีนาคม โดยยังเป็นช่วงฤดูแล้ง ซึ่งจากการเฝ้าติดตามการผลัดใบของ ยางพาราในพื้นที่ อำเภอนาม่อม จังหวัดสงขลา เกิดไม่พร้อมกัน และการเกิดใบใหม่ก็เกิดในช่วง ฤดูแล้งหลังการผลัดใบไม่นาน โดยที่ยังไม่มีฝนตกในช่วงดังกล่าว ทั้งนี้คาดว่าสมมติฐานอายุการติด ใบน่าจะมีเหตุผลที่สามารถอธิบายการผลัดใบที่แตกต่างกัน ซึ่งมีรายงานเกี่ยวกับป่าในเขตรมสูม อย่างประเทศไทย พบว่า ปริมาณน้ำใต้ดินเป็นปัจจัยหลักที่กำหนดอายุการติดใบ (Elliott *et al.*, 2006) หากสอดคล้องกับสมมติฐานดังกล่าว และตัดปัจจัยจากปริมาณฝนที่ตกมากเกินไป แสดงว่า ใบของยางพาราแต่ละใบน่าจะมีอายุการติดอยู่บนต้นที่ถูกกำหนดมาแล้ว เพียงแต่หากได้รับปัจจัย กระตุ้นที่ต่างกัน เช่น อุณหภูมิ หรือแม้แต่วัสดุกรีด หรือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณความชื้นในดิน ต่างกัน ส่งผลให้เกิดกิจกรรมมากน้อยที่ต่างกัน อายุการติดอยู่บนต้นจึงเปลี่ยนแปลงตามปริมาณ ปัจจัยที่ได้รับ

#### 2. ดัชนีพืชพรรณ

การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณและดัชนีพื้นที่ใบ หรือดัชนีพื้นที่ ใบ เพื่อการประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของยางพารา ด้วยการประยุกต์ใช้การ สร้างภาพข้อมูลดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 พบว่า ดัชนี SAVI มีความสัมพันธ์กับ ดัชนีพื้นที่ใบที่ปรับค่าแล้วสูงที่สุด รองลงมา คือ ดัชนี SR และ MSR ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจาก ผลการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ยืนยันว่าดัชนีดังกล่าว จะเป็นดัชนีที่ดีที่สุดที่สามารถใช้ได้กับยางพาราใน ทุกสภาพหรือทุกฤดูกาล เป็นเพียงการเสนอแนวทางที่น่าจะเป็นไปได้มากที่สุด สอดคล้องกับ

Curran และคณะ (1990) ซึ่งใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลศึกษาดัชนีพื้นที่ใบของป่าสน ที่มีระดับความอุดมสมบูรณ์ต่างกันด้วยดัชนี NDVI พบว่า ในเดือนกุมภาพันธ์ 1988, กันยายน 1988 และ มีนาคม 1989 มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.35, 0.75 และ 0.86 ตามลำดับ หรือ ในรายงานของ Chen และ Cihlar (1996) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี NDVI และ SR จากข้อมูลดาวเทียม Landsat-5 TM และดัชนีพื้นที่ใบ และ effective LAI ของ boreal conifer forest ที่วัดด้วยเครื่อง LAI -2000 พบว่า effective LAI มีความสัมพันธ์กับทั้ง SR (ปลายฤดูใบไม้ผลิ :  $R^2 = 0.66$ , กลางฤดูร้อน :  $R^2 = 0.42$ ) และ NDVI สูงกว่าดัชนีพื้นที่ใบ ขณะที่ความสัมพันธ์ของ SR และ ดัชนีพื้นที่ใบ (ปลายฤดูใบไม้ผลิ :  $R^2 = 0.53$ , กลางฤดูร้อน :  $R^2 = 0.49$ ) สูงกว่าของ NDVI (ปลายฤดูใบไม้ผลิ :  $R^2 = 0.50$ , กลางฤดูร้อน :  $R^2 = 0.42$ ) อย่างไรก็ตามความแม่นยำในการประมาณดัชนีพื้นที่ใบของดัชนีทั้งสองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ Haboudane และคณะ (2004a) รายงานการประยุกต์การสำรวจระยะไกลในการประมาณดัชนีพื้นที่ใบ มักเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ใบ ที่วัดภาคสนามและดัชนีพืชพรรณ โดยการพัฒนาดัชนีที่ลดอิทธิพลรบกวนจากปัจจัยภายนอก เช่น ความสว่างของผิวดิน และสภาพบรรยากาศ ซึ่งในการประมาณดัชนีพื้นที่ใบด้วยการสำรวจระยะไกล มีความยากสองประการ คือ 1) ดัชนีพืชพรรณมีความอึมครึมเมื่อค่าของดัชนีพื้นที่ใบมีค่ามากกว่า 2-5 ขึ้นอยู่กับชนิดพืช และ 2) ไม่มีความสัมพันธ์ที่แน่นอนระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ การที่ดัชนีบางตัวมีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบสูง เนื่องจากการตอบสนองต่อปัจจัยรบกวนภายนอกมีน้อย และจากการพิจารณาเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณและดัชนีพื้นที่ใบ พบว่า เมื่อดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นดัชนีพืชพรรณมีแนวโน้มเข้าหาค่าคงที่ สอดคล้องกับรายงานของ Turner และคณะ (1999) ซึ่งเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของดัชนี NDVI, SR และ SAVI จากดาวเทียม Landsat TM กับดัชนีพื้นที่ใบของพื้นที่ป่าที่ปกคลุมด้วยพืชหลายชนิด ดัชนีดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับค่าของดัชนีพื้นที่ใบในช่วงค่า 3 ถึง 5 แต่ในป่าสนค่าดัชนีดังกล่าวลดลงเมื่อดัชนีพื้นที่ใบมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากการลดของการสะท้อนของคลื่นอินฟราเรดใกล้ เพราะอิทธิพลของเงามืดที่เกิดขึ้น ส่งผลให้การตอบสนองของดัชนีพืชพรรณลดลง อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้พบแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า  $R^2$  ใกล้เคียงกับหลายการศึกษาในลักษณะเดียวกัน เช่น Fernandes และคณะ (2004), Chen และ Cihlar (1996), อภินันท์ (2545) และมีการแนะนำว่า SAVI เป็นดัชนีที่เหมาะสมที่สุด (McDonald *et al.*, 1998)

