

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประเมินดัชนีพื้นที่ใบของถั่วเหลือง

รักศักดิ์ เสริมศักดิ์* และ หัสไชย บุญจง

Raksak Sermsak and Hatsachai Boonjung.(2007). Application of Digital Image for Leaf Area Index Estimation of Soybean.*

Abstract

Soybean (*Glycine max*) is an important crop as it contains high values of nutrition for human and animals. Soybean production is inadequate for domestic consumption. The amount of soybean production needs to be accurately estimated. The estimation can be done through the conversion of Landsat's Satellite image to LAI (leaf area index) related to crop yield. The leaf area of soybean was found to have direct relationship with growth and crop yield. However, this method has some disadvantages such as its dependence on the satellite's orbit (sixteen days), the presence of clouds, low resolution (30 m × 30 m) and high cost. Therefore, the reflection imagery was tested using digital camera of 8 million pixels with specific filters to take photo of visible light wavelengths and near-infrared light wavelengths. Eleven plants of soybean variety E50 at the ages of 25, 30, 40, 50, 60 and 75 days were sampled. Then, leaf area was determined with a leaf area meter. The LAI was measured with SUNSCAN probe. Dry weights of leaves, stems, and yield were weighted. Images were taken above the crop canopy at the heights of 1, 2, and 3 meters, respectively. The images then converted into BW (black and white) for histogram analysis and, then converted into NDVI (normalized difference vegetation index) to compared with LAI. The result showed highly significant relationship between LAI and TDM (total dry weight) ($y = 0.0062x + 1.54$, $r^2 = 0.80^{**}$) at vegetative stage. The LAI from leaf area meter was found to have highly significant relationship with LAI from SUNSCAN probe ($y = 1.57x - 0.90$, $r^2 = 0.96^{**}$). The NDVI from the image histogram at near infrared and visible wavelengths were found to have highly significant differences. The height at which images were taken had no significant effect on the NDVI. The study also indicated that positions of the images had influential effects on LAI and the center position of the image showed highly significant relationship with LAI. It was also found that LAI and NDVI were significantly relate to each other at all heights which images were taken above the canopy ($y = 7.64x - 1.40$, $r^2 = 0.67^{**}$)

Keywords: LAI, estimation, near infrared wavelength, visible wavelength

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จังหวัดนครราชสีมา 30000 Email: rsermsak@hotmail.com

*ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ

บทคัดย่อ

ถั่วเหลือง (*Glycine max*) เป็นอาหารของมนุษย์ และสัตว์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง ปริมาณการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ ดังนั้นการประเมินผลผลิตของถั่วเหลืองระดับประเทศที่ให้ผลแม่นยำที่สุดจะช่วยในการส่งเสริมการปลูก แต่การประเมินที่รวดเร็ว และถูกต้องทำได้ยาก จากการใช้ภาพถ่ายดาวเทียม TM ของดาวเทียม Landsat ซึ่งได้จากการรับภาพการสะท้อนแสงหลายช่วงคลื่นของพืชสำหรับประเมินดัชนีพื้นที่ใบและผลผลิตของพืช โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบของพืชกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชสามารถกระทำได้ แต่ล่าช้าเนื่องจากข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ขึ้นกับวงโคจรของดาวเทียม (ทุก 16 วัน) ปริมาณเมฆที่ปรากฏขณะบันทึกภาพ ความแยกชัดของภาพที่มีจุดภาพขนาดใหญ่ (30 x 30 เมตร) และภาพถ่ายดาวเทียมมีราคาสูง จึงได้คิดวิธีการประมวลผลข้อมูลจากภาพถ่ายของกล้องดิจิทัลโดยเปรียบเทียบการถ่ายภาพ 2 ช่วงคลื่น คือช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบ ได้ตลอดช่วงระยะเวลาของการเจริญเติบโตของพืชโดยไม่ต้องทำลายต้นพืช จากการศึกษาโดยใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ E50 เก็บข้อมูลของพืช 6 ครั้งในช่วงอายุ 25, 30, 40, 50, 60 และ 75 วันหลังปลูก แต่แต่ละครั้งจะเก็บตัวอย่างทั้งหมด 11 ซ้ำ วัดดัชนีพื้นที่ใบ ในแปลงทดลองโดย SUNSCAN แยกใบ ลำต้น และฝัก จากนั้นนำมาวัดดัชนีพื้นที่ใบด้วยเครื่องมือวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ (Leaf Area Meter) และชั่งน้ำหนักแห้ง การเก็บข้อมูลภาพในแต่ละครั้งใช้กล้องดิจิทัลที่มีความคมชัด 8 ล้านจุดภาพ ติดตั้งฟิลเตอร์กรองแสงที่ความยาวคลื่น ที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงอินฟราเรดใกล้ ทำการถ่ายภาพที่ระดับความสูงเหนือทรงพุ่มคือ 1, 2, และ 3 เมตร ภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลจะทำการแปลงภาพให้อยู่ในลักษณะภาพขาวดำเพื่ออ่านค่าแผนภูมิภาพ แล้วนำค่าที่อ่านได้มาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ จากนั้นนำค่าดัชนีพืชพรรณซึ่งได้จากการคำนวณจากค่าแผนภูมิภาพที่ได้จากช่วงคลื่นดังกล่าวหาความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ ผลการศึกษาพบว่า ดัชนีพื้นที่ใบ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับน้ำหนักแห้งของพืช ในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นของพืช ($y = 0.0062x + 1.54, r^2 = 0.80^{**}$) ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากเครื่อง SUNSCAN มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ ($y = 1.57x - 0.90, r^2 = 0.96^{**}$) การเปรียบเทียบค่าตัวเลขที่ได้จากค่าเฉลี่ยของแผนภูมิรูปภาพระหว่างค่าฟิลเตอร์อินฟราเรดใกล้ และค่าฟิลเตอร์ที่มองเห็นด้วยตาเปล่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ระดับความสูงของการถ่ายภาพที่ตำแหน่งเดียวกันไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแผนภูมิรูปภาพ แต่ตำแหน่งของจุดภาพมีผลต่อการประเมินพื้นที่ใบ โดยที่ตำแหน่งที่บริเวณตรงกลางภาพจะมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับดัชนีพื้นที่ใบ วิธีการที่ทดลอง

สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากภาพถ่ายดิจิทัล ในรูปแบบของค่าดัชนีพืชพรรณ กับ ค่าที่ดัชนีพื้นที่ใบได้ ($y = 7.64x - 1.40, r^2 = 0.67^{**}$)

บทนำ

ถั่วเหลือง (*Glycine max*) เป็นพืชที่สำคัญของโลก ประโยชน์ของถั่วเหลืองมีหลายประการ เช่น อาจใช้เป็นอาหารของมนุษย์ ในรูปของการบริโภคโดยตรง หรือใช้ปรุงแต่งเป็นรูปแบบต่าง ๆ เพื่อบริโภคก็ได้ หรือใช้ในอุตสาหกรรม นอกนั้นก็อาจใช้เป็นอาหารและอุตสาหกรรมสัตว์ เพราะถั่วเหลืองเป็นพืชที่มีโปรตีน และน้ำมันสูงมาก นอกจากประโยชน์ในด้านเป็นอาหารแล้ว ก็จัดได้ว่าเป็นพืชบำรุงดินได้ดีอีกด้วย เมื่อปลูกแล้วไถกลบลงไปดิน ก็จัดได้ว่าเป็นปุ๋ยพืชสดที่ดี สำหรับประเทศไทยนั้นมีการปลูกถั่วเหลืองกันมาช้านานแล้ว เมื่อเริ่มปลูกกันในภาคเหนือ ต่อมาได้ขยายไปยังภาคอื่น ๆ ของประเทศ แต่ผลผลิตก็ไม่เพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคถั่วเหลืองซึ่งใช้ในการเลี้ยงสัตว์ เมื่อพิจารณาจากปริมาณการนำเข้าถั่วเหลือง และกากถั่วเหลือง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 - 2548 (สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, 2549) เห็นได้ว่าปริมาณการนำเข้ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าผลผลิตของถั่วเหลืองที่ผลิตได้ในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศ การวางแผนในการส่งเสริมการผลิตถั่วเหลืองภายในประเทศจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ข้อมูลจากการประเมินผลผลิตที่ถูกต้อง และแม่นยำเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยในการวางแผนการผลิต หรือ ปริมาณที่ต้องนำเข้า ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับการซื้อขายล่วงหน้าได้ แต่การประเมินที่รวดเร็ว และถูกต้องทำได้ยาก ปัจจัยหนึ่งที่น่ามาใช้ในการประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืชคือลักษณะใบของพืช เนื่องจากใบพืชมีหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมี เพื่อการเจริญเติบโต และดำรงชีวิตของพืช และยังเกิดเป็นผลผลิตเพื่อให้มนุษย์นำมาใช้ในการบริโภคอีกด้วย นอกจากทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงแล้ว ใบของพืชยังทำหน้าที่คายน้ำเพื่อลดอุณหภูมิภายในต้นพืช ซึ่งมีผลต่อเนื่องทำให้เกิดแรงดึงน้ำของรากเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำ และธาตุอาหารเข้ามาในต้นพืช เพื่อใช้ในกระบวนการดำรงชีวิต และเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นพื้นที่ใบของพืชจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

การวัดพื้นที่ใบของพืช วัดเป็นพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก เรียกว่าดัชนีพื้นที่ใบ (Scurlock *et al.*, 2001) โดยปกติการวัดพื้นที่ใบทำได้โดยการเก็บตัวอย่างใบพืชที่มีสีเขียวมาวัดด้วยเครื่องมือวัดพื้นที่ใบ ซึ่งข้อดีคือมีความแม่นยำสูง แต่ข้อเสียคือต้องทำอย่างรวดเร็ว ก่อนที่ใบพืชจะเหี่ยว ในกรณีที่เก็บตัวอย่างมาจากต้นพืชเป็นการทำลายต้นพืช หรือถ้าวัดพื้นที่ใบในพื้นที่ปลูกขนาดใหญ่ต้องใช้เวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายสูง จึงมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล ซึ่งเป็นการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ เป็นการ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เครื่องมือที่ไม่ต้องสัมผัสวัตถุเป้าหมาย แต่ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งมีการรับภาพจากการสะท้อนแสงหลายช่วงคลื่นของพืช และมีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบของพืช แต่ช่วงคลื่นแสงที่นำมาใช้ในการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ คือ ช่วงของคลื่นแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible wave length) มีความยาวคลื่นประมาณ 400 - 700 นาโนเมตร และช่วงของคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ (Near infrared wave length) ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 700 - 1,500 นาโนเมตร (Sabins, 1987) โดยที่ลักษณะทางชีวเคมีภายในพืชที่เป็นตัวควบคุมการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า คือ ปริมาณของคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll content) ภายในใบ ซึ่งมีการสะท้อนพลังงานแสงสูงสุดในช่วงคลื่นประมาณ 550 นาโนเมตร (Sims and Gamon, 2002) และ การสะท้อนพลังงานแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เป็นการสะท้อนของเซลล์มีโซฟิลล์ (Mesophyll) ของใบ (Taiz and Zeiger, 2002) สูงถึงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลังงานที่เหลือ จะถูกส่งผ่านและถูกดูดกลืน (ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์, 2540) การสะท้อนพลังงานแสงสูงสุดของเซลล์ดังกล่าวในช่วงอินฟราเรดใกล้เกิดขึ้นในช่วงคลื่นประมาณ 800 และ 900 นาโนเมตร (Dawson and Curran, 1998) จากนั้นได้นำข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียมที่แสดงถึงค่าสะท้อนพลังงานแสงของพืชจากช่วงคลื่นดังกล่าว มาทำดัชนีพืชพรรณ โดยใช้ความยาวคลื่นในช่วงคลื่นแสงสีแดง หรือ ช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เมื่อแปลงค่าเป็นดัชนีพืชพรรณ ช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า จะมีค่าต่ำกว่าช่วงคลื่นสีแดง (Richie, 2003) จากนั้นใช้สมการมาตรฐานที่แปลงค่าที่ได้จากข้อมูลภาพไปเป็นดัชนีพื้นที่ใบ ข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบที่ได้สามารถประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช จากความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้งของพืช และสุดท้ายผลผลิตที่คำนวณจากดัชนีการเก็บเกี่ยว (Harvest Index) (Jesus and Yolanda, 2002)

