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

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

พื้นที่ใบของพืชมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช การวัดพื้นที่ใบของพืชต่อพื้นที่ปลูก เรียกว่าดัชนีพื้นที่ใบ โดยการเก็บตัวอย่างใบพืชที่มีสีเขียวมาวัดด้วยเครื่องมือวัดพื้นที่ใบ ซึ่งมีข้อดีคือมีความแม่นยำสูง แต่ข้อเสียคือต้องทำอย่างรวดเร็วก่อนที่ใบพืชจะเหี่ยว ถ้าปฏิบัติในพื้นที่ขนาดใหญ่ ต้องใช้เวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายสูง มีการนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลมาใช้ในการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ แต่พบปัญหาว่า ข้อมูลที่ได้ขึ้นกับวงโคจรของดาวเทียม ปริมาณเมฆที่ปรากฏขณะบันทึกภาพ ความแยกชัดของภาพที่มีจุดภาพขนาดใหญ่ และภาพถ่ายดาวเทียมมีราคาสูง ดังนั้นจึงได้ประยุกต์วิธีการประมวลผลภาพถ่ายโดยข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายของกล้องดิจิตัลที่ช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ทำให้สามารถแยกความชัดของภาพได้ และสามารถถ่ายภาพได้ตลอดเวลา ทำให้การติดตามการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบตลอดช่วงระยะเวลาของการเจริญเติบโตของพืชได้โดยไม่ต้องทำลายต้นพืช มีวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้ (1) ศึกษาความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ กับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช (2) เปรียบเทียบ และหาความสัมพันธ์ของการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ ในแต่ละช่วงอายุของพืช ด้วยกล้องดิจิตัล และเครื่อง SUNSCAN กับเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ (3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณ ที่ประเมินจากกล้องดิจิตัล กับการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช และ (4) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณ ที่ประเมินจากกล้องดิจิตัล 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 การทดลองที่1 ปี พ.ศ. 2548 ศึกษา เก็บตัวอย่างข้าวโพดที่เป็นตัวแทนของทรงพุ่มแบบใบตั้ง และถั่วเหลืองที่เป็นตัวแทนของทรงพุ่มแบบใบนอน เก็บตัวอย่างในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น และช่วงเจริญพันธุ์ ถ่ายภาพโดยกล้องดิจิตัล ติดตั้งฟิลเตอร์กรองแสงที่ค่าเฉลี่ยความยาวคลื่น 535 และ 760 นาโนเมตร ถ่ายภาพที่ความสูง 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม วัดดัชนีพื้นที่ใบในแปลงทดลองโดยใช้เครื่อง SUNSCAN และวัดดัชนีพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ วัดน้ำหนักแห้งของพืช แปลงภาพถ่ายจากกล้องดิจิตัลเพื่ออ่านค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ และนำไปสร้างดัชนีพืชพรรณเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งทั้งหมด วิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโต และดัชนีการเก็บเกี่ยว ผลของการศึกษา แสดง