มีหลายปัจจัย ที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ ตั้งแต่ในระดับใบ ที่เกิดจากปัจจัยของรงควัตถุในใบ โครงสร้างภายในของใบ และมุมการเรียงตัวของใบที่สัมพันธ์กับรังสีดวงอาทิตย์ ในระดับทรงพุ่มของพืชก็มีตัวแปรเนื่องจากการรวมกันเป็นกลุ่ม และการซ้อนกันของกิ่งก้านและใบ ในระดับที่เป็นต้นไม้หลาย ๆ ต้น ขนาด

ของช่องว่างระหว่างคั่นก็มีอิทธิพลต่อการสะท้อนของคลื่นแสง (Turner *et al.*, 1999) ซึ่งการสะท้อนคลื่นแสงของยางพาราที่โตเต็มที่แล้ว มีค่าต่ำกว่ายางที่อายุน้อยกว่า เนื่องจากยางพาราที่มีอายุน้อย มีช่องว่างระหว่างแฉกมีระยะห่างมากกว่ายางที่โตเต็มที่แล้ว การเกิดเงามืดเนื่องจากความหนาแน่นของกิ่งก้าน และทรงพุ่มของยางอ่อนหรือยางหนุ่ม จึงมีน้อยกว่ายางที่แก่หรือยางที่โตเต็มที่แล้ว ภาพสีผสมของยางแก่ที่ปรากฏบนจอแสดงผล จึงมีสีเข้มกว่ายางอ่อนและยางหนุ่ม ในรายงานของ Elvidge และ Chen (1995) ก็กล่าวว่าปัจจัยการสะท้อนของพื้นผิว อาจมีอิทธิพลลดการสะท้อนของพืช ทำให้มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของดัชนีพืชพรรณ หรือบางครั้งอิทธิพลจากความชื้นในอากาศ ก็เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณคลาดเคลื่อน (Broge and Leblance, 2000)

ในการศึกษาครั้งนี้ ยังอาจมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำของการประมาณดัชนีพื้นที่ใบภาคสนามด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา เนื่องจากแปลงที่ใช้ตรวจสอบค่าจริงของดัชนีพื้นที่ใบมีเพียง 2 แปลงและเป็นแปลงที่ยางมีอายุมากแล้ว สมการที่ใช้ในการปรับค่าจึงค่อนข้างมีความเหมาะสมกับแปลงยางที่โตแล้ว หรือทรงพุ่มระหว่างแฉกมีการชิดติดกันแล้ว มากกว่าการใช้ปรับค่าของแปลงยางอายุน้อย หรือยางอ่อนที่ทรงพุ่มระหว่างแฉกยังไม่ชิดติดกัน แต่ในการทดลองครั้งนี้มีความจำเป็นต้องใช้สมการดังกล่าวปรับค่าให้กับยางอ่อนด้วย ดังนั้นค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากการปรับค่าจึงไม่สะท้อนค่าจริงของแปลงตัวอย่างเท่าที่ควร นอกจากนี้การใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา ยังมีปัจจัยจำกัด ที่อาจมีผลต่อความคลาดเคลื่อนในการประมาณดัชนีพื้นที่ใบในภาคสนาม เนื่องจากเทคนิคดังกล่าวเป็นการถ่ายภาพในแนวตั้งภายใต้ทรงพุ่มขึ้นไปบนทรงพุ่ม ด้วยเลนส์ที่รับภาพมุมกว้าง ซึ่งการประมาณค่าดัชนีพื้นที่ใบด้วยเทคนิคดังกล่าว จะมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการซ้อนกันหรือรวมกันเป็นกลุ่มของใบและกิ่ง ที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน (Jonckheere *et al.*, 2004) สภาพบรรยากาศก็เป็นอีกปัจจัย เนื่องจากการถ่ายภาพจำเป็นต้องทำในสภาพที่ไม่มีเมฆบัง และท้องฟ้ามีสภาพการปกคลุมของเมฆค่อนข้างคงที่ (Mussche *et al.*, 2001) ซึ่งการถ่ายภาพแต่ละครั้งมีข้อจำกัดด้านเวลา ที่ต้องถ่ายในสภาพตอนเย็น ทำให้สามารถถ่ายได้เพียงครั้งละประมาณ 5 - 6 แปลง ดังนั้นการเก็บข้อมูลทุกรอบเดือน (ทุก 26 วัน) จึงใช้เวลาประมาณ 5 วันต่อรอบ บางครั้งสภาพบรรยากาศ และท้องฟ้ามีความสว่างมากเกินไป ทำให้แสงที่เข้าสู่หน้ากล้องมีค่าสูง ความคมชัดระหว่างท้องฟ้าและทรงพุ่มจึงลดลง การตัดสินใจปรับตั้งค่าขาวดำ หรือค่า threshold ในขั้นตอนการแยกความแตกต่างระหว่างทรงพุ่มและท้องฟ้าในโปรแกรม GLA จึงทำได้ยาก มีผลให้ค่าที่วิเคราะห์ได้ต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น และบางครั้งสภาพท้องฟ้าไม่คงที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมบางส่วนหรือบางครั้งท้องฟ้าครึ้มเกินไป ก็มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจกำหนดค่า

threshold เช่นกัน ซึ่งจากปัจจัยที่กล่าวมา พบว่า บางการศึกษาอาจให้ค่าประมาณต่ำกว่าค่าจริงได้ถึง 50 ถึง 55% (Jonckheere *et al.*, 2004; Jonckheere *et al.*, 2005)