แต่ปัญหาของการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ โดยอาศัยข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมคือ ช่วงเวลาการได้มาของข้อมูลขึ้นกับวงโคจรของดาวเทียม (Temporal resolution) เช่น ดาวเทียม Landsat ที่ใช้ระยะเวลา 16 วัน จึงจะกลับมาบันทึกภาพที่ตำแหน่งเดิม ปัญหาอีกประการหนึ่งคือปริมาณเมฆที่ปรากฏขณะบันทึกภาพ โดยเฉพาะฤดูฝนซึ่งเป็นฤดูปลูกของพืชหลายชนิด นอกจากนี้ความแยกชัดเชิงพื้นที่ (Spatial resolution) ของภาพถ่ายดาวเทียมยังมีขนาดไม่เหมาะสมกับการประเมินผลผลิตของพืช เช่น ดาวเทียม Landsat มีขนาด 30 เมตร x 30 เมตร อีกทั้งภาพถ่ายดาวเทียมยังมีราคาสูง ดังนั้นจึงได้คิดที่จะประยุกต์วิธีการประมวลผลภาพถ่ายโดยข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายของกล้องดิจิทัลที่ช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ซึ่งจะใช้ฟิลเตอร์ที่ยอมให้แสงในความยาวคลื่นช่วงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงอินฟราเรดใกล้ส่องผ่าน ทำให้สามารถกำหนดความแยกชัดของภาพได้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูก และสามารถกำหนดช่วงระยะเวลาในการถ่ายภาพได้ตลอดเวลา ทำให้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบตลอดช่วงระยะเวลา

ของการเจริญเติบโตได้โดยไม่ต้องทำลายต้นพืช และสามารถนำมาเป็นเครื่องมือช่วยในการประเมินพื้นที่ใบของภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองที่เป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการใช้กล้องดิจิทัลเพื่อประเมินพื้นที่ใบ และทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวัดพื้นที่ใบ รวมทั้งประเมินจุดของภาพ และระยะเวลาการถ่ายภาพที่เหมาะสม

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

- ทำการทดลองในช่วงเดือน มิถุนายน - สิงหาคม 2548 โดยปลูกถั่วเหลืองพันธุ์ E50 ในพื้นที่บริเวณ แปลงทดลอง ภายในฟาร์มของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีระยะห่างระหว่างต้น 20 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแถว 45 เซนติเมตร กำหนดให้มีต้นถั่วเหลือง 1 ต้นต่อหลุม ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่ ไรซิงแถวหลังปลูก 25 วัน แล้วพรวนดินกลบ ทำการให้น้ำทุก 5 วัน

- ทำการเก็บตัวอย่างพืช 6 ครั้งในช่วงอายุ 25, 30, 40, 50, 60 และ 75 วันหลังปลูก การเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง ครั้งละ 4 หลุม ทั้งหมด 11 ซ้ำ เมื่อเก็บตัวอย่างแล้วนำมาแยกใบคละเคล้ากันก่อนที่จะทำการสุ่มใบ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด เพื่อนำมาวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ จากนั้นนำใบสุ่มและใบทั้งหมดเข้าไปอบให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปคำนวณหาพื้นที่ใบทั้งหมด จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งใบสุ่ม กับพื้นที่ใบสุ่ม และนำไปหารด้วยพื้นที่ที่เก็บตัวอย่างก็ได้ค่าเป็น “ดัชนีพื้นที่ใบ”

- กล้องที่ใช้ เป็นกล้องดิจิทัล SONY CYBERSHOT F828 ซึ่งสามารถรับช่วงคลื่นได้ตั้งแต่ช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นตาเปล่าถึงช่วงคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ (Sony Corporation, 2003) ติดฟิลเตอร์ชนิดที่รับแสงในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (325 - 645 นาโนเมตร) และชนิดที่ยอมให้แสงในช่วงคลื่น 780 นาโนเมตรผ่าน มีการกำหนดระยะในการถ่ายภาพ 3 ระยะ คือ 1, 2, และ 3 เมตร (รูปที่ 1) เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาว่าผลของการเพิ่มระยะของการถ่ายภาพ ที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นมีผลอย่างไรต่อค่าของภาพจากกล้องดิจิทัลที่นำมาวิเคราะห์

ในขณะที่ทำการถ่ายภาพ ได้ดำเนินการวัดดัชนีพื้นที่ใบ ด้วยเครื่อง SUNSCAN (Delta-T Device, 1996) ด้วย เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN และเครื่องวัดดัชนีพื้นที่ใบอัตโนมัติ ในการถ่ายภาพเมื่อระยะของกล้องสูงขึ้น ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ของกล้องมากขึ้น จึงเก็บตัวอย่างข้อมูลพืชที่จุดตรงกลาง และขอบของภาพดังรูปที่ 2 เพื่อนำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของการสะท้อนแสงในแต่ละจุด ซึ่งสามารถเก็บตัวอย่างพืชได้ 11 ซ้ำ (รูปที่ 2)

- วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้ง กับดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากเครื่องวัดดัชนีพื้นที่ใบ กับ ดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่อง SUNSCAN (Delta-T Device, 1996)
- นำข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิทัล ในแต่ละระยะห่างจากทรงพุ่มของฟิลเตอร์ทั้ง 2 ชนิด มาทำการประมวลผลภาพ โดยแปลงค่าเป็นภาพขาว-ดำให้แสดงข้อมูลแผนภูมิภาพ เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพ (Histogram) นำค่าดังกล่าวของทั้งสองฟิลเตอร์มาสร้างเป็นดัชนีพืชพันธุ์ ใช้สูตร

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

เมื่อ NDVI คือ ดัชนีพืชพันธุ์

NIR คือ ค่าที่ได้ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

และ VIS คือ ค่าที่ได้ในช่วงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า

แล้วนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ดัชนีพื้นที่ใบของพืชที่วัดจากเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ จากการเก็บตัวอย่าง และภาพในระดับความสูงเหนือทรงพุ่มต่าง ๆ ที่ผ่านการการประมวลผลแล้ว

