

การทำนายผลผลิตพืชไร่โดยใช้การสะท้อนแสงของทรงพุ่ม



นายรักศักดิ์ เสริมศักดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2551

CANOPY REFLECTANCE OF FIELD CROPS FOR YIELD PREDICTION

Raksak Sermsak



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Doctor of Philosophy in Crop Production Technology
Suranaree University of Technology**

Academic Year 2008

การทำนายผลผลิตพืชไร่โดยใช้การสะท้อนแสงของทรงพุ่ม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปริญญาตรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.สุดชด วุ่นประเสริฐ)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.หัตไชย บุญสูง)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.สัญญา สราภิรมย์)

กรรมการ

(ผศ. ดร.ยุวดี มานะเกษม)

กรรมการ

(ผศ. ดร.เกริก ปิ่นหนึ่งเพชร)

กรรมการ

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(ผศ. ดร.สุเวทย์ นิงสานนท์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หัสไชย บุญสูง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือ และช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สัญญา สราภิรมย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกริก ปั่นแห้งเพ็ชร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่คอยให้คำแนะนำ และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษดี มานะเกษม คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. สุธชล วัณประเสริฐ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณอาจารย์ ดร.สุวิทย์ อ่องสมหวัง สาขาวิชาการรับรู้ระยะไกล ที่ให้คำแนะนำ และความรู้ในด้านการสำรวจระยะไกล.

ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ พื้นที่ และแรงงานในการปลูก และดูแลรักษาข้าวโพด และถั่วเหลือง และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา และห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาพืช ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 (F3) ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตสุพรรณบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้โอกาสให้ศึกษาต่อในระดับปริญญาเอก พร้อมทั้งสนับสนุนเงินทุนเพื่อการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5-TM เพื่องานวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ คุณพรพรรณ อุสุวรรณ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในงานวิจัย และตรวจสอบความถูกต้องของเอกสารวิทยานิพนธ์จนสมบูรณ์ และ เพื่อน พี่ น้อง บัณฑิตศึกษาทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา คุณยายและหลวงตา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม และส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา ทำนุนี้ขอขอบคุณ คุณวนาพร เสริมศักดิ์ และ เด็กหญิง ณัฐกมล เสริมศักดิ์ และครอบครัว วาปีทะ ทุกคน ที่เป็นกำลังใจให้ฟันฝ่าอุปสรรคจนประสบความสำเร็จ

รักศักดิ์ เสริมศักดิ์

รักศักดิ์ เสริมศักดิ์ : การทำนายผลผลิตพืชไร่โดยใช้การสะท้อนแสงของทรงพุ่ม (CANOPY REFLECTANCE OF FIELD CROPS FOR YIELD PREDICTION) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หัสไชย บุญสูง, 93 หน้า.

พื้นที่ใบของพืชมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช การวัดพื้นที่ใบของพืชต่อพื้นที่ปลูก เรียกว่าดัชนีพื้นที่ใบ โดยการเก็บตัวอย่างใบพืชที่มีสีเขียวมาวัดด้วยเครื่องมือวัดพื้นที่ใบ ซึ่งมีข้อดีคือมีความแม่นยำสูง แต่ข้อเสียคือต้องทำอย่างรวดเร็วก่อนที่ใบพืชจะเหี่ยว ถ้าปฏิบัติในพื้นที่ขนาดใหญ่ ต้องใช้เวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายสูง มีการนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลมาใช้ในการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ แต่พบปัญหาว่า ข้อมูลที่ได้ขึ้นกับวงโคจรของดาวเทียม ปริมาณเมฆที่ปรากฏขณะบันทึกภาพ ความแยกชัดของภาพที่มีคุณภาพขนาดใหญ่ และภาพถ่ายดาวเทียมมีราคาสูง ดังนั้นจึงได้ประยุกต์วิธีการประมวลผลภาพถ่ายโดยข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายของกล้องดิจิทัลที่ช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ทำให้สามารถแยกความชัดของภาพได้ และสามารถถ่ายภาพได้ตลอดเวลา ทำให้การติดตามการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบตลอดช่วงระยะเวลาของการเจริญเติบโตของพืชได้โดยไม่ต้องทำลายต้นพืช มีวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้ (1) ศึกษาความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ กับการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช (2) เปรียบเทียบ และหาความสัมพันธ์ของการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ ในแต่ละช่วงอายุของพืช ด้วยกล้องดิจิทัล และเครื่อง SUNSCAN กับเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ (3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณ ที่ประเมินจากกล้องดิจิทัล กับการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช และ (4) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณ ที่ประเมินจากกล้องดิจิทัล และภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อประเมิน การเจริญเติบโต และผลผลิตของพืชในแปลงเกษตรกร ทำการทดลอง 3 ครั้ง ระหว่างปี พ.ศ. 2548-2550 โดยการทดลองที่ 1 และ 2 ศึกษาที่แปลงทดลองภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยใช้ตัวแทนพืชต้นสูง คือข้าวโพด สุวรรณ 4452 และตัวแทนพืชต้นเตี้ย คือถั่วเหลือง พันธุ์ 5E ส่วนการทดลองที่ 3 ศึกษาที่แปลงข้าวโพดของเกษตรกร อ.ปากช่อง จ. นครราชสีมา การทดลองที่ 1 ปี พ.ศ. 2548 ศึกษา เก็บตัวอย่างข้าวโพดที่เป็นตัวแทนของทรงพุ่มแบบใบตั้ง และถั่วเหลืองที่เป็นตัวแทนของทรงพุ่มแบบใบนอน เก็บตัวอย่างในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น และช่วงเจริญพันธุ์ ถ่ายภาพโดยกล้องดิจิทัล ติดตั้งฟิลเตอร์กรองแสงที่ค่าเฉลี่ยความยาวคลื่น 535 และ 760 นาโนเมตร ถ่ายภาพที่ความสูง 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม วัดดัชนีพื้นที่ใบในแปลงทดลองโดยใช้เครื่อง SUNSCAN และวัดดัชนีพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ วัดน้ำหนักแห้งของพืช แปลงภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลเพื่ออ่านค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ และนำไปสร้างดัชนีพืชพรรณเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งทั้งหมด วิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโต และดัชนีการเก็บเกี่ยว ผลของการศึกษา แสดง

ให้เห็นว่าช่วงที่เหมาะสมในการนำดัชนีพื้นที่ใบไปประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชทั้ง 2 ชนิด คือช่วงเจริญเติบโตทางลำต้นสูงสุด และในพืชทั้ง 2 ชนิด ระดับความสูงของการถ่ายภาพที่ตำแหน่งเดียวกันไม่มีผลต่อการประเมินพื้นที่ใบ แต่ตำแหน่งที่บริเวณกลางภาพมีผลต่อการประเมินพื้นที่ใบ มากกว่า ตำแหน่งขอบภาพ การทดลองที่ 2 ปี พ.ศ. 2549 เก็บตัวอย่างข้าวโพด และ ถั่วเหลือง ในช่วงเจริญเติบโตทางลำต้น และช่วงเจริญพันธุ์ ถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลที่ติดตั้งฟิลเตอร์กรองแสงที่ค่าเฉลี่ยความยาวคลื่น 535, 760 และ 835 นาโนเมตร ที่ระดับความสูง 1 เมตร เหนือทรงพุ่ม วัดความเข้มของแสงที่ผ่านฟิลเตอร์ด้วยเครื่องมือ VIS/NIR portable spectrometer USB200 วิเคราะห์พืช และวิเคราะห์ภาพ เช่นเดียวกับการศึกษาครั้งที่ 1 นำค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพไปสร้างดัชนีพืชพรรณและดัชนีพืชพรรณที่เกี่ยวข้องกับความเข้มของแสง เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดัชนีพื้นที่ใบ ประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตด้วยอัตราการเจริญเติบโต และดัชนีการเก็บเกี่ยว ผลของการศึกษา พบว่าผลของความเข้มแสงที่ผ่านฟิลเตอร์ทั้ง 3 ชนิดไม่แตกต่างกัน ผลของดัชนีพืชพรรณที่เกิดจาก ฟิลเตอร์ 535 และ 760 กับ 535 และ 835 และ การนำความเข้มแสงมาร่วมวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณให้ผลไม่แตกต่างกัน สรุปได้ว่าการใช้ฟิลเตอร์เพียงชุดใดชุดหนึ่งอย่างเดียวก็น่าเพียงพอในการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ การทดลองที่ 3 ปี พ.ศ. 2550 ศึกษาการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิทัลและภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินผลผลิตของข้าวโพดในแปลงเกษตรกร ถ่ายภาพที่ความสูง 1 เมตร เหนือทรงพุ่มพื้นที่เก็บตัวอย่าง ใช้เครื่องมือวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติในการวัดพื้นที่ใบ และวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5-TM และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม และดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดิจิทัล และนำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปวิเคราะห์กับความสัมพันธ์ของการทดลองที่ 1 และ 2 เพื่อประเมินน้ำหนักผลผลิตทั้งหมดของข้าวโพด และประเมินผลผลิตข้าวโพด ลำดับของความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งทั้งหมด อัตราการเจริญเติบโต และดัชนีการเก็บเกี่ยวสามารถนำไปประเมินผลผลิตของข้าวโพดได้จากสมการ ผลผลิต = $((1,553.8108 * \text{ดัชนีพืชพรรณของภาพถ่ายดาวเทียม}) - 19.0811) * \text{อัตราการเจริญเติบโตของพืช} * \text{ดัชนีเก็บเกี่ยว}$

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช

ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

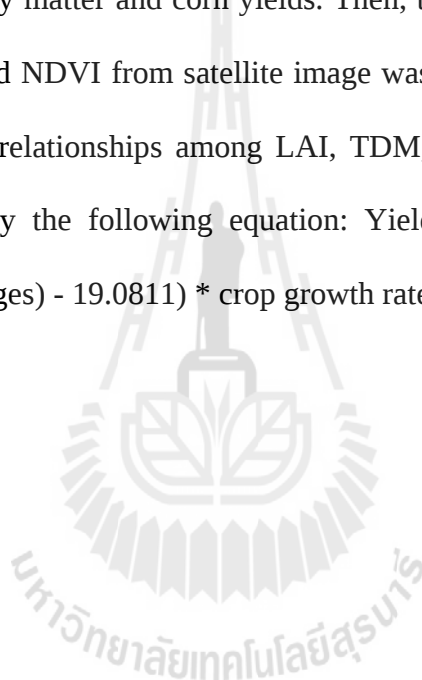
RAKSAK SERMSAK : CANOPY REFLECTANCE OF FIELD CROPS FOR
YIELD PREDICTION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. HATSACHAI
BOONJUNG, Ph.D., 93 PP.

DIGITAL CAMERA/NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX/LEAF
AREA INDEX/CROP GROWTH RATE/ HARVEST INDEX

It is known that leaf area has a direct relation with growth and yields. In general, leaf area per unit of ground area is measured in terms of leaf area index (LAI). This method gives very high accuracy but it has to be done quickly before leaves start curling and/or wilting. If the measurement is made in a large and remote area, it takes a lot of time, labors and high costs. The LAI can be measured using remote sensing technology. However, there are some problems of obtaining a good satellite image; it depends on the satellite orbit, presence of clouds during imaging, poor temporal and spatial resolution of satellite data and high costs. Therefore, with the same principle, the reflection image can be captured using digital camera, instead. An image can be taken with varying wavelength of visible light and near infrared light. By this approach, LAI can be determined anytime without being destructive to the plants throughout its growing season. The objectives of this study were: (1) to investigate the relationships between LAI and growth, harvest index (HI) and yields of crop; (2) to compare LAI estimation using digital camera and SUNSCAN probe with Leaf Area Meter; (3) to analyze the relationships between digital camera normalized difference vegetation index (NDVI) and crops growth and yields; and (4) to analyze the relationship between NDVI from digital camera and NDVI from LANDSAT5-TM image to estimate growth and yield of corn in the farmer's field. Three different

experiments were conducted during 2005 to 2007. The first and the second experiments were conducted at Suranaree University of Technology Farm whereas the third experiment at the farmer's field in Pakchong District, Nakhon Ratchasima Province. In the first experiment in 2005, the samples of erectophile corn and planophile soybeans were represented. Sony Cybershot F828 digital camera with specific filters of average wavelength at 535 and 760 nm was used for image reflections above the crop canopy at the heights of 1, 2, and 3 meters above crop canopy, respectively. LAI estimations using digital images and SUNSCAN probe were compared with LAI measurements by Leaf Area Meter. The relationships between LAI and total dry matter (TDM) and HI were analyzed. The results show that using LAI of both corn and soybeans is appropriate for TDM estimation during vegetative growth. At the center position of digital image gives more effective leaf area estimation than the edge of image. It was also found that there were no differences in LAI estimations from 1, 2 and 3 meters height above the crop canopy. The second experiment was conducted in 2006. Digital camera with specific filters of average wavelength at 535, 760 and 835 nm was used for image reflection at 1 meter height above the crop canopy. Light intensity through the filter was measured by VIS/NIR portable spectrometer USB2000. NDVI with and NDVI without light intensity were analyzed for LAI, whereas crop yields were estimated by the multiplication between HI and TDM at harvest. The results indicated that there were no significant differences of light intensity through the three different types of filter. The NDVI calculated by using filters of 535 and 760 nm was not different from using filters of 535 and 835 nm. There was also no difference in NDVI calculation with or without light intensity incorporation. In conclusion, the use of either 535 and 760 nm

or 535 and 835 nm is suitable for LAI estimation. The third experiment conducted in 2007 was to study the application of the digital images and LANDSAT5-TM images for corn yield estimation. The images from camera were taken at 1 meter height above the crop canopy and used for LAI and NDVI estimation. The relationship between NDVI from LANDSAT5-TM image and NDVI from digital camera images was analyzed. The relationships, derived from experiments 1 and 2 were analyzed for estimating the total dry matter and corn yields. Then, the relationship between NDVI from digital image and NDVI from satellite image was analyzed to estimate the corn yields. The series of relationships among LAI, TDM, CGR and HI can be used to estimate the yields by the following equation: $\text{Yield} = ((1,553.8108 * \text{NDVI of LANDSAT5-TM images}) - 19.0811) * \text{crop growth rate} * \text{harvest index}$.



School of Crop Production Technology

Student's

Signature_____

Academic Year 2008

Advisor's

Signature_____

Co-advisor's

Signature_____

Co-advisor's

Signature_____



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ค
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฑ
สารบัญรูป	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
2 ทัศนวิสัยวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 คลื่นพลังงานแสงอาทิตย์.....	4
2.2 การสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ของพืช	6
2.3 ลักษณะทรงพุ่มของพืช และพื้นที่ใบ.....	8
2.4 คำนวณพื้นที่ใบกับการเจริญเติบโตของพืช.....	9
2.5 คำนวณการเก็บเกี่ยวกับการประเมินผลผลิตของพืช.....	12
2.6 กล้องดิจิทัล	13
2.6.1 หลักการทำงานของกล้องดิจิทัล.....	13
2.6.2 ประเภทของเซนเซอร์.....	14
2.6.2.1 Charge coupled device (CCD)	14
2.6.2.2 Complementary metal-oxide semiconductor (CMOS).....	14
2.6.2.3 Foveon X3.....	14
2.7 ฟิลเตอร์.....	15
2.8 การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลที่ติดตั้งฟิลเตอร์	16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.9	การสำรวจระยะไกล.....	17
2.10	ประเภทของข้อมูลดาวเทียม.....	17
2.10.1	ข้อมูลในลักษณะรูปถ่าย.....	17
2.10.2	ข้อมูลเชิงตัวเลข.....	18
2.11	การสำรวจระยะไกลโดยภาพถ่ายทางอากาศ.....	18
2.12	การสำรวจระยะไกลจากดาวเทียม LANDSAT.....	19
2.13	การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม.....	19
2.13.1	การเลือกช่วงคลื่นและจำนวนช่วงคลื่น.....	19
2.13.2	การแสดงผล.....	19
2.13.3	การคัดเลือกช่วงคลื่นเพื่อศึกษาพืชพรรณ.....	20
2.13.3.1	แบบที่ 1.....	20
2.13.3.2	แบบที่ 2.....	20
2.13.3.3	แบบที่ 3.....	21
2.13.3.4	แบบที่ 4.....	21
2.13.3.5	แบบที่ 5.....	21
2.13.3.6	แบบที่ 6.....	21
2.13.3.7	แบบที่ 7.....	21
2.14	การสะท้อนช่วงคลื่นของพืชพรรณ.....	21
2.14.1	Ratio Vegetation Index (RVI).....	23
2.14.2	ดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index).....	23
2.14.3	Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI).....	24
2.14.4	Difference Vegetation Index (DVI).....	24
2.14.5	Global Environmental Monitoring Index (GEMI).....	24
2.14.6	Green Vegetation Index (GVI).....	24
2.14.7	Transformed Normalized Difference Vegetation Index (TNDVI).....	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	วิธีการดำเนินการวิจัย	26
3.1	พื้นที่ศึกษาภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	26
3.1.1	การปลูก	26
3.1.2	การดูแลรักษา	27
3.1.3	การเก็บตัวอย่าง	27
3.1.4	ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง	27
3.1.4.1	ฤดูปลูกปี พ.ศ. 2548 (เดือนมิถุนายน-สิงหาคม พ.ศ. 2548)	27
3.1.4.2	ฤดูปลูกปี พ.ศ. 2549 (เดือนมีนาคม-มิถุนายน พ.ศ. 2549)	27
3.1.5	การวัดน้ำหนักแห้ง	28
3.1.6	การวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ	28
3.1.7	คำนวณอัตราการเจริญเติบโตของพืช และดัชนีการเก็บเกี่ยว	28
3.1.8	การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล	28
3.1.8.1	ฟิลเตอร์	29
3.1.8.2	ระยะความสูงเหนือทรงพุ่มในการถ่ายภาพ	30
3.1.8.3	เครื่องมือที่วัดขณะถ่ายภาพ	30
3.1.8.4	ตำแหน่งของการถ่ายภาพและเก็บตัวอย่าง	30
3.1.9	การวิเคราะห์ข้อมูลภาพ	32
3.1.10	การประเมินการสะท้อนแสงจากทรงพุ่มของพืช เพื่อประเมินผลผลิตของพืช	33
3.2	พื้นที่ศึกษา ณ แปลงของเกษตรกร อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา	34
3.2.1	พื้นที่ศึกษา	34
3.2.2	การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกร	35
3.2.3	การเก็บตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแปลงเกษตรกร	35
3.2.4	การถ่ายภาพในแปลงเกษตรกร	36
3.2.5	การแปลงภาพถ่าย	36
3.2.6	การนำเข้าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.7	การประเมินดัชนีพืชพรรณของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม.....	37
4	ผลการทดลอง	39
4.1	การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลประเมินดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพด.....	39
4.1.1	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้ง	39
4.1.2	อัตราการเจริญเติบโต และดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวโพด.....	40
4.1.3	ความสัมพันธ์ 1:1 ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจาก เครื่อง SUNSCAN และเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติของข้าวโพด.....	40
4.1.4	ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ.....	41
4.1.5	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ	42
	4.1.5.1 บริเวณตำแหน่งของจุดภาพที่ต่างกัน.....	42
	4.1.5.2 การถ่ายภาพที่ระดับความสูงต่างกัน.....	43
4.2	การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลประเมินดัชนีพื้นที่ใบของถั่วเหลือง.....	47
4.2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้ง.....	47
4.2.2	อัตราการเจริญเติบโต และดัชนีเก็บเกี่ยวของถั่วเหลือง.....	48
4.2.3	ความสัมพันธ์ 1:1 ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN และเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติของถั่วเหลือง.....	48
4.2.4	ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ.....	49
4.2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพรรณ.....	50
	4.2.5.1 บริเวณตำแหน่งของจุดภาพที่ต่างกัน.....	50
	4.2.5.2 การถ่ายภาพที่ระดับความสูงต่างกัน.....	51
4.3	การประเมินปัจจัยที่เกี่ยวข้องระหว่างความสัมพันธ์ของ ดัชนีพื้นที่ใบและดัชนีพืชพรรณของข้าวโพด และถั่วเหลือง.....	55
4.3.1	ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ และความเข้มแสงที่ฟลูเตอร์ 535, 760 และ 835 นาโนเมตร.....	55
	4.3.1.1 ข้าวโพด.....	55
	4.3.1.2 ถั่วเหลือง.....	57

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.2	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณที่ ฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร	61
4.3.2.1	ข้าวโพด	61
4.3.2.2	ถั่วเหลือง	62
4.3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ และ ความเข้มของแสงที่ฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร	62
4.3.3.1	ข้าวโพด	63
4.3.3.2	ถั่วเหลือง	63
4.3.4	การใช้อัตราการเจริญเติบโตประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิต	66
4.3.4.1	ข้าวโพด	66
4.3.4.2	ถั่วเหลือง	67
4.4	การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิทัลร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อประเมินผลผลิตของข้าวโพด	68
4.4.1	การประเมินดัชนีพืชพรรณ	68
4.4.2	ความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณของภาพถ่ายดาวเทียม และภาพถ่ายดิจิทัล	69
4.4.3	การใช้ดัชนีพืชพรรณจากกล้องดิจิทัล และภาพถ่ายดาวเทียม ประเมินผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าวโพด	69
4.4.3.1	การประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมดโดยดัชนีพืชพรรณ จากภาพถ่ายดาวเทียม	69
4.4.3.2	การตรวจสอบข้อมูลจากการประเมินผลผลิตกับข้อมูล ผลผลิตจากแปลงเกษตรกร	71
5	วิจารณ์ผลการทดลอง	73
5.1	การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลประเมินดัชนีพื้นที่ใบ ของข้าวโพดและถั่วเหลือง	73
5.1.1	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้ง	73

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.1.1	ข้าวโพด.....	73
5.1.1.2	ถั่วเหลือง.....	75
5.1.2	อัตราการเจริญเติบโตและดัชนีเก็บเกี่ยว.....	74
5.1.2.1	ข้าวโพด.....	74
5.1.2.2	ถั่วเหลือง.....	75
5.1.3	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN และเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ.....	75
5.1.3.1	ข้าวโพด.....	75
5.1.3.2	ถั่วเหลือง.....	76
5.1.4	ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ.....	76
5.1.5	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณ และดัชนีพื้นที่ใบ.....	77
5.1.5.1	บริเวณตำแหน่งของจุดภาพที่ต่างกัน.....	77
5.1.5.2	การถ่ายภาพที่ระดับความสูงต่างกัน.....	78
5.2	การประเมินปัจจัยที่เกี่ยวข้องระหว่างความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณ และดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพดและถั่วเหลือง.....	78
5.2.1	ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพและความเข้มแสงที่ฟิลเตอร์ 535, 760 และ 835 นาโนเมตร.....	78
5.2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ ดัชนีพืชพรรณ ที่ฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร.....	79
5.2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ ดัชนีพืชพรรณ และความเข้มแสง ที่ฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร.....	80
5.2.3.1	ข้าวโพด.....	80
5.2.3.2	ถั่วเหลือง.....	80
5.2.4	การใช้อัตราการเจริญเติบโตของพืชเพื่อประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดและถั่วเหลือง.....	81
5.3	การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิทัลร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อประเมินผลผลิตข้าวโพด.....	81

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.1	การประเมินดัชนีพืชพรรณ.....	81
5.3.2	การใช้ดัชนีพืชพรรณจากกล้องดิจิทัล และภาพถ่ายดาวเทียม ประเมินผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าวโพดในแปลงเกษตรกร.....	82
6	สรุปผลการทดลอง.....	83
6.1	การศึกษาในปี พ.ศ. 2548.....	83
6.1.1	การใช้ดัชนีพื้นที่ใบเพื่อประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมด.....	83
6.1.2	อัตราการเจริญเติบโตและดัชนีเก็บเกี่ยว.....	83
6.1.3	การวัดดัชนีพื้นที่ใบด้วยเครื่อง SUNSCAN.....	83
6.1.4	ตำแหน่งของภาพและระดับความสูงของการถ่ายภาพ.....	83
6.2	การศึกษาในปี พ.ศ. 2549.....	84
6.2.1	ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ.....	84
6.2.2	ความเข้มของแสงและดัชนีพืชพรรณ.....	84
6.2.3	อัตราการเจริญเติบโตและดัชนีเก็บเกี่ยวประเมิน การเจริญเติบโตและผลผลิต.....	84
6.3	การศึกษาในปี พ.ศ. 2550.....	84
	รายการอ้างอิง.....	86
	ประวัติผู้เขียน	93

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงความยาวคลื่นของรังสี.....5
2.2	สเปกตรัม (Electromagnetic Spectrum) ในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และอินฟราเรดใกล้7
3.1	ข้อมูลของการถ่ายภาพ.....31
3.2	รายละเอียดของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร LANDSAT ระบบ TM37
4.1	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแผนภูมิรูปภาพของภาพที่ถ่ายในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุ ของข้าวโพด (วัน)42
4.2	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณจุดศูนย์กลาง และขอบของ ภาพที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด.....44
4.3	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณกลางของภาพ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด.....45
4.4	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณขอบของภาพ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด.....46
4.5	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแผนภูมิรูปภาพของภาพที่ถ่ายในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุ ของถั่วเหลือง (วัน).....50
4.6	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณจุดศูนย์กลางและขอบของภาพ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง.....52
4.7	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณกลางของภาพ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง.....53
4.8	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณขอบของภาพ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง.....54
4.9	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพที่ส่องผ่านฟิลเตอร์ ที่มีค่าเฉลี่ยของการส่องผ่าน 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ 535, 760 และ 835 นาโนเมตร ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด.....56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงทั้งหมดที่ส่องผ่านฟิลเตอร์ ที่มีค่าเฉลี่ยของการส่องผ่าน 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ 535, 760 และ 835 นาโนเมตร ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด.....	58
4.11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพที่ส่องผ่านฟิลเตอร์ ที่มีค่าเฉลี่ยของการส่องผ่าน 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ 535, 760 และ 835 นาโนเมตร ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง.....	59
4.12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงทั้งหมดที่ส่องผ่านฟิลเตอร์ ที่มีค่าเฉลี่ยของการส่องผ่าน 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ 535, 760 และ 835 นาโนเมตร ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง.....	60
4.13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของข้าวโพด ที่ฟิลเตอร์ 760 นาโนเมตร (NDVI 760) ฟิลเตอร์ 835 นาโนเมตร (NDVI 835) ฟิลเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 760 นาโนเมตร (NDVI_I760) และฟิลเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 835 นาโนเมตร (NDVI_I835).....	65
4.14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของถั่วเหลือง ที่ฟิลเตอร์ 760 นาโนเมตร (NDVI 760) ฟิลเตอร์ 835 นาโนเมตร (NDVI 835) ฟิลเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 760 นาโนเมตร (NDVI_I760) และฟิลเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 835 นาโนเมตร (NDVI_I835).....	66
4.15 แสดงผลของการใช้ดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อประเมินน้ำนํักแห้งทั้งหมดและน้ำนํักผลิต (กรัม/ตารางเมตร).....	71
4.16 แสดงผลการประเมินและข้อมูลจากแปลงเกษตรกรของน้ำนํักแห้งทั้งหมด (กรัม/ตารางเมตร) และน้ำนํักผลิต (กรัม/ตารางเมตร).....	72

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการส่องผ่าน (Transmission; T) การสะท้อน (Reflection, R) และ การดูดกลืน (Absorption, A).....	6
2.2 สเปกตรัมการสะท้อนแสง (Reflectance Spectrum) ของพืชโดยทั่วไป.....	7
2.3 มุมใบของพืชและลักษณะทรงพุ่มของพืชชนิดต่าง ๆ.....	9
2.4 จุดตัดของฟิลเตอร์ช่วงคลื่นอินฟราเรด.....	15
2.5 จุดตัดของฟิลเตอร์ที่กั้นช่วงคลื่นอินฟราเรด.....	16
3.1 ช่วงของคลื่นแสงที่ผ่านฟิลเตอร์ 470-600, 720-800 และ 770-900 นาโนเมตร.....	29
3.2 แสดงการครอบคลุมภาพของกล้องดิจิทัลเมื่อเพิ่มระดับความสูงของการถ่ายภาพ.....	30
3.3 แสดงตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง จุดเก็บตัวอย่างและตำแหน่งของกล้อง.....	31
3.4 ชุดคำสั่งแปลงภาพเป็นภาพขาวดำของโปรแกรม PHOTOSHOP.....	32
3.5 ชุดคำสั่งตรวจสอบหาค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ.....	32
3.6 แสดงขั้นตอนการประยุกต์ใช้ข้อมูลการสะท้อนแสงของทรงพุ่ม เพื่อประเมินผลผลิตของพืช.....	34
3.7 แผนที่แสดงขอบเขตตำบลของ อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา.....	35
3.8 ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM แบนด์ 4, 3 และ 2 บริเวณพื้นที่ อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา.....	36
3.9 แบบจำลองกระบวนการประเมินดัชนีพืชพรรณ.....	38
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งทั้งหมด ของข้าวโพด (กรัม/ตารางเมตร).....	39
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และน้ำหนักแห้งทั้งหมด (กรัม/ตารางเมตร) ของข้าวโพด.....	40
4.3 แสดงความสัมพันธ์ 1:1 และสมการความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของข้าวโพด ที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN และเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ.....	41
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI).....	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม.....	44
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ของจุดภาพบริเวณกลางของภาพที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม.....	45
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ของจุดภาพบริเวณขอบของภาพที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม.....	46
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งทั้งหมดของถั่วเหลือง (กรัม/ตารางเมตร).....	47
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และน้ำหนักแห้งทั้งหมด (กรัม/ตารางเมตร) ของถั่วเหลือง.....	48
4.10 แสดงความสัมพันธ์ 1:1 และสมการความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของถั่วเหลืองที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN และเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ.....	49
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI).....	51
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม.....	52
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของจุดภาพ และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และบริเวณกลางของภาพที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม.....	53
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ของจุดภาพบริเวณขอบของภาพที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม.....	54
4.15 แสดงค่าเฉลี่ย และแนวโน้มของค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพของ 3 ฟิเตอร์ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด.....	55
4.16 แสดงค่าเฉลี่ย และแนวโน้มของค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพของ 3 ฟิเตอร์ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง.....	59
4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่ฟิเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร ของข้าวโพด.....	61
4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่ฟิเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร ของถั่วเหลือง.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่เกี่ยวเนื่องกับความเข้มของแสงของข้าวโพด ที่ฟิลเตอร์ 760 (NDVI_I760) และ 835 (NDVI_I835) นาโนเมตร.....	63
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่เกี่ยวเนื่องกับความเข้มของแสงของถั่วเหลือง ที่ฟิลเตอร์ 760 (NDVI_I760) และ 835 (NDVI_I835) นาโนเมตร.....	64
4.21 การใช้อัตราการเจริญเติบโตในการประเมินการเจริญเติบโตของข้าวโพด.....	67
4.22 การใช้อัตราการเจริญเติบโตในการประเมินการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง.....	68
4.23 แสดงความสัมพันธ์ 1:1 และสมการความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณที่ประเมินจากภาพถ่ายดาวเทียม (NDVI_SAT) และดัชนีพืชพรรณที่ประเมินจากกล้องดิจิทัล (NDVI_CAM).....	69



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

พืชเป็นอาหารหลักของทั้งมนุษย์และสัตว์ ในอดีตนั้นจะอาศัยการเก็บเกี่ยวพืชจากธรรมชาติ จนกระทั่งเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของประชากร จึงมีการเพาะปลูกพืชเพื่อบริโภค ซึ่งต้องมีการเพิ่มพื้นที่ปลูกพืชเพื่อให้เพียงพอต่อการบริโภค ในการปลูกพืชไร่นาเกษตรกรจะปลูกพืชเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง ทำให้การติดตามการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของพืชทำได้ยากลำบาก ปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจในการประเมินการเจริญเติบโตของพืช คือพื้นที่ใบของพืช เนื่องจากใบพืชมีหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมี เพื่อการเจริญเติบโต และดำรงชีวิตอยู่ของพืช นอกจากทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงแล้ว ใบพืชยังทำหน้าที่คายน้ำเพื่อลดอุณหภูมิภายในต้นพืช ซึ่งมีผลต่อเนื่องทำให้เกิดแรงดึงน้ำของรากทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำ และธาตุอาหารเข้ามาในต้นพืช เพื่อใช้ในกระบวนการดำรงชีวิต และเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นพื้นที่ใบของพืชจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช การวัดพื้นที่ใบของพืช วัดเป็นพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก เรียกว่าดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index ; LAI) (Scurlock, Asner and Gower, 2001) การวัดพื้นที่ใบทำได้โดยการเก็บตัวอย่างใบพืชที่มีสีเขียวมาวัดด้วยเครื่องมือวัดพื้นที่ใบ ข้อดีคือมีความแม่นยำสูง แต่ข้อเสียคือต้องทำอย่างรวดเร็วก่อนที่ใบพืชจะเหี่ยว ในกรณีที่เก็บตัวอย่างมาจากต้นพืชเป็นการทำลายต้นพืช และถ้าวัดพื้นที่ใบในพื้นที่ปลูกขนาดใหญ่ต้องใช้เวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายสูง จึงมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล ซึ่งเป็นการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับการสะท้อนแสง หรือการคายความร้อนของวัตถุในพื้นที่หนึ่งหน่วยวัดหรือจุดภาพ (pixel) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เครื่องมือที่ไม่ต้องสัมผัสวัตถุเป้าหมาย เช่น ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมหรือภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งมีการรับภาพจากการสะท้อนแสงหลายช่วงคลื่นของพืช และมีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบของพืช แต่ช่วงคลื่นที่นำมาใช้ในการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ ต้องเป็นช่วงของคลื่นแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (visible) มีความยาวคลื่นประมาณ 400-700 นาโนเมตร และช่วงของคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ (near infrared) ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 700-1,500 นาโนเมตร โดยที่ลักษณะทางชีวเคมีภายในพืชที่เป็นตัวควบคุมการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า คือปริมาณของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll content) ภายในใบ ซึ่งมีการสะท้อนพลังงานแสงสูงสุดในช่วงคลื่นประมาณ 550 นาโนเมตร และดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงคลื่น 600-700 นาโนเมตร

(Sims and Gamon, 2002) และการสะท้อนพลังงานแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เป็นการสะท้อนของเซลล์มีโซฟิลล์ (mesophyll) ของใบ (Taiz and Zeiger, 2002) สูงถึงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลังงานที่เหลือจะถูกส่งผ่าน และถูกดูดกลืน (ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, 2540) การสะท้อนพลังงานแสงสูงสุดของเซลล์ดังกล่าวในช่วงอินฟราเรดใกล้เกิดขึ้นในช่วงคลื่นประมาณ 800 นาโนเมตร และประมาณ 900 นาโนเมตร (Dawson and Curran, 1998) สัดส่วนของการดูดซับ และสะท้อนแสงที่สองช่วงคลื่นดังกล่าวทำให้มีผลต่างจากดิน หรือน้ำ สัดส่วนนี้นำมาประเมินในรูปแบบดัชนีพืชพรรณ (normalized difference vegetation Index ; NDVI) และใช้สมการมาตรฐานที่แปลงค่าที่ได้จากข้อมูลภาพไปเป็นดัชนีพื้นที่ใบ ข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบที่ได้สามารถประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช จากความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้งของพืช และสุดท้ายผลผลิตที่คำนวณจากดัชนีการเก็บเกี่ยว (harvest index) โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบและผลผลิตที่คำนวณจากแบบจำลองการปลูกพืช ทั้งในสภาวะปกติหรือสภาวะที่เกิดความเครียด และยังได้นำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มาเป็นเครื่องมือช่วยในการจำแนกชั้นของข้อมูลในแต่ละเงื่อนไขของพื้นที่ เพื่อจำลองสถานการณ์ในแต่ละเงื่อนไขของข้อมูล

ข้อจำกัดของการประเมินดัชนีพื้นที่ใบโดยอาศัยข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม คือในการจำแนกภาพแบบควบคุม (supervised classification) ต้องมีข้อมูลตัวอย่าง (training phase) ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ทราบความหมายของข้อมูลมาก่อน ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม โดยการวัดข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบในพื้นที่เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งการวัดดัชนีพื้นที่ใบนั้นมีความยุ่งยากดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงมีการศึกษาการประยุกต์วิธีการประมวลผลภาพถ่ายโดยข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายของกล้องดิจิทัล ที่ช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ซึ่งจะได้ใช้ฟิลเตอร์ที่ยอมให้แสงในความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรดใกล้ส่งผ่าน ทำให้สามารถกำหนดความแยกชัดของภาพได้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูก และสามารถกำหนดช่วงระยะเวลาในการถ่ายภาพได้ตลอดเวลา ทำให้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบตลอดช่วงระยะเวลาของการเจริญเติบโตได้โดยไม่ต้องทำลายต้นพืช และสามารถนำมาเป็นเครื่องมือช่วยในการประเมินพื้นที่ใบของพืชที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์ของภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่การปลูกพืชไรที่เป็นพื้นที่กว้างได้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) กับการเจริญเติบโต และความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างดัชนีการเก็บเกี่ยว (HI) กับผลผลิตของข้าวโพด และถั่วเหลือง