อย่างไรก็ตาม การประมาณดัชนีพื้นที่ใบของยางพาราด้วยการประยุกต์ใช้ดัชนีพืชพรรณ ก็มีความเป็นไปได้ โดยแนวทางการประยุกต์ใช้หรือการศึกษาต่อควรเลือกดัชนีตามความเหมาะสม (McDonald *et al.*, 1998) และจำเป็นต้องวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากข้อมูลภาคสนามที่มีความแม่นยำเชื่อถือได้ มีจำนวนซ้ำและการกระจายที่มากพอ และที่สำคัญข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่จะนำมาวิเคราะห์ ควรเป็นภาพที่มีการปกคลุมของเมฆหมอกน้อยที่สุด หรือควรปรับลดอิทธิพลจากบรรยากาศให้มากที่สุด เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูล เป็นผลจากการสะท้อนของยางพาราหรือพืช นั้น ๆ มากที่สุด หากเป็นไปได้ก็ควรทราบความชื้นในดินและปริมาณและการกระจายของฝนในพื้นที่ที่ศึกษา เพื่อให้เข้าใจลักษณะความอุดมสมบูรณ์ของพืชบริเวณนั้น ๆ โดยแนวทางการเลือกใช้ดัชนีพืชพรรณขึ้นอยู่กับ 1) ตัวแปรที่ต้องการประมาณ 2) ช่วงของค่าตัวแปรดังกล่าว 3) ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับปัจจัยภายนอก ที่จะผลต่อค่าการสะท้อนตัวแปรนั้น (Broge and Leblance, 2000)

ในส่วนของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า มีค่าความถูกต้องทั้งหมดของการจำแนกเท่ากับ 87.20 % และค่าสถิติ Kappa เท่ากับ 79.58 % และมีข้อมูลที่น่าสนใจในการจำแนกยางแก่ มีค่าความถูกต้องของผู้ผลิต 95.92 % เป็นค่าแสดงความผิดพลาดที่เกิดจากการหายไปของจุดภาพที่ถูกต้อง ซึ่งถูกจำแนกผิดไปอยู่ในกลุ่มอื่น นั่นหมายความว่าพื้นที่จริง 100 ส่วน จำแนกถูกเพียง 95.92 ส่วน และจำแนกผิด 4.08 ส่วน ซึ่งจำแนกขาดหายไปเป็นประเภทข้อมูลอื่น ๆ ได้แก่ ยางบนไหล่เขา และป่าไม้และไม้ยืนต้น ตามลำดับ ส่วนค่าความถูกต้องของผู้ใช้ เท่ากับ 81.60 % เป็นค่าแสดงความผิดพลาดที่เกิดจากการได้จุดภาพที่จำแนกผิดเพิ่มเข้ามาในกลุ่ม หมายความว่า การจำแนกประเภทยางแก่ ตรงกับสภาพความเป็นจริง 81.60 ส่วน แต่มีความผิดพลาดในการจำแนกจากประเภทข้อมูลอื่น ๆ ถูกจำแนกเกินมาเป็นยางแก่ถึง 18.40 ส่วน ซึ่งประเภทข้อมูลที่เกินมา คือ ยางเล็ก ป่าไม้และไม้ยืนต้น และที่ดินว่างเปล่า ตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งป่าไม้และไม้ยืนต้นมีการถูกจำแนกเกินมาเป็นยางแก่ถึง 15.97 ส่วน โดยที่การจำแนกประเภทข้อมูลทั้งสองเป็นการจำแนกแบบมีการกำกับ หรือ supervised classification นั้นแสดงถึงมีพื้นที่บางส่วนของยางแก่และป่าไม้มีลักษณะการสะท้อนแสงที่คล้ายคลึงกัน อาจเป็นเพราะขนาดทรงพุ่มและอายุที่เพิ่มขึ้นของยางแก่จึงทำให้เกิดเงามืดในทรงพุ่ม ซึ่งอาจมีลักษณะคล้ายเงามืดที่เกิดในป่าไม้และไม้ยืนต้น ประกอบกับพื้นที่ยางแก่บางส่วนอยู่ชิดติดกับป่าไม้ และอยู่ในควนเขา จึงอาจเป็นการเพิ่มลักษณะของเงามืด

การศึกษาครั้งนี้พบอุปสรรคในการจำแนกหลายประการ ได้แก่ หากกำหนดการจำแนกเป็นแบบมีการกำกับ โดยกำหนดพื้นที่ฝึกหัดให้แก่คอมพิวเตอร์ในการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินแต่ละชนิดและมีการจำแนกพร้อมกัน พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้มีความผิดพลาดค่อนข้างสูง ประเภท

การใช้ที่ดินที่จำแนกได้บางประเภทมีลักษณะซ้ำซ้อนกัน เนื่องจากประเภทการใช้ที่ดินบางประเภทในบางบริเวณของภาพมีลักษณะการสะท้อนแสงคล้ายกัน ซึ่งอาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ความสูงต่ำของพื้นที่อำเภอนาหม่อมไม่สม่ำเสมอ ซึ่งมีลักษณะภูเขาล้อมรอบ ทำให้มุมกระทบและการสะท้อนของแสงต่างกัน หรือ ความคล้ายกันของพืชบางกลุ่ม เช่น ความคล้ายกันของการสะท้อนของไม้พุ่มขนาดเล็ก หรือพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพุ่มหญ้า และสวนยางพาราขนาดเล็กที่ทรงพุ่มระหว่างแถวและระหว่างต้นยังไม่ชัดเจน



## บทที่ 5

### สรุป

การศึกษากาการใช้การถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา และการสำรวจระยะไกล ประเมินดัชนีพื้นที่ใบของยางพารา ในพื้นที่กรณีศึกษาของ อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา สรุปได้ดังนี้คือ