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

- ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้งของพืช

ในการเก็บตัวอย่างของพืชที่ 6 ระยะคือ 25, 30, 40, 50, 60 และ 75 วันหลังปลูก จากค่าเฉลี่ยของการการสะสมน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่าง พบว่าการสะสมน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในช่วงการเจริญเติบโตระหว่าง 25 - 30 วัน ซึ่งเป็นช่วงของการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative phase) หลังจากนั้นพืชเริ่มออกดอก เข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ (reproductive phase) และสะสมน้ำหนักแห้งสูงสุดเมื่อถึงระยะสุกแก่ทางสรีระวิทยา (physiological maturity) ที่อายุพืชได้ 60 วัน จากนั้นน้ำหนักแห้งก็จะลดลง ในขณะที่ดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้นในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นของพืช และมีค่าสูงสุดเมื่อพืชอายุได้ 30 วัน หลังจากนั้น ดัชนีพื้นที่ใบเริ่มลดลง เนื่องจากพืชไม่มีการเจริญเติบโตทางลำต้น และมีการร่วงหล่นของใบแก่ ในช่วงระยะเวลา 50 - 60 วัน ดัชนีพื้นที่ใบจะมีอัตราการลดลงมากที่สุด และลดลงอย่างช้า ๆ ในช่วงเวลา 60 - 75 วัน (รูปที่ 3)

เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และ น้ำหนักแห้งของพืชเห็นได้ว่า มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก เฉพาะในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้น คือช่วงอายุ 25 - 30 วัน หลังจากนั้น พื้นที่ใบเริ่มลดลงเนื่องจากมีใบส่วนหนึ่งเริ่มแก่ และร่วงหล่น ขณะที่พืชเริ่มมีการออกดอก และสะสมน้ำหนักแห้งเพื่อเกิดเป็นเมล็ด ทำให้ยังมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้ง

จากผลดังกล่าวจึงแบ่งชุดของข้อมูลทั้งหมด เป็น 2 ระยะ เพื่อวิเคราะห์หาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สามารถนำพื้นที่ใบไปประเมินการเจริญเติบโตของพืชได้ พบว่าในช่วงการ

เจริญเติบโตทางลำต้น พื้นที่ใบ และ น้ำหนักแห้งมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2 = 0.80^{**}$) (รูปที่ 4(a)) ส่วนในระยะเจริญพันธุ์ ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าว ($r^2 = 0.08$ ns) (รูปที่ 4(b))

- ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพื้นที่ใบ ที่วัดจากเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ และ เครื่อง SUNSCAN

เมื่อนำข้อมูลเฉลี่ยจากการเก็บตัวอย่างทั้ง 6 ครั้ง ของดัชนีพื้นที่ใบจากการวัดด้วย เครื่องดัชนีพื้นที่ใบ และเครื่อง SUNSCAN ที่ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2 = 0.96^{**}$) แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้เครื่อง SUNSCAN ช่วยในการวัดดัชนีพื้นที่ใบของถั่วเหลืองในแปลงได้ แต่ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่วัด จากเครื่อง SUNSCAN ส่วนใหญ่ จะมีค่าสูงกว่า ค่าที่วัดจากวัดดัชนีพื้นที่ใบอัตโนมัติ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ดัชนีพื้นที่ใบมีค่ามาก (รูปที่ 5) เนื่องจากเครื่อง SUNSCAN จะใช้ หลักการของการส่องผ่านของพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคำนวณดัชนีพื้นที่ใบ (Delta-T Device, 1996) ในช่วงเวลาดังกล่าวพืชมีกิ่งมากส่งผลต่อการบดบังแสง และสาเหตุหนึ่ง อาจจะมาจกใบที่เจริญเต็มที่ด้านบนของทรงพุ่มมีการบดบังใบที่อยู่ด้านล่าง แม้ว่ามีใบล่าง แก่ ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ แต่ยังไม่ร่วง ทำให้ค่าที่วัดได้มีความถูกต้องลดลง

- แผนภูมิภาพ (Histogram) ของภาพถ่ายดิจิทัลของในฟิลเตอร์ในช่วงคลื่นที่ มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงอินฟราเรดใกล้

เมื่อแปลงภาพเป็นภาพขาวดำ นำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพที่ถ่าย ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า ด้วยวิธีการเปรียบเทียบ แบบ T-test พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง เนื่องจากสะท้อนของทรงพุ่มพืช ในช่วงแสงอินฟราเรดใกล้ จะมีการสะท้อนสูงกว่าช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Liew, 2001) (รูปที่ 6)

- ความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณ (NDVI) กับดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)

จากการถ่ายภาพที่มีการเก็บตัวอย่างที่บริเวณจุดศูนย์กลางของภาพ และบริเวณ ขอบของภาพ เมื่อแปลงข้อมูลภาพแต่ละจุดภาพที่เก็บตัวอย่างเป็นดัชนีพืชพรรณ เพื่อหา ความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ พบว่าที่บริเวณตรงกลาง ของภาพ ดัชนีพืชพรรณและดัชนีพื้นที่ใบมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($r^2 = 0.67^{**}$) (รูปที่ 7(a)) ส่วนที่บริเวณขอบของภาพมีความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีพืชพรรณ และ ดัชนี พื้นที่ใบต่ำ ($r^2 = 0.17$ ns) (รูปที่ 7(b)) ซึ่งสาเหตุเกิดจากระยะของความคลาดเคลื่อนภาพ จะ แปรผันตามกับระยะทางที่ห่างจากจุดศูนย์กลางของภาพ (ชรัตน์, 2540) ดังนั้นจุดศูนย์กลาง ของภาพจึงมีความเหมาะสมสำหรับการประเมินดัชนีพืชพรรณ เพื่อนำไปประเมินดัชนี พื้นที่ใบ