2. เปรียบเทียบ และหาความสัมพันธ์ของการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ ในแต่ละช่วงอายุของ ข้าวโพด และถั่วเหลือง ด้วยกล้องดิจิทัล เครื่องSUNSCAN และเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ
3. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่ประเมินจากกล้องดิจิทัล กับการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพด และถั่วเหลือง
4. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่ประเมินจากกล้องดิจิทัล และภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อประเมิน การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพดในแปลงเกษตรกร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาการถ่ายภาพบริเวณเหนือทรงพุ่มของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมเดี่ยวพันธุ์สุวรรณ 4452 และถั่วเหลืองพันธุ์ 5E ด้วยกล้องดิจิทัล SONY CYBERSHOT F828 ที่ติดตั้งฟิลเตอร์ที่ยอมให้แสงในช่วงคลื่นประมาณ 465-597 และ 721-812 นาโนเมตรผ่าน ที่ระยะ 1, 2 และ 3 เมตร ที่ทำการทดลองบริเวณแปลงทดลองฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในช่วงเวลาระหว่างเดือน มิถุนายน-สิงหาคม พ.ศ. 2548 และ เดือนมีนาคม-มิถุนายน พ.ศ. 2549 และแปลงของเกษตรกร อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมาในช่วงเวลาระหว่างเดือน พฤษภาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2550



บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คลื่นพลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นต้นกำเนิดของพลังงานแสงที่ใช้ในการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต แสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานแสงที่แผ่มาจากดวงอาทิตย์ มีอยู่หลายช่วงคลื่น ได้แก่ รังสีแกมมา รังสีเอ็กซ์ รังสีอัลตราไวโอเล็ต แสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า รังสีอินฟราเรด และคลื่นวิทยุ ดังตารางที่ 2.1

พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถอธิบายด้วยทฤษฎีอนุภาค คือการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยหน่วยอิสระที่เรียกว่า โฟตอน(Photon) หรือ ควอนต้า (quanta) พลังงานจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของคลื่น (Frequency) ซึ่งเป็นสัดส่วนดังนี้ (Hart, 1988)

$$E = h f \quad (1)$$

เมื่อ E คือ พลังงานของแสง 1 quantum, Joules
 H คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's Constant), 6.626×10^{-34} J.sec
 f คือ ค่าความถี่ของคลื่น จำนวนรอบต่อวินาที (Cycle/Sec หรือ hertz)

ความถี่ของคลื่น (f) มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น (Wave length) (λ) ดังนี้

$$f = c / \lambda \quad (2)$$

เมื่อ c คือ ค่าความเร็วของคลื่นมีค่า 3×10^8 เมตรต่อวินาที

จากสมการที่ (1) และ (2) $EM = h \frac{c}{\lambda}$ เห็นได้ว่าพลังงานของแสงผกผันกับความยาวคลื่น
คือ เมื่อความยาวคลื่นมากขึ้นพลังงานของแสงจะลดลง

ตารางที่ 2.1 แสดงความยาวคลื่นของรังสี (ดัดแปลงจาก Sabins, 1987)

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น	หมายเหตุ
รังสีแกมมา (Gamma ray)	น้อยกว่า 0.3 นาโนเมตร	รังสีที่แผ่ลงมาจากอวกาศชั้นบน
รังสีเอกซเรย์ (X-ray)	0.03-3.0 นาโนเมตร	ถูกดูดกลืนโดยบรรยากาศ
อัลตราไวโอเลต (Ultraviolet)	0.03-0.4 ไมโครเมตร	ความยาวคลื่น < 0.3 ไมโครเมตร ถูกดูดกลืนโดยชั้นโอโซน
Photographic UV Band	0.3-0.4 ไมโครเมตร	ทะลุทะลวงบรรยากาศสามารถบันทึกด้วยฟิล์มแต่การจัดกระจายบรรยากาศมีความรุนแรง
ช่วงคลื่นที่มองเห็น (Visible)	0.4-0.7 ไมโครเมตร	สามารถบันทึกด้วยฟิล์ม
อินฟราเรด (Infrared)	0.7-100 ไมโครเมตร	มีปฏิสัมพันธ์กับวัตถุ ตามความยาวคลื่นและการส่งผ่านชั้น บรรยากาศ
อินฟราเรดสะท้อน (Reflected IR Band)	0.7-3.0 ไมโครเมตร	สะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ ช่วงคลื่น 0.7-0.9 ไมโครเมตร สามารถบันทึกด้วยฟิล์มอินฟราเรด
อินฟราเรดความร้อน (Thermal IR Band)	3-5 ไมโครเมตร	การบันทึกภาพ ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ เช่น Scanners
ไมโครเวฟ (Microwave)	8-14 ไมโครเมตร	
	0.1-30 เซนติเมตร	ช่วงคลื่นยาว สามารถทะลุผ่านหมอก เมฆ และฝน ได้ บันทึก ภาพได้ ทั้งระบบ Active และ Passive
เรดาร์ (Radar)	0.1-30 เซนติเมตร	ระบบ Active มีความยาวช่วงคลื่นต่าง ๆ เช่น Ka แบนด์
วิทยุ (Radio)	มากกว่า 30 เซนติเมตร	ช่วงคลื่นที่ยาวที่สุด

เมื่อพลังงานแสงกระทบไปพืช บางส่วนจะส่องผ่าน (Transmission ; T) บางส่วนถูกสะท้อน (Reflection ; R) และบางส่วนถูกดูดกลืน (Absorption ; A) ดังรูปที่ 2.1

จากปฏิกิริยาของแสงที่กระทำต่อพืช สามารถแสดงสมการได้ดังนี้ (Lillesand and Kiefer, 1994)

$$E_i(\lambda) = E_T(\lambda) + E_R(\lambda) + E_A(\lambda) \quad (3)$$

เมื่อ

- $E_i(\lambda)$ คือ พลังงานที่ตกกระทบ (Incident Energy)
- $E_T(\lambda)$ คือ พลังงานส่องผ่าน (Transmitted Energy)
- $E_R(\lambda)$ คือ พลังงานสะท้อน (Reflected Energy)
- $E_A(\lambda)$ คือ พลังงานดูดกลืน (Absorbed Energy)

และผลของการสะท้อนแสง (ρ_λ) พลังงานสะท้อนต่อพลังงานที่ตกกระทบ ได้สมการดังนี้

$$\rho_\lambda = E_r(\lambda)/E_i(\lambda) \quad (4)$$

ค่า ρ_λ ขึ้นกับคุณสมบัติของพื้นผิวซึ่งจะช่วยให้สามารถแยกชนิดของพื้นผิวได้



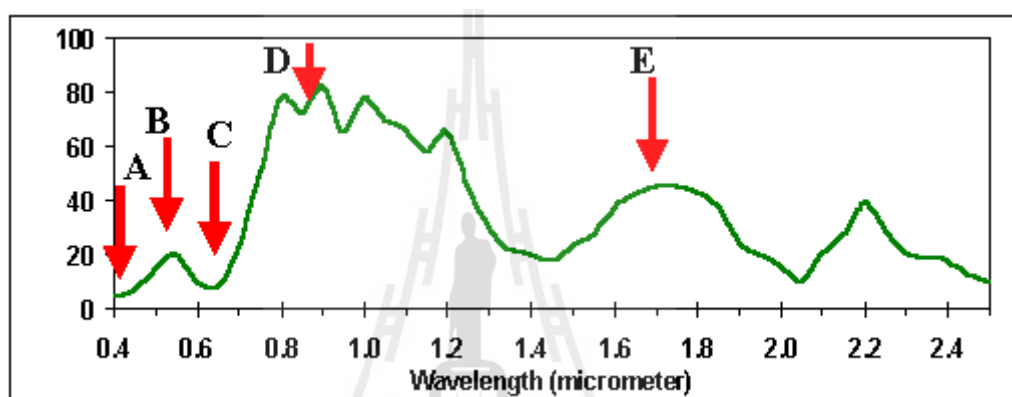
รูปที่ 2.1 แสดงการส่องผ่าน (Transmission ; T) การสะท้อน (Reflection ; R) และการดูดกลืน (Absorption ; A)

ทุกองค์ประกอบของพลังงานจะเป็นฟังก์ชัน ของความยาวคลื่นจากสมการแสดงความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันของกลไกในการส่องผ่าน การสะท้อน และการดูดกลืน ซึ่งสัดส่วนของพลังงานทั้งสาม จะแตกต่างกันไปตามความยาวคลื่น พลังงานแสงที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ในช่วงคลื่นที่แสงพืชดูดกลืนเพื่อเกิดการสังเคราะห์แสงเท่านั้น ส่วนพลังงานแสงที่สะท้อนเราใช้ประโยชน์เพื่อประเมินลักษณะทางชีวเคมีภายในใบของพืช ส่วนพลังงานแสงที่ส่องผ่านนั้นพืชไม่ได้ใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์แสง แต่ใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการวิเคราะห์การดูดกลืนพลังงานของแสง

2.2 การสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ของพืช

พืชมีการสะท้อนแสงหลายช่วงคลื่น ช่วงคลื่นที่สะท้อนมากคือช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงของคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ ที่มีความยาวคลื่นดังตารางที่ 2.1 โดยที่ลักษณะทางชีวเคมีภายในพืชเป็นตัวควบคุมการสะท้อนแสง ในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่าซึ่งก็คือปริมาณ

ของคลอโรฟิลภายในใบพืช ซึ่งสะท้อนพลังงานแสงสูงสุดในช่วงคลื่นประมาณ 550 นาโนเมตร (Sims and Gamon, 2002) ดังรูปที่ 2.2 (จุด B) ซึ่งอยู่ในช่วงแสงสีเขียวดังตารางที่ 2.1 และการสะท้อนพลังงานแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เป็นการสะท้อนของเซลล์มีโซฟิลของใบ (Taiz and Zeiger, 2002) สูงถึงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลังงานที่เหลือจะถูกส่งผ่าน และถูกดูดกลืน (ชรินทร์ มงคลสวัสดิ์, 2540) การสะท้อนพลังงานแสงสูงสุดของเซลล์ดังกล่าวในช่วงอินฟราเรดใกล้เกิดขึ้นที่ช่วงคลื่นประมาณ 800 นาโนเมตร และประมาณ 900 นาโนเมตร (Dawson and Curran, 1998) ดังรูปที่ 2.2 (จุด D)



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมการสะท้อนแสง (Reflectance Spectrum) ของพืชโดยทั่วไป จุด A: ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน, B: ช่วงคลื่นสีเขียว, C: ช่วงคลื่นสีแดง, D: ช่วงอินฟราเรดใกล้, E: ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Liew, 2001)

ตารางที่ 2.2 สเปกตรัม (Electromagnetic Spectrum) ในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และอินฟราเรดใกล้ (คัดแปลงจาก Mather, 1999)

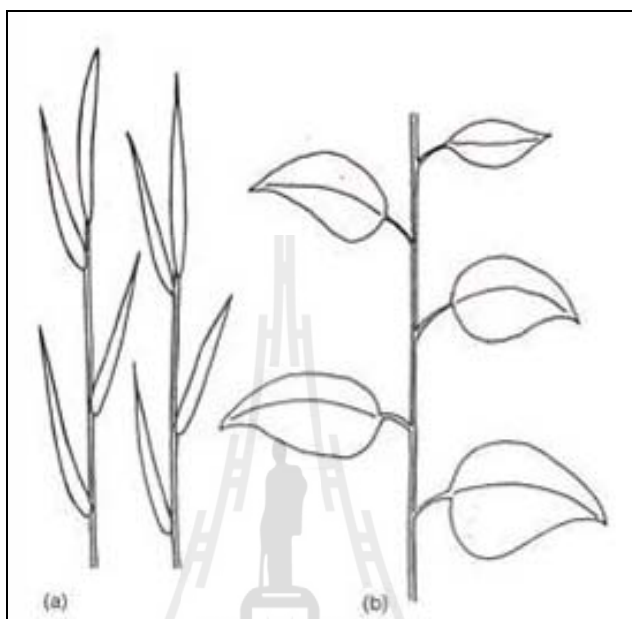
สี	ช่วงคลื่น (นาโนเมตร)
ม่วง (Violet)	400-430
คราม (Indigo)	430-450
น้ำเงิน (Blue)	450-500
เขียว (Green)	500-570
เหลือง (Yellow)	570-590
ส้ม (Orange)	590-600
แดง (Red)	600-700
อินฟราเรดใกล้ (Near Infrared ; NIR)	700-1,500

การสะท้อนแสงของพืชในสภาพที่พืชเกิดความเครียด พิจารณาจากการที่คลอโรฟิลล์มีบทบาทต่อการสะท้อนแสง และการส่องผ่านของแสง คลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์กับปริมาณของไนโตรเจนในใบ (Taiz and Zeiger, 2002) การดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ของพืชเกิดในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน และสีแดง การวัดความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์โดยใช้การสะท้อนแสงจะใช้พลังงานแสงในช่วงคลื่น 550 หรือ 770 นาโนเมตร การเปลี่ยนแปลงของการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นระหว่าง 550 และ 660 นาโนเมตร สามารถที่จะใช้ในการประเมินการถูกทำลายของใบเนื่องจากโรค (Adams, Philpot and Norvell, 1999) จากการศึกษาของ Penuelas, Gamon, Fredeen, Merino and Field (1994) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบการสะท้อนแสงของใบตามวันที่เกิดการขาดไนโตรเจน ในช่วงคลื่นแสง 500 และ 600 นาโนเมตร มีการสะท้อนแสงที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด สำหรับการตรวจสอบว่าพืชเกิดความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ จะใช้การสะท้อนแสงในช่วงคลื่น 970 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงแสงที่น้ำในพืชไม่มีการดูดกลืนพลังงานแสง เมื่อพืชขาดน้ำจึงมีการสะท้อนแสงในช่วงนี้มาก (Penuelas, Filella, Beil, Serrano and Save, 1993)

2.3 ลักษณะทรงพุ่มของพืช และพื้นที่ใบ

ทรงพุ่มของพืช บอกถึงขนาด ปริมาตร และรูปทรง ของกลุ่มใบพืช เป็นลักษณะรวมทั้งหมดของกลุ่มใบพืชปลูก ซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่ออัตราและประสิทธิภาพในการรับรังสีดวงอาทิตย์ และต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชปลูก การศึกษาทรงพุ่มของพืชในส่วนที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีทางสรีรวิทยาของพืชปลูกอาจจะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของพืชปลูก เช่น ไม้ยืนต้นที่มีขนาดใหญ่ การวัดหรือเก็บเกี่ยวพืชลำบาก ถิ่นนิยมใช้รูปร่าง ขนาด หรือปริมาตรเป็นตัวอธิบายทรงพุ่มของพืช แต่สำหรับพืชไร่นิยมใช้เทคนิค stratified strata โดยการเก็บเกี่ยวใบพืชมาวัดดัชนีพื้นที่ใบ เป็นชั้น ๆ หนา 5-50 เซนติเมตร จากยอดลงมา (ประวิตร โสภโณคร, 2549) ใบที่อยู่บนตำแหน่งต่างกัน บนทรงพุ่ม ย่อมได้รับแสงที่ตกกระทบลงมาในปริมาณที่ต่างกัน โดยใบที่อยู่ด้านบนทรงพุ่มจะได้รับแสงมากกว่าใบที่อยู่ด้านล่างลงมา ซึ่งแสงที่ส่องผ่านลงมามีปริมาณน้อย เมื่อแสงที่ใบพืชได้รับระหว่างการเจริญเติบโตมีปริมาณต่างกัน ย่อมทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่างกัน และอ้อมตัวที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน (Salisbury and Ross, 1985) นอกจากนี้ Yan, Xiao and Mingzhao, (1988) รายงานว่าการกระจายของแสงในทรงพุ่ม ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น การเอียงตัวของใบ ซึ่งมีอิทธิพลกับค่าประสิทธิภาพการส่องผ่านของแสง (extinction coefficient, k) ในขณะเดียวกัน Sand (1996) รายงานว่าการที่เรือนพุ่มมีค่า k ลดลงทำให้ประสิทธิภาพการใช้แสงของพืชเพิ่มขึ้น และทำให้การสังเคราะห์แสงของเรือนพุ่มเพิ่มตามไปด้วย และใบได้รับนั้นจะแตกต่างกันไปตามตำแหน่งใบ และการจัดเรียงตัวของใบนั่นเอง (Evan, Jakobsen and Ogen, 1993) สำหรับค่าเฉลี่ยของมุมใบในกลุ่มพืช ทรงพุ่มหรือใบทั้งต้น เรียกว่า canopy leaf inclination ซึ่งคำนึงจากความถี่ของมุมใบของแต่ละใบในกลุ่มพืช (รูปที่ 2.3) แต่โดยทั่วไปนิยมเรียกรวม ๆ กันได้ 2 ลักษณะ

คือ ลักษณะทรงพุ่มหรือใบตั้ง (erectophile) (รูปที่ 2.3a) ซึ่งใบจะทำมุมกับลำต้นน้อยกว่า 35 องศา พบในพืชใบแคบ และลักษณะทรงพุ่มหรือใบแผ่นอน (planophile) ใบจะทำมุมกับลำต้นมากกว่า 65 องศา พบในพืชใบกว้าง (รูปที่ 2.3b) (ประวิตร โสภโณคร)



รูปที่ 2.3 มุมใบของพืชและลักษณะทรงพุ่มของพืชชนิดต่าง ๆ (a) ทรงพุ่มใบตั้ง และ (b) ทรงพุ่มใบแผ่นอน (ประวิตร โสภโณคร, 2549)

2.4 ดัชนีพื้นที่ใบกับการเจริญเติบโตของพืช

ใบเป็นอวัยวะส่วนสำคัญของพืชที่ทำหน้าที่รับแสง และสังเคราะห์แสง น้ำหนักแห้งของพืชทั้งต้นที่ปรากฏให้เห็นเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสงทั้งสิ้น แต่โครงสร้างของทรงพุ่มและการสะสมพื้นที่ใบเป็นข้อจำกัดในการรับและใช้แสงอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมยังส่งผลให้พืชใช้แสงได้อย่างไม่เต็มที่ ในการเพาะปลูกพืชไร่ หลังจากที่ไม่ลี้ดงออกพ้นผิวดิน และการพัฒนาการทางด้านการเพิ่มพื้นที่ใบเป็นลำดับตามอายุของพืช และให้พื้นที่ใบสูงสุดเมื่อพืชเจริญถึงระยะสิ้นสุดการเจริญเติบโตทางลำต้น และใบ (vegetative phase) จากนั้นเมื่อเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ (reproductive phase) พื้นที่ใบจะลดลงตามลำดับ เนื่องจากร่วงหล่นหรือแห้งตายถ้าหากได้มีการติดตามการพัฒนาการของพื้นที่ใบอย่างต่อเนื่อง พบว่าการเพิ่มพื้นที่ใบมีลักษณะเป็นรูปโค้ง (sigmoid) ในการปลูกพืชที่เป็นพื้นที่กว้างให้ความสำคัญของพื้นที่ใบต่อพื้นที่ดิน เรียกค่านี้ว่าดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index, LAI) (Scurlock, Asner and Gower, 2001) การพัฒนาการของดัชนี

พื้นที่ใบ เป็นไปตามลักษณะเดียวกันกับการพัฒนาการของพื้นที่ใบต่อดัน กล่าวคือจะเปลี่ยนแปลงไปตามอายุ และการเปลี่ยนแปลงนี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับระยะปลูก ความหนาแน่น และปัจจัยอื่น ๆ อีก อัตราการเจริญของพืชแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ อัตราการเจริญต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดิน (crop growth rate, CGR) และอัตราการเจริญต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบ (net assimilation rate, NAR) เมื่อดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น การรับแสงก็เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการเจริญต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดินเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ (Young and Chun, 1999) แต่อัตราการเจริญต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ใบจะลดลง เนื่องจากเมื่อพืชมีดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการบังแสงระหว่างใบมากขึ้น ในพืชใบแคบ พบว่าอัตราการเจริญต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดินเพิ่มขึ้นตามดัชนีพื้นที่ใบที่เพิ่มขึ้น และถึงจุดสูงสุด ถึงแม้ว่าพืชจะมีดัชนีพื้นที่ใบมากกว่านี้ อัตราการเจริญต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดินก็ไม่เพิ่มขึ้น และไม่ลดลง เรียกว่าความสัมพันธ์แบบนี้ว่า critical leaf area index แต่พืชใบกว้าง พบความแตกต่าง คือ อัตราการเจริญต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดินสูงสุดแล้ว แต่ดัชนีพื้นที่ใบยังเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการเจริญต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ดินลดลง เรียกความสัมพันธ์แบบนี้ว่า optimum leaf area index สาเหตุที่ทำให้พืชมีการตอบสนองที่แตกต่างกัน คือพืชทั้งสองชนิดมีอัตราการหายใจแตกต่างกัน เช่น เมื่อพืชมีการตอบสนองแบบช่วงวิกฤติของดัชนีพื้นที่ใบ อัตราการหายใจไม่ได้เพิ่มตามดัชนีพื้นที่ใบที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net photosynthesis) จึงไม่ลดลง แต่ในพืชที่มีการตอบสนองแบบช่วงที่เหมาะสมของดัชนีพื้นที่ใบ ใบบนจะบังแสงใบล่างมาก ทำให้ใบล่างมีอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำกว่าอัตราการหายใจ ส่งผลให้การสังเคราะห์แสงสุทธิลดลง พืชมีการสังเคราะห์แสงสูงสุดเมื่อดัชนีพื้นที่ใบ อยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งพื้นที่ใบสามารถรับแสงได้ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ และค่าดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ตามสภาพแวดล้อม ตลอดจนความเข้มแสง (เฉลิมพล แชมเพชร, 2533) จากการศึกษาของ Halley (1982) พบว่าในพืชประเภท optimum leaf area index ตัวอย่างพืชประเภทนี้จะมีลักษณะทรงพุ่มหรือใบตั้ง เช่น ข้าวโพด เมื่อมีการเจริญของดัชนีพื้นที่ใบมากกว่าจุดที่รับแสงได้สูงสุด คือ 95 เปอร์เซ็นต์ อัตราการหายใจเพิ่มขึ้นตามดัชนีพื้นที่ใบที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง ส่วนพืชประเภท critical leaf area index ตัวอย่างพืชประเภทนี้จะมีลักษณะทรงพุ่มหรือใบแผ่บน เช่น ยาสูบ ถั่วเหลือง พบว่าอัตราการหายใจไม่ได้สูงตามไปด้วย ถึงแม้ว่าดัชนีพื้นที่ใบจะเพิ่มจากจุด optimum leaf area index ก็ตาม Hunt (1978) พบว่าลักษณะรูปร่างและการจัดเรียงตัวของใบเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้พืชมี optimum leaf area index แตกต่างกัน พืชที่มีใบเรียวยาวเล็ก ค่อนข้างตั้งชัน และมีการจัดเรียงตัวของใบกระจัดกระจายสม่ำเสมอแสงสามารถส่องผ่านในทรงพุ่มได้ดีมีค่า optimum leaf area index สูงกว่าพืชใบกว้าง และมุมใบแผ่ราบ ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมกับความเข้มของแสงนั้นพบว่า จะผันแปรไปในทิศทางเดียวกัน คือความเข้มแสงเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมจะสูงขึ้นด้วย Dong and Hu (1993) รายงานว่าข้าวโพดลูกผสมสายพันธุ์ใหม่ที่มีลักษณะทรงพุ่มหรือใบตั้งนั้นต้องมีจำนวน 9

ต้น/ตารางเมตร และมีค่าดัชนีพื้นที่ใบเท่ากับ 6 จะมีผลผลิตสูงสุด ซึ่งแตกต่างกับข้าวโพดลูกผสมสายพันธุ์เก่าที่มีลักษณะทรงพุ่มใกล้เคียงกับทรงพุ่มหรือใบแผ่นอน ต้องมีจำนวนต้น 4.5 ต้น/ตารางเมตร และมีดัชนีพื้นที่ใบเท่ากับ 4 จึงจะให้ผลผลิตสูงสุด ถ้ามีความเข้มแสงที่พอเพียงจะทำให้ข้าวโพดลูกผสมสายพันธุ์ใหม่มีผลผลิตต่อพื้นที่สูงกว่าข้าวโพดลูกผสมสายพันธุ์เก่า ส่วนถั่วเหลืองเมื่ออยู่ภายในสภาพที่มีความเข้มของแสงสูงจะให้อัตราการสะสมน้ำหนักรากสูงสุด เมื่อมีค่าดัชนีพื้นที่ใบประมาณ 5-6 และภายใต้สภาพความเข้มของแสงต่ำลดลงเหลือประมาณ 3-5 (Whigham and Joseph, 1973) Shible and Weber (1965) พบว่าถั่วเหลืองพันธุ์ Hawkeys มีค่าดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมเท่ากับ 3.2 ซึ่งจะทำให้น้ำหนักรากสูงสุด และเมื่อค่าดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นไปอีกน้ำหนักรากของถั่วเหลืองไม่ได้ลดลงแต่อย่างใด ในถั่วใบกว้างทั่วไป critical leaf area index มีค่าประมาณ 3.0-3.5 และอาจถึง 5 ได้ในถั่วมะแฮะ (Lawn and Williams, 1986) Williams and Joseph (1973) พบว่าถั่วลิสงให้ผลผลิตสูงจะมีค่าดัชนีพื้นที่ใบเท่ากับ 5.5 และค่าดัชนีพื้นที่ใบของถั่วลิสงที่วัดในช่วงเวลาเดียวกันจะแตกต่างกันในระหว่างพันธุ์ การที่พืชมีความสามารถในการรับแสงได้ดีนั้นนอกจากจะมีดัชนีพื้นที่ใบในระดับที่เหมาะสมแล้วต้องมีการกระจายตัว และการส่องผ่านของแสงในทรงพุ่มได้ดีด้วย จากรายงานของ Johnston, Pendleton, Peters and Hicks (1969) พบว่าการเพิ่มแสงในใบล่าง และชั้นกลางทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 17 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นที่ได้รับแสงปกติ ซึ่งรายงานดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Shaw and Weber (1967) ที่พบว่าพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงมักเป็นพันธุ์ที่มีการส่องผ่าน และมีการกระจายของแสงในทรงพุ่มอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งพืชมีพื้นที่ใบรับแสงมากขึ้นส่งผลทำให้การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นตามด้วย การกระจายแสงในทรงพุ่มของพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน (Larcher, 1980) ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะทรงพุ่ม รูปร่างของใบ และการจัดเรียงตัวของใบ ภายในทรงพุ่ม ในพืชที่มีลักษณะทรงพุ่มที่มีลักษณะใบตั้งตรงทำมุมกับแนวนอนมาก เช่นพืชตระกูลหญ้า จะมีการส่องผ่าน และกระจายของแสงในทรงพุ่มดีกว่าในพืชที่มีลักษณะใบแผ่ราบ อภิพรพรณ พุกภักดี (2546) พบว่าพืชที่มีรูปใบแคบ มุมใบตั้งชันสามารถส่องผ่านไปยังใบล่างดีกว่า พันธุ์ที่มีมุมใบในแนวนอน ใบแต่ละชั้นในทรงพุ่มมีการรับแสงไม่เท่ากัน ใบที่ชั้นบนสุดจะรับแสงได้มากที่สุด และการรับแสงของใบล่าง ๆ ก็จะลดหลั่นลงไปตาม Lambert Beer Law (เฉลิมพล แซมเพชร, 2542)

$$I = I_0 e^{-kLAI}$$

เมื่อ	I	คือ	ความเข้มแสงที่ตำแหน่งของชั้นใบที่ต้องการวัด
	I_0	คือ	ความเข้มแสงที่ตำแหน่งเหนือทรงพุ่ม
	E	คือ	ฐานของ logarithm (2.71828)
	K	คือ	สัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสง
	LAI	คือ	ดัชนีพื้นที่ใบจากยอดพืชถึงตำแหน่ง I

จากสมการจะเห็นว่า การส่องผ่านของแสงในทรงพุ่มขึ้นกับค่า LAI และ k ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่านของแสงขึ้นกับลักษณะรูปร่างใบ เช่น มุมใบ ขนาดใบ คุณสมบัติการสะท้อน และดูดกลืนแสงของใบ และการจัดเรียงตัวของใบในทรงพุ่ม จากการศึกษาของ Brown (1984) พบว่า พืชที่ทำมุม 30, 40, 60 และ 80 องศา กับแนวราบให้ค่า k เท่ากับ 1.5, 1.0, 0.5 และ 0.1 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพืชที่มีใบตั้งนั้นมีประสิทธิภาพการส่องผ่านของแสงในทรงพุ่มดีกว่ามุมใบในแนวนอน จากการศึกษาของ Shaw and Weber (1967) พบว่าในพันธุ์ใบกว้างแสงที่ส่องลงมา 80-90 เปอร์เซ็นต์ จะถูกรับไว้โดยใบบนสุด ในขณะที่พันธุ์ใบแคบ และใบเล็กมีการส่องผ่านของแสงไปยังใบล่างได้ดี จะเป็นประโยชน์มากสำหรับพืชที่มีดัชนีพื้นที่ใบสูง (Williams and Joseph, 1973) ภายใต้อากาศที่มีแสงเต็มที่ พืชที่มีมุมใบตั้งตรงจะมีประสิทธิภาพในการรับแสง หรือการใช้แสงต่อพื้นที่สูงกว่าพืชที่มีมุมใบแนวนอนถึง 4.5 เท่า ทั้งนี้เพราะมีการบังแสงซึ่งกันและกัน ใบที่ตั้งตรงมีน้อยกว่าพืชที่มีมุมใบในแนวนอน อย่างไรก็ตามถ้าดัชนีพื้นที่ใบต่ำที่แผ่ราบจะมีประสิทธิภาพการรับแสงสูงกว่าใบที่ตั้งตรงเมื่อเปรียบเทียบต่อหน่วยพื้นที่ใบ (Halley, 1982)

2.5 ดัชนีการเก็บเกี่ยวกับการประเมินผลผลิตของพืช

ผลผลิตในพืชแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผลผลิตทางชีวภาพ (biological yield) และผลผลิตทางเศรษฐกิจ (economic yield) พืชเจริญเติบโตขึ้นมาทั้งต้น หรือ ทุก ๆ ส่วนของต้นพืชนั้น มาจากผลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง ถึงแม้พืชจะเจริญเติบโตมาจากเมล็ด แต่เมล็ดก็เป็นผลเนื่องจากการเจริญเติบโต อันเนื่องมาจากการสังเคราะห์แสงของพันธุ์พ่อแม่ และอาหารสำรองของเมล็ดทำให้เกิดการพัฒนาของต้นพืชที่สร้างรากเพื่อดูดซับธาตุอาหารในดินไปสู่ใบ เพื่อที่ใบพืชจะได้ใช้ธาตุอาหารเหล่านั้นในการสังเคราะห์แสง ผลที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงทำให้เกิดชีวมวล (biomass) หรือผลผลิตทางชีวภาพ (biological yield) หรือบอกได้ในรูปของน้ำหนักแห้ง (total dry matter) ส่วนหนึ่งของผลผลิตทางชีวภาพจะกลายเป็นผลผลิตทางเศรษฐกิจ (economic yield) คือส่วนของพืชที่มนุษย์นำไปใช้ประโยชน์ เพื่อนำไปบริโภค สำหรับ ข้าวโพดและถั่วเหลือง

ได้แก่ เมล็ด สัดส่วนหรือดัชนีของปริมาณของผลผลิตทางเศรษฐกิจ ที่มาจากผลผลิตทางชีวภาพของพืชไร่ ได้แก่ ดัชนีการเก็บเกี่ยว (harvest index ; HI) โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้ (Nichiporovich, 1960 อ้างถึงใน อภิพรรณ พุกภักดี, 2546)

$$\text{ดัชนีการเก็บเกี่ยว} = \frac{\text{ผลผลิตทางเศรษฐกิจ}}{\text{ผลผลิตทางชีวภาพ}}$$

หรือเมื่อต้องการคำนวณผลผลิตพืช ก็สามารถนำดัชนีการเก็บเกี่ยวไปคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$\text{ผลผลิตทางเศรษฐกิจ} = \text{ดัชนีการเก็บเกี่ยว} \times \text{ผลผลิตทางชีวภาพ}$$

ดังนั้นดัชนีเก็บเกี่ยวจึงหมายถึง สัดส่วนของผลผลิตทางชีวภาพที่กลายมาเป็นผลผลิตทางเศรษฐกิจ เป็นสิ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการลำเลียง และถ่ายทอดสารที่เกิดจากระบวนการสังเคราะห์แสงยังสัดส่วนหรือปริมาณของผลผลิตทางชีวภาพจะเปลี่ยนแปลงมาเป็นผลผลิตมากขึ้นเท่าใด ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวก็จะเพิ่มขึ้น ผลผลิตของพืชก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าผลผลิตจะเพิ่มสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยสาเหตุ 2 ประการ ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของผลผลิตทางชีวภาพ หรือน้ำหนักแห้ง และการเพิ่มปริมาณของผลผลิตทางชีวภาพ เพื่อให้สัดส่วนของผลผลิตทางเศรษฐกิจมีเพิ่มขึ้น เพราะเมื่อผลผลิตทางเศรษฐกิจมีเพิ่มขึ้นแล้ว ผลผลิตของพืชก็สูงขึ้นไปพร้อม ๆ กัน ดัชนีการเก็บเกี่ยวเป็นลักษณะทางพันธุกรรม ซึ่งแปรผันตามสภาพแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามพันธุ์ที่มี ดัชนีการเก็บเกี่ยวสูง หรือได้รับการปรับปรุงพันธุ์จนมีดัชนีเก็บเกี่ยวสูง สภาพแวดล้อมจะไม่มีผลกระทบมากนัก ยกเว้นในกรณีสภาพแวดล้อมนั้นแปรผันอย่างรุนแรง (เฉลิมพล แซมเพชร, 2542)

2.6 กล้องดิจิทัล

2.6.1 หลักการทำงานของกล้องดิจิทัล

กล้องดิจิทัลมีส่วนประกอบ และหลักการทำงานคล้ายกล้องที่ใช้ฟิล์มทั่วไป มีเลนส์ที่ทำด้วยแก้วเลนส์ที่ออกแบบเพื่อการรับแสงที่ผ่านเข้ามา มีรูรับแสงขนาดใหญ่ และเล็ก เพื่อควบคุมปริมาณของแสง มีตัวรับภาพเรียกว่า เซนเซอร์ (image sensor) ทำหน้าที่ในการให้แสงตกกระทบแทนฟิล์ม และมีชัตเตอร์ทำหน้าที่ในการควบคุมการเปิด-ปิด หน้ากล้องเพื่อกำหนดระยะเวลาในการรับแสง หลักการทำงานของกล้องดิจิทัล คือเมื่อแสงตกกระทบที่วัตถุ จะสะท้อนเข้ามายังเลนส์ของกล้องดิจิทัล เลนส์จะทำหน้าที่รวมแสงที่สะท้อนแสงเข้ามาเพื่อส่งแสงเข้าไปที่ เซนเซอร์ ขณะที่แสงผ่านเข้ามายังเซนเซอร์ ส่วนของโฟโตไดโอด จะทำหน้าที่บันทึกแสงเหล่านั้น โดยจะเก็บรายละเอียด

ของแสงได้เพียงโทนขาวดำ (gray scale) ดังนั้นเมื่อการบันทึกแสงได้แสงสีออกมา จึงต้องนำฟิลเตอร์สี (color filter array) มาวางไว้บนเซนเซอร์ เพื่อให้แสงสีผ่านฟิลเตอร์นี้ ก็จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นสีที่ต้องการ จากนั้นเซนเซอร์ก็จะทำการแปลงให้เป็นสัญญาณภาพดิจิทัล และจะรวมแสงสีเหล่านั้น เพื่อเป็นไฟล์ดิจิทัลบันทึกเก็บไว้ (พิเชษฐ เพียรเจริญ, 2546)

2.6.2 ประเภทของเซนเซอร์

เซนเซอร์ถูกพัฒนาขึ้นตามการเติบโตของธุรกิจกล้องดิจิทัล ทำให้บรรดาผู้ผลิตเซนเซอร์พยายามสร้างเซนเซอร์ของตนให้โดดเด่นขึ้น โดยประยุกต์หลักการทำงานของเซนเซอร์ให้ทันสมัยมากขึ้น และเพิ่มความสามารถให้มากขึ้น (สุนันท์ อินทนิล, 2545) โดยมีประเภทของเซนเซอร์ดังนี้