1. การประมาณข้อมูลภาคสนามด้วยวิธีการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลา มีสมการในการปรับค่าที่ได้จากการประมวลด้วยโปรแกรม GLA สองสมการ ได้แก่  $y = 2.4683x - 1.1691$  ( $R^2 = 0.89$ ) เป็นสมการที่ใช้สำหรับการปรับค่าของยางพาราในกลุ่มยางหนุ่ม (B1-B10, A10) และยางแก่ (C1-C10) ซึ่งเป็นยางพาราที่ทรงพุ่มระหว่างแถวชิดติดกันแล้ว ส่วนกลุ่มยางอ่อน (A1-A9) ที่ทรงพุ่มระหว่างแถวยังไม่ชิดติดกัน หรือแปลงที่มีค่าที่ประมวลด้วยโปรแกรม GLA มีค่าต่ำกว่า 0.48 ไม่สามารถใช้สมการ  $y = 2.4683x - 1.1691$  ( $R^2 = 0.89$ ) ในการปรับค่าได้ ดังนั้นจึงต้องปรับค่าดัชนีพื้นที่ใบของยางกลุ่มดังกล่าวด้วยสมการ  $y = 1.6413x$  ( $R^2 = 0.76$ ) จากการประมาณ พบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบในปีที่ศึกษา สามารถแบ่งได้ 4 ระยะหลัก คือ 1) ระยะที่มีการผลัดใบ เริ่มต้นประมาณปลายเดือนมกราคมเป็นช่วงที่ยางพาราผลัดใบอย่างรวดเร็ว มีระยะเวลาของการผลัดใบประมาณ 3-4 สัปดาห์ 2) ระยะแตกใบใหม่ เป็นระยะหลังจากที่ยางผลัดใบ ซึ่งในการศึกษารุ่นนี้ระยะดังกล่าวเป็นช่วงที่เริ่มต้นของการศึกษา นั่นคืออยู่ในช่วงปลายเดือนกุมภาพันธ์ถึงต้นเดือนมีนาคม 3) ระยะการเปลี่ยนแปลงต้นฤดูฝนอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคม เป็นช่วงที่ยางพารายังมีใบอ่อน หรือกำลังเป็นใบเพศลาดหลังจากการผลัดใบไม่นาน แต่เกิดฝนที่ตกในระยะดังกล่าวทำให้เชื้อราเข้าทำลาย จึงเกิดอาการใบร่วง และ 4) ระยะการเปลี่ยนแปลงระหว่างฤดูฝน โดยหลังจากที่ดัชนีพื้นที่ใบมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนกรกฎาคมและสิงหาคม เกิดอาการใบร่วงอีกครั้งเนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อราจากฝนที่ตกมากเกินไปอีกรอบ

2. ผลการวิเคราะห์รีเกรสชันระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่ยังไม่ปรับค่า และค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่าง ๆ ทั้ง 15 รูปแบบ โดยกำหนดให้ดัชนีพื้นที่ใบเป็นตัวแปรตาม (y) และค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณเป็นตัวแปรอิสระ (x) วิเคราะห์ด้วยสมการทั้งรูปแบบที่เป็นเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรง พบว่า ดัชนี SAVI มีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบที่ยังไม่ปรับค่าสูงที่สุดโดยมีสมการความสัมพันธ์แบบพาวเวอร์ คือ  $y = 247.04x^{2.9297}$  ( $R^2 = 0.65$ ) รองลงมา คือ ดัชนี SR และ MSR มีสมการ คือ  $y = 0.0563x^{13.86}$  ( $R^2 = 0.65$ ) และ  $y = 492.75x^{2.788}$  ( $R^2 = 0.65$ ) ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์รีเกรสชันระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่ได้ปรับค่าแล้ว และค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณในรูปแบบต่าง ๆ พบว่า ดัชนี SAVI มีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบสูงที่สุด โดยมีสมการความ

สัมพัทธ์แบบพาวเวอร์ คือ  $y = 757.27x^{3.2418}$  ( $R^2 = 0.65$ ) รองลงมา คือ ดัชนี SR และ MSR มีสมการ คือ  $y = 0.0701x^{15.366}$  ( $R^2 = 0.65$ ) และ  $y = 1619.2x^{3.0832}$  ( $R^2 = 0.65$ ) ตามลำดับ

## เอกสารอ้างอิง

- นิภา หลีระพันธ์. 2548. เอกสารคำสอนการสำรวจข้อมูลระยะไกลและการแปลภาพถ่ายทางอากาศ. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ลิขิต นवलศรี, สุทัศน์ คำานสกุลผล, อุดร เจริญแสง, สมเจตน์ ประทุมมินทร์, สุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์, สุภาพิศ ผลงาม และณอมศรี รังสิกรรพุม. 2533. การสำรวจพื้นที่ปลูกยางของประเทศไทย ปี 2533 โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซ็ทระบบ TM. สถาบันวิจัยยางกรมวิชาการเกษตร.
- สมยศ สันธูระหัต, สุรัชย์ รัตนเสริมพงศ์, อุดร เจริญแสง, เขาวลิต ศิลปทอง, สุทัศน์ คำานสกุลผล และ สุภาพิศ ผลงาม. 2531. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง การสำรวจพื้นที่ปลูกยางพาราของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซ็ท. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร เอกสารทางวิชาการ เล่ม 2/2531.
- สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ธิติ วิสารัตน์, สำเรัง ปานอุทัย, ภาณุมาศ ลาดปลาตะ, สิริรัตน์ จันทร์มหเสถียร และ สุภรัตน์ สำราญ. 2548. วัฏจักรคาร์บอนในป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง. น. 77-94. ใน. รายงานการประชุมวิชาการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ “ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต” ณ โรงแรมมารวย การ์เด็น กรุงเทพฯ วันที่ 4-5 สิงหาคม 2548.
- สุทัศน์ คำานสกุลผล และ สมยศ สันธูระหัต. 2544. การกำหนดเขตปลูกยางในภาคใต้ของประเทศไทย โดยอาศัยวิธีการประเมินศักยภาพที่ดินควบคู่กับการสำรวจระยะไกลและจัดระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์. ศูนย์วิจัยยางสุราษฎร์ธานี สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- สุภาพิศ ผลงาม. 2549. การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียม SPOT. น. 1-19. ใน. อบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การประยุกต์ใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศและข้อมูลดาวเทียมรายละเอียดสูงเพื่อการศึกษาวิจัยศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศภาคใต้ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) 4-7 กันยายน 2549.
- อภิรักษ์ จันทร์ราช. 2545. การประยุกต์ใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลในการจำแนกพื้นที่ป่าไม้และการประมาณมวลชีวภาพป่าไม้ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยทับทัน – ห้วยสำราญ จังหวัดสุรินทร์. วทม. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Anonymous. 2004. Part XI Sampling and analysis of litterfall. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. In United nations economic commission for Europe convention on long-range