ให้เห็นว่าช่วงที่เหมาะสมในการนำดัชนีพื้นที่ใบไปประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชทั้ง 2 ชนิด คือช่วงเจริญเติบโตทางลำต้นสูงสุด และในพืชทั้ง 2 ชนิด ระดับความสูงของการถ่ายภาพที่ตำแหน่งเดียวกันไม่มีผลต่อการประเมินพื้นที่ใบ แต่ตำแหน่งที่บริเวณกลางภาพมีผลต่อการประเมินพื้นที่ใบมากกว่า ตำแหน่งขอบภาพ การทดลองที่ 2 ปี พ.ศ. 2549 เก็บตัวอย่างข้าวโพด และ ถั่วเหลือง ในช่วงเจริญเติบโตทางลำต้น และช่วงเจริญพันธุ์ ถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตัลที่ ติดตั้งฟิลเตอร์กรองแสงที่ค่าเฉลี่ยความยาวคลื่น 535, 760 และ 835 นาโนเมตร ที่ระดับความสูง 1 เมตร เหนือทรงพุ่ม วัดความเข้มของแสงที่ผ่านฟิลเตอร์ด้วยเครื่องมือ VIS/NIR portable spectrometer USB200 วิเคราะห์พืชและวิเคราะห์ภาพ เช่นเดียวกับการศึกษาครั้งที่ 1 นำค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพไปสร้างดัชนีพืชพรรณและดัชนีพืชพรรณที่เกี่ยวข้องกับความเข้มของแสง เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดัชนีพื้นที่ใบประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตด้วยอัตราการเจริญเติบโต และดัชนีการเก็บเกี่ยว ผลของการศึกษา พบว่าผลของความเข้มแสงที่ผ่านฟิลเตอร์ทั้ง 3 ชนิดไม่แตกต่างกัน ผลของดัชนีพืชพรรณที่เกิดจาก ฟิลเตอร์ 535 และ 760 กับ 535 และ 835 และ การนำความเข้มแสงมาร่วมวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณให้ผลไม่แตกต่างกัน สรุปได้ว่าการใช้ฟิลเตอร์เพียงชุดใดชุดหนึ่งอย่างเดียวก็เพียงพอในการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ การทดลองที่ 3 ปี พ.ศ. 2550 ศึกษาการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิตัลและภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินผลผลิตของข้าวโพดในแปลงเกษตรกร ถ่ายภาพที่ความสูง 1 เมตร เหนือทรงพุ่มพื้นที่เก็บตัวอย่าง ใช้เครื่องมือวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติในการวัดพื้นที่ใบ และวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5-TM และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม และดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดิจิตัล และนำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปวิเคราะห์กับความสัมพันธ์ของการทดลองที่ 1 และ 2 เพื่อประเมินน้ำหนักผลผลิตทั้งหมดของข้าวโพด และประเมินผลผลิตข้าวโพด ลำดับของความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักแห้งทั้งหมด อัตราการเจริญเติบโต และดัชนีการเก็บเกี่ยวสามารถนำไปประเมินผลผลิตของข้าวโพดได้จากสมการ ผลผลิต = ((1,553.8108 * ดัชนีพืชพรรณของภาพถ่ายดาวเทียม) - 19.0811) * อัตราการเจริญเติบโตของพืช * 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: Yield = ((1,553.8108 * NDVI of LANDSAT5-TM images) - 19.0811) * crop growth rate * harvest index.

School of Crop Production Technology Student's

Signature_____

Academic Year 2008 Advisor's

Signature_____

Co-advisor’s

Signature_____

Co-advisor’s

Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย ได้แก่

ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.หัสไชย บุญจูง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือเ และช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. สัญญา สราภิรมย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกริก ปั้นเหน่งเพ็ชร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่คอยให้คำแนะนำ และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.ยุวดี มานะเกษม คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร. สุดชล วุ้นประเสริฐ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณอาจารย์ ดร.สุวิทย์ อ๋องสมหวัง สาขาวิชาการรับรู้ระยะไกล ที่ให้คำแนะนำ และความรู้ในด้านการสำรวจระยะไกล.

ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ พื้นที่ และแรงงานในการปลูก และดูแลรักษาข้าวโพด และถั่วเหลือง และขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา และห้องปฏิบัติการสรีรวิทยาพืช ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาตร์และเทคโนโลยี 3 (F3) ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตลพบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้โอกาสให้ศึกษาต่อในระดับปริญญาเอก พร้อมทั้งสนับสนุนเงินทุนเพื่อการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 5-TM เพื่องานวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ คุณพรพรรณ อู่สุวรรณ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในงานวิจัย และตรวจสอบความถูกต้องของเอกสารวิทยานิพนธ์จนสมบูรณ์ และ เพื่อน พี่ น้อง บัณฑิตศึกษาทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา คุณยายและหลวงตา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม และส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา ท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณวนาพร เสริมศักดิ์ และ เด็กหญิง ณัฏฐกมล เสริมศักดิ์ และครอบครัว วาปีทะ ทุกคน ที่เป็นกำลังใจให้ฟันฝ่าอุปสรรคจนประสบความสำเร็จ