2.6.2.1 Charge coupled device (CCD)

เป็นเซนเซอร์ที่ทำงานโดยการจับโฟตอนของแสงแล้วแปลงออกมาเป็นจุดพิกเซลของภาพด้วยการทำงานของโฟโตไดโอดที่อยู่บน CCD มีลักษณะเป็นตาราง (grid) ที่เรียงกันตามหลักการผสมสี มี 3 ประเภท คือ 1) CCD เป็น CCD ในแบบทั่ว ๆ ไปนิยมใช้มากที่สุด เนื่องจาก CCD นับเป็นมาตรฐานกลาง และสามารถถ่ายภาพได้ในคุณภาพที่น่าพอใจ 2) 4-color CCD เป็น CCD ของ บริษัท SONY ที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อปรับสีต้นของภาพให้ออกมาสมจริงมากยิ่งขึ้น โดยการเพิ่มสีใหม่เรียกว่า emerald ซึ่งเป็นสีที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติ ทำให้การรับแสงสีของสายตามนุษย์ที่มองไปยังภาพจะเห็นเป็นสีที่เหมือนธรรมชาติจริง และ 3) Super CCD เป็นเทคโนโลยีของบริษัท ฟูจิฟิล์ม ที่พลิกโฟโตไดโอดเฉียงขึ้นทำมุม 45 องศา และจัดรูปแบบจาก 4 เหลี่ยมเป็น 8 เหลี่ยม เรียงต่อกันคล้ายกับรังผึ้งเพื่อให้สามารถบันทึกข้อมูลได้เพิ่มขึ้นทั้งแนวนอน และแนวตั้ง (วีรนิช ทรพรทรา นนท์ และจุฑามาศ จิวสังข์, 2547)

2.6.2.2 Complementary metal-oxide semiconductor (CMOS)

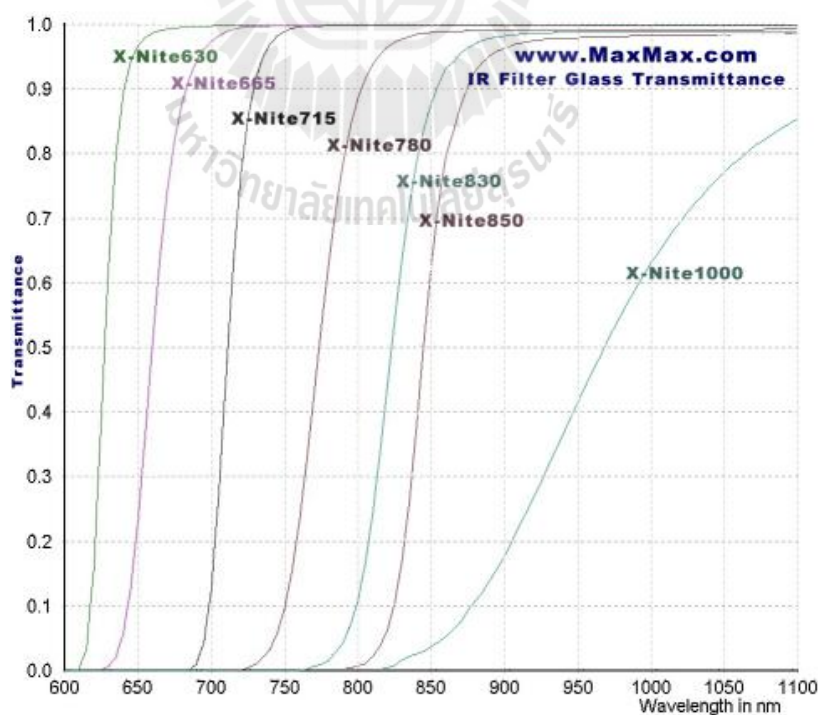
เป็นเซนเซอร์อีกประเภทหนึ่งที่มีมานาน ทำมาจาก metal-oxide (วีรนิช ทรพรทรา นนท์ และจุฑามาศ จิวสังข์, 2547) เป็นเซนเซอร์ที่ไม่นิยมมากนักเนื่องจากมีความไวแสงต่ำ และเกิดสัญญาณรบกวนในภาพมาก แต่ข้อดี คือชิพที่กินไฟต่ำ และราคาถูกสามารถนำไปสร้างให้มีขนาดใหญ่ได้ดี จึงมีบางบริษัทที่สนใจพัฒนาให้ดีขึ้น เช่น บริษัท แคนนอน ได้พัฒนา CMOS ให้เพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น โดยเพิ่มเทคโนโลยี digital signal processor (DSP) ทำให้ลดสัญญาณรบกวนลง (สุกสิทธ์ นาคเสน, 2546)

2.6.2.3 Foveon X3

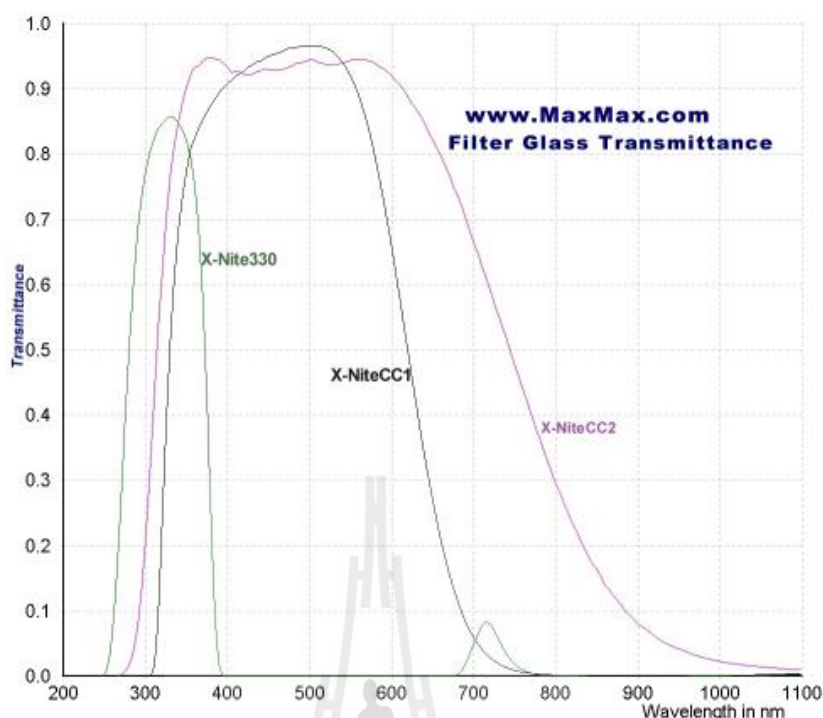
พัฒนาขึ้นโดย บริษัท Foveon ประกอบไปด้วยเซนเซอร์ที่สามารถรับแสงได้ทั้ง 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน ด้วยเซนเซอร์ชุดเดียว แต่แบ่งเป็น 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นจะทำหน้าที่รับแสงแต่ละสีไว้ จึงทำให้ภาพออกมามีความชัดกว่า CCD (Tarrant, 2007)

2.7 ฟิลเตอร์

ฟิลเตอร์มีลักษณะเป็นวัตถุโปร่งใสเล็กน้อย ผลิตจากแผ่นพลาสติก vinyl chloride ทำหน้าที่เป็นกระจกกรองแสงที่ช่วยในการเพิ่ม และลดน้ำหนักของแสง นอกจากนี้ฟิลเตอร์ยังช่วยเปลี่ยนความเข้มข้นของสีของวัตถุให้แปลกตาออกไป และทำให้ต่างออกไปจากธรรมชาติ สามารถเลือกใช้ฟิลเตอร์ ได้กับกล้องที่รองรับ กับการใช้ฟิลเตอร์เท่านั้น (วีรนิช ทรชรทรานนท์ และจุฑามาศ จิวสังข์, 2547) สำหรับฟิลเตอร์ ที่ยอมให้ช่วงคลื่นอินฟราเรดส่องผ่าน (ir pass filter) ที่ถูกกำหนดมาตรฐานโดย wratten number ชื่อนี้มาจากผู้ผลิตฟิลเตอร์ ของประเทศอังกฤษ ในปี ค.ศ.1870 ที่ชื่อ Frederick Charles Luther Wratten ซึ่งต่อมา บริษัท wratten ก็ถูกซื้อโดย บริษัท โกดัก ในปี ค.ศ.1920 (พิธาน สิงห์เสนห์, มปป) ตัวอย่างของฟิลเตอร์ที่ยอมให้ช่วงคลื่นอินฟราเรดส่องผ่านมีดังนี้ R72 เป็นฟิลเตอร์ที่มีจุดตัดที่ 720 นาโนเมตร ทำให้ใช้งานได้กับกล้องดิจิทัลส่วนใหญ่ หรือ 87 เป็น IR Pass Filter ที่มีดีกว่า R72 นับว่าเป็นฟิลเตอร์ที่ไม่เหมาะสมกับกล้องดิจิทัลรุ่นใหม่ๆ เนื่องจากกล้องรุ่นใหม่ ๆ จะมีความไวต่ออินฟราเรดน้อยลง และ 1000 เป็นฟิลเตอร์ที่มีดที่สุด อาจจะทำให้เกิดปัญหาการโฟกัส (Eric, 1999) ได้มีการผลิตฟิลเตอร์ชนิดใหม่โดย MAXMAX (2004) ได้ผลิตฟิลเตอร์อินฟราเรด ที่มีจุดตัดที่ 630, 665, 715, 780, 830, 850 และ 1000 นาโนเมตรดังรูป 2.4 และฟิลเตอร์ที่กันเพื่อไม่ให้แสงที่อยู่ในช่วงคลื่นแสงอินฟราเรดผ่านเข้ามามีดังรูป 2.5



รูปที่ 2.4 จุดตัดของฟิลเตอร์ช่วงคลื่นอินฟราเรด (MAXMAX, 2004)



รูปที่ 2.5 จุดตัดของฟิลเตอร์ที่กันช่วงคลื่นอินฟราเรด (MAXMAX, 2004)

2.8 การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลที่ติดตั้งฟิลเตอร์

ได้มีการถ่ายภาพโดยใช้ฟิลเตอร์อินฟราเรดโดยใช้ฟิล์มชนิดพิเศษ ที่มีความไวเชิงคลื่น (spectral sensitivity) แตกต่างกัน ฟิล์มอินฟราเรดขาวดำ มีความไวเชิงคลื่น ถึงช่วงอินฟราเรดใกล้ ส่วนฟิล์มสีอินฟราเรด มีความไวต่อสามช่วงคลื่น เนื่องจากมีชั้นของอิมัลชัน 3 ชั้น ฟิล์มนี้สามารถนำไปใช้ในการชันสูตร การสำรวจทางอากาศของป่าไม้ และพืช รวมถึงการปรับปรุงและการพิสูจน์ภาพวาด (พิธาน สิงห์เสนห์, มปป) ในปัจจุบันนี้กล้องดิจิทัลมีแนวโน้มที่มีราคาลดลง และยังมีความสะดวกสบายในการที่สามารถเห็นผลของการถ่ายภาพทันที อย่างไรก็ตามกล้องดิจิทัล โดยทั่วไป ไม่ได้ออกแบบมาสำหรับถ่ายภาพช่วงอินฟราเรดใกล้ ถ้าปราศจากฟิลเตอร์อินฟราเรด เช่น เซอร์ก็ไม่สามารถแสดงภาพถ่ายที่ถูกบันทึกในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ได้ หรือถ้าฟิลเตอร์สามารถกันไม่ให้แสงที่ต่ำกว่า 700 นาโนเมตร กล้องดิจิทัลที่ไม่มีความไวต่อช่วงอินฟราเรดใกล้ก็ไม่สามารถบันทึกภาพถ่ายได้ อย่างไรก็ตามกล้องดิจิทัลในปัจจุบันจะมีเซนเซอร์ที่สามารถบันทึกคลื่นอินฟราเรดใกล้ คือมีความไวไปถึงประมาณ 1,000 นาโนเมตร ทำให้เราสามารถนำกล้องดิจิทัลบันทึกภาพอินฟราเรดได้ นอกจากนี้กล้องดิจิทัลในปัจจุบันก็ให้รายละเอียด และความคมชัดสูงขึ้นมา การถ่ายภาพอินฟราเรดด้วยกล้องดิจิทัลจึงเป็นที่น่าสนใจ (Eric, 1999) วัตถุจะมีความสว่างมากหรือน้อย ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ขึ้นกับค่าการสะท้อน เช่น ใบไม้ จะมีค่าการสะท้อนสูง ทำให้มีสีเกือบขาวหรือ

ขาว ในขณะที่น้ำมีค่าการสะท้อนต่ำ ทำให้มีสีค่อนข้างดำหรือดำ เสื้อผ้าสีต่าง ๆ จะสะท้อนแสงอินฟราเรดใกล้ได้ดีพอ ๆ กัน โดยไม่ขึ้นกับสีของผ้า ทำให้เราเห็นผ้าสีต่าง ๆ เป็นสีเกือบขาวทั้งหมดเงาสะท้อนของสิ่งต่าง ๆ บนผิวน้ำ จะถูกตัดออก ทำให้เหลือเฉพาะเงาของวัตถุในย่านอินฟราเรดใกล้ซึ่งจะมองเห็นได้ชัดเจนมาก (พิธาน สิงห์เสนห์, มปป) จากการศึกษาของ Hao (2004) ได้ศึกษาความน่าจะเป็นของการประยุกต์ใช้ฟิลเตอร์อินฟราเรดกับกล้องดิจิทัล เพื่อใช้เป็นภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นในลักษณะเลียนแบบภาพถ่ายดาวเทียม หรือภาพถ่ายทางอากาศ พบว่าสมารถที่จะนำภาพถ่ายดิจิทัลไปประมวลผลในลักษณะใกล้เคียงแบบภาพถ่ายดาวเทียม หรือภาพถ่ายทางอากาศ

2.9 การสำรวจระยะไกล

การสำรวจจากระยะไกล เป็นศาสตร์ และศิลปศาสตร์ของการได้มาของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัตถุพื้นที่ หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากเครื่องมือที่ดำเนินการโดยไม่ต้องสัมผัสกับสิ่งต่าง ๆ เหล่านั้น (Lillesand and Kiefer, 1994) เราสามารถหาชนิดของวัตถุได้จากลักษณะการสะท้อนหรือการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุนั้น ๆ นั่น คือวัตถุแต่ละชนิดจะมีลักษณะการสะท้อนแสงหรือการแผ่รังสีที่มีลักษณะเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปถ้าวัตถุหรือสภาพแวดล้อมเป็นคนละประเภทกัน การสำรวจระยะไกลจึงเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจำแนก และเข้าใจวัตถุหรือสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จากลักษณะเฉพาะตัวในการสะท้อนแสงหรือการแผ่รังสี โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเป็นสื่อของการได้มาของข้อมูลที่มี 3 ลักษณะคือ ช่วงคลื่น(spectral) รูปทรงสัณฐานของวัตถุบนพื้นโลก(spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา(temporal) ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญของการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลคือคลื่นแสงที่เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์หรือพลังงานจากตัวเอง (สุรัชย์ รัตนเสริมพงศ, 2536)

2.10 ประเภทของข้อมูลดาวเทียม

ลักษณะของข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์มีอยู่ 2 ประเภท คือ ข้อมูลในลักษณะรูปถ่าย และข้อมูลในลักษณะข้อมูลภาพเชิงตัวเลข สิ่งที่น่าสนใจในข้อมูลทั้งสองรูปแบบก็คือ ระดับการสะท้อนแสงหรือการแผ่รังสีของสิ่งปกคลุม และพื้นผิวต่าง ๆ ของโลกตามสภาพความเป็นจริง ซึ่งตรวจวัดได้ด้วยอุปกรณ์สำรวจ

2.10.1 ข้อมูลในลักษณะรูปถ่าย

ในการบันทึกสัญญาณภาพจากดาวเทียมโดยสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินนั้นสัญญาณภาพที่ได้รับจะเปลี่ยนเป็นตัวเลขแล้วบันทึกลงเทปความหนาแน่นสูงเพื่อถ่ายทอดเป็นข้อมูลรูปถ่ายหรือข้อมูลเชิงตัวเลขภายหลัง ในการผลิตข้อมูลรูปถ่ายข้อมูลตัวเลขจะเปลี่ยนเป็น

ระดับสีเทาแล้วบันทึกลงบนฟิล์มต้นฉบับเพื่อนำไปอัดขยายให้อยู่ในลักษณะตามความต้องการของผู้ใช้ต่อไป รูปถ่ายแต่ละช่วงคลื่นของการถ่ายภาพจึงอยู่ในลักษณะภาพขาว-ดำ โดยมีระดับสีเทาเป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าการสะท้อนแสงจากสีขาว ซึ่งแสดงค่าการสะท้อนมากจนถึงสีดำหรือดูดซับมาก การทำภาพสีจะเป็นการเน้นภาพ สามารถทำได้โดยการให้สีแต่ละช่วงคลื่นเลียนแบบระบบธรรมชาติ แล้วนำภาพที่ให้แสงสีแล้วนี้มารวมกันอย่างน้อย 3 ภาพ จึงเกิดภาพสีผสมขึ้น โดยปกตินิยมใช้แสงสีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง สำหรับช่วงคลื่นสั้นและยาวตามลำดับของแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นจนถึงอินฟราเรด (ธงชัย สิมกิ้ง, 2536)

2.10.2 ข้อมูลเชิงตัวเลข

หมายถึง กลุ่มของพื้นที่ย่อย ๆ ที่ถูกแบ่งออก และแทนที่ด้วยค่าจำนวนเต็มของความเข้มเฉลี่ย ณ ตำแหน่งศูนย์กลางของพื้นที่นั้น ๆ การแบ่งภาพออกเป็นกลุ่มของพื้นที่ย่อย ๆ นี้ เรียกว่าการสุ่มตัวอย่าง พื้นที่ย่อย ๆ แต่ละพื้นที่เรียกเป็นจุดภาพ (pixel) ภาพเชิงตัวเลขมีการจัดเรียงตำแหน่งด้วยหมายเลขของจุดภาพ เริ่มจากซ้ายมาขวาและด้วยหมายเลขของจุดภาพจากบนลงล่าง (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540)

2.11 การสำรวจระยะไกลโดยภาพถ่ายทางอากาศ

ภาพถ่ายทางอากาศ เป็นการอาศัยการบินที่ภาพจากการสะท้อนคลื่นแสงของวัตถุหรือพื้นที่ต่าง ๆ ที่แสดงออกมาในลักษณะรูปร่างและสี (สุวิทย์ อ่องสมหวัง, 2538) โดยจำลองสภาพพื้นที่จริงที่ปรากฏอยู่ให้เล็กลงตามสัดส่วนที่ต้องการ เพื่อนำมาใช้ในการทำแผนที่โดยการศึกษาจากการแปลภาพ ตีความหมาย วิธีการถ่ายภาพในปัจจุบันก็โดยการใช้เครื่องบินชนิดที่สร้างขึ้นในงานนี้โดยเฉพาะ ในการถ่ายภาพให้ได้มาตราส่วนที่ต้องการนั้น ทำโดยอาศัยความสัมพันธ์ของปัจจัย 2 อย่าง คือ ความสูงของเครื่องบินขณะถ่ายภาพ (flying height) และความยาวของระยะปรับชัด (focal length) กล้องสำรวจทางอากาศบางที่รู้จักกันในชื่อว่า กล้องถ่ายภาพแบบเมตริก ซึ่งใช้ถ่ายรูปจากเครื่องบินหรือยานอวกาศ เพื่อทำแผนที่ภูมิประเทศโดยอาศัยการถ่ายภาพเหลื่อมภาพให้เกิดภาพสามมิติ (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540) รูปถ่ายทางอากาศที่ใช้กันแพร่หลายส่วนใหญ่แล้วจะบันทึกในช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ภาพดังกล่าวจะเป็นภาพถ่ายขาว-ดำ และเป็นแบบรูปถ่ายแนวตั้ง ซึ่งใช้ฟิล์มชนิดแพนโครมาติก นอกจากนี้แล้วจะมีภาพถ่ายในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้หรือภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นด้วย (ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, 2540) ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่ถูกต้อง ซึ่งได้มาอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีศักยภาพสำหรับให้ข้อมูลหรือรายละเอียดค่อนข้างดีเกี่ยวกับคุณสมบัติโครงสร้างของทรงพุ่ม (Parker and Higman, 1989) นอกจากนี้เหมาะสมในการนำมาใช้ประมาณความสูงของต้นไม้ เส้นผ่าศูนย์กลางของทรงพุ่ม (Avery and Berlin, 1992)

2.12 การสำรวจระยะไกลจากดาวเทียม LANDSAT

ดาวเทียม LANDSAT เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลก ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรรอบโลกครั้งแรก เมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม 2515 วงโคจรดาวเทียม LANDSAT ในยุคแรกโคจรสูง 705 กิโลเมตร วงโคจรแบบสัมพันธ์กับดาวอาทิตย์ (sun synchronous orbit) และกึ่งหมุนเวียนกลับมาที่เดิม โคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรเวลา 09.39 นาฬิกา โคจรกลับมาที่เดิมในเวลา 16 วัน ความกว้างของแนวถ่ายภาพ 185 กิโลเมตร เครื่องวัด (กล้องบันทึกภาพ) เครื่องวัดมี 2 ชนิด ซึ่งเป็นเครื่องกวาดภาพแบบกลเชิงแสง คือระบบ Multi-spectral Scanner (MSS) คือ ระบบกวาดภาพหลายช่วงคลื่น จำนวน 4 ช่วงคลื่น มีรายละเอียด 80 เมตร และระบบ thematic mapper (TM) จำนวน 7 ช่วงคลื่น มีรายละเอียด 30 เมตร (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540) นอกจากนี้สถานีชันติสมบูรณ (2539) กล่าวว่าภาพจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากร เป็นภาพที่มีลักษณะพิเศษตามคุณสมบัติของดาวเทียมที่ใช้ในการสำรวจข้อมูลระยะไกล คือ การบันทึกข้อมูลเป็นบริเวณกว้าง (synoptic view) ทำให้ได้ข้อมูลในลักษณะที่ต่อเนื่อง การบันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่น (multispectral) ทั้งในช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น และช่วงคลื่นนอกเหนือสายตามนุษย์ การบันทึกภาพบริเวณเดิม (repetitive coverage) ทำให้ได้ข้อมูลบริเวณเดียวกันสามารถนำมาเปรียบเทียบและติดตามการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในพื้นโลกได้เป็นอย่างดี รวมทั้งสามารถให้รายละเอียดหลายระดับ ทำให้นำมาใช้ศึกษาในด้านต่าง ๆ บนพื้นโลกได้เป็นอย่างดีตามวัตถุประสงค์ และให้ภาพสีผสม (false color composite) สามารถนำมาซ้อนทับกันได้ครั้งละหลาย ๆ ช่วงคลื่น

2.13 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ถนนศรี (2536) กล่าวว่าเตรียมข้อมูลเบื้องต้นในการประมวลผลข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมประกอบด้วย

2.13.1 การเลือกช่วงคลื่นและจำนวนช่วงคลื่น

โดยที่ค่าความเข้มของวัตถุในแต่ละช่วงคลื่นจะไม่เหมือนกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูล thematic mapper ซึ่งมี 7 ช่วงคลื่น ดังนั้นการเลือกใช้ช่วงคลื่นและจำนวนช่วงคลื่นที่เหมาะสมจะช่วยให้การวิเคราะห์ มีความถูกต้องและใช้เวลาคอมพิวเตอร์ไม่มาก เช่น การศึกษาด้านการใช้ที่ดินปกติจะใช้ 3 หรือ 4 แบนด์ เช่น แบนด์ 2, 3 และ 4 ส่วนการศึกษาทางด้านชนิดป่าจะใช้ แบนด์ 4, 5 และ 3 เป็นหลัก

2.13.2 การแสดงผลภาพ

เป็นการเรียกข้อมูลจากเทปข้อมูลคอมพิวเตอร์ (C.C.T.) ซึ่งอยู่ในรูปของข้อมูลตัวเลขมาแสดงเป็นภาพ ในปัจจุบันการแสดงผลภาพสามารถแสดงผลออกมาทางจอภาพ โดยการเปลี่ยนค่าตัวเลขในแต่ละช่วงมาเป็นค่าความเข้มของแสงเป็นภาพขาว-ดำได้พร้อมกัน 3 แบนด์

และให้ความเข้มของแสงเป็นสีต่าง ๆ กัน (สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน) ในแต่ละแบนด์ แล้วนำข้อมูลมาซ้อนเข้าด้วยกันทำให้เกิดภาพสีผสมขึ้น (color composite) สำหรับภาพสีผสมที่นิยมใช้ คือภาพสีผสมเท็จ (false color composite) ซึ่งพืชพรรณจะมีสีแดง

2.13.3 การคัดเลือกช่วงคลื่นเพื่อศึกษาพืชพรรณ

Slater (1980) พบว่าข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับจากดาวเทียมที่ใช้ในการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ LANDSAT ระบบ TM ประกอบด้วยข้อมูลจำนวน 7 ช่วงคลื่น โดยมีรายละเอียดของข้อมูล และการประยุกต์ใช้ซึ่งสรุปได้ดังนี้

2.13.3.1 แบนด์ 1

ความยาวคลื่นระหว่าง 400-520 นาโนเมตร (สีน้ำเงิน) โดยมีความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดในช่วงคลื่นนี้จะตอบสนองคลื่นสูงสุด ค่าการผ่านของคลื่นแสงของน้ำที่ใส ส่วนความยาวคลื่นที่ยาวที่สุดของช่วงคลื่นนี้จะตอบสนองการดูดซับของคลอโรฟิลล์สีน้ำเงิน สำหรับความยาวคลื่นที่น้อยกว่า 450 นาโนเมตร จะเป็นช่วงคลื่นที่มีการแพร่รังสีของผิวดินลดลง เนื่องจากการกระจัดกระจายและการดูดซับพลังงานในชั้นบรรยากาศ ช่วงคลื่นสีน้ำเงินในระบบ TM นี้สามารถจำแนกไม้ตระกูลสนได้ดีกว่าช่วงคลื่นที่ใช้ในดาวเทียม LANDSAT-1, 2 และ 3

2.13.3.2 แบนด์ 2

ความยาวคลื่นระหว่าง 520-600 นาโนเมตร (สีเขียว) ความยาวคลื่นช่วงนี้ครอบคลุม 2 บริเวณของการดูดซับพลังงานโดยคลอโรฟิลล์ซึ่งตอบสนองเกี่ยวกับความเขียวของพืชที่สมบูรณ์ จากรายงานพบว่าการทำสัดส่วน ระหว่างข้อมูลจากช่วงคลื่นสีน้ำเงินและช่วงคลื่นสีเขียวของแหล่งน้ำสามารถใช้ในการประเมินหาปริมาณการละลายของอินทรีย์วัตถุและปริมาณแพลงตอนในน้ำได้

2.13.3.3 แบนด์ 3

ความยาวคลื่นระหว่าง 630-690 นาโนเมตร (สีแดง) ในช่วงคลื่นนี้ จะครอบคลุมบริเวณการดูดซับพลังงานแสงจากคลอโรฟิลล์แดง ในการกำหนดค่าความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดของช่วงคลื่นนี้ มีความสำคัญน้อยกว่าการกำหนดค่าความยาวคลื่นที่ยาวที่สุดของช่วงคลื่นนี้ ซึ่งจำเป็นต้องกำหนดค่าความยาวคลื่นให้น้อยกว่า 690 นาโนเมตร เหตุผลสำคัญคือการสะท้อนพลังงานแสงของพืชในช่วงคลื่นระหว่าง 680-750 นาโนเมตร มีรูปลักษณะของคลื่นแสงที่ไม่แน่นอนและความถูกต้องในการจำแนกพืชพรรณจะลดลง ช่วงคลื่นนี้นับว่าเป็นแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สายตามองเห็นซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์มากที่สุดในการจำแนกขอบเขตของที่ดิน ลักษณะของวัตถุบนพื้นโลกที่ปรากฏในภาพจะแตกต่างกันชัดเจน และอิทธิพลของหมอกแดงจากชั้นบรรยากาศมีน้อยกว่าแถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สายตามองเห็นในแถบอื่น ๆ ดังนั้นความเปรียบเทียบกับต่าง (contrast) และความชัด (resolution) ของข้อมูลจะมีอยู่สูงในช่วงคลื่นนี้

2.13.3.4 แบนด์ 4

ความยาวคลื่นระหว่าง 760-900 นาโนเมตร ค่าความยาวคลื่นต่ำสุดควรมากกว่า 750 นาโนเมตร ส่วนค่าความยาวคลื่นสูงสุดมิใช่เรื่องสำคัญนัก การทำสัดส่วนระหว่างแบนด์ 2 และ 4 จะให้ผลเกี่ยวกับปริมาณมวลชีวภาพของพืชสีเขียวและความชื้นในพืช ช่วงคลื่นนี้จะตอบสนองจุดสูงสุดการสะท้อนพลังงานคลื่นแสงที่เกิดจากพืช จึงนำข้อมูลในช่วงนี้มาใช้ในการตรวจสอบและประเมินผลทางด้านพืชพรรณ

2.13.3.5 แบนด์ 5

ความยาวคลื่นระหว่าง 1,550-1,750 นาโนเมตร ในช่วงคลื่นนี้การ สะท้อนคลื่นแสงของใบพืชจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณความชื้นในใบ โดยทั่วไปข้อมูลจากช่วงคลื่นนี้จะนำไปใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการตรวจสอบความเหี่ยวของพืชและการจำแนกความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ข้อมูลในความยาวช่วงคลื่นระหว่าง 1,550-1,750 นาโนเมตร สามารถใช้จำแนกความแตกต่างระหว่างเมฆ น้ำแข็งที่ปกคลุมผิวดิน และหิมะ นอกจากนี้เนื่องจากคุณสมบัติการดูดซับน้ำซึ่งมีสูงในช่วงคลื่นนี้จึงนิยมนำข้อมูลไปใช้ในการจำแนกพื้นดิน และน้ำออกจากกัน และวัดหาความชื้นในดินหลังจากฝนตกใหม่ ๆ

2.13.3.6 แบนด์ 6

ความยาวคลื่นระหว่าง 10,400-12,500 นาโนเมตร ข้อมูลในช่วงคลื่นนี้นำไปใช้ประโยชน์ ในด้านการจำแนกพืชพรรณและตรวจสอบความผิดปกติในพืช ในความยาวคลื่นแถบนี้พลังงานการแผ่รังสีจากพื้นผิวจะถูกบันทึกเอาไว้ตามคุณสมบัติการแผ่รังสี และอุณหภูมิของพื้นผิวของข้อมูล ในช่วงคลื่นนี้สามารถใช้หาตำแหน่งบริเวณที่มีความร้อนใต้ผิวดิน และการทดลองผลิตแผนที่ แสดงค่าความร้อนใต้ผิวดินและค่าความเฉื่อยของค่าความร้อน (thermal-inertia)

2.13.3.7 แบนด์ 7

ความยาวคลื่นระหว่าง 2,080-2,350 นาโนเมตร โดยข้อมูลในช่วงคลื่นนี้เหมาะสมกับการใช้จัดทำแผนที่ธรณีวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำแผนที่แสดงขอบเขตหินที่เกิดจากความร้อนของน้ำใต้ผิวดิน นอกจากนี้สามารถนำข้อมูลในช่วงคลื่นนี้ไปใช้ในการจำแนกพืชพรรณที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ได้

2.14 การสะท้อนช่วงคลื่นของพืชพรรณ

Lillesand and Kiefer (1994) กล่าวว่า การปรากฏให้เห็นภาพของวัตถุเกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนแสงของวัตถุ และสาเหตุที่ทำให้พืชปรากฏภาพที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของพืช เช่น การเรียงตัวของใบ รูปแบบของใบ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี ชนิดของดินและสภาพภูมิประเทศ ดังนั้นข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลที่ใช้สำหรับจุดประสงค์ทางด้าน

พืช เช่น ค่าดัชนีพื้นที่ใบ โครงสร้างป่า มวลชีวภาพของพืช โดยมากการหาช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการให้ข้อมูลของพืชพรรณมักจะนำช่วงคลื่นที่สายตามนุษย์มองเห็น กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาใช้ประโยชน์ ซึ่งพืชพรรณจะมีความแปรผันสูงระหว่างช่วงคลื่นสีแดงที่ถูกดูดกลืนมาก กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่มีการสะท้อนมาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2538) พบว่าในช่วงคลื่นที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า คลอโรฟิลของใบพืชดูดกลืนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 450 และ 650 นาโนเมตร สะท้อนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ตาของมนุษย์สามารถมองเห็นใบพืชสีเขียวเพราะใบพืชดูดกลืนแสงสีน้ำเงินและสีแดง และสะท้อนสีเขียว หากว่าใบพืชมีอาการผิดปกติ เช่นเหี่ยวแห้งหรือปริมาณคลอโรฟิลลดลง ทำให้การสะท้อนที่คลื่นสีเขียวลดลงปรากฏเป็นสีอื่นแทน ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ใบพืชจะสะท้อนพลังงานสูงประมาณร้อยละ 50 การสะท้อนพลังงานของพืชที่ความยาวคลื่นในช่วงอินฟราเรดใกล้ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของใบพืชที่แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ทำให้สามารถจำแนกชนิดของพืชได้ แม้ว่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชในช่วงคลื่นที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าจะใกล้เคียงกัน ในทำนองเดียวกันการสะท้อนพลังงานที่ความยาวคลื่นอินฟราเรดใกล้ของพืชที่มีอาการผิดปกติทางใบจะแตกต่างไปจากการสะท้อนที่ความยาวคลื่นเดียวกันของพืชที่สมบูรณ์ ในช่วงคลื่นที่มีขนาดสูงกว่า 1,300 นาโนเมตร พลังงานส่วนใหญ่ถูกดูดกลืนหรือสะท้อนโดยใบพืชแทบจะไม่มีที่ทะลุทะลวงมักพบค่าต่ำลงที่ 1,400, 1,900 และ 2,700 นาโนเมตร เพราะฉะนั้นในใบพืชจะดูดกลืนความยาวดังกล่าว เรียกว่า water absorption band และค่าสูงขึ้นที่ความยาวคลื่น 1,600 และ 2,200 นาโนเมตร ตลอดช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 1,300 นาโนเมตร ค่าการสะท้อนพลังงานของใบพืชแปรผกผันกับปริมาณน้ำทั้งหมดในใบพืช นอกจากนี้ Price and Bausch (1995) ยังพบว่าในช่วงคลื่นสีแดงและช่วงคลื่นอินฟราเรด เป็นช่วงคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพในการแสดงค่าดัชนีพื้นที่ใบได้ดี คลื่นสีแดงจะถูกดูดซับโดยคลอโรฟิลเป็นปริมาณมาก แหล่งพลังงานของช่วงอินฟราเรดจะกระจายและแผ่พลังงานรังสีได้สูงจากเรือนยอดโดยอิทธิพลของโครงสร้างภายในใบพืช ปกติแล้วค่าดัชนีพื้นที่ใบจะมีความสัมพันธ์มากในความแตกต่างระหว่างพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดและช่วงคลื่นสีแดง ที่แสดงค่าความแตกต่างเป็นตัวเลขความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นกับการปกคลุมของพืชพรรณมีหลายลักษณะ เช่น การทำอัตราส่วน (ratioing) เพื่อหาลักษณะทางธรณีวิทยา และการทำค่าดัชนีพืชพรรณ (normalized difference vegetation index ; NDVI) สำหรับการหาความแตกต่างของพืชพรรณ (vegetation monitoring) หรือเป็นช่วงบ่งชี้ถึงความหนาแน่นของมวลชีวภาพ ยิ่งค่าดัชนีพืชพรรณมีค่ามากก็จะมีค่าความหนาแน่นของพืชพรรณมาก (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540) การสร้างดัชนีพืชพรรณนั้นเป็นอัตราส่วนเชิงสเปกตรัม (spectral ratioing) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งของการเน้นข้อมูลภาพ (image enhancement) เพื่อปรับเปลี่ยนค่าของจุดภาพหรือค่าระดับสีเทาซึ่งบันทึกข้อมูลจากพื้นที่เพื่อให้ได้ข้อมูลค่าจุดภาพใหม่ที่จะให้มีความชัดเจนต่อการแปลภาพได้ตาม