- transboundary air pollution. International Co-operative programme on assessment and monitoring of air pollution effects on forests. ICP Forests Manual. (Online) Available: <http://www.icp-forests.org/Manual.htm> updated:06/2004. (Access date 24/12/2006)
- Aparicio, N., D. Villegas, J.L. Araus, J. Casadesús and C. Royo. 2002. Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in durum wheat. *Crop Sci.* 42:1547-1555.
- Broge, N.H. and E. Leblanc. 2000. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sens. Environ.* 76:156-172.
- Campbell, J.B. 1987. Remote sensing applications in the plant sciences. pp. 366-399. *In* Introduction to remote sensing. The Guilford Press. NY.
- Chen, J.M. and J. Cihlar. 1996. Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Landsat TM images. *Remote Sens. Environ.* 55:153-162.
- Colombo, R., D. Bellingeri, D. Fasolini and C.M. Marino. 2003. Retrieval of leaf area index in different vegetation types using high resolution satellite data. *Remote Sens. Environ.* 86:120-131.
- Coops, N.C., M.L. Smith, K.L. Jacobsen, M. Martin and S. Ollinger. 2004. Estimation of plant and leaf area index using three techniques in a mature native eucalypt canopy. *Austral Ecology* 29:332-341.
- Curran, P.J., J.L. Dungan and H.L. Gholz. 1990. Seasonal LAI in slash pine estimated with Landsat TM. NASA Technical Memorandum 102278. National Aeronautics and Space Administration.
- Dadhwal, V.K. 2006. Crop growth and productivity monitoring and simulation using remote sensing and GIS. pp. 263-289. *In* Satellite remote sensing and GIS application in agricultural meteorology.
- Elliott, S., P.J. Baker and R. Borchert. 2006. Leaf flushing during the dry season: the paradox of Asian monsoon forests. *Global Ecol. Biogeogr.* 15:248-257.
- Elvidge, C.D. and Z. Chen. 1995. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. *Remote Sens. Environ.* 54:38-48.

- Fernandes., R.A., J.R. Miller, J.M. Chen and I.G. Rubinstein. 2004. Evaluating image-based estimates of leaf area index in boreal conifer stands over a range of scales using high-resolution CASI imagery. *Remote Sens. Environ.* 89:200-216.
- Freitas, S.R., M.C.S. Mello and C.B.M. Cruz. 2005. Relationships between forest structure and vegetation indices in Atlantic Rainforest. *Forest Ecology and Management* 218:353–362.
- Gilabert, M.A., J. González-Piqueras, F.J. García-Haro and J. Meliá. 2002. A generalized soil-adjusted vegetation index. *Remote Sens. Environ.* 82:303-310.
- Gobron, N., B. Pinty and M.M. Verstraete. 1997. Theoretical limits to estimation of the leaf area index on the basis of visible and near-infrared remote sensing data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 35:1438-1445.
- Guevara-Escobar, A., J. Tellez and E. Gonzalez-Sosa. 2005. Use of digital photography for analysis of canopy closure. *Agroforestry Systems* 65:175-185.
- Haboudane, D., J.R. Miller, E. Patty, P.J. Zarco-Tejada and I.B. Strachan. 2004a. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sens. Environ.* 90:337-352.
- Haboudane, D., J.R. Miller, N. Tremblay, E. Pattey and P. Vigneault. 2004b. Estimation of leaf area index using ground spectral measurements over agriculture crops : prediction capability assessment of optical indices. (Online) Available: <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/papers/21.pdf> (Access date 24/12/2006)
- Houborg, R., H. Soegaard , E. Boegh. 2006. Combining vegetation index and model inversion methods for the extraction of key vegetation biophysical parameters using Terra and Aqua MODIS reflectance data. *REMOTE SENS. ENVIRON.* (Online) Available: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). (Access date 24/12/2006)
- Jonckheere, I., S. Fleck, K. Nackaerts, B. Muys, P. Coppin, M. Weiss and F. Baret. 2004. Review of methods *in situ* leaf area index determination part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* 121:19-35.
- Jonckheere, I., B. Muys and P. Coppin. 2005. Allometry and evaluation of *in situ* optical LAI determination in Scots pine: a case study in Belgium. *Tree Physiology* 25:723-732.

- Lee, K. S., Y. I. Park, S. H. Kim, J. H. Park, C. S. Woo, and K. C. Jang. 2006. Remote sensing estimation of forest LAI in close canopy situation. Inha University, Department of Geoinformatic Engineering. (Online) Available; <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/papers/77.pdf> (Access date 24/12/2006)
- Lertzman, K. P. 1999. Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs. Users Manual and Program Documentation, Version 2.0. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, CANADA Institute of Ecosystem Studies, Millbrook : New York, USA.
- McDonald A. J., F.M. Gemmill and P.E. Lewis. 1998. Investigation of the utility of spectral vegetation indices for determining information on coniferous forests. *Remote Sens. Environ.* 66:250-272.
- Mussche, S., R. Samson, L. Nachtergale, A. D. Schrijver, R. Lemeur and N. Lust. 2001. A comparison of optical and direct methods for monitoring the seasonal dynamics of leaf area index in deciduous forest. *Silva Fennica* 35:373-384.
- Rich, P.M, J. Wood, D.A. Vieglais, K. Burek and N. Webb. Hemiview User Manual. Delta-T Devices Ltd.
- Saito, K., S. Ogawa, M. Aihara and K. Otowa. 2001. Estimates of LAI for forest management in Okutama. *In* Paper presented at the 22<sup>nd</sup> Asian conference on Remote sensing 5-9 November 2001, Singapore.
- Shoemaker, D.A. 2005. Remote sensing and simulation to estimate forest productivity in southern pine plantations. A thesis presented to the graduate school of the University of Florida in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science. University of Florida.
- Steven, M.D., T. J. Malthus, F. Baret, H. Xu, M. J. Chopping. 2003. Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems. *Remote Sens. Environ.* 88:412–422.
- Suratman, M.N., G.Q. Bull, D.G. Leckie, V. LeMay and P.L. Marshall. 2002. Modelling attributes of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) stands using spectral radiance recorded by Landsat Thematic Mapper in Malaysia. Canadian Crown Copyright.