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของภาพ คือ ตำแหน่งความสูงของกล้องเหนือทรงพุ่ม จึงได้นำข้อมูลที่จุดศูนย์กลางไปพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีพืชพรรณ กับดัชนีพื้นที่ใบที่ระดับความสูงของการถ่ายภาพต่างกัน คือ 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่ม พบว่า ที่ระดับความสูง 1 เมตร ($r^2 = 0.70^{**}$) ระดับความสูง 2 เมตร ($r^2 = 0.65^{**}$) และ ระดับความสูง 3 เมตร ($r^2 = 0.68^{**}$) ตามลำดับ (รูปที่ 8) เห็นได้ว่า ในระดับความสูง 1 เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(coefficient of determination)สูงที่สุด แต่ในแต่ละระดับความสูงเหนือทรงพุ่มมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อนำข้อมูลดัชนีพืชพรรณทั้งหมดมาเปรียบเทียบด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบ T-test ที่ละคู่ พบว่าค่าดัชนีพืชพรรณทั้ง 3 ระดับ ความสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าระยะความสูงตั้งแต่ 1- 3 เมตร ไม่เพียงพอที่ทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณแตกต่างกัน

บทสรุป

1. การวัดดัชนีพื้นที่ใบเพื่อประเมินการเจริญเติบโตของพืชนั้น ให้ผลที่ดีในช่วงที่พืชเจริญเติบโตทางลำต้น คือตั้งแต่เมื่อพืชปกคลุมดินจนกระทั่ง ออกดอก ถ้าหลังจากนั้น ความสัมพันธ์จะลดลง
2. การใช้เครื่อง SUNSCAN มาเป็นเครื่องมือวัดในแปลงทดลองควรสามารถที่จะทำได้ตลอดทั้งฤดูปลูก แต่ช่วงเวลาที่เหมาะสมคือช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น หลังจากนั้น ข้อมูลที่ได้จากการวัดมีค่าสูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากวัดค่าใบของพืชที่แห้งตาย
3. จุดที่เหมาะสมในภาพถ่ายดิจิทัล ที่จะนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ ควรเป็นจุดกึ่งกลางของภาพ
4. การถ่ายภาพเหนือทรงพุ่มทั้ง 3 ระยะ คือ 1, 2, และ 3 เมตร ให้ผลไม่แตกต่างกัน เนื่องจากระยะความสูงไม่สูงมากพอที่จะส่งผลให้เกิดแตกต่างได้

เอกสารอ้างอิง

ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. (2540). การสำรวจข้อมูลระยะไกล. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 163 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร. (2549). ถั่วเหลือง : ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน: [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.oae.go.th/statistic/export/1301SY.xls>. เข้าดูเมื่อ : 2 ตุลาคม 2549.

Dawson, T.P., and Curran P.J.. (1998). A new technique for interpolating the reflectance red edge position. Int. J. Remote Sens., 21:2,043-2,051.

- Delta-T Device. (1996). SUNSCAN canopy analysis system user manual. Delta-T device Ltd.UK, p.86.
- Jesus S.R., and Yolanda, F.R. (2002). Maize crop yield prediction through satellite images and mathematical models. [On-line]. Available: <http://www.ldd.go.th/Wcss2002/papers/1393.pdf>. Accessed date: February 2005. Accessed date: Nov 23, 2004.
- Liew, S.C. (2001). Optical Remote Sensing. [On-line]. Available: <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/optical.htm>. Accessed date: Apr 25, 2005.
- Richie, L.G. (2003). Use and ground-based canopy reflectance to determine ground cover, nitrogen and water status, and final yield in wheat, [M.Sc. thesis]. Department of Plants, Soils and Biometeorology, Utah State University. p.134.
- Sabins, F.F. (1987). Remote sensing Principles and Interpretation Remote sensing Enterprises, Inc. America, p.432.
- 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. Accessed date: Sep 30, 2006.
- 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.
- Sony Corporation. (2003). Sony Digital Still Camera Operating Instruction. Sony electronics inc, San Diego, p. 159.
- Taiz, L. and Zeiger, E. (2002). *Plant physiology*. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, M, p.690.