รักศักดิ์ เสริมศักดิ์

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 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 คลื่นพลังงานแสงอาทิตย์ 4
2.2 การสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ของพืช 6
2.3 ลักษณะทรงพุ่มของพืช และพื้นที่ใบ 8
2.4 ดัชนีพื้นที่ใบกับการเจริญเติบโตของพืช 9
2.5 ดัชนีการเก็บเกี่ยวกับการประเมินผลผลิตของพืช 12
2.6 กล้องดิจิตัล 13
2.6.1 หลักการทำงานของกล้องดิจิตัล 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 การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอลที่ติดตั้งฟิลเตอร์ 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 การแสดงภาพ 19
2.13.3 การคัดเลือกช่วงคลื่นเพื่อศึกษาพืชพรรณ 20
2.13.3.1 แบนด์ 1 20
2.13.3.2 แบนด์ 2 20
2.13.3.3 แบนด์ 3 21
2.13.3.4 แบนด์ 4 21
2.13.3.5 แบนด์ 5 21
2.13.3.6 แบนด์ 6 21
2.13.3.7 แบนด์ 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 การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล 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 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิตัลประเมินดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพด 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 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิตัลประเมินดัชนีพื้นที่ใบของถั่วเหลือง 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 การประเมินปัจจัยที่เกี่ยวข้องระหว่างความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบและดัชนีพืชพรรณของข้าวโพด และถั่วเหลือง 55

4.3.1 ค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพ และความเข้มแสงที่ฟิลเตอร์ 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 และดัชนีพืชพรรณที่ฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร 61
4.3.2.1 ข้าวโพด 61
4.3.2.2 ถั่วเหลือง 62
4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพืชพรรณ และความเข้มของแสงที่ฟิลเตอร์ 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 การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิตอลร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินผลผลิตของข้าวโพด 68
4.4.1 การประเมินดัชนีพืชพรรณ 68
4.4.2 ความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณของภาพถ่ายดาวเทียมและภาพถ่ายดิจิตอล 69
4.4.3 การใช้ดัชนีพืชพรรณจากกล้องดิจตัล และภาพถ่ายดาวเทียมประเมินผลผลิตและการเจริญเติบโตของข้าวโพด 69
4.4.3.1 การประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมดโดยดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายดาวเทียม 69
4.4.3.2 การตรวจสอบข้อมูลจากการประเมินผลผลิตกับข้อมูลผลผลิตจากแปลงเกษตรกร 71
5 วิจารณ์ผลการทดลอง 73
5.1 การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิตอลประเมินดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพดและถั่วเหลือง 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 การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิตอลร่วมกับภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อประเมินผลผลิตข้าวโพด 81

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.1 การประเมินดัชนีพืชพรรณ 81
5.3.2 การใช้ที่ดัชนีพืชพรรณจากกล้องดิจิตอล 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 และอินฟราเรดใกล้ 7

3.1 ข้อมูลของการถ่ายภาพ 31

3.2 รายละเอียดของดาวเทียมสำรวจทรัพยากร LANDSAT ระบบ TM 37

4.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแผนภูมิรูปภาพของภาพที่ถ่ายในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด (วัน) 42

4.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณจุดศูนย์กลาง และขอบของภาพที่ระดับความสูง 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 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแผนภูมิรูปภาพของภาพถ่ายในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง (วัน) 50

4.6 เปรียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณจุดศูนย์กลางและขอบของภาพ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง 52

4.7 เปรียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณกลางของภาพ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง 53

4.8 เปรียบค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณของจุดภาพที่บริเวณขอบของภาพ ที่ระดับความสูง 1, 2 และ 3 เมตร ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง 54

4.9 เปรียบค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพที่ส่องผ่านฟิลเตอร์ 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 เปรียบค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพที่ส่องผ่านฟิลเตอร์ 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 เพื่อประเมินน้ำหนักแห้งทั้งหมดและน้ำหนักผลผลิต (กรัม/ตารางเมตร) 71
4.16 แสดงผลการประเมินและข้อมูลจากแปลงเกษตรกรของน้ำหนักแห้งทั้งหมด (กรัม/ตารางเมตร) และน้ำหนักผลผลิต (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 แสดงการครอบคลุมภาพของกล้องดิจิตอลเมื่อเพิ่มระดับความสูงของการถ่ายภาพ 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) และค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งทั้งหมด ของถั่วเหลือง (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 ฟิลเตอร์ ในแต่ละช่วงอายุของข้าวโพด 55

4.16 แสดงค่าเฉลี่ย และแนวโน้มของค่าเฉลี่ยแผนภูมิภาพของ 3 ฟิลเตอร์ ในแต่ละช่วงอายุของถั่วเหลือง 59

4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่ฟิลเตอร์ 760 และ 835 นาโนเมตร ของข้าวโพด 61

4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) และดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ที่ฟิลเตอร์ 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) และดัชนีพืชพรรณที่ประเมินจากกล้องดิจิตอล (NDVI_CAM) 69