- Tianxiang, L., N. P. Ronald, T. Hanqin, V. J. Charles, Z. Huazhong and L. Shirong. 2002. A model for seasonality and distribution of leaf area index of forests and its application to China. *Journal of Vegetation Science* 13:817-830.
- Turner, D.P., W.B. Cohen, R.E. Kennedy, K.S. Fassnacht and J.M. Briggs. 1999. Relationships between leaf area index and Landsat TM spectral vegetation indices across three temperate zone sites. *Remote Sens. Environ.* 70:52-68.
- Wasseige, C., D. Bastin and P. Defourny. 2003. Seasonal variation of tropical forest LAI based on field measurement in Central African Republic. *Agricultural and Forest Meteorology* 119:181-194.
- Weiss, M., F. Baret, G.J. Smith, I. Jonckheere and P. Coppin. 2004. Review of methods for *in situ* leaf area index (LAI) determination part II. Estimation of LAI, error and sampling. *Agricultural and Forest Meteorology* 121:37-53.
- Xavier, A. C. and C. A. Vettorazzi. 2003. Leaf area index of group covers in a subtropical watershed. *Scientia Agricola* 60:425-431.
- Xavier, A. C. and C. A. Vettorazzi. 2004. Monitoring leaf area index at watershed level through NDVI from Landsat-7/ETM+data. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* 16:243-252.

## ภาคผนวก



ตารางภาคผนวกที่ 1 ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพืชพรรณของยางพารากลุ่มยางอ่อน

รหัสแปลง	ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์		SR	MSR	ISR	NDVI	PVI	SAVI	MSAVI2
	X	Y							
A1	670529	766971	1.254422 ±0.012391	0.119997 ±0.005533	1.991877 ±0.033573	0.113983 ±0.004524	9.766912 ±0.384599	0.168043 ±0.008833	0.203414 ±0.007277
A2	670909	767401	1,243151 ±0.014800	0,114948 ±0.006639	2,263699 ±0.050228	0,108700 ±0.005878	9,280776 ±0.508265	0,161873 ±0.008793	0,194322 ±0.009551
A3	670399	768291	1.279265 ±0.015430	0.131027 ±0.006825	2.081343 ±0.020110	0.122486 ±0.005947	9.943689 ±0.480885	0.182933 ±0.008881	0.216877 ±0.009414
A4	671459	768371	1.257867 ±0.016031	0.121526 ±0.007143	2.073724 ±0.047687	0.114167 ±0.006284	9.590136 ±0.514377	0.170533 ±0.009384	0.203660 ±0.010079
A5	675839	774931	1.215366 ±0.023365	0.103995 ±0.009629	2.379041 ±0.047256	0.097121 ±0.009414	8.043339 ±0.677003	0.145063 ±0.014054	0.175798 ±0.015429
A6	676469	771971	*	*	*	*	*	*	*
A7	675949	769081	1.184047 ±0.022225	0.086776 ±0.006106	2.281623 ±0.048883	0.083240 ±0.006058	7.247845 ±0.316227	0.123064 ±0.008669	0.154018 ±0.010439
A8	675129	769251	1.192918 ±0.022921	0.093250 ±0.008397	2.233701 ±0.208594	0.090091 ±0.007028	7.601398 ±0.605530	0.132782 ±0.011354	0.163075 ±0.012173
A9	666659	771021	1.193541 ±0.018696	0.091834 ±0.007860	2.201963 ±0.040623	0.087605 ±0.007148	7.380427 ±0.575543	0.130858 ±0.010675	0.159798 ±0.012393
A10	671029	768491	1.261041 ±0.012450	0.122948 ±0.005541	2.260930 ±0.018837	0.115427 ±0.004867	9.501747 ±0.362285	0.172399 ±0.007265	0.205674 ±0.007780

\* ข้อมูลของแปลง A6 ไม่มีเนื่องจากเป็นบริเวณที่ภาพถูกเมฆบัง

ตารางภาคผนวกที่ 2 ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพืชพรรณของยางพารากลุ่มยางอ่อน

รหัสแปลง	ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์		WDVI	TSAVI	MCARI1	MCARI2	MTVI1	MTVI2	TNDVI	sqrt SR
	X	Y								
A1	670529	766971	13.687500 ±0.602080	0.111761 ±0.004832	126.960004 ±4.850735	1.190427 ±0.048950	127.162503 ±5.439539	1.186932 ±0.049809	0.238684 ±0.004766	1.121304 ±0.005131
A2	670909	767401	13.125000 ±0.718795	0.107333 ±0.005830	140.287502 ±2.969437	1.309739 ±0.023600	140.287502 ±2.969437	1.315593 ±0.028988	0.232686 ±0.006335	1.114948 ±0.006639
A3	670399	768291	14.062500 ±0.680074	0.123071 ±0.003702	140.752500 ±3.928106	1.385224 ±0.019727	142.417501 ±2.369900	1.385224 ±0.019727	0.247405 ±0.006024	1.131027 ±0.006825
A4	671459	768371	13.562500 ±0.727438	0.113064 ±0.006220	134.190002 ±3.623256	1.270829 ±0.038227	134.190002 ±3.623258	1.270829 ±0.038227	0.238837 ±0.006578	1.121526 ±0.007143
A5	675839	774931	11.437500 ±0.892095	0.097602 ±0.008486	109.477503 ±4.963558	1.029361 ±0.081984	113.520003 ±6.222746	1.070255 ±0.052765	0.221816 ±0.009442	1.107108 ±0.011000
A6	676469	771971	*	*	*	*	*	*	*	*
A7	675949	769081	10.187500 ±0.403113	0.079951 ±0.005106	98.332503 ±3.660549	0.909540 ±0.044108	95.625002 ±3.220794	0.897842 ±0.047114	0.200822 ±0.008076	1.087294 ±0.006480
A8	675129	769251	11.062500 ±0.771902	0.088587 ±0.007205	100.395003 ±4.140001	0.932516 ±0.053589	98.557501 ±4.772065	0.966160 ±0.033662	0.209852 ±0.009176	1.093251 ±0.008396
A9	666659	771021	10.437500 ±0.813941	0.086760 ±0.007075	93.322501 ±3.529639	0.902770 ±0.041326	93.322501 ±3.529639	0.902770 ±0.041326	0.209125 ±0.008582	1.091834 ±0.007860
A10	671029	768491	13.437500 ±0.512348	0.114289 ±0.004813	140.152503 ±3.992586	1.352819 ±0.042471	140.152503 ±3.992586	1.352819 ±0.042471	0.240186 ±0.005057	1.122948 ±0.005541