วัตถุประสงค์ (ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, 2540) ปกติค่าดัชนีพืชพรรณ เป็นสมการอย่างง่ายที่ใช้ข้อมูลดาวเทียมสองช่วงคลื่น คือช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น (visible : VIS) และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (near infrared : NIR) ดังนั้นดัชนีพืชพรรณ คือ อัตราส่วนระหว่าง

$$\frac{\text{NIR} - \text{VIS}}{\text{NIR} + \text{VIS}}$$

สมการที่สร้างขึ้นทั้งหมดสร้างขึ้นจากช่วงคลื่นใหม่ของภาพที่บรรจุจุดภาพต่อจุดภาพ คือ ค่าดัชนีพืชพรรณของภาพ แต่โดยปกติค่าดัชนีพืชพรรณมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 และค่าของจุดภาพอื่นมีค่าเท่ากับ 8 บิต ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมีค่าอยู่ในช่วง 0-255 เนื่องจากดัชนีความเป็นพืชพรรณของพืชจะมีความสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ซึ่งสะท้อนอย่างมากในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ใบพืชสีเขียวมีการสะท้อนประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยในช่วง 500-700 นาโนเมตร (เขียวถึงแดง) และประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง 700-1,300 นาโนเมตร (อินฟราเรดใกล้) ซึ่งเห็นได้ชัดจากระดับชั้นบรรยากาศที่เหมาะสม แต่บางส่วนจะมีความแตกต่างตามการให้แสงสว่างและความลาดชันของพื้นผิว (Kidwell, 1990) นอกจากค่าดัชนีพืชพรรณแล้ว การวัดพืชพรรณในลักษณะต่าง ๆ มีการพัฒนาโดยอาศัยอัตราส่วนระหว่างแบนด์ (band ratioing) ในรูปของการบวก การลบ การคูณ การหาร และการผสมของการปฏิบัติการทั้ง 4 ข้างต้น เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นกับค่ามวลชีวภาพ ที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบันได้แก่

2.14.1 Ratio Vegetation Index (RVI)

ค่าอัตราส่วนพืชพรรณหรือเรียกว่าการหารแบบง่าย สมการคือ (Jordan, 1969)

$$\text{RVI} = \frac{\text{NIR}}{\text{RED}}$$

2.14.2 ดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index)

ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ซึ่งได้มีการพัฒนามาจากค่า RVI โดย Rouse, Haas, Schell and Deering (1973) อยู่ในรูปของสมการ

$$\text{NDVI} = \frac{\text{RVI} - 1}{\text{RVI} + 1} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

เมื่อ NIR คือ Near Infrared band
R คือ Red band

2.14.3 Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI)

ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย Crippen (1990) สมการที่ได้คือ

$$IPVI = \frac{NDVI - 1}{2} = \frac{NIR}{NIR + RED}$$

2.14.4 Difference Vegetation Index (DVI) (Lillesand and Kiefer, 1994)

$$DVI = NIR - Red$$

2.14.5 Global Environmental Monitoring Index (GEMI) (Leprieur, Verstraete, Pinty and Chehbouni, 1994)

$$GEMI = \eta(1 - 0.25 \times \eta) - \frac{RED - 0.125}{1 - RED}$$

เมื่อ

$$\eta = \frac{2(NIR^2 - RED^2) + (1.5NIR) + (0.5RED)}{(NIR + RED + 0.5)}$$

2.14.6 Green Vegetation Index (GVI)

พัฒนาโดย Jackson (1983) เพื่อใช้กับข้อมูลดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM จำนวน 6 แบนด์ ในรูปของสมการ

$$GVI = - (0.2848 \times TM1) - (0.2435 \times TM2) - (0.5436 \times TM3) + (0.7243 \times TM4) + (0.0840 \times TM5) - (0.1800 \times TM7)$$

ในขณะเดียวกัน Howard (1991) ก็ได้พัฒนารูปแบบของสมการเพื่อหาค่า GVI เช่นกัน โดยเขาสรุปว่า สมการที่นิยมนำมาศึกษาเกี่ยวกับพืชพรรณเพื่อประมาณค่าดังกล่าว จากช่วงคลื่นสีเขียว สีแดง และอินฟราเรดใกล้ สมการที่ได้คือ

$$GVI = -0.29 (\text{Green}) - 0.56 (\text{Red}) + 0.60 (\text{NIR}) + 0.49 (\text{NIR})$$

2.14.7 Transformed Normalized Difference Vegetation Index (TNDVI)

เป็นดัชนีที่ชี้วัดถึงปริมาณมวลชีวภาพสีเขียวและส่วนประกอบของคลอโรฟิลในพืช ซึ่งได้มีการบวก 0.5 ให้กับค่า NDVI เพื่อหลีกเลี่ยงค่าการติดลบและใช้การถอดรากที่สองกับค่าดังกล่าว (Howard, 1991) แสดงสมการ

$$TNDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} + 0.5 \right)^{\frac{1}{2}}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษาภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ทำการปลูกพืชทดลองเป็นระยะเวลา 2 ฤดูปลูก คือ ปลูกในปี พ.ศ. 2548 ระหว่างวันที่ 3 มิถุนายน-22 สิงหาคม พ.ศ. 2548 และปลูกในปี พ.ศ. 2549 ระหว่างวันที่ 5 มีนาคม-20 มิถุนายน พ.ศ. 2549 ในแปลงทดลองภายในฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีรายละเอียดดังนี้

ข้าวโพดที่ปลูกใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสมเดี่ยวพันธุ์สุวรรณ 4452 เป็นพันธุ์ที่พัฒนาขึ้นโดยนักวิชาการของศูนย์วิจัยข้าวโพดและข้าวฟ่างแห่งชาติ สถาบันอินทรีจันทร์สถิตย์เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เกิดจากการนำสายพันธุ์แท้ “เกษตรศาสตร์ 47 (Ki47)” ผสมกับสายพันธุ์แท้ “Kei0102” มีอายุวันสลัดละอองเกสร 50 เปอร์เซ็นต์ ใน 53 วัน วันออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ ใน 54 วัน ความสูงของต้น 214 เซนติเมตร ความสูงที่ออกฝักอยู่ระดับ 128 เซนติเมตร ด้านทานโรคราน้ำค้าง และด้านทานโรคทางใบได้ดี โดยเฉพาะโรครานิมมีเปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ด 81.9 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะใบของข้าวโพดพันธุ์นี้ ใบตั้ง สีเขียวเข้ม ลำต้นและช่อดอกตัวผู้มีสีม่วง มีระบบรากและลำต้นแข็งแรง มีเปลือกหุ้มฝักปิดมิดชิด เมล็ดสีส้มเหลืองหัวแข็ง ตรงความต้องการของตลาด ปลูกได้ทั้งในดินดำและดินแดง ในดินฤดูฝนและปลายฤดูฝน

ถั่วเหลือง ที่ปลูกใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ 5E ซึ่งเป็นพันธุ์อายุสั้น พัฒนาพันธุ์ขึ้นโดย รศ.ดร.สนิท ลวดทอง ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อ พ.ศ. 2534 เกิดจากการนำสายพันธุ์ นครสวรรค์ 1 (พันธุ์แม่) ผสมกับสายพันธุ์ มข.35 (พันธุ์พ่อ) มีอายุการออกดอก 34-37 วัน ความสูงของลำต้น 62-65 เซนติเมตร ด้านทานโรคใบจุดนูน ลักษณะใบใหญ่ ลำต้นแข็งแรง ไม่ทอดยอด เมล็ดใหญ่น้ำหนัก 100 เมล็ด 18.6 กรัม และมีจำนวนเมล็ดต่อฝักเท่ากับ 2.3

3.1.1 การปลูก

ข้าวโพด ปลูกระยะระหว่างแถวกว้าง 75 เซนติเมตร ระยะระหว่างหลุมภายในแถวห่างกัน 25 เซนติเมตร ถอนแยกเมื่ออายุ 20 วันหลังปลูกให้มีจำนวน 1 ต้นต่อหลุม

ถั่วเหลือง ก่อนการปลูกนำเมล็ดพันธุ์ อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่ คลุกกับไรโซเบียม 200 กรัม โดยใช้ น้ำตาลทราย 75 กรัม ละลายน้ำ 300 มิลลิลิตร เป็นสารยึดเกาะแล้วปลูกทันที โดยใช้ระยะปลูก 40 x 20 เซนติเมตร จำนวน 5 เมล็ดต่อหลุม ถอนแยกเมื่ออายุ 20 วันหลังปลูกให้เหลือ 2 ต้นต่อหลุม

3.1.2 การดูแลรักษา

ข้าวโพด ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กิโลกรัม/ไร่ รองกันร่องพร้อมปลูก และให้ปุ๋ยเคมีสูตร 21-0-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตร 46-0-0 อัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ โรยข้างแถวหลังปลูก 20-25 วัน แล้วพรวนดินกลบ ให้น้ำทุก 5 วัน

ถั่วเหลือง หว่านปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 อัตรา 30 กิโลกรัม/ไร่ พร้อมเตรียมดิน หรือปุ๋ยสูตร 12-24-12 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ โดยโรยข้างแถว เมื่อถั่วเหลืองอายุไม่เกิน 20 วันหลังปลูก ส่วนการให้น้ำนั้น ให้น้ำก่อนปลูก โดยให้น้ำจนกระทั่งดินอึดตัว แล้วระบายออกจากแปลงหลังจากนั้นให้น้ำทุก 7-15 วัน

3.1.3 การเก็บตัวอย่าง

ข้าวโพด เก็บตัวอย่างซ้ำละ 4 หลุม และกันพื้นที่ไว้สำหรับทำแถวป้องกัน (guard row) ซ้ำละ 1 แถว จากที่ข้าวโพดมีระยะปลูก 75×25 เซนติเมตร ดังนั้นพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างแต่ละซ้ำ $(75 \times 25 \times 5) = 0.94$ ตารางเมตร

ถั่วเหลือง เก็บตัวอย่างซ้ำละ 4 หลุม และกันพื้นที่ไว้สำหรับทำแถวป้องกัน (guard row) ซ้ำละ 1 แถว จากที่ถั่วเหลืองมีระยะปลูก 40×20 เซนติเมตร ดังนั้นพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างแต่ละซ้ำ $(40 \times 20 \times 5) = 0.4$ ตารางเมตร

3.1.4 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง

3.1.4.1 ฤดูปลูกปี พ.ศ. 2548 (เดือน มิถุนายน-สิงหาคม พ.ศ. 2548)

ข้าวโพดและถั่วเหลืองเก็บตัวอย่างในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น และช่วงเจริญพันธุ์ โดยข้าวโพดเก็บตัวอย่างเมื่ออายุพืช 35, 45, 55, 65 และ 80 วันหลังปลูก ในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง เก็บตัวอย่างครั้งละ 8 ซ้ำ

ส่วนถั่วเหลือง เก็บตัวอย่างเมื่ออายุพืช 25, 30, 40, 50, 60 และ 75 วันหลังปลูก จำนวนตัวอย่างเท่ากับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

3.1.4.2 ฤดูปลูกปี พ.ศ. 2549 (เดือนมีนาคม-มิถุนายน พ.ศ. 2549)

ข้าวโพด เริ่มเก็บตัวอย่างเมื่ออายุพืชได้ 30 วัน และเก็บตัวอย่างทุกสัปดาห์จนกระทั่งสัปดาห์ที่ 12 อายุเก็บตัวอย่างของข้าวโพด คือ 30, 37, 44, 51, 58, 65, 72, 79, 86, 93, 100 และ 107 วัน ในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง เก็บตัวอย่างครั้งละ 4 ซ้ำ

ถั่วเหลือง เริ่มเก็บตัวอย่างเมื่ออายุพืชได้ 30 วัน และเก็บตัวอย่างทุกสัปดาห์จนกระทั่งสัปดาห์ที่ 7 อายุเก็บตัวอย่างของข้าวโพด คือ 30, 37, 44, 51, 58, 65 และ 75 วัน ในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง เก็บตัวอย่างครั้งละ 4 ซ้ำ

3.1.5 การวัดน้ำหนักแห้ง

นำตัวอย่างพืช ทั้ง 2 ชนิด มาแยกใบ ลำต้น และฝัก นำตัวอย่างพืชทั้งหมด ชกเว้นใบ มาอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 2 ตำแหน่ง และคำนวณน้ำหนักเป็น กรัมต่อตารางเมตร

3.1.6 การวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ

นำตัวอย่างใบที่แยกออกมา คละเคล้ากันก่อนที่จะทำการสุ่มใบ 10 เปอร์เซ็นต์ ของ น้ำหนักสด เพื่อนำมาวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ DELTA-T IMAGE ANALYSIS SYSTEM DIAS II (Delta-T Device, 1990) จากนั้นนำใบสุ่ม และใบทั้งหมด อบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปคำนวณหาพื้นที่ใบทั้งหมด จากความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักแห้งใบสุ่ม กับพื้นที่ใบสุ่ม (specific leaf area) (Arias, Calvo-Alvarado, and Dohrenbusch, 2007) และนำไปหารด้วยพื้นที่ที่เก็บตัวอย่างก็ได้ค่าเป็น “ดัชนีพื้นที่ใบ” ดังสูตร

$$\text{ดัชนีพื้นที่ใบ} = \frac{\text{พื้นที่ใบสุ่ม}}{\text{น้ำหนักแห้งใบสุ่ม}} \times \text{น้ำหนักแห้งของใบทั้งหมด} \times \frac{1}{\text{พื้นที่ปลูก}}$$

3.1.7 คำนวณอัตราการเจริญเติบโตของพืช และดัชนีการเก็บเกี่ยว

การคำนวณอัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตารางเมตร/วัน) และดัชนีการเก็บเกี่ยว ของ ข้าวโพดและถั่วเหลือง ในปีเพาะปลูก พ.ศ. 2548 เพื่อนำไปประเมินผลผลิต และการเจริญเติบโต ใน ฤดูปลูก 2549 โดยใช้สูตร

$$\text{อัตราการเจริญเติบโต} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งช่วงเวลาสอง} - \text{น้ำหนักแห้งช่วงเวลาแรก}}{\text{ช่วงเวลาสอง} - \text{ช่วงเวลาแรก}} \times \frac{1}{\text{พื้นที่ปลูก}}$$

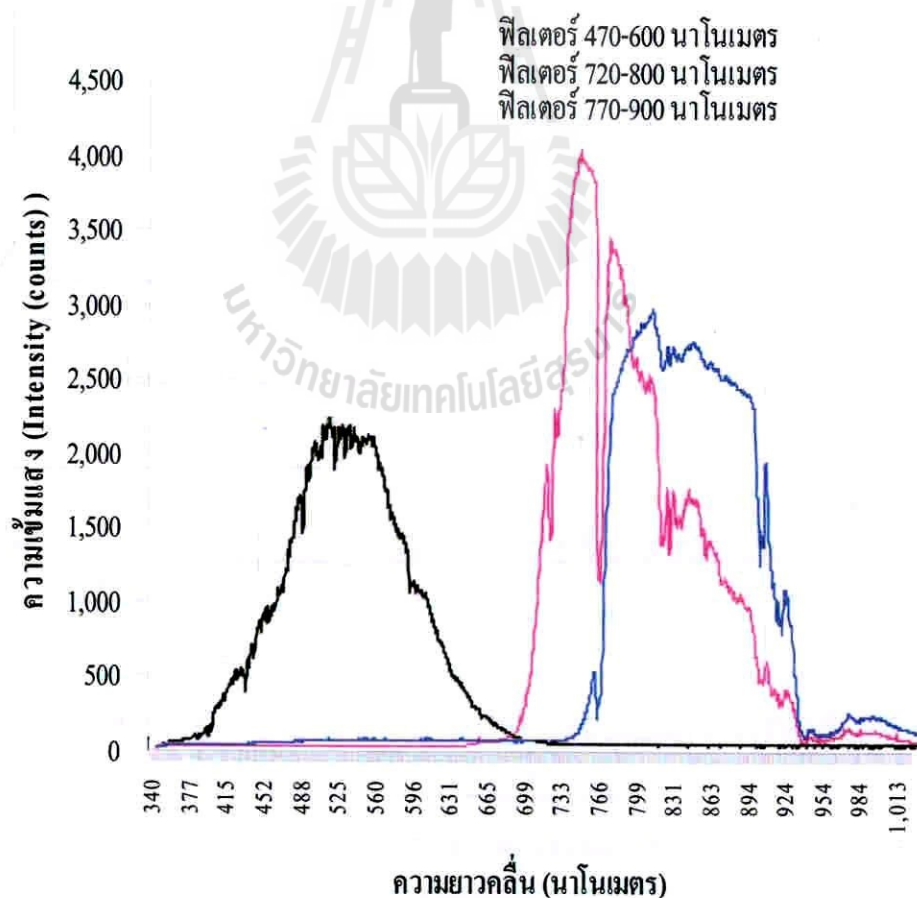
$$\text{ดัชนีการเก็บเกี่ยว} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งผลผลิต}}{\text{น้ำหนักแห้งทั้งหมด}}$$

3.1.8 การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล

การประเมินดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพดและถั่วเหลือง โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล SONY รุ่น CYBERSHOT F828 ซึ่งสามารถรับช่วงคลื่น ได้ตั้งแต่ 330-1,200 นาโนเมตร

3.1.8.1 ฟิลเตอร์

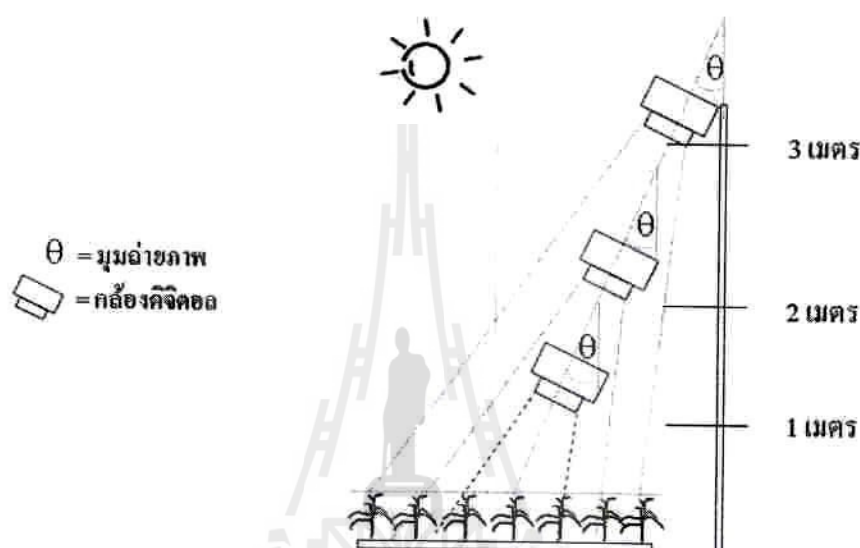
การถ่ายภาพข้าวโพดและถั่วเหลือง ในฤดูปลูกปี พ.ศ. 2548 ทำการติดตั้งฟิลเตอร์ที่กล้องดิจิทัล ชนิดที่รับแสงในช่วงคลื่น 470-600 และ 720-800 นาโนเมตร ส่วนฤดูปลูกปี พ.ศ. 2549 เพิ่มฟิลเตอร์ขึ้นมาอีกหนึ่งชนิด คือ ชนิดที่รับแสงในช่วงคลื่น 770-900 นาโนเมตร ในการทดสอบการส่องผ่านของแสงทั้ง 3 ฟิลเตอร์ ด้วยเครื่อง VIS/NIR portable spectrometer USB200 (Ocean Optics, 2005) และนับความเข้มของแสงผ่าน 50 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนหน่วยความเข้มแสง (intensity) พบว่าฟิลเตอร์ที่สามารถให้แสงที่ความเข้มแสง ในช่วงคลื่นที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า จะสามารถให้แสงส่องผ่าน 50 เปอร์เซ็นต์ของความเข้มแสงสูงสุด ได้ในช่วงคลื่นประมาณ 470-600 นาโนเมตร และมีค่าเฉลี่ย 535 นาโนเมตร ส่วนฟิลเตอร์ที่สามารถให้แสงที่ความเข้มแสงช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ส่องผ่านมี 2 ฟิลเตอร์ คือ ฟิลเตอร์ที่ให้แสงส่องผ่านในช่วง 720-800 นาโนเมตร มีค่าเฉลี่ย 760 นาโนเมตร และฟิลเตอร์ 770-900 นาโนเมตร มีค่าเฉลี่ย 835 นาโนเมตร ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ช่วงของคลื่นแสงที่ผ่านฟิลเตอร์ 470-600, 720-800 และ 770-900 นาโนเมตร

3.1.8.2 ระยะความสูงเหนือทรงพุ่มในการถ่ายภาพ

ในฤดูปลูกปี พ.ศ.2548 มีการกำหนดระยะในการถ่ายภาพ 3 ระยะ คือ 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม ดังรูป 3.2 เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาว่าผลของการเพิ่มระยะของการถ่ายภาพเหนือทรงพุ่ม มีผลอย่างไรต่อค่าของภาพจากกล้องดิจิทัลที่นำมาวิเคราะห์ ส่วนฤดูปลูกปี พ.ศ. 2549 ใช้ระยะถ่ายภาพ 1 เมตรเหนือทรงพุ่ม



รูปที่ 3.2 แสดงการครอบคลุมภาพของกล้องดิจิทัลเมื่อเพิ่มระดับความสูงของการถ่ายภาพ

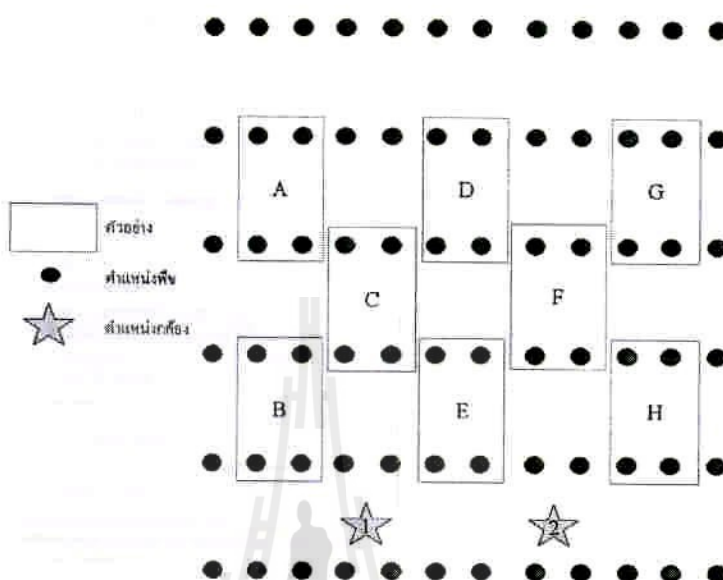
3.1.8.3 เครื่องมือที่วัดขณะถ่ายภาพ

ในฤดูปลูก พ.ศ. 2548 ขณะที่ทำการถ่ายภาพ วัดดัชนีพื้นที่ใบ ด้วยเครื่อง SUNSCAN (Delta-T Device, 1996) และในฤดูปลูก พ.ศ. 2549 เพิ่มเครื่องมือวัดขณะถ่ายภาพ คือ เครื่อง VIS/NIR portable spectrometer USB200 เพื่อนำวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN และเครื่องวัดดัชนีพื้นที่ใบอัตโนมัติ เพื่อนำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปใช้ในศึกษาในแปลงของเกษตรกร และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากภาพถ่ายดิจิทัล กับค่า การสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องวัดดัชนีพื้นที่ใบอัตโนมัติ

3.1.8.4 ตำแหน่งของการถ่ายภาพและเก็บตัวอย่าง

ในฤดูปลูก พ.ศ. 2548 ได้กำหนดสูงของกล้องในการถ่ายภาพ ดังรูปที่ 3.2 มีผลให้การครอบคลุมพื้นที่ของกล้องมากขึ้น จึงเก็บตัวอย่างข้อมูลพืชที่จุดตรงกลาง และขอบของภาพดังรูปที่ 3.3 เพื่อนำค่ามาวิเคราะห์ความแตกต่างของการสะท้อนแสงในแต่ละจุด ซึ่งสามารถเก็บตัวอย่างพืชได้ 8 ชุดตัวอย่าง โดยตัวอย่างข้อมูลพืชที่จุดตรงกลางมี 2 ชุด และจุดขอบมี 6 ชุด สำหรับ

ฤดูปลูกปี พ.ศ. 2549 เก็บตัวอย่างข้อมูลพืชเฉพาะจุดตรงกลาง ดังนั้นในปีเพาะปลูก 2548 ข้อมูลของการถ่ายภาพ ในแต่ละภาพประกอบด้วย ข้อมูลดังตารางที่ 3.1



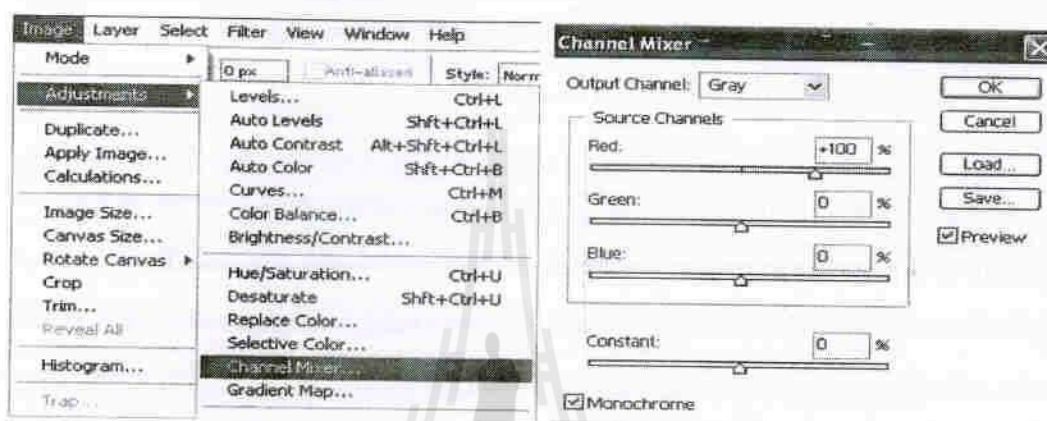
รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง จุดเก็บตัวอย่าง และตำแหน่งของกล้อง

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของการถ่ายภาพ

ลำดับที่	ความสูง (เมตร)	ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง	ฟิลเตอร์ (นาโนเมตร)
1	1	กลาง	535
2	1	กลาง	760
3	1	ขอบ	535
4	1	ขอบ	760
5	2	กลาง	535
6	2	กลาง	760
7	2	ขอบ	535
8	2	ขอบ	760
9	3	กลาง	535
10	3	กลาง	760
11	3	ขอบ	535
12	3	ขอบ	760

3.1.9 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพ

ทำการสุ่มภาพที่ตำแหน่งของถ่ายภาพในแต่ละฟิลเตอร์ และแปลงภาพเป็นภาพขาวดำด้วย โปรแกรม PHOTOSHOP เวอร์ชัน 7.0 (ปิยะ นากสงค์ และ พันธุ์วี วรสิทธิกุล, 2546) โดยใช้ชุดคำสั่ง Image ----> Adjustments ----> Channel Mixer ดังรูป 3.4 ก แล้ว ปรับ Out Channel เป็น Gray ดังรูป 3.4 ข

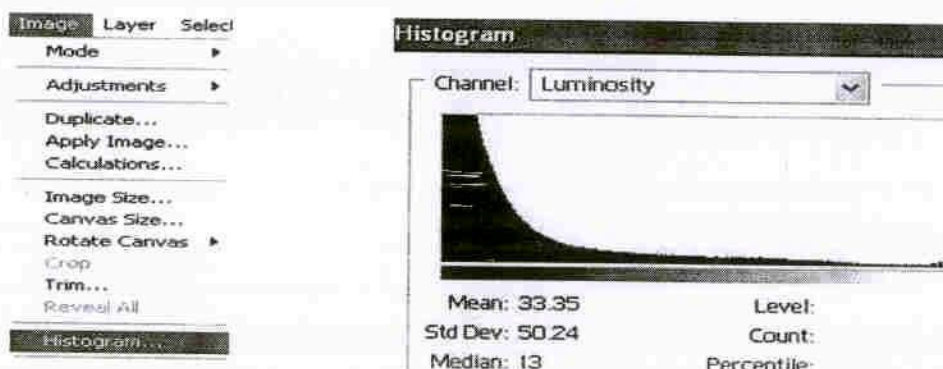


ก

ข

รูปที่ 3.4 ชุดคำสั่งแปลงภาพเป็นภาพขาวดำของโปรแกรม PHOTOSHOP

จากนั้นใช้โปรแกรมดังกล่าวตรวจสอบค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ โดยใช้ชุดคำสั่ง Image ----> Histogram ดังรูป 3.5 ก จะแสดงค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพดังรูป 3.5 ข



ก

ข

รูปที่ 3.5 ชุดคำสั่งตรวจสอบค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ

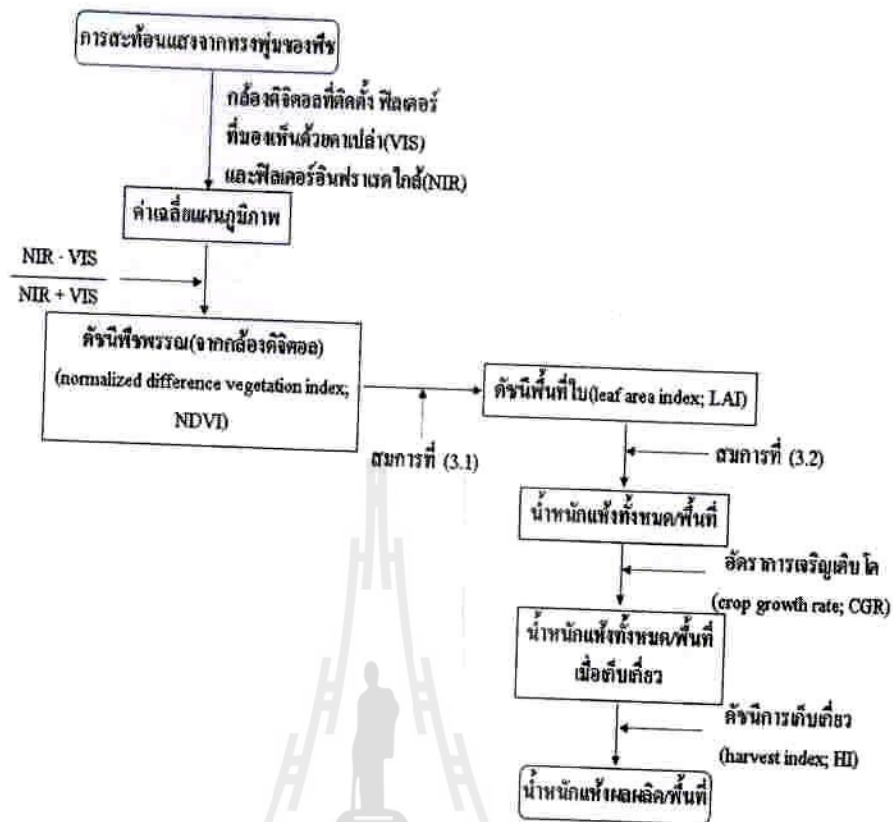
จากนั้นนำข้อมูล จากตาราง 3.1 ที่ผ่านกระบวนการแปลงเป็นภาพขาวดำ มาทำการประมวลผลภาพ เพื่อสร้างเป็นดัชนีพืชพันธุ์ โดยใช้สูตร

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

เมื่อ	NDVI	คือ	ดัชนีพืชพันธุ์
	NIR	คือ	ค่าที่ได้ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
	VIS	คือ	ค่าที่ได้ในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า

3.1.10 การประเมินการสะท้อนแสงจากทรงพุ่มของพืชเพื่อประเมินผลผลิตของพืช

ขั้นตอนการประเมินการสะท้อนแสงจากทรงพุ่มของพืชเพื่อประเมินผลผลิตของพืชมีดังนี้ นำค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพที่วิเคราะห์จากภาพถ่ายดิจิทัลที่ติดตั้งฟิลเตอร์ที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และฟิลเตอร์อินฟราเรดใกล้มาสร้างดัชนีพืชพรรณ จากนั้นวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณและดัชนีพื้นที่ใบ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการที่ (3.1) และดัชนีพื้นที่ใบถูกนำไปประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมดโดยสมการ (3.2) จากนั้นนำน้ำหนักแห้งทั้งหมดไปประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมดเมื่อเก็บเกี่ยวโดยใช้จำนวนวันจากวันที่ประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมดถึงวันที่เก็บเกี่ยวคูณด้วยอัตราการเจริญเติบโตของพืชผลที่ได้คือ น้ำหนักแห้งทั้งหมดเมื่อเก็บเกี่ยวและนำค่าดังกล่าวคูณด้วยค่าดัชนีการเก็บเกี่ยว จนกระทั่งได้น้ำหนักแห้งของผลผลิต โดยมีขั้นตอนทั้งหมดดังรูปที่ 3.6

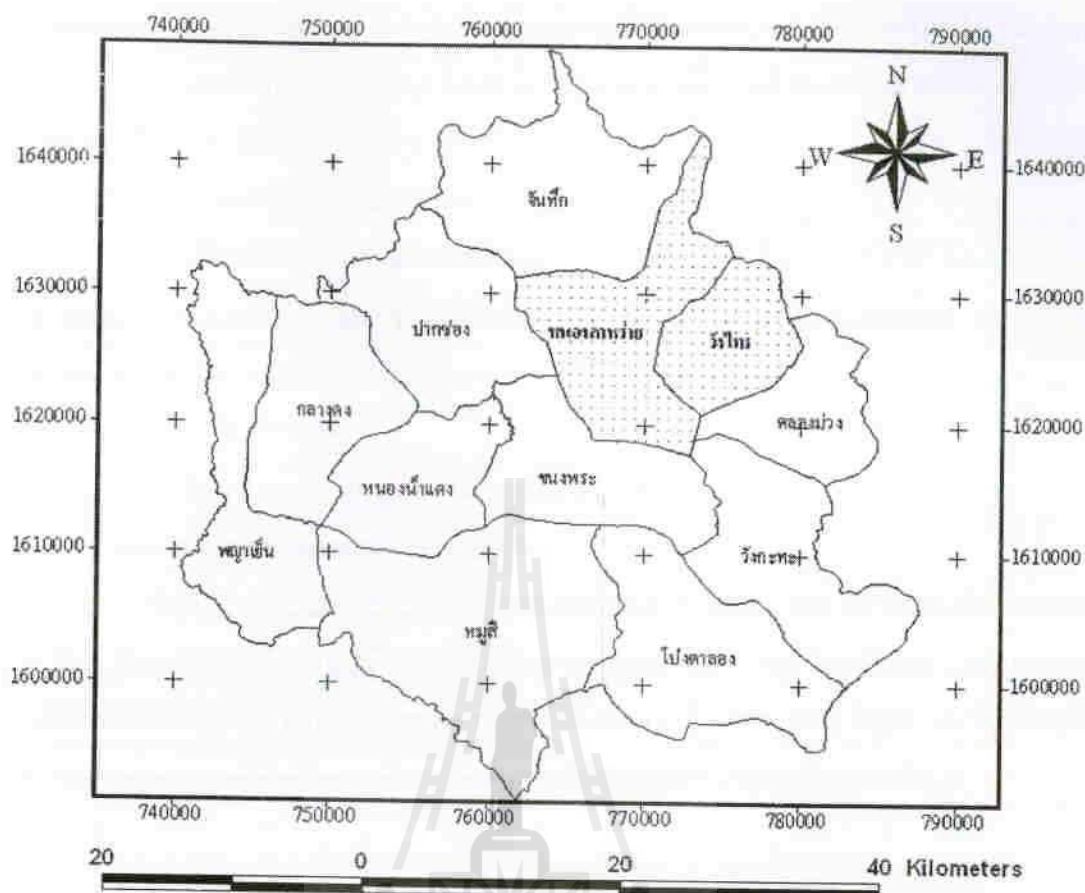


รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการประยุกต์ใช้ข้อมูลการสะท้อนแสงของทรงพุ่มเพื่อประเมินผลผลิตของพืช

3.2 พื้นที่ศึกษา ณ แปลงของเกษตรกร อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

3.2.1 พื้นที่ศึกษา

คือ พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกร ต.หนองสาหร่าย และ ต.วังไทร อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ที่ตั้งของตำบลอยู่ระหว่างเส้นละติจูด 14.62 - 14.84 องศาเหนือ และระหว่างเส้นลองจิจูด 101.43 - 101.63 องศาตะวันออก โดยมีขอบเขตพื้นที่ของตำบล ดังรูป 3.7 และทั้ง 2 ตำบล มีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในปี พ.ศ. 2548 เป็นพื้นที่ประมาณ 51,000 ไร่ ส่วนปี พ.ศ. 2549 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 62,100 ไร่ คิดเป็น 59 และ 23 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ปลูกทั้งหมดของอำเภอตามลำดับ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)



รูปที่ 3.7 แผนที่แสดงขอบเขตตำบลของ อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา (ดัดแปลงจาก กรมพัฒนาที่ดิน, 2543)

3.2.2 การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกร

จากการสัมภาษณ์เกษตรกรตำบลหนองสาหร่าย ซึ่งมีวิธีการปลูก และดูแลรักษาดังนี้ ระยะเวลาในการปลูกของเกษตรกรจะปลูก 2 ครั้ง/ปี ครั้งแรก ประมาณเดือนเมษายน ครั้งที่สอง ประมาณเดือนสิงหาคม ในการเก็บตัวอย่างครั้งนี้ เกษตรกรเริ่มต้นปลูกประมาณกลางเดือนเมษายน พ.ศ. 2550 พันธุ์ที่ใช้ปลูก คือ พันธุ์โพไอนีบี 80 มีการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง ครั้งแรกใส่ปุ๋ยรองพื้นสูตร 16-20-0 อัตราส่วน 25 กิโลกรัม/ไร่ หลังจากนั้นเมื่อพืชอายุ 45 วัน ใส่ปุ๋ยยูเรียอัตราส่วน 25 กิโลกรัม/ไร่