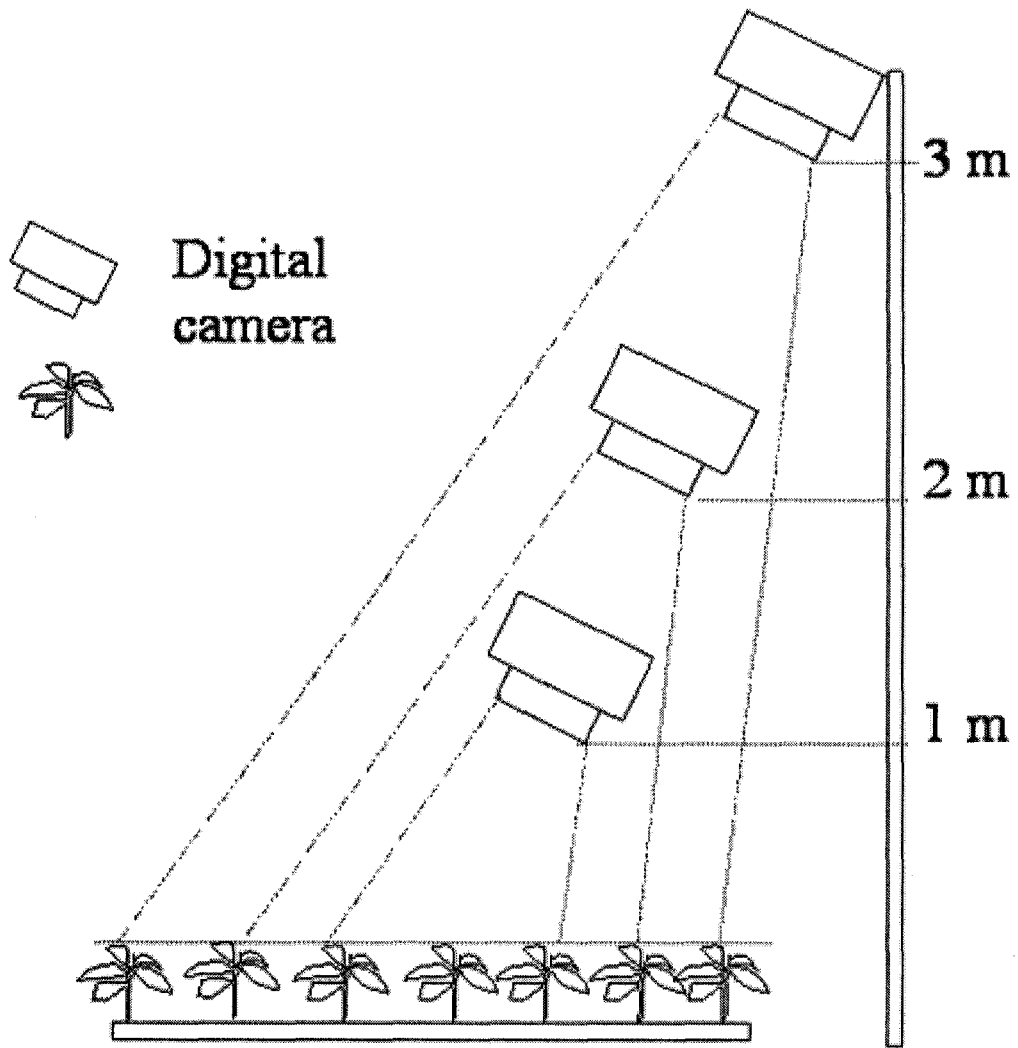


Figure 1. The images cover when the heights were increased

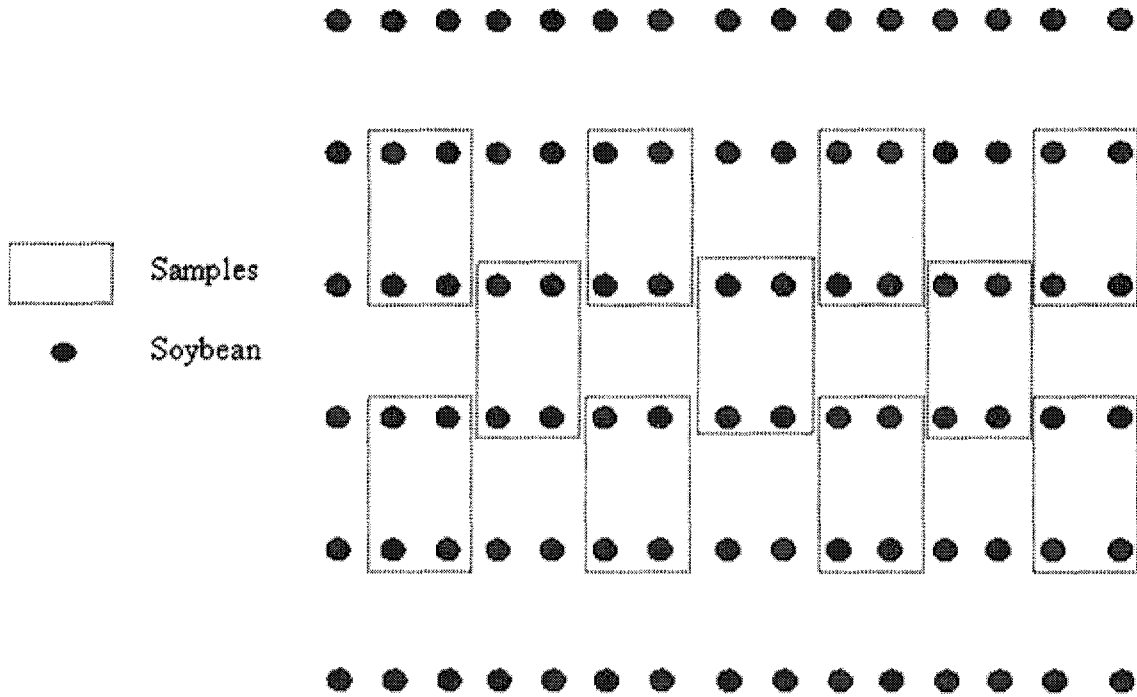