\* ข้อมูลของแปลง A6 ไม่มีเนื่องจากเป็นบริเวณที่ภาพถูกเมฆบดบัง

ตารางภาคผนวกที่ 3 ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพืชพรรณของยางพารากลุ่มยางหนุ่ม

รหัสแปลง	ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์		SR	MSR	ISR	NDVI	PVI	SAVI	MSAVI2
	X	Y							
<b>B1</b>	669769	763361	1.298085 ±0.018860	0.139127 ±0.007226	2.318107 ±0.026374	0.129507 ±0.006235	10.297243 ±0.514377	0.193401 ±0.009313	0.227882 ±0.009742
<b>B2</b>	670219	763691	1.285209 ±0.014715	0.131963 ±0.006611	2.331486 ±0.019447	0.123303 ±0.005742	9.728281 ±0.485722	0.184130 ±0.008577	0.218138 ±0.009047
<b>B3</b>	673019	763771	1.290125 ±0.022873	0.133365 ±0.009330	2.307823 ±0.026751	0.124502 ±0.008108	9.766912 ±0.643882	0.189055 ±0.013040	0.219974 ±0.012788
<b>B4</b>	674239	767921	1.268775 ±0.016413	0.126523 ±0.007439	2.248343 ±0.025583	0.118423 ±0.006425	9.545942 ±0.516398	0.176859 ±0.009596	0.210411 ±0.010295
<b>B5</b>	673269	766421	1.271632 ±0.018201	0.127482 ±0.007183	2.296944 ±0.031642	0.121582 ±0.004430	9.634329 ±0.570087	0.178500 ±0.010607	0.212147 ±0.011353
<b>B6</b>	675309	767261	1.281397 ±0.013043	0.131630 ±0.005206	2.295690 ±0.035886	0.123317 ±0.005019	9.722718 ±0.408248	0.184150 ±0.007495	0.218164 ±0.007934
<b>B7</b>	669549	767861	1.285250 ±0.011143	0.134634 ±0.003083	2.272705 ±0.017450	0.125781 ±0.002685	9.943689 ±0.176777	0.187831 ±0.004005	0.222073 ±0.004188
<b>B8</b>	673049	771921	1.275803 ±0.015630	0.129494 ±0.006937	2.237785 ±0.016020	0.121150 ±0.006072	9.722718 ±0.483046	0.180928 ±0.009067	0.214745 ±0.009671
<b>B9</b>	674789	773581	1.288956 ±0.013834	0.135307 ±0.006098	2.253038 ±0.024661	0.126209 ±0.005292	9.855301 ±0.405689	0.188461 ±0.007902	0.222703 ±0.008327
<b>B10</b>	673019	770521	1.250719 ±0.017233	0.118331 ±0.007700	2.172374 ±0.030385	0.111296 ±0.006858	9.104000 ±0.570088	0.166122 ±0.008983	0.199076 ±0.010945

ตารางภาคผนวกที่ 4 ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพืชพรรณของยางพารากลุ่มยางหนุ่ม

รหัสแปลง	ตำแหน่งทาง ภูมิศาสตร์		WDVI	TSAVI	MCARI1	MCARI2	MTVI1	MTVI2	TNDVI	sqrt SR
	X	Y								
<b>B1</b>	669769	763361	14.562500 ±0.727438	0.129643 ±0.007016	145.558131 ±3.024866	1.436842 ±0.022202	145.762506 ±3.456533	1.440076 ±0.025275	0.254398 ±0.006129	1.139127 ±0.007226
<b>B2</b>	670219	763691	13.937500 ±0.680074	0.123491 ±0.005577	139.771876 ±3.320508	1.395526 ±0.032575	139.432502 ±3.592651	1.380508 ±0.034709	0.248235 ±0.005758	1.131963 ±0.006611
<b>B3</b>	673019	763771	13.812500 ±0.910586	0.125793 ±0.007764	143.130006 ±3.198552	1.438273 ±0.026966	142.995006 ±2.450226	1.431283 ±0.029048	0.249377 ±0.008147	1.133365 ±0.009330
<b>B4</b>	674239	767921	13.500000 ±0.730297	0.117230 ±0.006360	139.567501 ±2.446539	1.360578 ±0.015460	138.390000 ±2.028203	1.360578 ±0.015460	0.242750 ±0.006635	1.125822 ±0.007242
<b>B5</b>	673269	766421	13.625000 ±0.806225	0.118318 ±0.007030	138.562502 ±3.246872	1.359063 ±0.027775	139.035001 ±2.460391	1.359707 ±0.028401	0.2443603 ±0.007364	1.1276392 ±0.008095
<b>B6</b>	675309	767261	13.750000 ±0.577350	0.122048 ±0.004968	132.217501 ±1.677839	1.323410 ±0.018465	132.217501 ±1.677839	1.329576 ±0.019618	0.248263 ±0.005068	1.131974 ±0.005765
<b>B7</b>	669549	767861	13.812500 ±0.543906	0.123520 ±0.004224	144.952505 ±2.427233	1.442639 ±0.024097	141.757503 ±3.769790	1.448137 ±0.020556	0.250766 ±0.002639	1.134798 ±0.003110
<b>B8</b>	673049	771921	13.750000 ±0.683130	0.119310 ±0.005208	136.312504 ±2.417324	1.342816 ±0.021218	136.125004 ±3.015121	1.342816 ±0.021218	0.246046 ±0.006246	1.129494 ±0.006937
<b>B9</b>	674789	773581	13.937500 ±0.573730	0.124898 ±0.005236	135.817505 ±2.649516	1.372726 ±0.022290	136.192505 ±2.412553	1.372726 ±0.022290	0.251154 ±0.005291	1.135307 ±0.006098
<b>B10</b>	673019	770521	12.875000 ±0.806226	0.110240 0.006727±	123.937501 ±1.745697	1.209855 ±0.021429	123.939376 ±1.748348	1.213777 ±0.022352	0.235849 ±0.007183	1.118213 ±0.007988