3.2.3 การเก็บตัวอย่างข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแปลงเกษตรกร

การเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งจะมีการวัดพิกัดทางภูมิศาสตร์ ด้วยเครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (global positioning system; GPS) GARMIN รุ่น GPSV (Garmin, 2001) ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง เก็บทุก ๆ 15 วัน โดยเริ่มต้นเมื่ออายุพืชได้ประมาณ 40 วัน อายุเก็บตัวอย่าง คือ 40, 55, 70, 85, 100 และ 110 วัน เก็บตัวอย่างในแปลงเกษตรกร จำนวน 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 4 ขั้ว

และในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่าง ทำการวัดพื้นที่ไปด้วยเครื่อง SUNSCAN และวัดพื้นที่ไปในบริเวณอื่นๆ ที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ของทั้ง 2 ตำบล อีก 3 ตำแหน่ง เมื่อเก็บตัวอย่างพืชมานำมาปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 3.1.5 และ 3.1.6

3.2.4 การถ่ายภาพในแปลงเกษตรกร

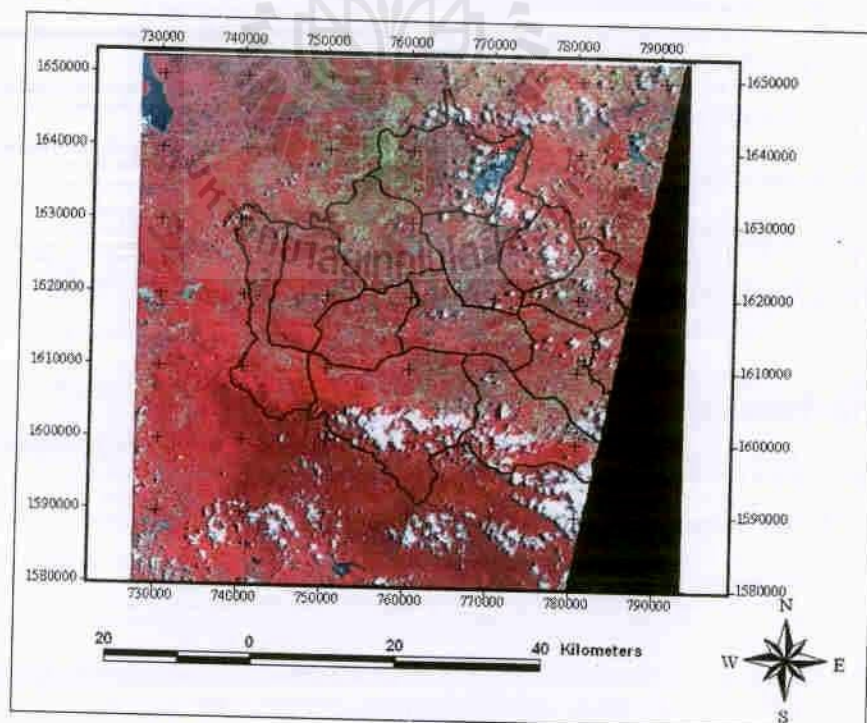
ปฏิบัติเหมือนกับการถ่ายภาพในฤดูปลูกปี พ.ศ. 2549 โดยถ่ายกล้องดิจิทัล SONY รุ่น CYBERSHOT F828 คัดฟิลเตอร์ ชนิดที่รับแสงในช่วงคลื่น 470-600 และ 720-800 นาโนเมตร ระยะในการถ่ายภาพ 1 เมตรเหนือทรงพุ่ม

3.2.5 การแปลงภาพถ่าย

มีวิธีการและการวิเคราะห์เหมือนกับข้อ 3.1.9

3.2.6 การนำเข้าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

จัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 ระบบ TM มีความละเอียดภาพของภาพ 30 x 30 เมตร บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 9 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2550 โดยได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ดังรูป 3.8 ประกอบไปด้วย 7 แบนด์ แต่แบนด์ที่ใช้ในการศึกษาใช้ 2 แบนด์ คือ แบนด์ 3 และ 4 ดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM แบนด์ 4, 3 และ 2 บริเวณพื้นที่ อ.ปากช่อง
จ.นครราชสีมา

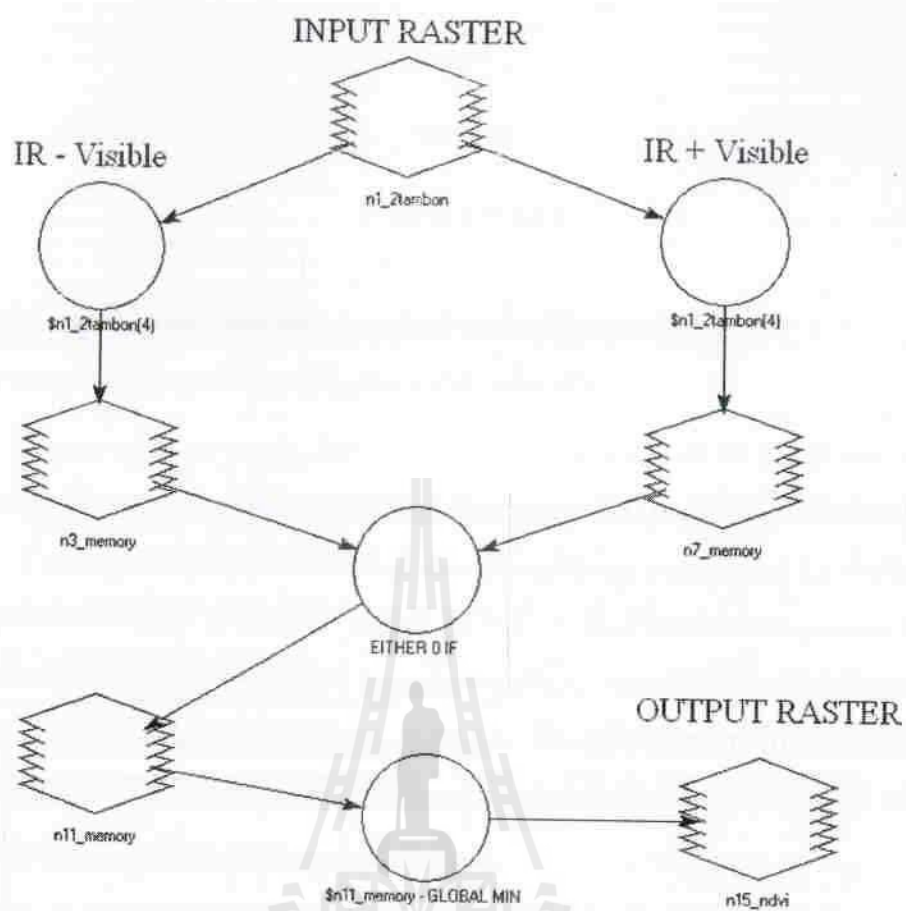
ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร LANDSAT ระบบ TM

แบนด์	ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	การประยุกต์ใช้
3	สีแดง	0.63-0.69	ใช้แยกความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในพืชพันธุ์ชนิดต่างๆ กัน
4	อินฟราเรดไกล	0.76-0.90	ใช้ตรวจวัดปริมาณน้ำชีวะ ใช้ดูความแตกต่างของน้ำและส่วนไม่ใช่น้ำ

3.2.7 การประเมินดัชนีพืชพรรณของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม

ดัชนีพืชพรรณ เป็นค่าที่บอกถึงสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิวโดยคำนวณจากการนำช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาทำสัดส่วนซึ่งกันและกัน เป็นการนำค่าความแตกต่างของการสะท้อนของพื้นผิวระหว่างช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดกับช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีแดง มาทำสัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่นเพื่อปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบ ทำให้ดัชนีพืชพรรณ มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งจะช่วยในการแปลผลได้ง่ายขึ้น กล่าวคือ กรณีที่พื้นผิวมีพืชพรรณปกคลุมจะมีการสะท้อนในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดสูงกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ทำให้ ดัชนีพืชพรรณมีค่าเป็นบวก ในขณะที่พื้นผิวเป็นดินจะมีค่าการสะท้อนระหว่างสองช่วงคลื่นใกล้เคียงกัน ทำให้ดัชนีพืชพรรณมีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ ส่วนกรณีที่พื้นผิวเป็นน้ำจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดต่ำกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ทำให้มีค่าติดลบ สำหรับภาพถ่ายดาวเทียม แบนด์ที่ใช้ในการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ แบนด์ 3 ในสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีแดง และแบนด์ 4 ที่สะท้อนแสงในช่วงอินฟราเรดไกล โดยนำภาพถ่ายมาสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินดัชนีพื้นที่ใบดังรูปที่ 3.10

ค่าดัชนีพืชพรรณที่ได้ถูกนำไปประเมินค่าดัชนีพื้นที่ใบโดยการสร้างความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่พืชพรรณที่ได้จากการประเมินจากภาพถ่ายดิจิทัล จากนั้นนำค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้ไปประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิตต่อพื้นที่ เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลผลผลิตต่อพื้นที่ที่เก็บตัวอย่างจากแปลงของเกษตรกร



รูปที่ 3.9 แบบจำลองกระบวนการประเมินดัชนีพืชพรรณ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

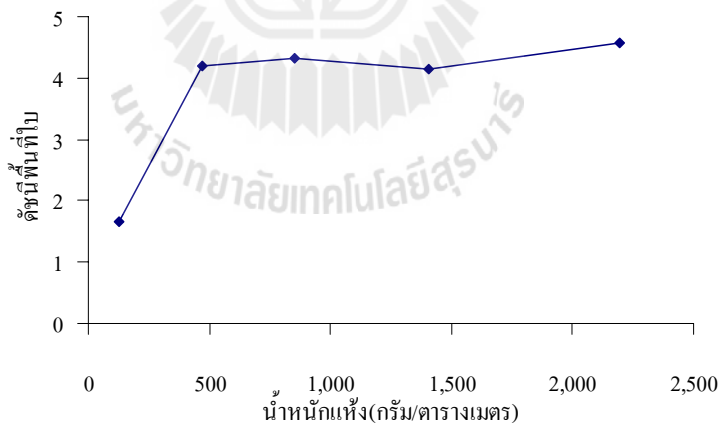
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลประเมินดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพด

4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้ง

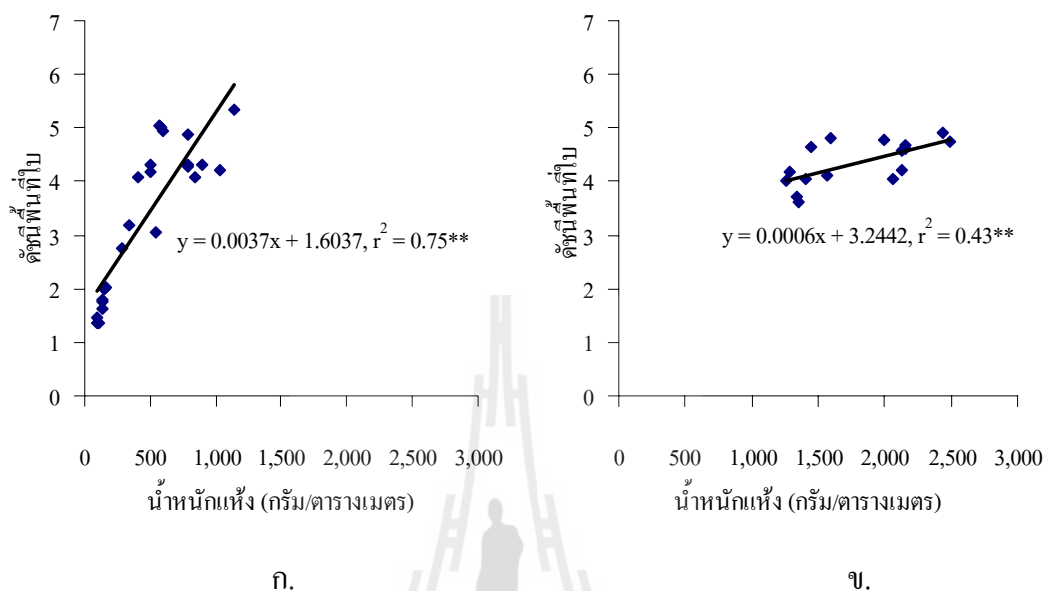
ในการเก็บตัวอย่างของข้าวโพด ที่ 5 ระยะ คือที่อายุของพืช 35, 45, 55, 65 และ 80 วันหลังปลูก จากค่าเฉลี่ยของการการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่าง พบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในช่วงการเจริญเติบโตระหว่าง 35-55 วัน ซึ่งเป็นช่วงของการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative phase) ในวันที่ 55 เริ่มมีการออกดอก (panicle initiation) หลังจากนั้นพืชเริ่มเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ (reproductive phase) และสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดเมื่อถึงระยะสุกแก่ทางสรีระวิทยา (physiological maturity) ที่อายุพืชได้ 80 วัน ในขณะที่ดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นของพืช และเริ่มคงที่เมื่อข้าวโพดอายุได้ 55 วัน หลังจากนั้นดัชนีพื้นที่ใบไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งทั้งหมดของข้าวโพด (กรัม/ตารางเมตร)

จากผลการศึกษาดังกล่าวจึงแบ่งชุดของข้อมูลทั้งหมด เป็น 2 ระยะ เพื่อวิเคราะห์หาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สามารถนำข้อมูลพื้นที่ใบไปประเมินการเจริญเติบโตของพืชได้ พบว่าดัชนีพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทั้งสองช่วงระยะการเจริญเติบโต

โดยในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น มีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.75** (รูปที่ 4.2 ก.) ส่วนในระยะเจริญพันธุ์ มีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.43** (รูปที่ 4.2 ข.)



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และ น้ำหนักแห้งทั้งหมด (กรัม/ตารางเมตร) ของข้าวโพดที่ ก. ระยะเจริญเติบโตทางลำต้น (35-55 วัน) ข. ที่ระยะเจริญพันธุ์ (65- 80 วัน)

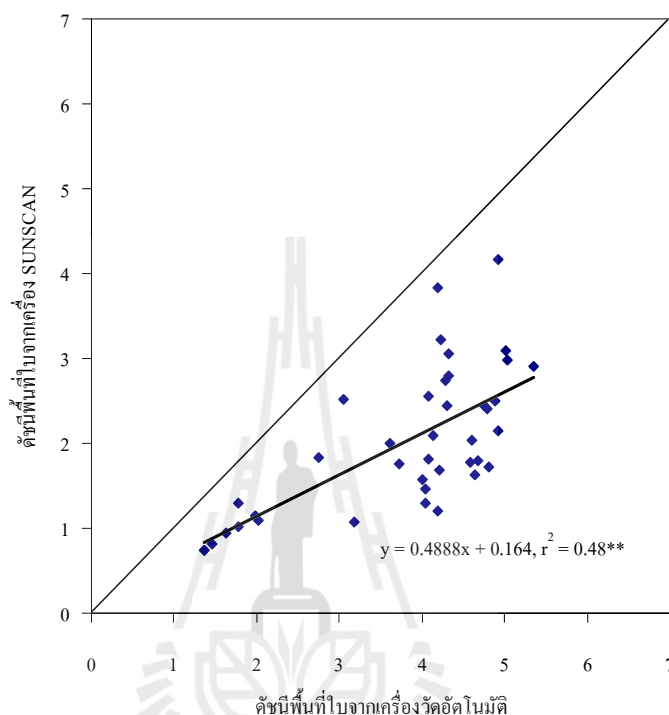
4.1.2 อัตราการเจริญเติบโต และดัชนีเก็บเกี่ยวของข้าวโพด

อัตราการเจริญเติบโตของข้าวโพดในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น และช่วงเจริญพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือในระยะเจริญเติบโตทางลำต้นที่ช่วงอายุ 35-45 วัน และช่วงอายุ 45-55 วัน ข้าวโพดมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 34.57 กรัม/ตารางเมตร/วัน และ 37.68 กรัม/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่แตกต่างกับทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับช่วงอายุ 55-65 วัน และ 65-80 วัน ที่อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 55.49 กรัม/ตารางเมตร/วัน และ 52.63 กรัม/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงระยะเจริญพันธุ์ ส่วนดัชนีการเก็บเกี่ยวเฉลี่ยคือ 0.47

4.1.3 ความสัมพันธ์ 1:1 ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN และเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติของข้าวโพด

เมื่อนำข้อมูลของดัชนีพื้นที่ใบจากการวัดด้วยเครื่อง SUNSCAN และเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 5 ครั้ง ครั้งละ 8 ขั้ว มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่าค่าดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่องมือทั้งสองประเภท มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2 = 0.48^{**}$) ดังรูป

ที่ 4.3 จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะนำเครื่อง SUNSCAN มาใช้ในการวัดดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพดในสภาพแปลงได้ แต่ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN ส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดจากวัดดัชนีพื้นที่ใบอัตโนมัติ



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ 1:1 และสมการความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของข้าวโพดที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN และเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ

4.1.4 ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ

เมื่อนำภาพถ่ายที่ใช้ฟิลเตอร์ที่ให้แสงในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่าส่องผ่าน และฟิลเตอร์ที่ให้แสงในช่วงอินฟราเรดใกล้ส่องผ่าน มาแปลงเป็นภาพขาวดำและทำการสุ่มจุดภาพที่บริเวณจุดศูนย์กลางและบริเวณขอบของภาพ ทำการเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพของภาพที่ถ่ายในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ในแต่ละช่วงอายุของพืช และ ระดับความสูงของการถ่ายภาพเหนือทรงพุ่มด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบ T-test พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าทรงพุ่มของพืชดูดกลืนช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และสะท้อนช่วงแสงอินฟราเรดใกล้

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแผนภูมิรูปภาพของภาพที่ถ่ายในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุ ของข้าวโพด (วัน)

อายุพืช (วัน)	ความสูง (เมตร)	ช่วงคลื่น		T-test
		มองเห็นด้วยตาเปล่า	อินฟราเรดใกล้	
35	1	55.39	87.00	3.38**
35	2	86.46	140.81	7.03**
35	3	55.39	91.05	12.29**
45	1	36.86	169.31	27.21**
45	2	36.96	123.43	11.42**
45	3	35.53	112.41	5.85**
55	1	37.62	169.59	38.90**
55	2	40.21	150.74	21.84**
55	3	31.31	207.80	29.17**
65	1	45.41	168.80	13.35**
65	2	45.79	166.52	45.52**
65	3	43.76	127.05	29.93**
80	1	42.85	161.66	19.02**
80	2	44.20	146.72	55.03**
80	3	46.48	147.75	32.79**

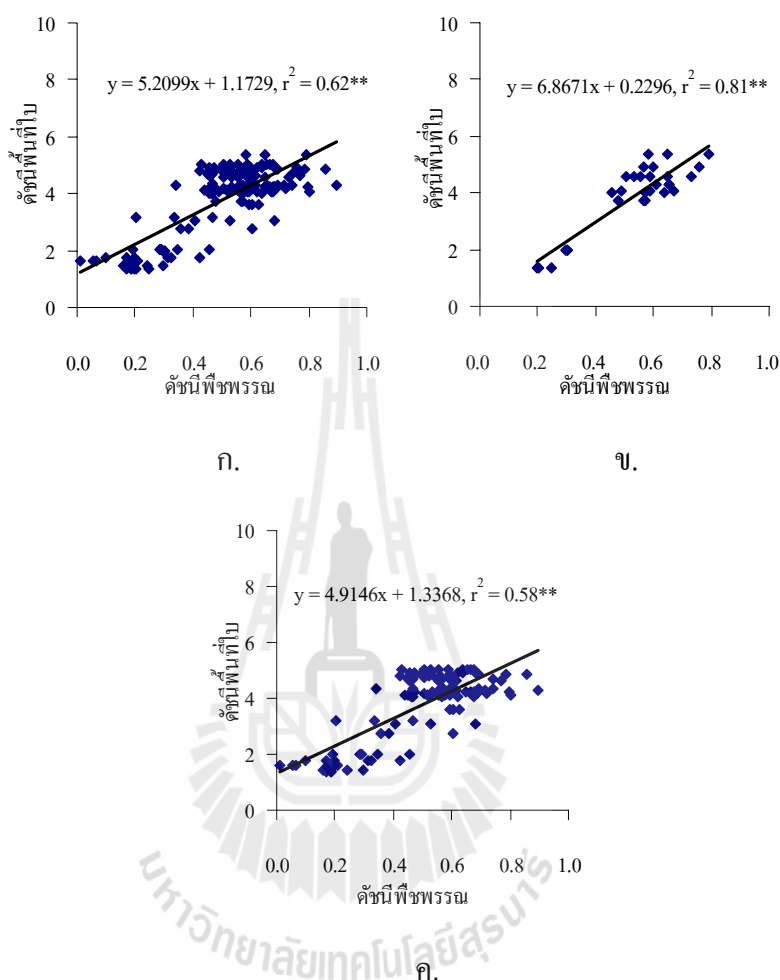
หมายเหตุ ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

4.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ

4.1.5.1 บริเวณตำแหน่งของจุดภาพที่ต่างกัน

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพที่ได้จากการสุ่มบริเวณจุดศูนย์กลางของภาพ และบริเวณขอบภาพ ของภาพถ่ายทั้งสองฟิลเตอร์ที่ถ่ายในระดับความสูงจากทรงพุ่ม 1, 2 และ 3 เมตร มาประมวลผลเพื่อสร้างดัชนีพืชพรรณ แล้วนำดัชนีพืชพรรณมาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r^2 = 0.62^{**}$) (รูปที่ 4.4 ก.) เมื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณที่บริเวณเฉพาะจุดศูนย์กลางของภาพ และบริเวณขอบของภาพที่ระดับความสูงทั้งสามระดับ เพื่อเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์กับพื้นที่ใบ พบว่าที่บริเวณจุดศูนย์กลางของภาพมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2 = 0.81^{**}$) (รูปที่ 4.4 ข.)

และที่ดัชนีพืชพรรณบริเวณขอบภาพมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจลดลง แต่ยังคงมีความสัมพันธ์กันกับพื้นที่ใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2 = 0.58^{**}$) (รูปที่ 4.4 ค.)

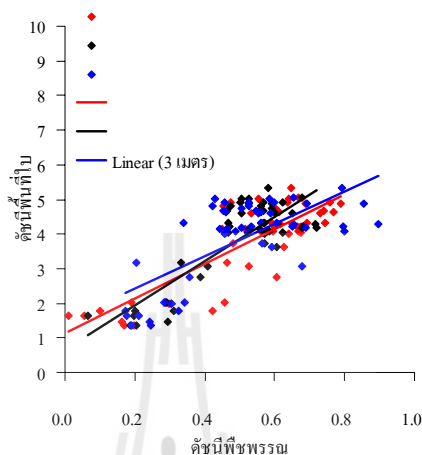


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ก.ทั้งหมด
ข.บริเวณกลางภาพ และ ค.บริเวณขอบภาพ

4.1.5.2 การถ่ายภาพที่ระดับความสูงต่างกัน

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ ที่จุดภาพบริเวณจุดศูนย์กลาง และบริเวณขอบภาพ ในแต่ละระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทั้ง 3 ระดับความสูง และมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.5 และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณที่ระดับความสูงต่าง ๆ กัน ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด พบว่าที่ช่วงอายุ 35 และ 80 วันหลังปลูก ค่าเฉลี่ยพืชพรรณทั้ง 3 ระดับความสูงไม่แตกต่าง

กันทางสถิติ ช่วงอายุ 45 และ 65 วันหลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และที่ช่วงอายุ 55 วันหลังปลูก ค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ระดับความสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.2)



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร เหนือทรงพุ่ม

ตารางที่ 4.2 เปรียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณจุดศูนย์กลาง และขอบของภาพ ที่ระดับ ความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด

ความสูง (เมตร)	อายุพืช (วัน)				
	35	45	55	65	80
1	0.21	0.65 a	0.65 b	0.58 a	0.60
2	0.23	0.54 ab	0.58 b	0.57 a	0.55
3	0.25	0.49 b	0.74 a	0.49 b	0.52
F-test	0.42 ns	4.34 *	7.76 **	3.85 *	3.25 ns
% CV	44.73	21.66	13.64	14.13	13.89

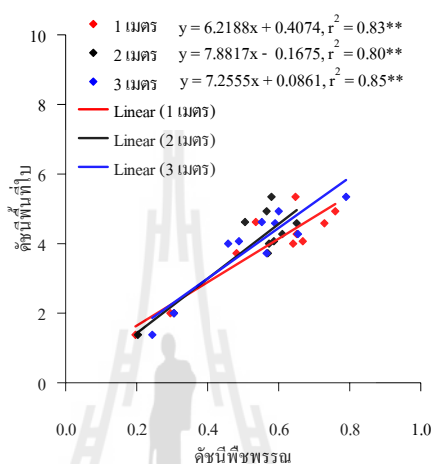
หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (DMRT)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ ในจุดภาพบริเวณตรงกลางของภาพ ในแต่ละระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร พบว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทั้ง 3 ระดับความสูง ดังรูปที่ 4.6 และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณที่ระดับความสูงต่าง ๆ กัน ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพดพบว่าในแต่ละช่วงอายุของพืช ค่าเฉลี่ยพืชพรรณทั้ง 3 ระดับความสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.3)



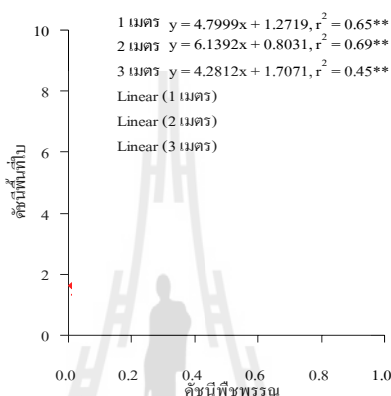
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ของจุดภาพบริเวณกลางของภาพที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณกลางของภาพที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด

ความสูง (เมตร)	อายุ (วัน)				
	35	45	55	65	80
1	0.25	0.71	0.65	0.56	0.63
2	0.25	0.58	0.59	0.57	0.58
3	0.28	0.54	0.72	0.51	0.57
F-test	0.11 ns	4.69 ns	2.30 ns	0.35 ns	0.20 ns
% CV	24.45	8.97	8.36	14.15	16.85

หมายเหตุ ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ของดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ ในจุดภาพ บริเวณขอบของภาพ ในแต่ละระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร พบว่าสัมประสิทธิ์การตัดสนใจลดลง แต่ดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณในแต่ละระดับความสูงยังมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ดังรูปที่ 4.7 และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณที่ระดับความสูงต่าง กัน ในแต่ละช่วง อายุของข้าวโพด พบว่าในช่วงอายุของพืช 35, 45, 65 และ 80 วัน ค่าเฉลี่ยพืชพรรณทั้ง 3 ระดับความ สูงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนที่ช่วงอายุ 55 วัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.4)



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ของจุดภาพ บริเวณขอบของภาพที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณขอบของภาพ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด

ความสูง (เมตร)	อายุพืช (วัน)				
	35	45	55	65	80
1	0.20	0.63	0.64 ab	0.58	0.60
2	0.23	0.53	0.58 b	0.57	0.54
3	0.24	0.48	0.75 a	0.49	0.51
F-test	0.39 ns	2.67 ns	5.65 *	3.32 ns	3.17 ns
% CV	51.19	24.57	15.22	15.25	12.89

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (DMRT)

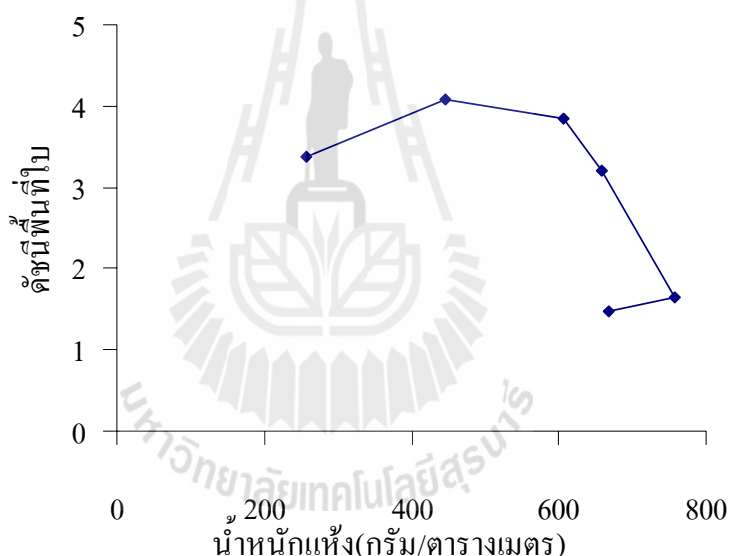
ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.2 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลประเมินดัชนีพื้นที่ใบของถั่วเหลือง

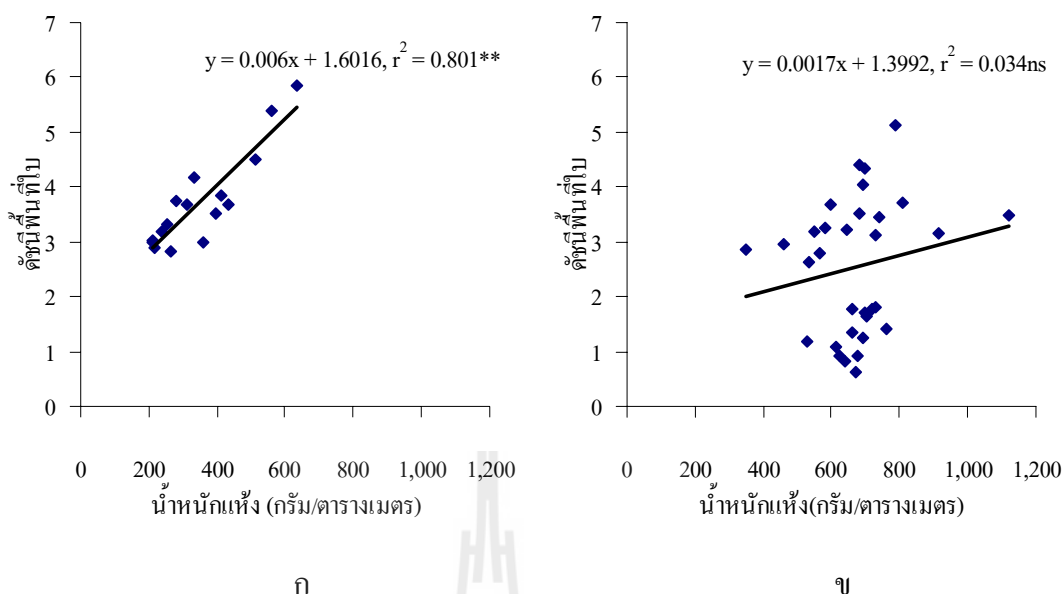
4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้ง

ในการเก็บตัวอย่างถั่วเหลือง ที่ 6 ระยะ คือที่อายุของพืช 25, 30, 40, 50, 60 และ 80 วัน หลังปลูก จากค่าเฉลี่ยของการการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่าง พบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเมื่อถั่วเหลืองมีอายุได้ 30 วันเริ่มออกดอก เข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ และสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดเมื่อพืชอายุได้ 60 วัน ซึ่งเป็นระยะสุกแก่ทางสรีระวิทยา และลดลงเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 75 วัน ในขณะที่ดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นของพืช และสูงสุดเมื่อถั่วเหลืองอายุได้ 30 วัน หลังจากนั้นดัชนีพื้นที่ใบเริ่มลดลง และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออายุ 40 วัน จนถึง 60 วัน และไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักในระหว่างอายุ 60-75 วัน ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งทั้งหมดของถั่วเหลือง (กรัม/ตารางเมตร)

จากผลการศึกษาดังกล่าวจึงแบ่งชุดของข้อมูลทั้งหมด เป็น 2 ระยะ เพื่อวิเคราะห์หาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สามารถนำข้อมูลพื้นที่ใบไปประเมินการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองได้ พบว่าในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2=0.801^{**}$) (รูปที่ 4.9 ก) ส่วนในระยะเจริญพันธุ์ ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าว ($r^2=0.034ns$) (รูปที่ 4.9 ข)



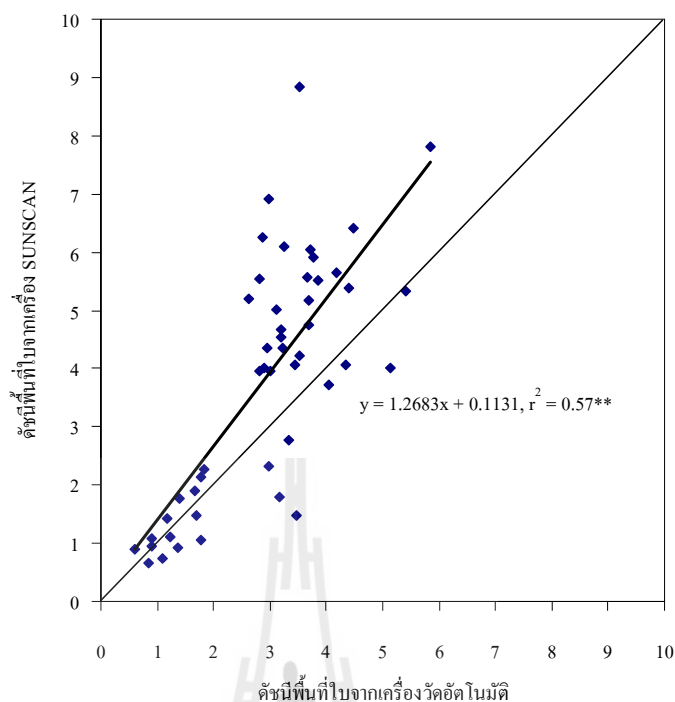
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และ น้ำหนักแห้งทั้งหมด (กรัม/ตารางเมตร) ของถั่วเหลืองที่ ก. ระยะเจริญเติบโตทางลำต้น (25-30 วัน) ข.ที่ระยะเจริญพันธุ์ (40-75 วัน)

4.2.2 อัตราการเจริญเติบโต และดัชนีเก็บเกี่ยวของถั่วเหลือง

อัตราการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น และช่วงเจริญพันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือในระยะเจริญเติบโตทางลำต้นที่ช่วงอายุ 25-30 วัน มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 37.85 กรัม/ตารางเมตร/วัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับช่วงระยะเจริญพันธุ์ ที่ช่วงอายุ 30-40 วัน, 40-50 วัน และ 50-60 วัน มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 16.01, 5.06 และ 10.08 กรัม/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ หลังจากนั้นอัตราการเจริญเติบโตจะลดลงในช่วงหลังระยะสุกแก่ทางสรีระวิทยา คือ -5.96 กรัม/ตารางเมตร/วัน ในช่วง 60-75 วัน ส่วนดัชนีเก็บเกี่ยวเฉลี่ยคือ 0.44

4.2.3 ความสัมพันธ์ 1:1 ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN และเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติของถั่วเหลือง

เมื่อนำข้อมูลของดัชนีพื้นที่ใบจากการวัดด้วยเครื่องดัชนีพื้นที่ใบ และเครื่อง SUNSCAN จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 6 ครั้ง ครั้งละ 8 ซ้ำ มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่าค่าดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่องมือทั้งสองประเภท มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2 = 0.57^{**}$) ดังรูปที่ 4.10 จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะนำเครื่อง SUNSCAN มาใช้ในการวัดดัชนีพื้นที่ใบของถั่วเหลืองในสภาพแปลงได้ แต่ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN ส่วนใหญ่จะมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดจากวัดดัชนีพื้นที่ใบอัตโนมัติ



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ 1:1 และสมการความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของถั่วเหลืองที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN และเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ

4.2.4 ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ

เมื่อนำภาพถ่ายที่ใช้ฟิลเตอร์ที่ให้แสงในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่าส่องผ่าน และฟิลเตอร์ที่ให้แสงในช่วงอินฟราเรดใกล้ส่องผ่าน มาแปลงเป็นภาพขาวดำและทำการสุ่มจุดภาพที่บริเวณจุดศูนย์กลางและบริเวณขอบของภาพ ทำการเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพของภาพที่ถ่ายในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ในแต่ละช่วงอายุของพืช และระดับความสูงของการถ่ายภาพเหนือทรงพุ่ม ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบ T-test พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าทรงพุ่มของพืชดูดกลืนช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และสะท้อนช่วงแสงอินฟราเรดใกล้

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแผนภูมิรูปภาพของภาพที่ถ่ายในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของ ถั่วเหลือง (วัน)