Figure 2. The samples position

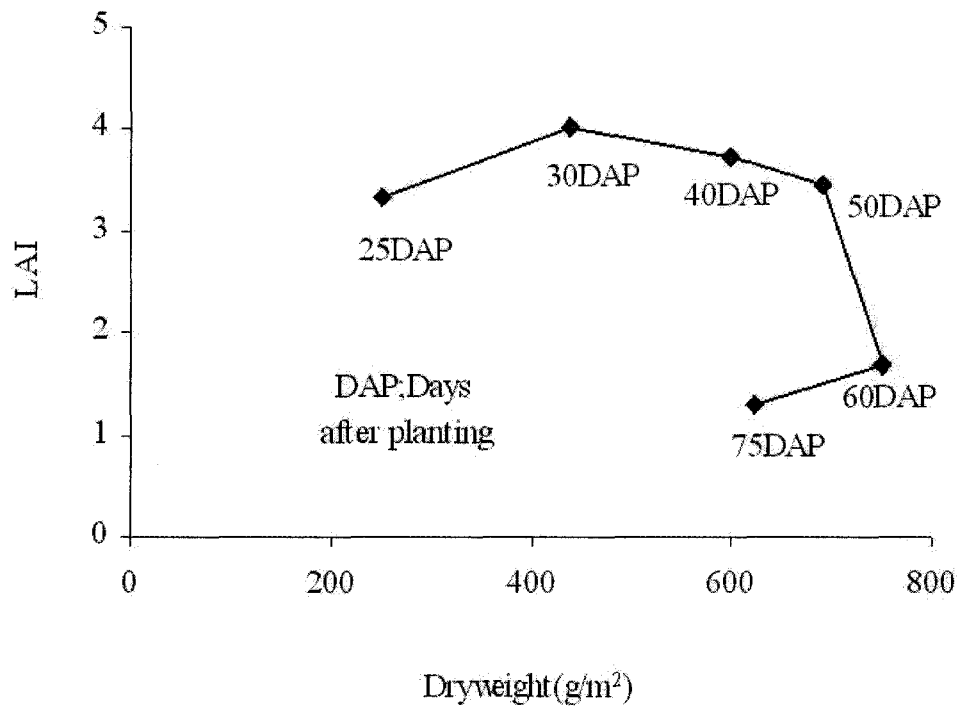
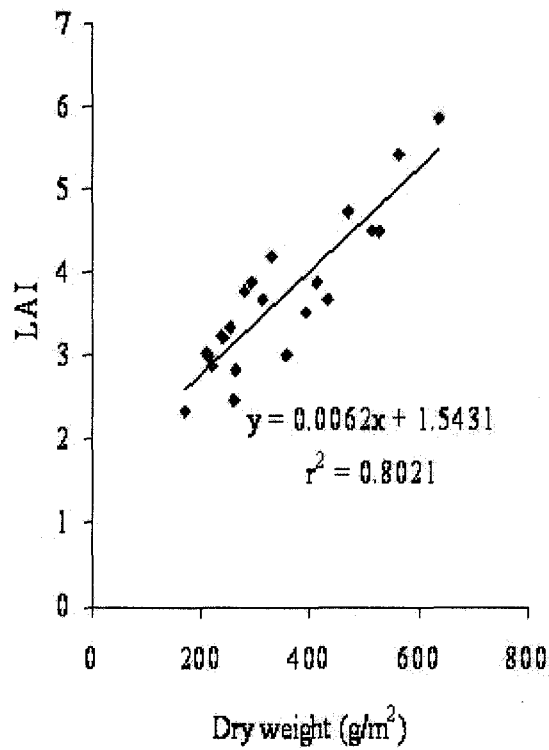
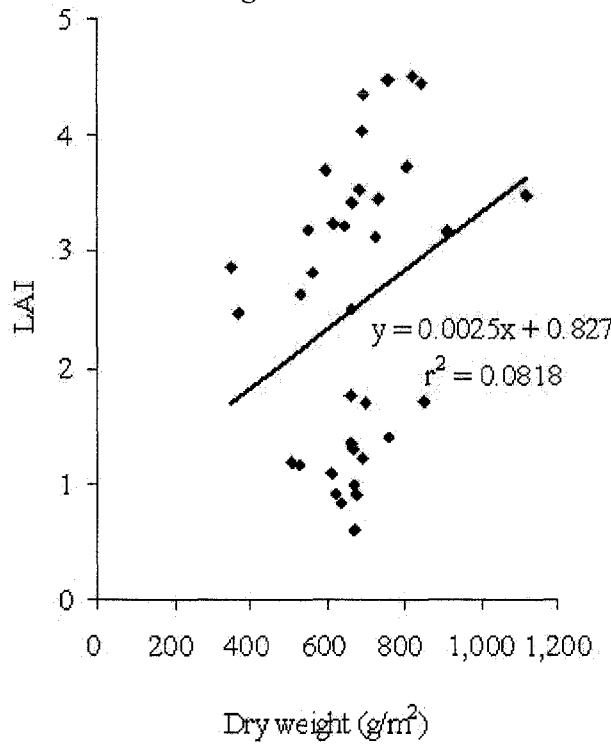