ตารางภาคผนวกที่ 5 ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพืชพรรณของยางพารากลุ่มยางแก่

รหัสแปลง	ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์		SR	MSR	ISR	NDVI	PVI	SAVI	MSAVI2
	X	Y							
<b>C1</b>	671359	765031	1.272832 ±0.016509	0.128176 ±0.007294	2.288194 ±0.015888	0.119997 ±0.006348	9.545942 ±0.516398	0.179199 ±0.009481	0.212898 ±0.010032
<b>C2</b>	671589	765541	1.270573 ±0.018237	0.127170 ±0.008096	2.173506 ±0.031623	0.119112 ±0.007088	9.501747 ±0.575543	0.177879 ±0.010586	0.211481 ±0.011295
<b>C3</b>	674349	771921	1.260196 ±0.011025	0.122835 ±0.005207	2.021684 ±0.022795	0.115101 ±0.004317	9.324971 ±0.384599	0.171902 ±0.006449	0.205139 ±0.006920
<b>C4</b>	674309	774761	1.276547 ±0.011611	0.130561 ±0.005207	2.109867 ±0.027350	0.120953 ±0.005353	9.413359 ±0.425735	0.180609 ±0.007994	0.214401 ±0.008499
<b>C5</b>	674719	770751	1.270456 ±0.013064	0.128354 ±0.005810	2.158168 ±0.023619	0.120161 ±0.005074	9.899495 ±0.447214	0.179471 ±0.007580	0.213221 ±0.008059
<b>C6</b>	673219	772321	1.277890 ±0.024273	0.124421 ±0.009410	2.136716 ±0.032992	0.119955 ±0.008562	9.280776 ±0.677003	0.182971 ±0.012875	0.206754 ±0.013581
<b>C7</b>	671529	772461	1.273214 ±0.018601	0.132379 ±0.007586	2.135146 ±0.035485	0.120308 ±0.007120	9.501747 ±0.575543	0.179658 ±0.010634	0.213366 ±0.011336
<b>C8</b>	670479	768221	1.289388 ±0.019397	0.135482 ±0.008563	2.143604 ±0.028659	0.126345 ±0.007444	10.429825 ±0.605530	0.188709 ±0.011118	0.219578 ±0.009635
<b>C9</b>	674289	762951	1.296716 ±0.014136	0.138718 ±0.006212	2.237919 ±0.024153	0.129160 ±0.005370	10.120466 ±0.425735	0.192870 ±0.008019	0.227331 ±0.008406
<b>C10</b>	672119	766921	1.275906 ±0.021793	0.131738 ±0.007455	2.181880 ±0.022447	0.123102 ±0.006473	10.076272 ±0.547723	0.180951 ±0.012581	0.217850 ±0.010199

ตารางภาคผนวกที่ 6 ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของดัชนีพืชพรรณของยางพารากลุ่มยางแก่

รหัสแปลง	ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์		WDVI	TSAVI	MCARI1	MCARI2	MTVI1	MTVI2	TNDVI	sqrt SR
	X	Y								
C1	671359	765031	13.437500 ±0.727438	0.118773 ±0.006285	134.701876 ±2.623183	1.339490 ±0.026191	135.136884 ±2.300377	1.337138 ±0.025536	0.244890 ±0.006385	1.128176 ±0.007294
C2	671589	765541	13.437500 ±0.813941	0.119474 ±0.005166	131.865005 ±2.882958	1.295011 ±0.038266	130.402504 ±3.321992	1.295011 ±0.038266	0.243939 ±0.007297	1.127170 0.008096±
C3	674349	771921	13.187500 ±0.543906	0.113948 ±0.004276	115.612501 ±2.713158	1.134579 ±0.030408	115.410002 ±2.173075	1.146741 ±0.035956	0.239858 ±0.004503	1.122574 ±0.004911
C4	674309	774761	13.250000 ±0.683130	0.117192 ±0.006210	122.032501 ±4.230282	1.240184 ±0.047034	123.082501 ±3.744490	1.234804 ±0.036400	0.245343 ±0.006446	1.130868 ±0.004907
C5	674719	770751	14.000000 ±0.632456	0.117919 ±0.005019	129.960001 ±2.903900	1.282063 ±0.173400	129.360000 ±3.219342	1.242568 ±0.030115	0.245060 ±0.005176	1.128354 ±0.005810
C6	673219	772321	13.125000 ±0.957427	0.114648 ±0.007452	121.957502 ±4.814720	1.246599 ±0.051835	121.477502 ±4.391783	1.240255 ±0.052357	0.241661 ±0.009211	1.124732 ±0.010226
C7	671529	772461	13.500000 ±0.816497	0.119287 ±0.006904	126.157501 ±1.826587	1.252770 ±0.026419	124.912501 ±1.916230	1.232572 ±0.032415	0.246455 ±0.006278	1.128539 ±0.008141
C8	670479	768221	14.750000 ±0.856349	0.125102 ±0.007370	134.925002 ±3.682490	1.286032 ±0.030883	134.925002 ±3.682490	1.284180 ±0.035047	0.251237 ±0.007491	1.135502 ±0.009454
C9	674289	762951	14.312500 ±0.602080	0.127823 ±0.005314	144.240003 ±2.237714	1.445100 ±0.017860	144.240003 ±2.237714	1.442783 ±0.021566	0.254074 ±0.005303	1.138718 ±0.006212
C10	672119	766921	14.250000 ±0.774597	0.121022 ±0.006920	133.447500 ±5.423764	1.309124 ±0.038652	131.407499 ±6.215562	1.230276 ±0.043613	0.248015 ±0.006484	1.131738 ±0.007455

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายเจษฎา โสภารัตน์	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4910620010	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2548

## ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนการศึกษาประเภททุนเรียนดีของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
วิทยาเขตหาดใหญ่