อายุพืช (วัน)	ความสูง (เมตร)	ช่วงคลื่น		T-test
		มองเห็นด้วยตาเปล่า	อินฟราเรดใกล้	
25	1	30.51	139.36	9.33**
25	2	25.67	132.54	10.70**
25	3	32.41	112.10	6.48**
30	1	25.85	116.39	8.51**
30	2	25.28	119.07	8.98**
30	3	27.30	109.39	13.46**
40	1	28.00	96.59	14.02**
40	2	35.48	114.75	9.46**
40	3	35.58	102.04	9.55**
50	1	37.11	146.65	9.00**
50	2	34.14	131.59	7.94**
50	3	29.70	145.00	14.49**
60	1	68.57	197.54	21.24**
60	2	69.18	161.80	15.12**
60	3	71.92	175.58	12.64**

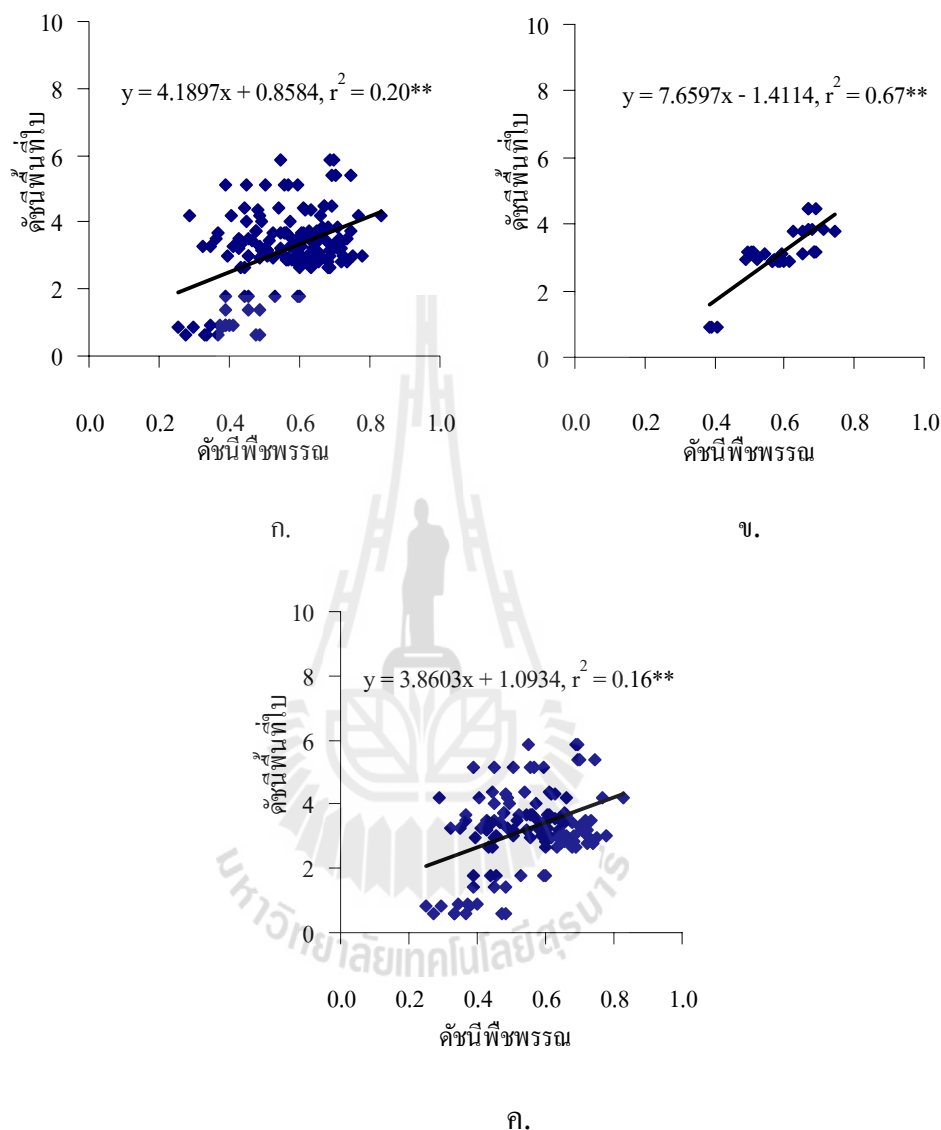
หมายเหตุ ** หมายถึง แตกต่างกันอย่างสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

4.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ

4.2.5.1 บริเวณตำแหน่งของจุดภาพที่ต่างกัน

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพที่ได้จากการสุ่มบริเวณจุดศูนย์กลางของภาพ และบริเวณขอบภาพถ่ายทั้งสองฟิลเตอร์ที่ถ่ายในระดับความสูงจากทรงพุ่ม 1, 2 และ 3 เมตร มาประมวลผลเพื่อสร้างดัชนีพืชพรรณ และนำดัชนีพืชพรรณมาเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r^2 = 0.20^{**}$) (รูปที่ 4.11 ก) เมื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณที่บริเวณเฉพาะจุดศูนย์กลางของภาพ และบริเวณขอบของภาพที่ระดับความสูงทั้งสามระดับ เพื่อเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์กับพื้นที่ใบ พบว่าที่บริเวณจุดศูนย์กลางของภาพว่ามีความสัมพันธ์กันกับพื้นที่ใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2 = 0.67^{**}$) (รูปที่ 4.11

ข) และที่ดัชนีพืชพรรณบริเวณขอบภาพมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสนใจลดลง แต่ยังมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2 = 0.16^{**}$) (รูปที่ 4.11 ค)

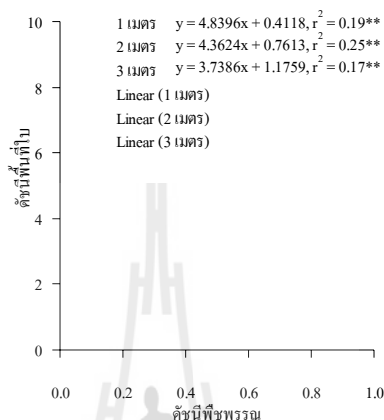


รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ก.ทั้งหมด
ข.บริเวณกลางภาพ และ ค.บริเวณขอบภาพ

4.2.5.2 การถ่ายภาพที่ระดับความสูงต่างกัน

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ ที่จุดภาพบริเวณจุดศูนย์กลาง และบริเวณขอบภาพ ในแต่ละระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทั้ง 3 ระดับความสูง และมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกันดังรูปที่

4.12 และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณที่ระดับความสูงต่าง ๆ กัน ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง พบว่าเฉพาะช่วงอายุ 25 วันหลังปลูกเท่านั้นที่ค่าเฉลี่ยพืชพรรณทั้ง 3 ระดับความสูงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนที่ช่วงอายุ 30, 40, 50 และ 60 วันค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ระดับความสูงเหนือทรงพุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.6)



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณจุดศูนย์กลาง และขอบของภาพที่ระดับ ความสูง 1, 2, และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง

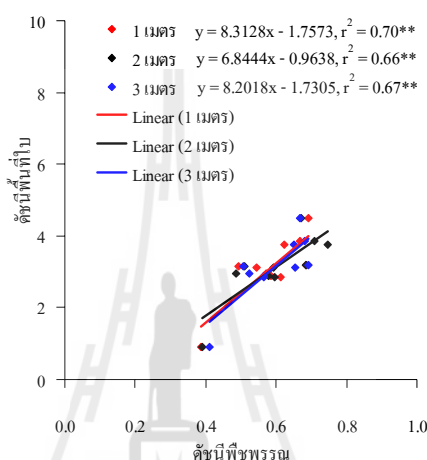
ความสูง (เมตร)	อายุพืช (วัน)				
	25	30	40	50	60
1	0.63ab	0.62	0.55	0.58	0.49
2	0.67a	0.63	0.51	0.57	0.40
3	0.53b	0.60	0.48	0.66	0.42
F-test	3.76*	0.23ns	1.52ns	2.92ns	2.14ns
% CV	19.43	16.89	16.21	14.88	22.88

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (DMRT)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ ในจุดภาพบริเวณกลางของภาพในแต่ละระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร พบว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทั้ง 3 ระดับความสูงเหนือทรงพุ่ม ดังรูปที่ 4.13 และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณที่ระดับความสูงต่าง ๆ กัน ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง พบว่าในแต่ละช่วงอายุของพืช ค่าเฉลี่ยพืชพรรณทั้ง 3 ระดับความสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.7)



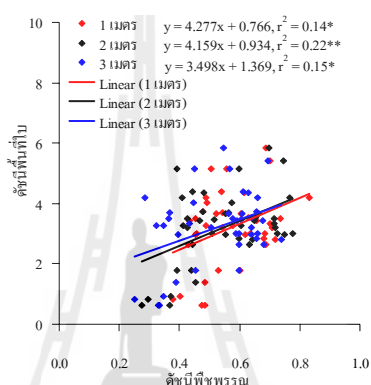
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ของจุดภาพ และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และบริเวณกลางของภาพที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณกลางของภาพของภาพที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง

ความสูง (เมตร)	อายุพืช (วัน)				
	25	30	40	50	60
1	0.6	0.68	0.59	0.62	0.44
2	0.66	0.69	0.54	0.64	0.45
3	0.61	0.67	0.54	0.67	0.46
F-test	0.41ns	0.33ns	0.50ns	0.24ns	0.04ns
% CV	12.4	2.46	9.79	8.53	13.21

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ของดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ ในจุดภาพ บริเวณขอบของภาพ ในแต่ละระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร พบว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจลดลง โดยที่ในระดับความสูง 1 และ 3 เมตรมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนที่ระดับความสูง 2 เมตรเหนือทรงพุ่มมีความสัมพันธ์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังรูปที่ 4.14 และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณที่ระดับความสูงต่าง ๆ กัน ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง พบว่า ที่ช่วงอายุ 25 วัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนช่วงอายุของพืช 30, 40, 50, 50 และ 60 วัน ค่าเฉลี่ยพืชพรรณทั้ง 3 ระดับความสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4.8)



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ของจุดภาพ บริเวณขอบของภาพที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณขอบของภาพ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง

ความสูง (เมตร)	อายุพืช (วัน)				
	25	30	40	50	60
1	0.64ab	0.61	0.54	0.57	0.50
2	0.67a	0.62	0.51	0.55	0.39
3	0.51b	0.59	0.47	0.65	0.41
F-test	3.36*	0.20ns	1.25ns	2.80ns	2.54ns
% CV	20.90	7.38	19.79	16.05	24.17

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (DMRT)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.3 การประเมินปัจจัยที่เกี่ยวข้องระหว่างความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณของข้าวโพด และถั่วเหลือง

จากข้อมูลที่ทำการศึกษาข้าวโพด และถั่วเหลือง ในปีเพาะปลูก พ.ศ. 2549

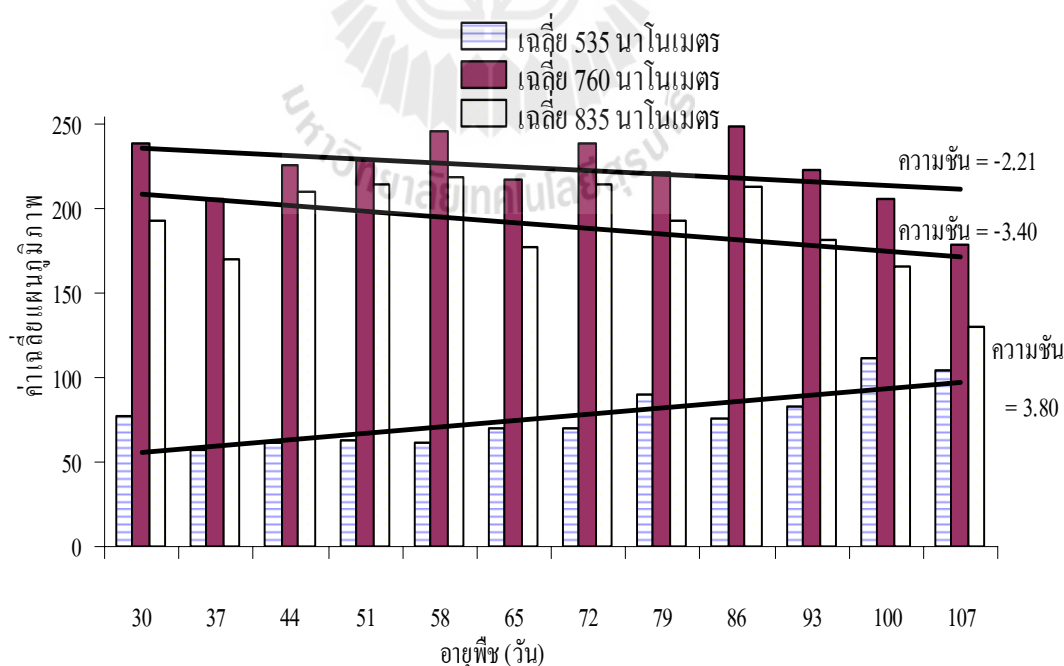
4.3.1 ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ และความเข้มแสงที่ฟิลเตอร์ 535, 760 และ 835 นาโนเมตร

เมื่อทำการถ่ายภาพที่ระดับความสูง 1 เมตร เหนือทรงพุ่มของข้าวโพด และถั่วเหลืองในปีเพาะปลูก พ.ศ. 2549 ด้วยกล้องดิจิทัลที่ติดตั้งฟิลเตอร์ที่สามารถให้แสงในช่วงคลื่นเฉลี่ยที่ 535, 760 และ 835 นาโนเมตรส่องผ่าน พบว่า

4.3.1.1 ข้าวโพด

ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพของแต่ละฟิลเตอร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีเพียง ช่วงอายุ 30, 51, 72 และ 79 วัน ที่ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพของฟิลเตอร์ 760 และ 835 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่แตกต่างกับ 535 นาโนเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4.9

เมื่อพิจารณาทิศทางการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ เห็นได้ว่า ที่ฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร ทิศทางการเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มลดลง โดยมีความชัน (ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพต่อความแตกต่างของอายุพืช) เป็น -2.21 และ -3.40 ตามลำดับ ส่วนที่ฟิลเตอร์ 535 นาโนเมตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีความชัน 3.80 ดังรูป 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ย และแนวโน้ม ของค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ ของ 3 ฟิลเตอร์ ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด

ตารางที่ 4.9 เปรียบค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพ ที่ส่องผ่านฟิลเตอร์ที่มีค่าเฉลี่ยของการส่องผ่าน 50 เปอร์เซ็นต์ที่ 535, 760 และ 835 นาโนเมตร ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด

ค่าเฉลี่ยฟิลเตอร์ (นาโนเมตร)	อายุพืช (วัน)											
	30	37	44	51	58	65	72	79	86	93	100	107
535	77.25b	56.85c	61.33c	63.37b	62.30c	70.46c	70.72b	90.63b	75.53c	83.02c	111.12c	104.46c
760	239.40a	205.96a	225.86b	228.97a	247.05a	217.92a	239.64a	222.72a	249.27a	223.18a	206.88a	178.41a
835	193.46a	170.31b	210.34a	215.54a	218.72b	178.29b	215.45a	193.42a	213.64b	181.81b	166.07b	130.95b
F-test	51.71**	405.63**	923.39**	134.73**	1,682.98**	196.54**	79.75**	23.94**	181.14**	96.64**	19.51**	24.74**
%CV	9.67	5.36	3.70	9.36	2.76	7.00	11.67	16.79	7.66	9.01	13.48	10.92

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (DMRT)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

เมื่อทำการวัดความเข้มของแสงที่สะท้อนจากการกระทบใบพืช แล้วสะท้อนผ่านทั้ง 3 ฟิลเตอร์ในขณะถ่ายภาพ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกันในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด พบว่าค่าความเข้มแสงทั้งหมด ของแต่ละฟิลเตอร์ส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีเฉพาะช่วงอายุ 44 วัน ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความเข้มแสงที่ส่องผ่านฟิลเตอร์ 535 นาโนเมตร ไม่แตกต่างกับฟิลเตอร์ 835 นาโนเมตร แต่แตกต่างกับฟิลเตอร์ 760 นาโนเมตร และช่วงอายุ 58 วัน ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความเข้มแสงที่สามารถส่องผ่านฟิลเตอร์ 535 นาโนเมตร ไม่แตกต่างกับ ฟิลเตอร์ 760 นาโนเมตร แต่แตกต่างกับฟิลเตอร์ 835 นาโนเมตร ดังตารางที่ 4.10

4.3.1.2 ถั่วเหลือง

ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพของแต่ละฟิลเตอร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ช่วงอายุ 30 และ 75 วัน ฟิลเตอร์ 835 นาโนเมตร มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ฟิลเตอร์ 760 และ 535 นาโนเมตรตามลำดับ ที่ช่วงอายุ 37 และ 65 วัน ฟิลเตอร์ 760 นาโนเมตร มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ฟิลเตอร์ 835 และ 535 นาโนเมตรตามลำดับ ที่ช่วงอายุ 44, 51 และ 58 วัน ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพของฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร ไม่มีความแตกต่างกัน แต่มีความแตกต่างกับฟิลเตอร์ 535 นาโนเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังตารางที่ 4.11

เมื่อพิจารณาทิศทางการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพเห็นได้ว่าที่ฟิลเตอร์ 760 นาโนเมตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีความชัน (ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพต่อความแตกต่างของอายุพืช) คือ 1.22 ส่วนที่ฟิลเตอร์ 835 นาโนเมตร มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงที่มีแนวโน้มลดลง โดยมีความชัน เป็น -2.55 ตามลำดับ และที่ฟิลเตอร์ 535 นาโนเมตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีความชัน 5.15 ดังรูป 4.16

เมื่อทำการวัดการสะท้อนของแสงที่กระทบใบพืช แล้วสะท้อนส่องผ่านทั้ง 3 ฟิลเตอร์ในขณะถ่ายภาพ นำมาเปรียบเทียบกันในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง พบว่าที่ช่วงอายุ 30 วัน ค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงของทั้ง 3 ฟิลเตอร์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ ทั้ง 3 ฟิลเตอร์ มีค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงแตกต่างกัน โดยที่ฟิลเตอร์ 535 นาโนเมตร มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ฟิลเตอร์ 835 และ 760 นาโนเมตร ตามลำดับ ที่ช่วงอายุ 58 วัน ค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงของทั้ง 3 ฟิลเตอร์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ฟิลเตอร์ 535 นาโนเมตร มีค่าสูงกว่าฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกัน และที่ช่วงอายุ 37, 44, 51, 65 และ 75 วัน ค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงของทั้ง 3 ฟิลเตอร์ในแต่ละช่วงอายุไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงทั้งหมดที่ส่องผ่านฟิลเตอร์ที่มีค่าเฉลี่ยของการส่องผ่าน 50 เปอร์เซ็นต์ที่ 535, 760 และ 835 นาโนเมตร ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด

ค่าเฉลี่ย	อายุพืช (วัน)											
ฟิลเตอร์	30	37	44	51	58	65	72	79	86	93	100	107
535	359,019.90	317,796.00	215784.10b	279,056.60	473,910.00a	387,911.10	331,740.60	392,107.72	476,040.60	281,122.60	263,895.40	189,248.40
760	373,106.90	335,055.20	233421.60a	344,945.80	498,521.30a	317,852.00	360,865.40	433,859.10	498,258.90	311,751.00	280,566.70	205,868.50
835	413,000.00	297,038.10	212098.70b	281,763.40	425,558.60b	400,655.80	301,202.30	328,679.41	424,192.60	330,516.20	259,484.90	187,616.20
F-test	0.13ns	0.10ns	7.76*	0.74ns	13.89**	0.38ns	0.79ns	0.56ns	0.24ns	0.11ns	0.35ns	1.25ns
%CV	28.51	38.02	3.71	28.65	15.93	39.4	20.29	36.73	33.51	49.69	14.03	9.32

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (DMRT)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

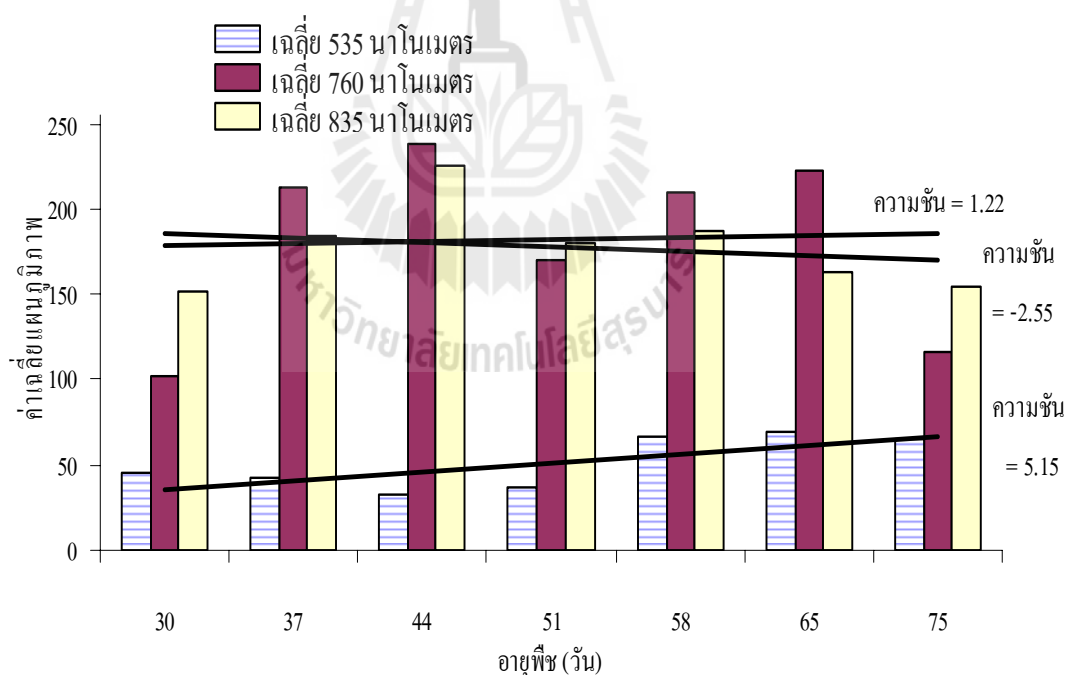
** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.11 เปรียบค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพ ที่ส่องผ่านฟิลเตอร์ที่มีค่าเฉลี่ยของการส่องผ่าน 50 เปอร์เซ็นต์ที่ 535, 760 และ 835 นาโนเมตร ในแต่ละช่วงอายุถั่วเหลือง

ค่าเฉลี่ย ฟิลเตอร์	อายุพืช (วัน)						
	30	37	44	51	58	65	75
535	46.04c	42.43c	32.87b	37.42b	67.18b	69.07c	64.87c
760	102.57b	212.04a	237.56a	169.76a	209.66a	222.60a	116.18b
835	152.16a	183.67b	224.61a	180.40a	187.17a	162.77b	154.75a
F-test	75.19**	350.35**	379.16**	45.56**	56.14**	40.31**	29.31**
% CV	12.22	6.65	7.13	18.27	13.22	16.09	14.88

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (DMRT)

** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.16 แสดงค่าเฉลี่ย และแนวโน้ม ของค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ ของ 3 ฟิลเตอร์ ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงทั้งหมดที่ส่องผ่านฟิลเตอร์ที่มีค่าเฉลี่ยของการส่องผ่าน 50 เปอร์เซ็นต์ที่ 535, 760 และ 835 นาโนเมตรในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง

ค่าเฉลี่ย ฟิลเตอร์	อายุพืช (วัน)						
	30	37	44	51	58	65	75
535	264,753.74a	261,369.70	655,799.50	164,866.25	488,970.00a	537,133.63	128,711.25
760	83,429.79c	402,707.83	620,972.11	185,337.62	285,905.45b	644,649.20	116,817.56
835	193,125.68b	334,429.40	591,194.70	156,279.95	429,758.20b	643,721.80	94,958.18
F-test	16.78**	4.13ns	0.03ns	0.12ns	5.74*	0.09ns	2.99ns
% CV	24.71	20.90	65.81	50.77	21.70	91.20	17.44

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (DMRT)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณที่ ฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร

นำค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพทั้งหมดของแต่ละฟิเตอร์มาแปลงเป็นค่าดัชนีพืชพรรณ โดยใช้

สูตร

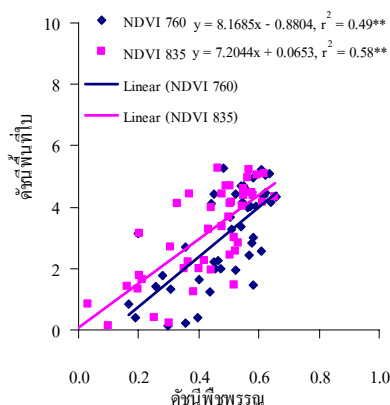
$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$$

เมื่อ	NDVI	คือ	ค่าดัชนีพืชพรรณ
	NIR	คือ	ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพที่ฟิเตอร์ 760 หรือ 835 นาโนเมตร
	VIS	คือ	ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพที่ฟิเตอร์ 535 นาโนเมตร

จากการคำนวณทำให้ได้ค่าดัชนีพืชพรรณ 2 ค่า คือ ค่าที่เกิดจากการคำนวณระหว่างฟิเตอร์ 535 และ 760 นาโนเมตร (NDVI760) และค่าที่คำนวณจากฟิเตอร์ 535 และ 835 นาโนเมตร (NDVI835) จากนั้นนำข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบทุกช่วงอายุมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณ ที่คำนวณจากฟิเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร

4.3.2.1 ข้าวโพด

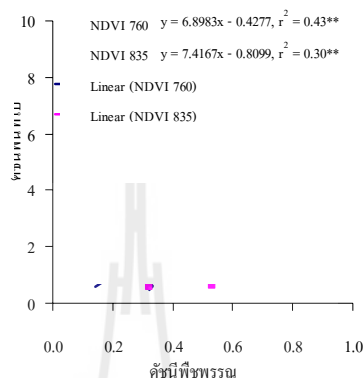
ความสัมพันธ์ของและดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ ของข้าวโพด ที่ฟิเตอร์ 760 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2=0.49^{**}$) และที่ฟิเตอร์ 835 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2=0.58^{**}$) เช่นกัน ดังรูป 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่ฟิเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตรของข้าวโพด

4.3.2.2 ถั่วเหลือง

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณของถั่วเหลืองที่ฟิลเตอร์ 760 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2=0.43^{**}$) และที่ฟิลเตอร์ 835 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2=0.30^{**}$) เช่นกัน ดังรูป 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่ฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตรของถั่วเหลือง

4.3.3 ความสัมพันธ์ ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ ดัชนีพืชพรรณ และความเข้มของแสงที่ฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร

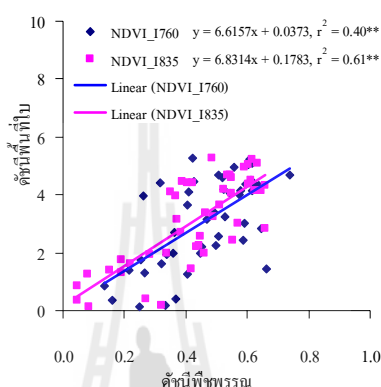
เนื่องจากการพลังงานของการสะท้อนแสงเป็นส่วนสำคัญโดยตรงกับพลังงานของแสงที่ตกกระทบ (Lillesand and Kiefer, 1994) จึงนำความเข้มของแสงที่ตกกระทบทรงพุ่มของพืชและสามารถผ่านฟิลเตอร์จนกระทั่งถูกบันทึกโดยเซนเซอร์ของกล้องดิจิทัลมาร่วมพิจารณาในการประเมินดัชนีพืชพรรณ โดยใช้สัดส่วนของค่าการสะท้อนต่อความเข้มแสงที่ส่องผ่าน ได้ดังสมการ

$$NDVI_Intensity = \frac{NIR/NIR_Intensity - VIS/VIS_Intensity}{NIR/NIR_Intensity + VIS/VIS_Intensity}$$

เมื่อ	NDVI_Intensity	คือ	ค่าดัชนีพืชพรรณที่มีผลจากความเข้มแสง
	NIR	คือ	ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพที่ฟิลเตอร์ 760 หรือ 835 นาโนเมตร
	NIR_Intensity	คือ	ความเข้มแสงในช่วงแสง 720- 800 หรือ 770-900 นาโนเมตร
	VIS	คือ	ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพที่ฟิลเตอร์ 535 นาโนเมตร
	VIS_Intensity	คือ	ความเข้มแสงในช่วงแสง 470-600 นาโนเมตร

4.3.3.1 ข้าวโพด

นำค่าดัชนีพื้นที่ใบมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ กับพืชพรรณที่คำนวณได้ทั้ง 2 ค่า ที่อายุของข้าวโพดต่าง ๆ กัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ฟิลเตอร์ 760 นาโนเมตร (NDVI_I760) ลดลงจาก 49 เป็น 40 เปอร์เซนต์ ส่วนฟิลเตอร์ 835 นาโนเมตร (NDVI_I835) เพิ่มขึ้น จาก 58 เป็น 61 เปอร์เซนต์ ดังรูปที่ 4.19

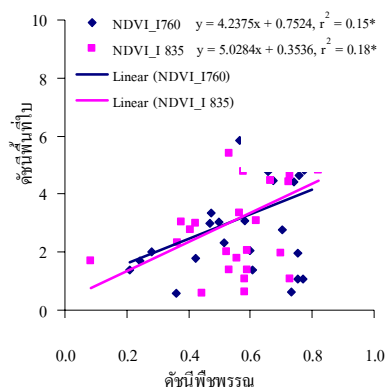


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่เกี่ยวเนื่องกับ ความเข้มของแสงของข้าวโพด ที่ ฟิลเตอร์ 760 (NDVI_I760) และ 835 (NDVI_I835) นาโนเมตร

ได้นำค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณทั้ง 4 ค่า มาเปรียบเทียบความแตกต่าง พบว่าในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด คือตั้งแต่ 30 ถึง 100 วัน ค่าเฉลี่ยของพืชพรรณทั้ง 4 ค่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นที่อายุ 107 วัน ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยดัชนีพืชพรรณที่ฟิลเตอร์ 760 นาโนเมตร ไม่แตกต่างกับดัชนีพืชพรรณที่ฟิลเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 760 นาโนเมตร และ ดัชนีพืชพรรณที่ฟิลเตอร์ 835 นาโนเมตร ไม่แตกต่างกับดัชนีพืชพรรณที่ฟิลเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 835 นาโนเมตร แต่ฟิลเตอร์ทั้งสองกลุ่มแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.13

4.3.3.2 ถั่วเหลือง

นำค่าดัชนีพื้นที่ใบมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ กับพืชพรรณที่คำนวณได้ทั้ง 2 ค่า ที่อายุของถั่วเหลืองต่าง ๆ กัน พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 ชุดฟิลเตอร์ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจลดลงทั้ง 2 ชุด โดยที่ฟิลเตอร์ 760 นาโนเมตร (NDVI_I760) ลดลงจาก 43 เป็น 15 เปอร์เซนต์ ส่วนฟิลเตอร์ 835 นาโนเมตร (NDVI_I835) ลดลงจาก 30 เป็น 18 เปอร์เซนต์ ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่เกี่ยวเนื่องกับ
ความเข้มของแสงของถั่วเหลือง ที่ฟิเตอร์ 760 (NDVI_I760) และ 835 (NDVI_I835)
นาโนเมตร

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของดัชนีพืชพรรณทั้ง 4 ค่า มาเปรียบเทียบความแตกต่างพบว่า ที่อายุ 30 และ 75 วัน ดัชนีพืชพรรณมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่อายุ 30 วัน การประเมินดัชนีพืชพรรณทั้ง 4 ค่ามีความแตกต่างกัน ส่วนที่อายุ 75 วัน ฟิเตอร์ 760, ฟิเตอร์ 835 และ ฟิเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 760 นาโนเมตรไม่แตกต่างกัน ส่วนฟิเตอร์ 835 และฟิเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 835 นาโนเมตรก็ไม่แตกต่างกัน ที่อายุ 37 และ 58 วัน ดัชนีพืชพรรณมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่อายุ 37 วัน ฟิเตอร์ 835 ฟิเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 760 และ 835 นาโนเมตรไม่แตกต่างกัน ส่วนฟิเตอร์ 760 และ ฟิเตอร์ 835 นาโนเมตรก็ไม่แตกต่างกัน ส่วนที่อายุ 58 วัน ฟิเตอร์ 760, ฟิเตอร์ 835 และ ฟิเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 835 นาโนเมตรไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกับ ฟิเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 760 นาโนเมตร และที่อายุ พืช 44, 51 และ 65 วันค่าเฉลี่ยของพืชพรรณทั้ง 4 ค่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของข้าวโพด ที่ฟิเตอร์ 760 นาโนเมตร (NDVI760), ฟิเตอร์ 835 นาโนเมตร (NDVI835), ฟิเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 760 นาโนเมตร (NDVI_I760) และ ฟิเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 835 นาโนเมตร (NDVI_I835)

ดัชนี พืชพรรณ	อายุ (วัน)											
	30	37	44	51	58	65	72	79	86	93	100	107
NDVI760	0.52	0.57	0.57	0.57	0.60	0.51	0.54	0.42	0.54	0.46	0.3	0.26a
NDVI835	0.44	0.50	0.55	0.55	0.56	0.43	0.5	0.36	0.46	0.37	0.2	0.11b
NDVI_I760	0.51	0.52	0.55	0.5	0.58	0.55	0.52	0.42	0.52	0.43	0.27	0.22a
NDVI_I835	0.38	0.49	0.56	0.55	0.59	0.43	0.54	0.44	0.51	0.3	0.21	0.12b
F-test	0.47ns	0.47ns	0.45ns	0.28ns	0.73ns	1.14ns	0.44ns	0.22ns	0.37ns	1.4ns	0.86ns	5.42*
% CV	29.17	21.11	21.11	21.79	7.69	22.82	10.40	35.29	19.63	36.21	44.93	35.25

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (DMRT)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของถั่วเหลือง ที่ฟิเตอร์ 760 นาโนเมตร (NDVI760), ฟิเตอร์ 835 นาโนเมตร (NDVI835), ฟิเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 760 นาโนเมตร (NDVI_I760) และฟิเตอร์ร่วมกับความเข้มแสงที่ 835 นาโนเมตร (NDVI_I835)

ดัชนี	อายุ (วัน)						
พืชพรรณ	30	37	44	51	58	65	75
NDVI760	0.38d	0.67a	0.76	0.63	0.51b	0.52	0.27b
NDVI835	0.54c	0.62ab	0.75	0.66	0.48b	0.40	0.41ab
NDVI_I760	0.75a	0.53b	0.77	0.62	0.70a	0.47	0.32b
NDVI_I835	0.65b	0.55b	0.77	0.69	0.53b	0.34	0.53a
F-test	30.67**	4.15*	0.29ns	1.41ns	4.34*	1.26ns	7.22**
% CV	9.46	10.67	5.88	8.45	17.10	32.84	21.92

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (DMRT)

* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

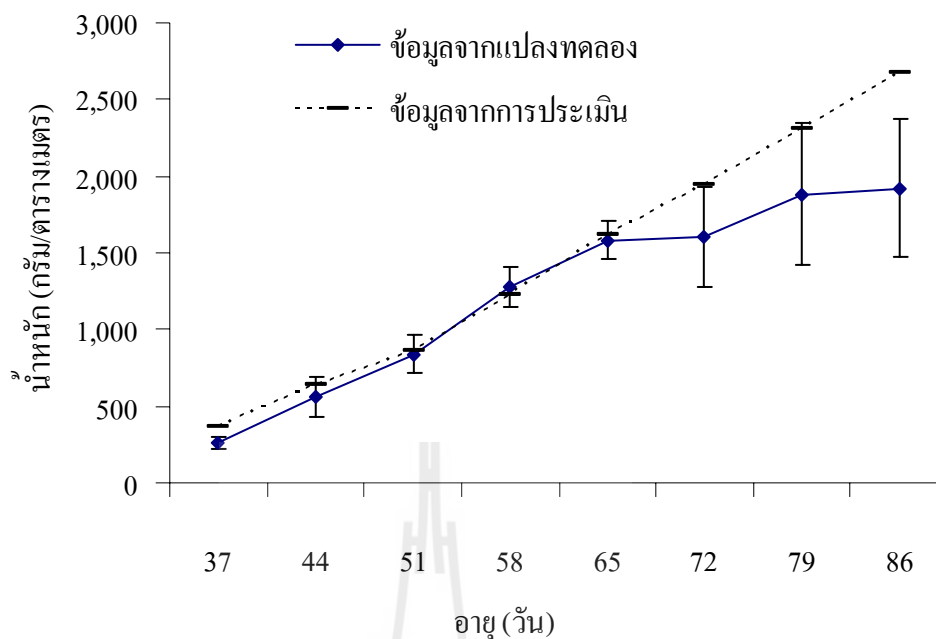
** หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซนต์

4.3.4 การใช้อัตราการเจริญเติบโต ประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิต

จากการนำข้อมูลอัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตารางเมตร/วัน) และดัชนีการเก็บเกี่ยวของปีเพาะปลูก 2548 มาประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพด และถั่วเหลืองของปีเพาะปลูก 2549

4.3.4.1 ข้าวโพด

เมื่อนำข้อมูลจากการคำนวณอัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตารางเมตร/วัน) (ข้อ 4.1.2) ที่ช่วงอายุของข้าวโพด 35-45, 45-55, 55-65 และ 65-80 วัน มาประเมินการเจริญเติบโตของข้าวโพด (กรัม/ตารางเมตร) ที่ช่วงอายุ 37-86 วัน พบว่าที่อายุ 37 วัน การประเมินสูงกว่าการเจริญเติบโตที่เกิดขึ้นจริง หลังจากนั้นที่ ช่วงอายุ 44-65 วัน การประเมินใกล้เคียงกับการเจริญเติบโต และช่วงอายุ 72-79 วัน การประเมินสูงกว่าการเจริญเติบโต แต่ยังอยู่ในช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนที่อายุ 86 วัน การประเมินสูงกว่าการเจริญเติบโต และไม่อยู่ในช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังรูป 4.21

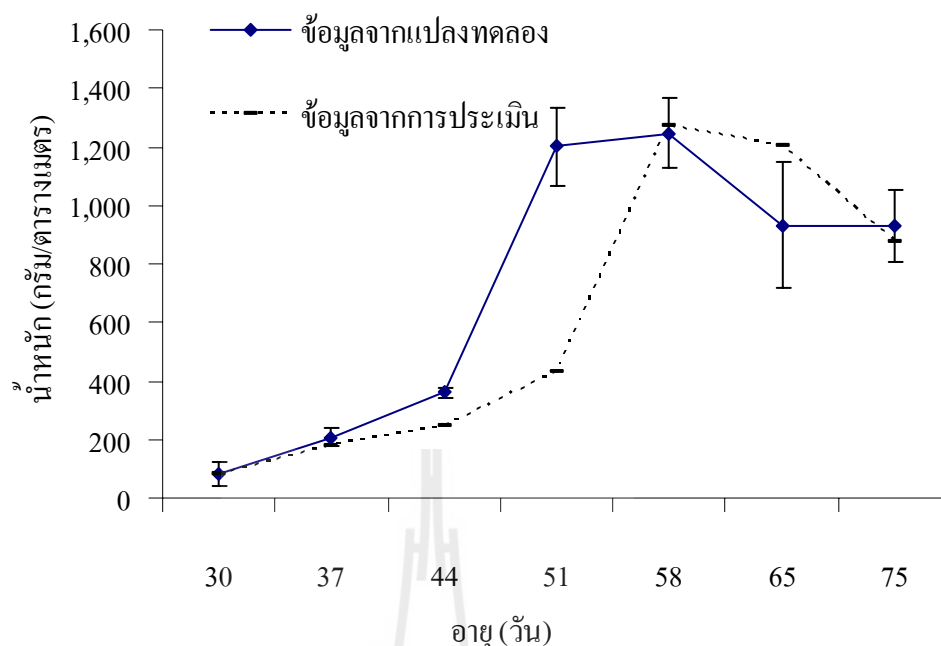


รูปที่ 4.21 การใช้อัตราการเจริญเติบโตในการประเมินการเจริญเติบโตของข้าวโพด

เมื่อนำค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (0.47) มาประเมินผลผลิตของข้าวโพด (กรัม/ตารางเมตร) โดยประเมินจากน้ำหนักจริง และน้ำหนักจากการประเมิน เปรียบเทียบกับผลผลิตจริง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F\text{-test} = 5.48^*$) โดยที่การประเมินจากน้ำหนักจริง ($902.54b$ กรัม/ตารางเมตร) ไม่แตกต่างกับน้ำหนักผลผลิตของข้าวโพด ($928.32b$ กรัม/ตารางเมตร) แต่แตกต่างกับผลผลิตที่ประเมินจากน้ำหนักประเมินจากอัตราการเจริญเติบโต ($1,214.37a$ กรัม/ตารางเมตร)

4.3.4.2 ถั่วเหลือง

นำข้อมูลจากการคำนวณอัตราการเจริญเติบโต (กรัม/ตารางเมตร/วัน) (ข้อ 4.2.2) ที่ช่วงอายุของถั่วเหลือง 25-30, 30-40, 40-50 และ 60-75 วัน มาประเมินการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง (กรัม/ตารางเมตร) ที่ช่วงอายุ 37-86 วัน พบว่าที่อายุ 37, 58 และ 75 วัน การประเมินการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับข้อมูลจริง ช่วงอายุ 44-51 วัน การประเมินต่ำกว่าข้อมูลจริง และ ที่ช่วงอายุ 65 วัน การประเมินสูงกว่าการเจริญเติบโต และไม่อยู่ในช่วงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังรูป 4.22



รูปที่ 4.22 การใช้อัตราการเจริญเติบโต ประเมินการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง

เมื่อนำค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (0.44) มาประเมินผลผลิตของถั่วเหลือง (กรัม/ตารางเมตร) โดยประเมินจากน้ำหนักทั้งหมดจริง และน้ำหนักทั้งหมดจากการประเมิน เปรียบเทียบกับผลผลิตจริง พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F\text{-test} = 0.58\text{ns}$) โดยที่ น้ำหนักผลผลิตจริง คือ 352.53 กรัมต่อตารางเมตร, การประเมินจากน้ำหนักจริง คือ 408.69 กรัมต่อตารางเมตร และผลผลิตที่ประเมินจากน้ำหนักประเมิน คือ 384.13 กรัมต่อตารางเมตร

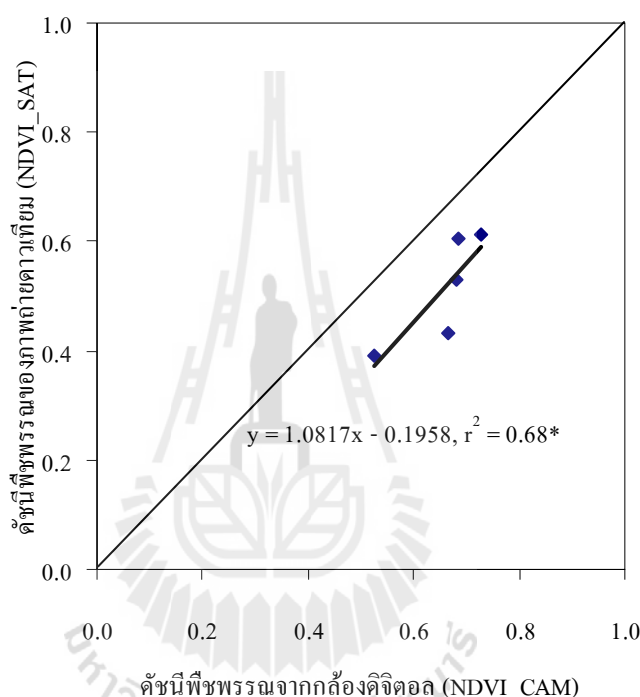
4.4 การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิทัลร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินผลผลิตของข้าวโพด

4.4.1 การประเมินดัชนีพืชพรรณ

จากข้อมูลการเก็บตัวอย่างของข้าวโพดในแปลงของเกษตรกร โดยเก็บตัวอย่าง ทุก 15 วัน เพื่อให้สัมพันธ์กับวงโคจรของดาวเทียม LANDSAT พบว่าช่วงอายุของพืชที่เหมาะสมในการประเมินพื้นที่โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม คือ ช่วงอายุ 85 วัน เนื่องจากข้าวโพดมีดัชนีพื้นที่ใบสูงที่สุด คือ 5.25 ซึ่งเก็บตัวอย่างในวันที่ 7 กรกฎาคม 2550 เมื่อพิจารณาภาพถ่ายดาวเทียมที่ถูกบันทึกในเวลาใกล้เคียง พบว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5 ที่บันทึกเมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม 2550 เป็นข้อมูลที่ถูกบันทึกในช่วงเวลาใกล้เคียงที่สุด และได้ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ 3 และแบนด์ 4 มาประเมินดัชนีพืชพรรณของพืชของพื้นที่ทั้งหมดของ 2 ตำบล

4.4.2 ความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณของภาพถ่ายดาวเทียม และภาพถ่ายดิจิทัล

จากการเก็บข้อมูลในแปลงเกษตรกรรมทั้งหมด 5 ตำแหน่ง นำข้อมูลดัชนีพืชพรรณที่ประเมินจากการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล ที่ฟิลเตอร์ 535 และ 760 นาโนเมตร มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณที่ประเมินจากภาพถ่ายดาวเทียมที่ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างเดียวกัน พบว่าดัชนีพืชพรรณของภาพถ่ายดาวเทียม และดัชนีพืชพรรณที่ประมวลผลภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัลที่ติดตั้งฟิลเตอร์ 535 และ 760 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r^2=0.68^*$) ดังแสดงในรูป 4.23



รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ 1:1 และสมการความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณที่ประเมินจากภาพถ่ายดาวเทียม (NDVI_SAT) และดัชนีพืชพรรณที่ประเมินจากกล้องดิจิทัล (NDVI_CAM)

4.4.3 การใช้ดัชนีพืชพรรณจากกล้องดิจิทัล และภาพถ่ายดาวเทียม ประเมินผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าวโพด

4.4.3.1 การประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมดโดยดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลประเมินดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพดในฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2548 ได้สมการ รีเกรชัน ดังนี้

สมการที่ (1) การประเมินดัชนีพื้นที่ใบด้วยดัชนีพืชพรรณจากกล้องดิจิทัล จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณจากกล้องดิจิทัลของข้าวโพด เมื่อฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2548

$$y = 6.2188x + 0.4074, \quad r^2 = 0.83^{**} \quad (1)$$

เมื่อ y คือ ดัชนีพื้นที่ใบ และ x คือ ดัชนีพืชพรรณจากกล้องดิจิทัล

สมการที่ (2) ใช้ดัชนีพื้นที่ใบเพื่อประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมด (กรัม/ตารางเมตร) จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้ง เมื่อฤดูปลูก ปี พ.ศ. 2548

$$y = 0.0037x + 1.6037, \quad r^2 = 0.75^{**} \quad (2)$$

เมื่อ y คือ ดัชนีพื้นที่ใบ และ x คือ น้ำหนักแห้งทั้งหมด (กรัม/ตารางเมตร)

กำหนดให้
 NDVI_SAT คือ ดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม
 NDVI_CAM คือ ดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล
 LAI คือ ดัชนีพื้นที่ใบ
 TDM คือ น้ำหนักแห้งทั้งหมด (กรัม/ตารางเมตร)

ขั้นที่ 1 ทำการแทนค่าในสมการรีเกรชันจากรูป 4.29

$$\text{NDVI_SAT} = 1.0817 * \text{NDVI_CAM} - 0.1958 \quad (3)$$

$$\text{NDVI_CAM} = (\text{NDVI_SAT} + 0.1958) / 1.0817 \quad (4)$$

ขั้นที่ 2 จากสมการที่ (1)

$$\text{LAI} = 6.2188 * \text{NDVI_CAM} + 0.4074 \text{ แทนค่า (4) จากขั้นที่ 1 ได้}$$

$$\text{LAI} = (6.2188 * (\text{NDVI_SAT} + 0.1958) / 1.0817) + 0.4074 \quad (5)$$

$$\text{LAI} = (5.7491 * (\text{NDVI_SAT} + 0.1958)) + 0.4074 \quad (6)$$

$$\text{LAI} = 5.7491 * \text{NDVI_SAT} + 1.5331 \quad (7)$$

ขั้นที่ 3 จากสมการที่ (2)

$$LAI = 0.0037.TDW + 1.6037 \text{ หรือ } TDM = (LAI - 1.6037)/0.0037$$

แทนค่า LAI จากสมการ (7)

$$TDM = ((5.7491.NDVI_SAT + 1.5331) - 1.6037) / 0.0037 \quad (8)$$

$$TDM = (5.7491.NDVI_SAT - 0.0706) / 0.0037 \quad (9)$$

$$TDM = 1,553.8108 * NDVI_SAT - 19.0811 \quad (10)$$

จากสมการที่ (10) นำมาประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมด (กรัม/ตารางเมตร) จากข้อมูลดัชนีพืชพรรณที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมที่มีการข้อมูลในแปลงเกษตรกรรมทั้งหมด 5 ตำแหน่งได้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงผลของการใช้ดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมด และน้ำหนักผลผลิต (กรัม/ตารางเมตร)

ตำแหน่ง เก็บตัวอย่าง	ดัชนีพืชพรรณ จากภาพถ่ายดาวเทียม	น้ำหนักแห้งทั้งหมด (กรัม/ตารางเมตร)
1	0.53	806.44
2	0.61	935.12
3	0.39	588.47
4	0.61	922.57
5	0.43	651.75
เฉลี่ย	0.51	780.87

4.4.3.2 การตรวจสอบข้อมูลจากการประเมินผลผลิตกับข้อมูลผลผลิตจากแปลงเกษตร

นำข้อมูลจากการศึกษาข้อมูลอัตราการผลิตเจริญเติบโต (กรัม/ตารางเมตร/วัน) และดัชนีการเก็บเกี่ยวของข้าวโพดในปีเพาะปลูก พ.ศ. 2548 (ตารางที่ 4.1) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 52.63 กรัม/ตารางเมตร/วัน และ 0.47 ตามลำดับ มาประเมินการผลิตเจริญเติบโต และผลผลิต โดยใช้ข้อมูลจากการ

ประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมด (ตารางที่ 4.21) และจำนวนวันก่อนการเก็บเกี่ยวคือ 23 วัน (ช่วงอายุ 87-110 วัน) เป็นข้อมูลเริ่มต้นในประเมินการเจริญเติบโต โดยใช้ความสัมพันธ์ของ

น้ำหนักแห้งทั้งหมดเมื่อเก็บเกี่ยว = น้ำหนักแห้งทั้งหมด + (จำนวนวันก่อนเก็บเกี่ยว * อัตราการเจริญเติบโต) และ

ผลผลิต(กรัม/ตารางเมตร) = น้ำหนักแห้งทั้งหมดเมื่อเก็บเกี่ยว * ดัชนีการเก็บเกี่ยว

ได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการประเมิน และข้อมูลจากแปลงเกษตรกรของน้ำหนักแห้งทั้งหมด (กิโลกรัม/ไร่) และน้ำหนักผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)

ตำแหน่ง เก็บ	ข้อมูลจากการประเมิน		ข้อมูลจากแปลงเกษตรกร	
	น้ำหนักทั้งหมด	น้ำหนัก	น้ำหนักทั้งหมด	น้ำหนัก
ตัวอย่าง	เมื่อเก็บเกี่ยว	ผลผลิต	เมื่อเก็บเกี่ยว	ผลผลิต
1	3,227.09	1,516.74	2,276.42	1,464.19
2	3,432.98	1,613.50	2,250.30	1,589.41
3	2,878.34	1,352.82	-	1,564.56
4	3,412.90	1,604.06	-	2,341.94
5	2,979.58	1,400.40	-	1,811.10
เฉลี่ย	3,186.18	1,497.50	2,263.36	1,754.24

หมายเหตุ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างที่ 3, 4 และ 5 ไม่มีการเก็บตัวอย่างน้ำหนักแห้งทั้งหมด

ผลของการประเมินผลผลิตจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 5 ตำแหน่งได้ผลผลิตเฉลี่ย 1,497.50 กิโลกรัม/ไร่ และเมื่อนำไปคำนวณจากเปอร์เซ็นต์กระทะ ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ (ราชนนท์ อธิพร, 2539) จะได้ผลผลิตเมล็ด 1,198.00 กิโลกรัม/ไร่ และจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 5 ตำแหน่งได้ผลผลิต 1,754.24 กิโลกรัม/ไร่ และเมื่อนำไปคำนวณจากเปอร์เซ็นต์กระทะได้ผลผลิตเมล็ด 1,403.40 กิโลกรัม/ไร่

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลประเมินดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพด และถั่วเหลือง

เนื่องจากผลการศึกษา ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลประเมินดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพด (ข้อ 4.1) และถั่วเหลือง (ข้อ 4.2) มีลักษณะการศึกษา และผลการศึกษาคลายคลึงกันจึงนำมาวิจารณ์ร่วมกัน

5.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้ง

5.1.1.1 ข้าวโพด

การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้งเฉลี่ยทั้งหมดของข้าวโพด (กรัม/ตารางเมตร) มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เพิ่มขึ้น โดยในช่วงเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้น เป็นการสะสมน้ำหนักของใบ และลำต้น จนเมื่อเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ การสะสมน้ำหนักแห้งของใบ และลำต้น เริ่มลดลง แต่มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักผลผลิตทำให้น้ำหนักเฉลี่ยทั้งหมดยังมีการเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสะสมน้ำหนักแห้งของข้าวโพดเริ่มตั้งแต่ข้าวโพดเริ่มออกจนถึงระยะสุกแก่ เมล็ดมีการสะสมน้ำหนักแห้ง หลังการผสมเกสร ส่วนน้ำหนักแห้งของลำต้นและใบจะลดลงเมื่อมีการสะสมน้ำหนักเมล็ด (Ritchie and Hanway, 1984) ในขณะที่ดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นเฉพาะในช่วงเวลา 35-45 วัน เท่านั้น หลังจากนั้นพื้นที่ใบไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก สอดคล้องกับการศึกษาของ Rachain *et al.*, (1992) ที่ศึกษาการเจริญเติบโตของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 5 พบว่าน้ำหนักแห้งของใบข้าวโพดจะสะสมอย่างรวดเร็ว จนถึงอายุประมาณ 50 วัน ต่อจากนั้นอัตราการสะสมจะเป็นไปอย่างเชื่องช้า เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งทั้งหมด ของข้าวโพด พบว่าทั้งช่วงเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นและระยะเจริญพันธุ์ สามารถที่จะนำข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบมาประเมินการเจริญเติบโต เนื่องจากดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพดมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก การปรับปรุงพันธุ์ข้าวโพดให้มีดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น การพัฒนาใบ และต้นมีอายุยาว ช่วยให้แหล่งสังเคราะห์แสงมีเพิ่มขึ้น และมีความยาวนานที่จะสร้างน้ำหนักเมล็ดให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น (ราเชนทร์ ธิรพร, 2539) แต่เมื่อพิจารณาค่าดัชนีสหสัมพันธ์ พบว่าในช่วงเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นมีความเหมาะสมในการนำดัชนีพื้นที่ใบมาประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมดมากกว่าช่วงระยะเจริญพันธุ์ เนื่องจากข้าวโพดลูกผสมมีดัชนีพื้นที่ใบที่สูงมากในระยะออกไหมซึ่งเป็นช่วงสุดท้ายของระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น เป็นผลให้มีการรับแสงมาก และยังมีการสะสมน้ำหนักแห้งมากในระยะเจริญเติบโตทางลำต้น (Tollenaar and Aguilera, 1992) ข้าวโพดลูกผสมที่ใบมีลักษณะตั้ง ต้องมีจำนวนต้น 9 ต้นต่อตารางเมตร และดัชนีพื้นที่ใบเท่ากับ 6 จะได้ผลผลิตสูงที่สุด ส่วนข้าวโพดลูกผสม ใบลักษณะนอน ต้องมี

จำนวนต้น 4.5 ต้นต่อตารางเมตร และมีดัชนีพื้นที่ใบเท่ากับ 4 จึงจะให้ผลผลิตที่สูงที่สุด (Dong and Hu, 1993)

5.1.1.2 ถั่วเหลือง

เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งของพืชเห็นได้ว่า มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก เฉพาะในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้น คือช่วงอายุ 25-30 วัน หลังจากนั้นน้ำหนักแห้งทั้งหมดเริ่มลดลง เนื่องจากระยะการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ คือการเจริญเติบโตทางลำต้น เริ่มต้นตั้งแต่พืชเริ่มงอก สิ้นสุดเมื่อพืชออกดอก ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงถูกเก็บไว้ในราก และฐานของลำต้นเพื่อรอเคลื่อนย้ายเข้าสู่ฝัก และเมล็ด (อภิพรรณ พุกภักดี, 2535) หลังจากนั้นพื้นที่ใบเริ่มลดลงเนื่องจากมีใบส่วนหนึ่งเริ่มแก่ และร่วงหล่น ส่วนอีกระยะขณะที่พืชเริ่มมีการออกดอก และสะสมน้ำหนักแห้งเพื่อเกิดเป็นเมล็ด ทำให้ยังมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้ง จนผ่านระยะสุกแก่ทางสรีระวิทยา ทำให้น้ำหนักเมล็ดลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Hanway and Weber (1971) ที่พบว่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นตามอายุการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักลำต้น กิ่ง และใบ จากนั้นลดลงในช่วงปลายของการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นผลมาจากการหลุดร่วงของกิ่ง และใบ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งทั้งหมด ของถั่วเหลือง พบว่ามีความสัมพันธ์กันเฉพาะช่วงเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นเท่านั้น จึงสามารถนำดัชนีพื้นที่ใบมาประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมดได้เฉพาะในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น จากการศึกษาของ Kaplan and Koller (1977) พบว่าการลดพื้นที่ใบของถั่วเหลืองจำนวน 16 สายพันธุ์ ทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้นของถั่วเหลืองลดลง เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่ใบมีสหสัมพันธ์ทางบวกกับผลผลิตน้ำหนักแห้งของถั่วเหลือง

5.1.2 อัตราการเจริญเติบโต และดัชนีเก็บเกี่ยว

5.1.2.1 ข้าวโพด

อัตราการเจริญเติบโตของข้าวโพด (กรัม/ตารางเมตร/วัน) สัมพันธ์กับการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งหมด ในช่วงอายุ 35-45 และ 45-55 วันซึ่งเป็นช่วงเจริญเติบโตทางลำต้น อัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่หลังจาก 55 วัน เริ่มเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ อัตราการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้น และแตกต่างกันทางสถิติกับการเจริญเติบโตกับช่วงระยะเจริญเติบโตทางลำต้น แม้ว่าหลังจาก 55 วันอัตราการพัฒนารากของใบมีการเจริญเติบโตต่ำกว่าระยะแรก สาเหตุเนื่องมาจากการสะสมของน้ำหนักแห้งของฝักข้าวโพด โดยเฉพาะในช่วงหลังการผสมเกสร น้ำหนักแห้งของฝักจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการสะสมแป้งในเมล็ด (ราเชนทร์ ธีรพร, 2539) จึงทำให้ช่วงเวลาหลังจาก 55 วัน อัตราการเจริญเติบโตจึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของน้ำหนักแห้งของฝัก จนกระทั่งน้ำหนักสูงสุดเมื่อข้าวโพดเข้าสู่ระยะสุกแก่ทางสรีระวิทยา ที่อายุ 80

วัน จากการศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวของข้าวโพดในปี พ.ศ. 2548 พบว่ามีดัชนีเก็บเกี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 0.47 แต่จากการศึกษาของสุกัญญา หันน้ำเที่ยง (2545) ที่ศึกษาการปลูกข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 5 ร่วมกับถั่วเหลือง พบว่าการปลูกข้าวโพดเพียงอย่างเดียวที่ระยะปลูก 75 x 25 เซนติเมตร มีดัชนีการเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.32

5.1.2.2 ถั่วเหลือง

อัตราการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง (กรัม/ตารางเมตร/วัน) ในช่วงของการเจริญเติบโตทางลำต้นจะสูงที่สุดหลังจากนั้นไม่แตกต่างกัน เนื่องจากน้ำหนักแห้งของถั่วเหลืองมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณแสงอาทิตย์ที่พืชได้รับโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของการเจริญเติบโต และอัตราการเจริญเติบโตมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าดัชนีพื้นที่ใบ (दानิน กาละดี และเฉลิมพล แชมเพชร, 2539) เมื่อพิจารณาอัตราการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง พบว่าเพิ่มขึ้นตามอายุการเจริญเติบโต และลดลงในช่วงปลายของการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันกับค่าน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินที่เพิ่มขึ้นตามอายุการเจริญเติบโต และลดลงในช่วงปลายของการเจริญเติบโต เนื่องจากการสูญเสียความชื้นในลำต้น เมล็ด และการร่วงหล่นของใบ (เขมิกา กริอุณะ, 2547) สอดคล้องกับการศึกษาของ รวีวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์ (2540) ที่ศึกษาในถั่วเหลืองพันธุ์ 8 สายพันธุ์พบว่าอัตราการเจริญเติบโตที่มีทิศทางลดลง ในช่วงระยะเวลาสุดท้ายของระยะเจริญพันธุ์ โดยการศึกษาในช่วงฤดูฝนมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของ 8 สายพันธุ์ในช่วงอายุ 70-77 วัน คือ - 13.69 กิโลกรัม/เฮกตาร์/วัน

จากการศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวของถั่วเหลืองในปี พ.ศ. 2548 พบว่ามีค่าของ ดัชนีเก็บเกี่ยวเฉลี่ย 0.44 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pookpakdi and Haisadee (1990) ที่ศึกษาการเจริญเติบโตของถั่วเหลือง 20 สายพันธุ์พบว่ามิตัชนีการเก็บเกี่ยวอยู่ระหว่าง 0.2-0.5 และเฉลิมพล แชมเพชร (2533) ได้ศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวของถั่วเหลือง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สจ.5, สุโขทัย 1 และ CM-001 พบว่า พันธุ์สุโขทัย 1 เป็นพันธุ์ที่มีดัชนีเก็บเกี่ยวมากที่สุดคือ 0.34 ส่วนพันธุ์ สจ.5 และ พันธุ์ CM-001 มีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวเท่ากับ 0.29 และ 0.25 ตามลำดับ

5.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN และเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ

5.1.3.1 ข้าวโพด

จากความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่องมือ 2 ชนิด ได้แก่เครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ และเครื่อง SUNSCAN พบว่าในข้าวโพด ทุกค่าของดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจาก เครื่อง SUNSCAN มีค่าต่ำกว่าดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ เนื่องจากการที่ เครื่อง SUNSCAN ใช้หลักการของการส่องผ่านของพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อวัดดัชนีพื้นที่ใบ (Delta-T Device, 1996) ทำให้ในช่วงที่ดัชนีพื้นที่ใบมีค่าต่ำ ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่วัดจากเครื่องมือทั้ง

สองประเภทจะมีลักษณะความสัมพันธ์เป็นบวก และขนานกับเส้น 1:1 เมื่อดัชนีพื้นที่ใบมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณของใบเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการบังใบ ใบที่อยู่ด้านบนยังไม่หลุดร่วงและมีคุณสมบัติในการสังเคราะห์แสงได้ และ ขณะที่ใบล่างก็มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (ราเชนทร์ ธีรพร, 2539) ทำให้เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์จากการวัดดัชนีพื้นที่ใบด้วยเครื่องมือทั้งสองประเภท ความสัมพันธ์จะกระจาย และไม่สม่ำเสมอ

5.1.3.2 ถั่วเหลือง

ในกรณีของถั่วเหลือง ในช่วงเวลาที่ดัชนีพื้นที่ใบมีค่าต่ำ ความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่องมือทั้งสองประเภท มีทิศทางเดียวกัน คือสามารถที่จะใช้เครื่อง SUNSCAN ทดแทนการวัด และคำนวณดัชนีพื้นที่ใบจากเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติได้ แต่เมื่อพืชมีอายุมากขึ้น ปริมาณใบเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ดัชนีพื้นที่ใบมีค่าสูงขึ้น แต่มีใบบางส่วนเริ่มแก่ และไม่สามารถที่จะสังเคราะห์แสงได้ แต่ยังไม่หลุดร่วงจากต้น (อภิพรรณ พุกภักดี, 2533) และใบที่หลุดร่วงไปแล้วยังมีส่วนของกิ่งก้านบดบังแสงซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ดัชนีพื้นที่ใบที่วัดด้วยเครื่อง SUNSCAN มีค่าสูงกว่า ดัชนีพื้นที่ใบที่วัด และคำนวณจากเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ

สรุป คือ ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใช้เครื่อง SUNSCAN เพื่อวัดดัชนีพื้นที่ใบของพืชทั้งสองชนิด ควรเป็นช่วงเวลาที่โครงสร้างของใบปกคลุมพื้นที่ แต่พื้นที่ใบยังไม่สูงมากนัก จากการศึกษา ในข้าวโพด และถั่วเหลือง ดัชนีพื้นที่ใบที่เหมาะสมในวัดด้วยเครื่อง SUNSCAN ประมาณไม่ควรเกิน 2 หลังจากนั้น อาจทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

5.1.4 ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ

หลังจากนำภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล SONY รุ่น F828 ที่ติดตั้งฟิลเตอร์ ที่มีความยาวช่วงคลื่นเฉลี่ย 535 และ 760 นาโนเมตร แปลงเป็นภาพขาวดำ และนำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพพบว่าทั้งข้าวโพด และถั่วเหลืองค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพในแต่ละช่วงอายุของพืชทั้งสองชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพที่ได้เป็นสิ่งที่แสดงถึงการสะท้อนวัตถุที่เซนเซอร์ของกล้องรับได้ (ศุภสิทธิ์, 2546) แสดงให้เห็นว่าภาพถ่ายดิจิทัลที่ติดตั้งฟิลเตอร์ที่สามารถให้แสงที่มีความยาวช่วงคลื่นเฉลี่ย 535 นาโนเมตร ส่องผ่าน มีค่าสะท้อนแสงต่ำกว่าภาพถ่ายดิจิทัลที่ติดตั้งฟิลเตอร์ที่สามารถให้แสงที่มีความยาวช่วงคลื่นเฉลี่ย 760 นาโนเมตรส่องผ่าน หรือภาพถ่ายดิจิทัลที่ติดตั้งฟิลเตอร์ที่สามารถให้แสงที่มีความยาวช่วงคลื่นเฉลี่ย 535 นาโนเมตรส่องผ่าน ดูคลื่นพลังงานแสงมากกว่านั่นเอง จึงสามารถนำคุณสมบัติเหล่านี้มาศึกษาลักษณะการสะท้อนแสงของพืช เนื่องจาก ช่วงคลื่นที่เหมาะสมในการให้ข้อมูลของพืชพรรณมักจะนำช่วงคลื่นที่สายตามนุษย์มองเห็นกับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาใช้ประโยชน์ ซึ่งพืชพรรณจะมีความแปรผันสูงระหว่างช่วงคลื่นสีแดงที่ถูกดูดกลืนมาก กับช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่มีการสะท้อนมาก (Lillesand and Kiefer, 1994)

แม้ว่าภาพดิจิทัลที่ติดตั้งฟิลเตอร์ที่สามารถให้แสงที่มีความยาวช่วงคลื่นเฉลี่ย 535 นาโนเมตร ส่องผ่านหรืออยู่ในช่วงคลื่นประมาณ 470-600 นาโนเมตร เป็นช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า ซึ่งรวมช่วงคลื่นแสง 3 channels คือ สีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง เข้าด้วยกัน ซึ่งแสงที่ผ่านเข้ามาในกล้องดิจิทัลเป็นแสงสีขาวซึ่งต้องผ่านฟิลเตอร์ย้อมสีในแต่ละ channel เพื่อให้สีเป็นไปตามผลลัพธ์ (วีรนิช ทรพรทรรณท์ และจุฑามาศ จวงสังข์, 2547) เมื่อใช้โปรแกรม PHOTOSHOP เวอร์ชัน 7.0 แยกผสมสีทุก channel ให้เป็นภาพขาวดำ โดยใช้ channel สีแดง แสดงผล 100 เปอร์เซนต์ ส่วน channel อื่น ๆ ให้เป็น 0 เปอร์เซนต์ (ปิยะ นากสงค์ และพันธุ์วิ วรสิทธิกุล, 2546) ทำให้ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพที่ถูกบันทึกไว้แสงสีแดง ส่วนฟิลเตอร์ที่สามารถให้แสงที่มีความยาวช่วงคลื่นเฉลี่ย 760 นาโนเมตร ส่องผ่านหรืออยู่ในช่วงคลื่นประมาณ 720-800 นาโนเมตร ทำให้ได้ภาพที่มีโทนสีแดงทั้งภาพโดยไม่มีแสงในช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่าส่องผ่าน เมื่อถูกแปลงเป็นขาวดำค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพจึงให้ผลของแผนภูมิภาพแสดงถึงการสะท้อนแสงของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

5.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพีชพรรณ และดัชนีพื้นที่ใบ

5.1.5.1 บริเวณตำแหน่งของจุดภาพที่ต่างกัน

จากการเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพีชพรรณที่คำนวณจากภาพถ่ายดิจิทัล บริเวณขอบภาพ และจุดศูนย์กลางของภาพ ทั้ง 3 ระดับความสูงและดัชนีพื้นที่ใบของพื้นที่ดังกล่าวของพืชทั้งสองชนิด พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง และเมื่อแยกวิเคราะห์ความสัมพันธ์เป็นบริเวณขอบภาพ และจุดศูนย์กลางของภาพ พบว่าที่บริเวณขอบภาพมีค่าสหสัมพันธ์สูงกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด ส่วนบริเวณขอบภาพแม้ว่าค่าสหสัมพันธ์จะบอกถึงการมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แต่ยังมีค่าความสัมพันธ์ต่ำกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด เพราะเมื่อจุดของภาพห่างจากจุดศูนย์กลางก็เป็นเพิ่มความผิดเพี้ยนของภาพ มีสาเหตุเนื่องจากองค์ประกอบของกล้องที่มีความผิดพลาดส่งผลต่อการถ่ายภาพบนพื้นดิน (ธีระ ลาภิศษยางกูร, 2550) ในการจัดภาพภายใน (interior orientation) ได้แก่ ความยาวโฟกัส (focal length หรือ principal distance) จุดमुखสำคัญ (principal point) เป็นความสัมพันธ์ของจุดศูนย์กลางเครื่องหมายดัชนี (fiducial center) กับจุดศูนย์กลางระนาบโฟกัส (focal plane) จะเป็นแนวตั้งฉากกับแนวจากจุดรวมแสงของกล้องถ่ายภาพ โดยค่าความผิดพลาดของกล้องจากองค์ประกอบจากการจัดภาพภายในเกิดจากค่าความผิดเพี้ยนของเลนส์ ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วน (Wolf and Dewitt, 2000) คือ ความผิดเพี้ยนตามแนวรัศมี (radial lens distortion) เกิดตามแนวเส้นรัศมีจากจุดमुखสำคัญ ซึ่งค่าความผิดพลาดจะเกิดขึ้นเสมอแม้ว่าเลนส์จะถูกออกแบบมาอย่างสมบูรณ์ และความผิดเพี้ยนตามแนวเส้นสัมผัส หรือความผิดเพี้ยนของเลนส์จากจุดศูนย์กลาง (tangential or decentering lens distortion) เกิดจากเลนส์มีความบิดเบี้ยวที่ไม่มีความสมบูรณ์ โดยค่าความผิดเพี้ยนนี้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะเฉพาะของกล้องแต่ละตัว นอกจากนี้องค์ประกอบการจัดภายนอก (exterior orientation)

ได้แก่ องค์ประกอบของการหมุนของภาพถ่าย (rotation matrix) องค์ประกอบของตำแหน่งจุดเปิดภาพถ่าย (exposure point) ซึ่งเป็นพิกัดตำแหน่งของกล้องถ่ายภาพที่มีความสัมพันธ์กับวัตถุ และองค์ประกอบของจุดควบคุมภาพถ่าย (control point) (Kramus and Waldhausl, 1993) ก็มีผลด้วยเช่นกัน เพราะฉะนั้นตำแหน่งบริเวณจุดศูนย์กลางของภาพจึงเป็นตำแหน่งที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำดัชนีพืชพรรณที่ได้จากกล้องดิจิทัลมาเพื่อประเมินดัชนีพื้นที่ใบ

5.1.5.2 การถ่ายภาพที่ระดับความสูงต่างกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากภาพถ่ายดิจิทัลที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ทั้งข้อมูลจากจุดภาพทั้งหมด ข้อมูลที่บริเวณขอบภาพและจุดศูนย์กลางของภาพ แต่เมื่อเปรียบเทียบดัชนีพืชพรรณในแต่ละระดับความสูง แต่ละช่วงอายุ ของข้าวโพดยังพบความแตกต่างระหว่าง 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม 3 เมตร กับกลุ่ม 1 และ 2 เมตรที่ช่วงอายุ 45, 55 และ 65 วัน ส่วนถั่วเหลืองพบความแตกต่างเฉพาะช่วงอายุ 25 วัน แต่เมื่อเปรียบเทียบแต่ละระดับสูงในบริเวณขอบภาพ และจุดศูนย์กลางของภาพไม่พบความแตกต่างของดัชนีพืชพรรณของแต่ละระดับความสูง แม้ว่าการเพิ่มระดับความสูงของการถ่ายภาพจะเป็นการเพิ่มความผิดเพี้ยนของภาพ (ชรินทร์ มงคลสวัสดิ์, 2540) แต่ละระดับความสูงเหนือทรงพุ่ม อาจจะยังไม่มากพอจนทำให้เกิดความแตกต่างของค่าดัชนีพืชพรรณ