Figure 3. Relationship between total dry weight and LAI



A. Vegetative Phase



B. Reproductive phase

Figure 4. Relationship between total dry weight and LAI at vegetative phase and reproductive phase

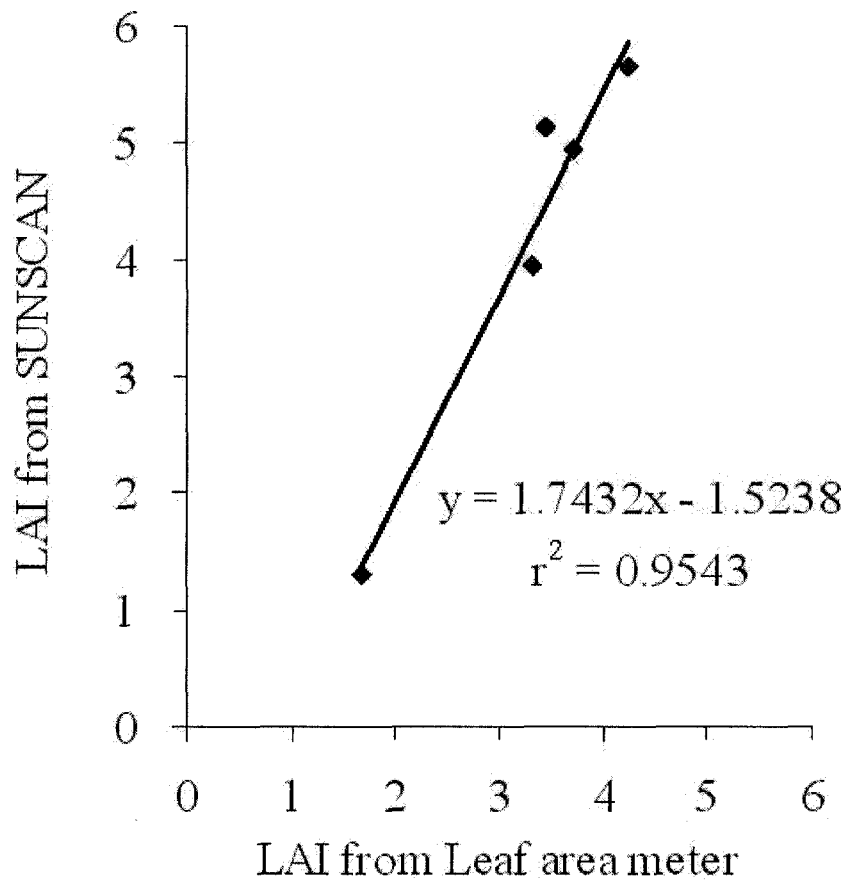


Figure 5. Relationship between LAI form SUNSCAN and LAI from leaf area meter

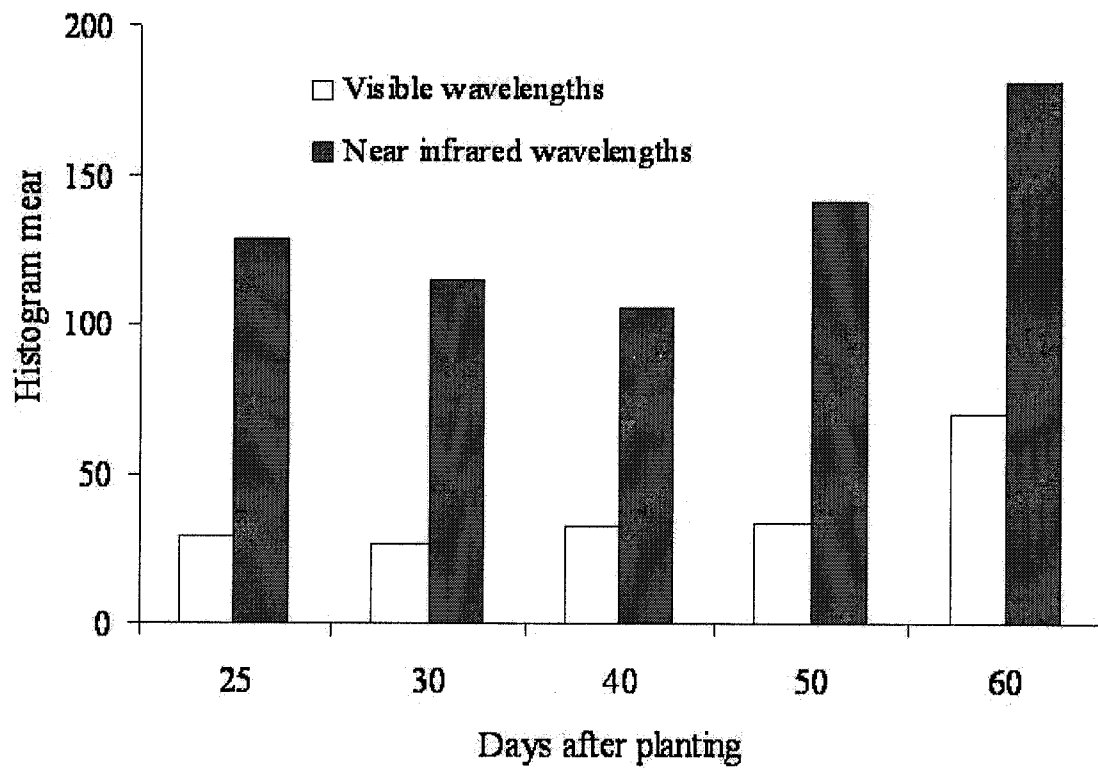
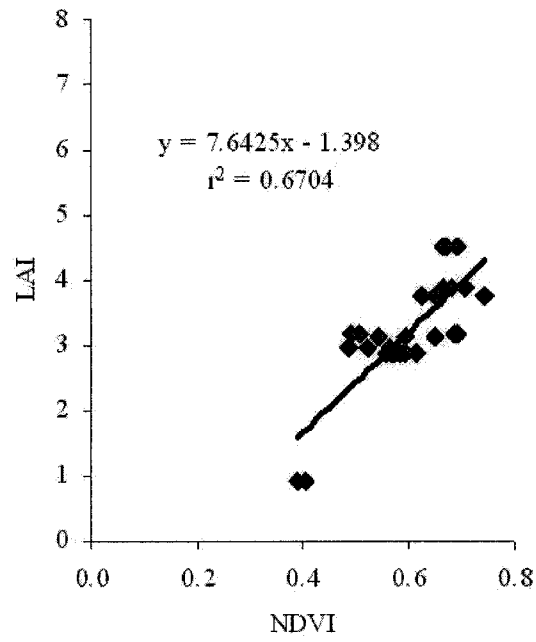
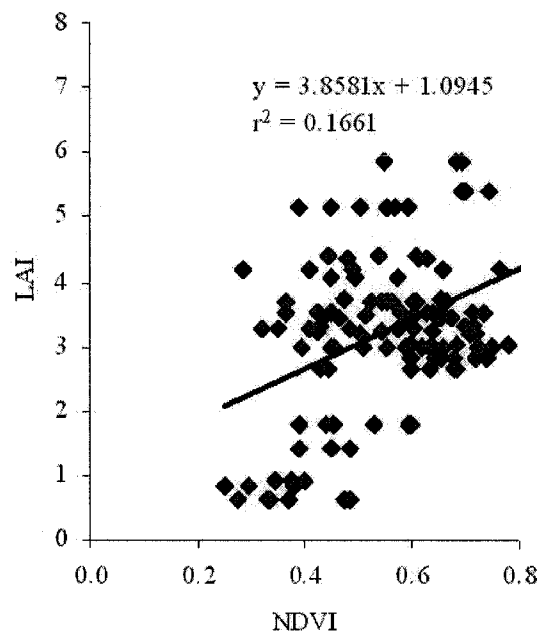


Figure 6. Histogram means comparison of visible wavelengths and near infrared wavelengths



A. Center



B. Edge

Figure 7. Relationship between NDVI and LAI at the center position and the edge position

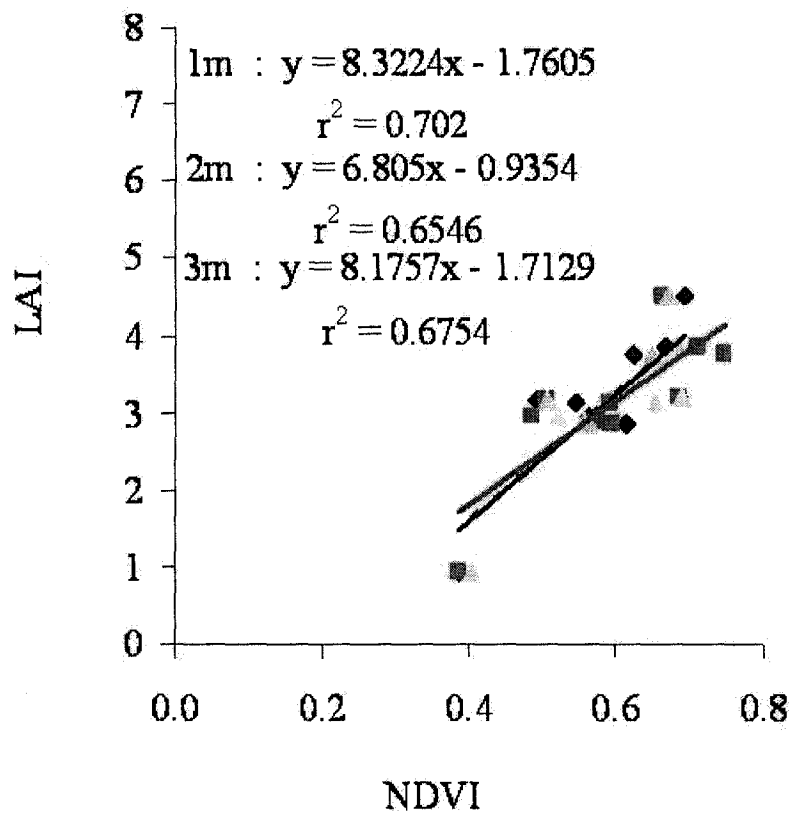


Figure 8. Relationship between NDVI and LAI at 1, 2 and 3 meters