จากข้อมูลความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้สามารที่จะนำค่าดัชนีพืชพรรณที่บริเวณจุดศูนย์กลางของภาพที่ความสูงเหนือทรงพุ่ม 1-3 เมตร มาเพื่อประเมินดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพด และถั่วเหลือง แต่จากความสะดวกในการปฏิบัติงานการถ่ายภาพเหนือทรงพุ่ม ระยะความสูง 1 เมตรจึงเป็นระยะที่เหมาะสม

5.2 การประเมินปัจจัยที่เกี่ยวข้องระหว่างความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณ และดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพด และถั่วเหลือง

5.2.1 ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ และความเข้มแสงที่ฟิลเตอร์ 535, 760 และ 835 นาโนเมตร

เมื่อเปรียบค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพของข้าวโพด และถั่วเหลือง ที่ถ่ายโดยกล้องดิจิทัลที่ติดตั้งฟิลเตอร์ 3 ประเภท คือ ฟิลเตอร์ 535 นาโนเมตรเป็นตัวแทนของช่วงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า 470-600 นาโนเมตร ที่ถูกนำเสนอในรูปแบบของช่วงคลื่นสีแดง ส่วนฟิลเตอร์ 760 นาโนเมตร ซึ่งเป็นตัวแทนของช่วงอินฟราเรดใกล้ 720-800 นาโนเมตร และฟิลเตอร์ 835 นาโนเมตร เป็นตัวแทนของช่วงอินฟราเรดใกล้ 770-900 นาโนเมตร ในการความแตกต่างนี้เป็นคุณสมบัติในการคำนวณดัชนีพืชพรรณ เนื่องจากในช่วงคลื่นสีแดง และช่วงอินฟราเรดเป็นช่วงคลื่นพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพในการแสดงค่าดัชนีพื้นที่ใบได้ดี แสดงให้เห็นว่าดัชนีพืชพรรณที่ใบจะมีความสัมพันธ์ในความแตกต่างระหว่างพลังงานในช่วงของคลื่นสีแดง และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

(สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540) ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพอาจจะมีสาเหตุเนื่องจาก ค่าพลังงานของแสงที่ส่องมากระทบทรงพุ่มของพืชที่แตกต่างกัน (Hart, 1988) แต่จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มแสงที่ตกกระทบทรงพุ่มในขณะที่ย้ายภาพทั้ง 3 ฟิลเตอร์ ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งก็อาจจะเป็นไปได้ที่ความเข้มแสงไม่ส่งผลต่อความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ นอกจากนี้ยังพบว่ามียางช่วงอายุที่ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพที่ผ่านฟิลเตอร์อินฟราเรดใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ที่ผลของการคำนวณดัชนีพืชพรรณจากแต่ละค่าของฟิลเตอร์อินฟราเรดใกล้เคียงกันจะทำให้ผลของความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบที่ต่างกัน เมื่อพิจารณาทิศทางของการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพของทั้ง 3 ฟิลเตอร์ ในช่วงอายุต่างกันของพืชทั้ง 2 ชนิด พบว่าส่วนใหญ่ทิศทางของฟิลเตอร์ 535 นาโนเมตร มีทิศทางที่เพิ่มขึ้น ส่วนฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร มีทิศทางที่ลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนสภาพของใบพืชจากใบที่มีลักษณะสีเขียวทำให้คลิ่นสีแดงที่ถูกดูดซับโดยคลอโรฟิลที่อยู่ในใบ หากใบของพืชมีอาการผิปกด เช่น มีลักษณะเหี่ยว หรือ ปริมาณคลอโรฟิลลดลง ทำให้การสะท้อนที่คลิ่นสีแดงเพิ่มสูงขึ้น (ขรัตน์ มงคลสวัสดิ์, 2540) ส่วนพลังงานในช่วงอินฟราเรด แหล่งของพลังงานจะกระจาย และแผ่พลังงานรังสีได้สูงจากเรือนยอดโดยอิทธิพลของโครงสร้างภายในใบพืช (Price and Bausch, 1995) เมื่อโครงสร้างของใบเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้การสะท้อนพลังงานแสงเปลี่ยนไปด้วย

5.2.2 ความสัมพันธ์ ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ ดัชนีพืชพรรณ ที่ฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร

เมื่อนำดัชนีพืชพรรณที่คำนวณจากฟิลเตอร์ 535 และ 760 นาโนเมตร และฟิลเตอร์ 535 และ 835 นาโนเมตร วิเคราะห์ความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพด และถั่วเหลือง พบว่าดัชนีพืชพรรณที่เกิดจากฟิลเตอร์ทั้ง 2 ชุด มีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่ข้าวโพด มีความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณของฟิลเตอร์ 760 นาโนเมตร ต่ำกว่าฟิลเตอร์ 835 นาโนเมตร ส่วนถั่วเหลืองความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณของฟิลเตอร์ 760 นาโนเมตร สูงกว่าฟิลเตอร์ 835 นาโนเมตร เนื่องจากการสะท้อนแสงของใบพืชในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ที่มีความยาวคลื่น 700-1,300 นาโนเมตร ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของทรงพุ่มของพืชซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อการสะท้อนแสงช่วงคลื่นดังกล่าวแตกต่างกัน (Lillesand and Kiefer, 1994) โดยข้าวโพดมีโครงสร้างของทรงพุ่มแบบ erectophile และถั่วเหลืองมีโครงสร้างของทรงพุ่มแบบ phanophile (เฉลิมพล แซมเพชร, 2542) จึงเป็นไปได้ว่าการตอบสนองต่อการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ของโครงสร้างทรงพุ่มของพืชทั้ง 2 ชนิด ทำให้เกิดความแตกต่างของความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ

5.2.3 ความสัมพันธ์ ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ ดัชนีพืชพรรณ และความเข้มของแสงที่ฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร

เมื่อนำผลของพลังงานแสงที่ส่องกระทบกับวัตถุ มีผลต่อการสะท้อนแสงของวัตถุขึ้นกับ (Lillesand and Kiefer, 1994) ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องลงมาตกกระทบทรงพุ่มของใบ อาจจะส่งผลต่อค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ จึงนำอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพต่อความเข้มแสงในขณะถ่ายภาพมาร่วมกันวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ

5.2.3.1 ข้าวโพด

พบว่า ในข้าวโพด ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ หลังจากการนำความเข้มแสงมาคำนวณในการคำนวณไม่แตกต่างกันกับก่อนนำความเข้มแสงมาคำนวณมากนัก และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับแต่ละช่วงอายุของพืชพบว่าไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณของฟิลเตอร์ทั้ง 4 ชุด สาเหตุอาจจะเกิดเนื่องจากความเข้มแสงที่ตกกระทบกับทรงพุ่มแล้วสะท้อนผ่านในแต่ละฟิลเตอร์ไม่มีความแตกต่างกัน หรือกระบวนการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณได้ลดผลของความเข้มของแสงที่ส่องมากระทบกับวัตถุ จนส่งผลให้การนำความเข้มของแสงมาคำนวณร่วมกับค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพให้ผลไม่แตกต่างกันกับการใช้ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพเพียงอย่างเดียว ทำให้สามารถใช้ค่าเฉลี่ยในแต่ละแผนภูมิภาพในแต่ละชนิดของฟิลเตอร์มาคำนวณดัชนีพืชพรรณเพื่อประเมินดัชนีพื้นที่ใบ

5.2.3.2 ถั่วเหลือง

ส่วนถั่วเหลือง การนำความเข้มของแสงมาคำนวณในการคำนวณทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณลดลงทั้ง 2 ชุดของฟิลเตอร์ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับดัชนีพืชพรรณก่อนที่จะนำความเข้มแสงมาคำนวณวิเคราะห์ในแต่ละช่วงอายุพบว่าจาก 4 ช่วงอายุมีความแตกต่างกันทางสถิติ และ 3 ช่วงอายุไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยข้อมูลดัชนีพืชพรรณที่ใช้ฟิลเตอร์เพียงอย่างเดียวส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกัน ส่วนกลุ่มที่ใช้ฟิลเตอร์ร่วมกับความเข้มแสง มีรูปแบบที่ไม่แน่นอน สาเหตุเนื่องจากถั่วเหลืองเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ที่มีใบลักษณะกลมใหญ่ ใบย่อยแต่ละใบค่อนข้างหนาทำให้ใบอยู่ในแนวนอนมากกว่าในแนวตั้งจึงจัดอยู่ในทรงพุ่มแบบ planophile (เฉลิมพล แซมเพชร, 2542) ทำให้แสงที่ส่องกระทบทรงพุ่มเกิดการกระจัดกระจาย (diffuse) (Lillesand and Kiefer, 1994) ส่งผลให้เกิดความแปรปรวนในการตรวจสอบพลังงานของแสงที่ตกกระทบทรงพุ่มแสดงให้เห็นว่าในถั่วเหลืองการใช้ผลจากฟิลเตอร์เพียงอย่างเดียวเพื่อประมวลผลดัชนีพืชพรรณมีความเหมาะสมมากกว่าการใช้ผลจากฟิลเตอร์ร่วมกับความเข้มของแสง

5.2.4 การใช้อัตราการเจริญเติบโตของพืช เพื่อประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวโพด และถั่วเหลือง

เมื่อนำอัตราการเจริญเติบโตจากการศึกษาในฤดูปลูกปี พ.ศ. 2548 มาประเมินการเจริญเติบโต ในข้าวโพด สามารถประเมินได้ใกล้เคียงในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น และในช่วงระยะเริ่มต้นของระยะเจริญพันธุ์ แต่ในระยะสุดท้ายของการเจริญเติบโตการประเมินสูงกว่าข้อมูลการเจริญเติบโตในพื้นที่จริง เนื่องจากการที่มีบางส่วนของใบเริ่มแห้งเหี่ยวและหลุดร่วงจากต้น จนทำให้การประเมินอัตราการเจริญเติบโตมีความคลาดเคลื่อนได้ จากความคลาดเคลื่อนของการเจริญเติบโตทำให้การประเมินผลผลิตจากดัชนีการเก็บเกี่ยวคลาดเคลื่อนด้วยเช่นกัน

ส่วนถั่วเหลืองในช่วงแรกของการเจริญเติบโตผลของการประเมินการเจริญเติบโตต่ำกว่าการเจริญเติบโตในพื้นที่จริง แต่ในช่วงสุดท้ายของการเจริญเติบโตสามารถที่จะประเมินการเจริญเติบโตได้ใกล้เคียงกับการเจริญเติบโตในพื้นที่จริง ทำให้ผลของการประเมินผลผลิตโดยการใช้ดัชนีเก็บเกี่ยวมีความใกล้เคียงกับผลผลิตในพื้นที่จริง จึงสรุปได้ว่าถ้าสามารถประเมินการเจริญเติบโตได้อย่างถูกต้อง การประเมินผลผลิตก็สามารถประเมินได้ใกล้เคียงกับผลผลิตแม่นยำเช่นกัน หรือดัชนีการเก็บเกี่ยวสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินผลผลิตได้

5.3 การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิทัลร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินผลผลิตของข้าวโพด

5.3.1 การประเมินดัชนีพืชพรรณ

เมื่อเปรียบเทียบดัชนีพืชพรรณที่ประเมินจากภาพถ่ายดาวเทียม และดัชนีพืชพรรณที่ประเมินได้จากกล้องดิจิทัล พบว่ามีแนวโน้มที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่ดัชนีพืชพรรณของกล้องดิจิทัล มีค่าสูงกว่าดัชนีพืชพรรณที่ประเมินจากภาพถ่ายดาวเทียม เนื่องจากแสงที่สะท้อนจากทรงพุ่มของพืชผ่าน 50 เปอร์เซ็นต์ของฟิลเตอร์ 560 นาโนเมตร เป็นแสงที่อยู่ในช่วงคลื่น 470-600 นาโนเมตร หลังจากแยก channel สีน้ำเงิน และสีเขียวออก เหลือเพียง channel สีแดง แต่จากการที่สีแดงมีความยาวคลื่นประมาณ 600-700 นาโนเมตร (Mather, 1999) จึงอาจจะเป็นไปได้ที่ channel ของสีแดงเป็นค่าที่แสงส่องผ่านฟิลเตอร์ 560 นาโนเมตร ไม่ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาคำนวณดัชนีพืชพรรณจึงได้ค่าสูงกว่า ดัชนีพืชพรรณของภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งมีช่วงคลื่นในแบนด์ 3 ที่กว้างกว่าคือความยาวคลื่นระหว่าง 630-690 นาโนเมตร Slater (1980) ส่วนความยาวคลื่นในแบนด์ 4 มีความใกล้เคียงของช่วงคลื่นของฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร

5.3.2 การใช้ดัชนีพืชพรรณจากกล้องดิจิทัล และภาพถ่ายดาวเทียม ประเมินผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าวโพดในแปลงเกษตรกร

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลประเมินดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพดในฤดูปลูกปี พ.ศ. 2548 และ ความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณของภาพถ่ายดาวเทียม และภาพถ่ายดิจิทัล ทำให้ได้สมการที่ประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมดโดยดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียมนี้ น้ำหนักแห้งทั้งหมด (กรัม/ตารางเมตร) = $(1,553.8108 * \text{ดัชนีพืชพรรณของภาพถ่ายดาวเทียม}) - 19.0811$ เมื่อนำสมการที่ได้ไปประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิตพบว่าน้ำหนักแห้งทั้งหมด (กิโลกรัม/ไร่) ของการประเมินสูงกว่าข้อมูลจากแปลงเกษตรกร แต่เมื่อเปรียบน้ำหนักแห้งของผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่) น้ำหนักแห้งของผลผลิตที่ได้จากการประเมินต่ำกว่าข้อมูลผลผลิตจากแปลงเกษตรกร เนื่องจากดัชนีการเก็บเกี่ยวของการทดลองที่ 1 (0.47) มีค่าต่ำกว่าข้อมูลจากแปลงเกษตรกรในการทดลองที่ 3 ซึ่งจากการคำนวณดัชนีการเก็บเกี่ยวมีค่า 0.67 เฉลิมพล ซึ่งขัดแย้ง กับรายงานของ เฉลิมพล แซมเพชร (2542) ที่พบว่า ข้าวโพดที่ปลูกในเขตร้อนจะมีค่าดัชนีเก็บเกี่ยวประมาณ 0.30-0.40 ขณะที่ ข้าวโพดที่ปลูกเขตอบอุ่นเช่น สหรัฐอเมริกา มีค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวประมาณ 0.50-0.55 ทำให้ผลผลิตสูงกว่าข้าวโพดที่ปลูกในเขตร้อน



บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 การศึกษาในปี พ.ศ. 2548

6.1.1 การใช้ดัชนีพื้นที่ใบเพื่อประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมด

ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการนำดัชนีพื้นที่ใบมาประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมดคือช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น โดยมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกันระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งทั้งหมด โดยข้าวโพดมีความสัมพันธ์ ดังนี้ $y = 0.0037x + 1.6037$, $r^2 = 0.75^{**}$ และ ถั่วเหลืองมีความสัมพันธ์ ดังนี้ $y = 0.006x + 1.6016$, $r^2 = 0.801^{**}$

6.1.2 อัตราการเจริญเติบโต และดัชนีเก็บเกี่ยว

อัตราการเจริญเติบโตของข้าวโพดในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นที่อายุพืช 35-45 และ 45-55 วัน คือ 41.29 และ 38.19 กรัม/ตารางเมตร/วัน ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับช่วงเจริญพันธุ์ที่อายุพืช 55-65 และ 65-80 วัน คือ 55.49 และ 52.63 กรัม/ตารางเมตร/วันตามลำดับ และดัชนีเก็บเกี่ยวมีค่าเท่ากับ 0.47

อัตราการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองอัตราการเจริญเติบโตช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นที่อายุพืช 25-30 คือ 37.85 กรัม/ตารางเมตร/วัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับช่วงเจริญพันธุ์ที่อายุพืช 30-40, 40-50, และ 50-60 วัน ซึ่งมีค่า 16.01, 5.06 และ 10.08 กรัม/ตารางเมตร/วันตามลำดับ และดัชนีเก็บเกี่ยวมีค่าเท่ากับ 0.44

6.1.3 การวัดดัชนีพื้นที่ใบด้วยเครื่อง SUNSCAN

สามารถนำเครื่อง SUNSCAN มาใช้ในการวัดดัชนีพื้นที่ใบได้ โดยดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากเครื่อง SUNSCAN โดยข้าวโพด มีความสัมพันธ์ดังนี้ $y = 0.4888x + 0.164$, $r^2 = 0.48^{**}$ และ ถั่วเหลืองมีความสัมพันธ์ดังนี้ $y = 1.2683x + 0.1131$, $r^2 = 0.57^{**}$

6.1.4 ตำแหน่งของภาพ และระดับความสูงของการถ่ายภาพ

ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพของช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ตำแหน่งของจุดภาพมีผลต่อการประเมินพื้นที่ใบ โดยที่ตำแหน่งที่บริเวณตรงกลางภาพจะมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับดัชนีพื้นที่ใบ แต่ระดับความสูงของการถ่ายภาพที่ตำแหน่งเดียวกัน ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแผนภูมิรูปภาพ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากภาพถ่ายดิจิทัลในรูปแบบของค่าที่ดัชนีพื้นที่ใบ กับค่าดัชนีพืชพรรณ ที่ระดับการ

ถ่ายภาพที่ความสูง 1 เมตรเหนือทรงพุ่ม ข้าวโพดมีความสัมพันธ์ คือ $y = 6.2188x + 0.4074$, $r^2 = 0.83^{**}$ และ ถั่วเหลืองคือ $y = 8.3128x - 1.7573$, $r^2 = 0.70^{**}$

6.2 การศึกษาในปี พ.ศ. 2549

6.2.1 ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ 535, 760 และ 835 นาโนเมตรในแต่ละช่วงอายุในแต่ละชนิดของพืช ทั้งข้าวโพด และถั่วเหลือง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทิศทางการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอายุของพืช ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพของฟิลเตอร์ 535 นาโนเมตรมีทิศทางที่เพิ่มขึ้น ส่วนฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตรมีทิศทางที่ลดลง

6.2.2 ความเข้มของแสง และดัชนีพืชพรรณ

ความเข้มของแสงที่กระทบทรงพุ่ม แล้วส่องผ่านฟิลเตอร์ทั้ง 3 ชนิดของพืชทั้ง 2 ชนิด ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ผลของการเปรียบเทียบดัชนีพืชพรรณ และดัชนีพืชพรรณที่เกี่ยวข้องกับความเข้มแสง ของพืชทั้ง 2 ชนิด ในแต่ละช่วงอายุของพืช พบว่า ในข้าวโพด ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณไม่เปลี่ยนแปลง และดัชนีพืชพรรณของแต่ละชนิดฟิลเตอร์ในแต่ละช่วงอายุไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในถั่วเหลือง เมื่อนำความเข้มแสงมารวมในการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณลดลง และดัชนีพืชพรรณของแต่ละชนิดฟิลเตอร์บางช่วงอายุมีความแตกต่างกันทางสถิติ จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ฟิลเตอร์เพียงอย่างเดียว โดยไม่เกี่ยวข้องกับความเข้มแสง หรือใช้ฟิลเตอร์ชุดใดชุดหนึ่ง ก็เหมาะสมในการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ

6.2.3 อัตราการเจริญเติบโต และดัชนีเก็บเกี่ยวประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิต

ผลของการประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิต ด้วยอัตราการเจริญเติบโต และ ดัชนีการเก็บเกี่ยว พบว่าข้าวโพด มีการประเมินการเจริญเติบโตใกล้เคียงกับข้อมูลจริงในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น ส่วนในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวผลของการประเมินมีค่าสูงกว่าทำให้ผลผลิตจากการประเมินสูงกว่าผลผลิตด้วย ส่วนถั่วเหลือง ในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นผลของการประเมินการเจริญเติบโตต่ำกว่าข้อมูลจริง แต่ในช่วงเก็บเกี่ยวการประเมินใกล้เคียงกันทำให้ผลผลิตใกล้เคียงกัน

6.3 การศึกษาในปี พ.ศ. 2550

การใช้ดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม และกล้องดิจิตอลเพื่อ ประเมินผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าวโพดในแปลงเกษตรกร เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณของภาพถ่ายดาวเทียม และดัชนีพืชพรรณของกล้องดิจิตอล แสดงได้ดังนี้ $y = 1.0187x - 0.1958$, $r^2 = 0.68^*$ และนำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปวิเคราะห์กับความสัมพันธ์ของการทดลองที่ 1 และ 2 เพื่อ

ประเมินน้ำหนักผลผลิตทั้งหมดของข้าวโพด และประเมินผลผลิตข้าวโพด ลำดับของความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งทั้งหมด อัตราการเจริญเติบโต และดัชนีการเก็บเกี่ยวสามารถนำไปประเมินผลผลิตของข้าวโพดได้จากสมการ ผลผลิต = $((1,553.8108 * \text{ดัชนีพืชพรรณของภาพถ่ายดาวเทียม}) - 19.0811) * \text{อัตราการเจริญเติบโตของพืช} * \text{ดัชนีเก็บเกี่ยว}$ เมื่อนำสมการที่ได้ไปประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิตพบว่าน้ำหนักแห้งทั้งหมด (กิโลกรัม/ไร่) ของการประเมินสูงกว่าข้อมูลจากแปลงเกษตรกร แต่เมื่อเปรียบน้ำหนักแห้งของผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่) น้ำหนักแห้งของผลผลิตที่ได้จากการประเมินต่ำกว่าข้อมูลผลผลิตจากแปลงเกษตรกร



รายการอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2551). ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านการเกษตร [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://production.doae.go.th/> เข้าเมื่อ 30 พ.ค.51
- กรมพัฒนาที่ดิน.(2543). ข้อมูลรายจังหวัดสำหรับการใช้กับโปรแกรม DLDSYSTEM เวอร์ชัน 2.0 [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.ldd.go.th/Web_DLD_System/lddsystem/downloadldd.html .
- เขมิกา กริอุณะ. (2547). การตอบสนองของถั่วเหลือง 3 พันธุ์ต่อการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราต่าง ๆ ในระยะเริ่มปลูก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพืชไร่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เฉลิมพล แชมเพชร. (2533). ข้อจำกัดทางสรีรบางประการต่อผลผลิตของถั่วเหลือง ใน การสัมมนาเชิงปฏิบัติการงานวิจัยถั่วเหลืองครั้งที่ 3. ระหว่าง 21-22 กุมภาพันธ์ 2533. โรงแรมเชียงใหม่พลาซ่า จ.เชียงใหม่.
- เฉลิมพล แชมเพชร. (2542). สรีรวิทยาการผลิตพืชไร่. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. (2540). การสำรวจข้อมูลระยะไกล. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ดร.ชนิ เอมพันธ์. (2531). อนุรักษ์วิทยา 471 : หลักการใช้ที่ดินเบื้องต้น. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ดำเนิน กาละดี และเฉลิมพล แชมเพชร. (2539). ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบ มุมใบ น้ำหนักแห้ง และผลผลิตต่อต้นในลูกผสมชั่วที่1 และ 2 ของถั่วเหลือง. ใน รายงานการประชุมวิชาการถั่วเหลืองแห่งชาติ ครั้งที่ 6. จังหวัดเชียงใหม่.
- ถนอมศรี รังสิกรรพุม. (2536). การประมวลผลข้อมูลดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์. การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- ธงชัย สิมกิง. (2536). เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมชนิดภาพโปร่งใสด้วยสายตา. การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- ธีระ ลาภิชชาญกุล. (2550). เทคนิคการปรับแก้กล้องดิจิทัลสำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี. 14(2): 205-214.

- ปิยะ นากสงค์ และพันธุ์วี วรสิทธิกุล. (2546). **คู่มือการเรียนรู้และเทคนิคการใช้ Photoshop 7.0**. ชัคเชส มีเดีย : กรุงเทพฯ.
- ประวิตร โสภโณคร. (2549). **สรีรวิทยาการผลิตพืช**. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พิชาน สิงห์เสนห์. (ม.ป.ป.). **การถ่ายภาพ Near Infrared โดยใช้กล้องดิจิทัล** [ออนไลน์]. ได้จาก : <http://hammerhead.gistda.or.th/nearir/nearir.html>
- พิเชษฐ เพียรเจริญ. (2546). **เอกสารประกอบการบรรยายทางวิชาการเพื่อเผยแพร่ในวัดกรรมเทคโนโลยีการศึกษา เรื่อง การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล วันที่ 27 มกราคม 2546 ณ สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี**
- รวิวรรณ เชื้อกิตติศักดิ์. (2540). ลักษณะทางการเกษตรและสรีรวิทยาที่สัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของถั่วเหลือง. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต** บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ราเชนทร์ ถิรพร. (2539). **ข้าวโพด การผลิต การใช้ประโยชน์ การวิเคราะห์ปัญหา และการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่เกษตรกร**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วีรนิช ทรรทรานนท์ และ จุฑามาศ จิวสังข์. (2547). **Best guide of digital camera**. ชัคเชส มีเดีย : กรุงเทพฯ.
- สุจินต์ ชันติสมบุญ. (2539). **แนวทางการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตาในการสำรวจพื้นที่ป่าไม้**. ส่วนวิเคราะห์ทรัพยากรป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ.
- สุนันท์ อินทนิล. (2545). **กล้องดิจิทัลอนัดกรรมสำหรับคนสร้างภาพ**. วารสารหอสมุดมหาวิทยาลัยทักษิณ. 1(2): 47-53.
- สุรัช รัตนเสริมพงศ์. (2536). หลักการเบื้องต้นของเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกล. ใน **การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม**. (89-112). กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กรุงเทพฯ.
- สุวิทย์ อ่องสมหวัง. (2538). **ความรู้พื้นฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์**. ส่วนวิเคราะห์ทรัพยากรป่าไม้ สำนักงานวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2538). **จากห้วงอวกาศสู่พื้นแผ่นดินไทย**. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2540). **คำบรรยายเรื่องการสำรวจจากระยะไกลกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม**. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กรุงเทพฯ.

- ศุภสิทธิ์ นาคเสน. (2546). **กล้องdigital ฉบับสมบูรณ์ Info distributor center**. กรุงเทพฯ: จัสมิน อินเตอร์เนชันแนลทาวเวอร์.
- อภิพรรณ พุกภักดี. (2535). ความสำคัญของสรีรวิทยาการผลิตพืชและแนวทางที่จะนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์. **วารสารเกษตรก้าวหน้า**. 5(2): 17-44.
- อภิพรรณ พุกภักดี. (2546). **ถั่วเหลือง พืชทองของไทย**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- Adams, M.L., Philpot, W.D., and Norvell, W.A. (1999). Yellowness index : an application of spectral second derivatives to estimate chlorosis of leaves in stressed vegetation. **Int. J. Remote Sens.** 20: 3663-3675.
- Arias, D., Calvo-Alvarado, J., and Dohrenbusch, A. (2007). Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index (LAI) and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**. 247: 185-193.
- Avery, T.E., and Berlin, G.L. (1992). **Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation**. MacMillan Publ. Co. Washington, D.C., U.S.A.
- Brown, R.H. (1984). Growth of green plant. In M.B. Tesar (ed.). **Physiological basic of crop growth and development**. Wisconsin: The American society of agronomy, Inc. and Crop science society of America, Inc.
- Crippen, R.E. (1990). Calculating the Vegetation Index Faster. **Remote Sensing of Environment**. 34 : 71-73.
- Dawson, T.P., and Curran P.J. (1998). A new technique for interpolating the reflectance red edge position. **Int. J. Remote Sens.** 21: 2043-2051.
- Delta-T Device. (1990). **Delta-timage analysis system dias II user manual**. Delta-T device Ltd. UK.
- Delta-T Device. (1996). **Sunscan canopy analysis system user manual**. Delta-T device Ltd. UK.
- Dong, S.T., and Hu, C.H. (1993). Effect of plant population density on canopy net photosynthesis and their relation to grain yield in maize cultivars. **Photosyntica**. 29: 25-32.
- Environment and development in coastal regions and in small islands. (2001). **Assessing Mangrove Leaf Area Index and Canopy Closure** [On-line]. Available: <http://www.unesco.org/csi/pub/source/rs13.htm>

- Environment Remote Sensing Center. (1995). **Image processing protocol for Wisland/Gap**. University of Wisconsin Madison, WI, USA.
- Eric, H.C. (1999). **Near Infrared Digital Photography : A Tutorial** [On-line]. Available: <http://echeng.com/photo/infrared/tutorial/>
- Evan, J.R., Jakobsen, K., and Ogen, E. (1993). Photosynthetic light response curve: 2-Gradients of light absorption and photosynthetic capacity. **Planta**. 189: 191-200.
- Garmin international, Inc. (2001). **1200 East 151st street**. olathe, Kansas 66062 USA.
- Halley, R.J. (1982). **The Agriculture Note Book 17th Edition**. London : Butterworths.
- Hanway, J.J., and Webe, C.R. (1971). Dry Matter Accumulation in Eight Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) Varieties. **Agronomy Journal**. 63: 227-230.
- Hao-Hsiung, H.(2004). Acquisition of Multispectral Images Using Digital Cameras. **25th Asian Conference on Remote Sensing & 1st Asian Space Conference** Chiang Mai, Thailand
- Hart, J.W. (1988). **Light and Plant Growth**. Unwin Hyman Ltd, London.
- Howard, J.A. (1991). **Remote Sensing of Forest Resources**. Chapman & Hall, London.
- Hodgson, M.E. (1998). Reducing the computational requirements of the minimum-distance classifier. **Remote Sensing of Environment**. 25: 117-128.
- Hunt, Roderrick. (1978). **Plant Growth Analysis**. London : Edward Arnold.
- Jackson, R.D. (1983). Spectral Indices in n-Space. **Remote Sensing of Environment**. 13: 409-421.
- Johnston, T.J., Pendleton, J.W., Peters, D.B., and Hicks, D.S. (1969). Influence of supplemental light on apparent photosynthesis, yield and yield component of soybean (*Glycine max* L.) **Crop Sci**. 9: 577-581.
- Tarrant, J. (2007). **Understanding digital cameras**. Elsevier LTD. focal press is an imprint of Elsevier Linacre housem Jordan hill oxford ox2 8 DP, UK 30 corporate drive, suite 400, Burlington, MA 01803 USA.
- Jensen, J.R. (1996). **Introductory digital image processing : A Remote Sensing Perspective**. Prentice Hall, Adivision of simon & Schuster, Inc. USA.
- Jordan, C.F. (1969). Derivation of Leaf Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. **Ecol**. 50 : 663-666.

- Kaplan, S.L., and Koller, H.R. (1977). Leaf area and CO₂-exchange rate in soybean plants. **Crop Sci.** 17: 35-38.
- Kidwell, K.B. (1990). **Global Vegetation Index User's Guide**. U.S. Dept. of Com. Nat.Oceanic and Atm. Admin., Nat. Environ. Satellite Data and Information Serv., Nat. Climatic Data Center, Satellite Data Serv. Div., U.S.A.
- Kramus, K., and Waldhausl, P. (1993). **Photogrammetry**. (1st ed). WB-Druck, Germany.
- Larcher, W. (1980). **Physiological plant ecology**. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag.
- Lawn, R.J., and Williams, J.H. (1986). Limits Imposed by Climatological Factor. **Paper Presented at ACIAR Workshop**, 1-5 September 1986. Khon Kaen, Thailand.
- Leprieur, C., Verstraete, M.M., Pinty, B., and Chehbouni, A. (1994). NOAA/AVHRR Vegetation Indices : Suitability for Monitoring Fractional Vegetation Cover of the Terrestrial Biosphere. **In Proceeding of Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing**. (pp. 1103–1110). ISPRS.
- Liew, S.C. (2001). **Optical Remote Sensing** [On-line]. Available: <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/optical.htm>
- Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. (1994). **Remote Sensing and Image Interpretation**. John Wiley and Sons, Inc, U.S.A.
- Mather, P.M. (1999). **Computer Processing of Remotely-Sensed Images**. John Wiley & Sons , England.
- MAXMAX. (2004). **IR Filters** [On-line]. Available: <http://www.maxmax.com/aXNiteFilters.htm>
- Nichiporovich, A.A. (1960). Photosynthesis and the theory of obtaining high crop yield field. **Crop Abstract**. 13: 169-175.
- Ocean Optics. (2005). **VIS/NIR portable spectrometer USB200 User manual**. Ocean Optics, Inc 2005 830 Douglas Ave., Dunedin, FL., USA 34698
- Parker, G.G., and Higman, D. (1989). Vertical Profile and Canopy Organization in a Mixed Deciduous Forest. **Vegetation**. 89 : 1-12.
- Peñuelas, J., Filella, I., Beil, C., Serrano, L., and Savé, R. (1993). The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. **Int. J. Remote Sens.** 14: 1887-1905.

- Peñuelas, J., Gamon, J.A., Fredeen, A.L., Merino, J., and Field, C.B. (1994). Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen-and water-limited sunflower leaves. **Remote Sens. Environ.** 48: 135-146.
- Pookpakdi, A., and Patharadilok, H. (1990). The study on climatic adaptation of soybeans at Kamphaeng Sacn, a representative of central plain of Thailand. **J. Kasetsart.** 24: 224-229.
- Price, J.C., and Bausch, W.C. (1995). Leaf Area Index Estimation from Visible and Near-infrared Reflectance Data. **Remote Sens. Environ.** 52 : 55-75.
- Rachain T., Weerathaworn, P., Faungfupong, S., Chaochong, S., Rungchang, P., Kongjuntuek, K., and Koonklang, N. (1992). **Crop production and soil management practices for improving yield of corn and sorghum reporting session.** 15p.
- Ritchie, S.W., and Hanway, J.J. (1984). **How a Corn Plant Develops.** Special Report No 48. Iowa State University of Science and Technology.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W. (1973). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. **Third ERTS Symposium NASA.** 1: 309-317.
- Sabins, F. F. (1987). **Remote sensing Principles and Interpretation Remote sensing Enterprises.** Inc. America.
- Salisbury, F.B., and Ross, C.W. (1985). **Plant Physiology.** 3th edn. Wadsworth Publishing Company, Bilmont, California, U.S.A.
- Sand, P.J. (1996). Modelling conopy production : III Canopy light utilization efficiency and its sensitivity to physiological and environmental variables. Austra. **J. Plant Physiol.** 23:103-114.
- Scurlock, J. M. O., Asner, G. P., and Gower, S. T. (2001). **Worldwide Historical Estimates of Leaf Area Index, 1932–2000** [On-line]. Available: http://www-eosdis.ornl.gov/VEGETATION/lai_des.html.
- Shaw, R.H., and Weber, C.R. (1967). Effect of canopy arrangement on light interception and yield of soybeans. **Agron. J.** 59: 155-159.
- Shible, R.M., and Weber, C.R. (1965). Leaf area solar radiation interception and dry matter production by soybeans. **Crop Sci.** 5: 575-577.

- Sims, D.A. and Gamon, J.A. (2002). Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote. Environ.** 81: 337-354.
- Slater, P.N. (1980). **Remote Sensing Optics and Optical System**. Addison-Wesley, London.
- Tarrant, J. (2007). **Understanding digital cameras**. Elsevier LTD. focal press is an imprint of Elsevier Linacre housem Jordan hill oxford ox2 8 DP, UK 30 corporate drive, suite 400, Burlington, MA 01803 USA.
- Taiz, L., and Zeiger, E. (2002). **Plant physiology**. (2 nd ed). Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Tollenaar, M., and Aguilera, A. (1992). Radiation use efficiency of an old and a new maize hybrid. **Agron. J.** 84: 536-541.
- Yan, P., Xiao, O., and Mingzhao, L. (1988). Study on the Structure and Photosynthesis of Cotton Canopy. **Acta Agron. Sinica.** 14: 214-220.
- Young, S.K., and Chun, H. (1999). **Production of chili pepper in different kinds of greenhouse in korea** [On-line]. Available: <http://www.ffc.agnet.org/library/article/eb478.html>.
- Whigham, C.N., and Joseph, K.T. (1973). **Climate Soil and Crop Productivity of Field Crop Under Different**. IRRI: Philippines.
- Willams, C.N., and Joseph, K.T. (1973). **Climate soil and crop production in the humid tropic**. Kuala Lampur: Oxford University Press.
- Wolf, P.R., and Dewitt, B.A. (2000). **Elements of photogrammetry with applications in GIS**. (3rd ed). McGraw-hill, USA

ประวัติผู้เขียน

นายรักศักดิ์ เสริมศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2516 เริ่มเข้าศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และได้เข้าศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้รับทุนพัฒนาอาจารย์จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตลพบุรี เพื่อศึกษาในระดับปริญญาโท และเอก จึงได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาเอก สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในภาคการศึกษา 2/2545

