การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดิจิตอลเพื่อประเมินดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์
Application of Digital Image for Leaf Area Index Estimation of Field Corn

รักศักดิ์ เสริมศักดิ์ และหัสไชย บุญจูง

Raksak Sermsak and Hatsachai Boonjung

Abstract

A production of field corn in Thailand is important to an animal feed industry. It was considerd as an index for an increase in livestock production. The estimation of field corn production could be done by various means. One way is to convert Landsat's Satellite imagery to LAI in relationship with crop yield. This method shows a correlation between the leave of field corn and a plant growth and yield . However, this type of imaging has some disadvantages : its dependence on the satellite's orbit (sixteen days), the presence of clouds, its low resolution (30 m x 30m), and high cost. The reflection imagery was done with a digital camera that took picture in the visible and near- infrared wavelengths. Leaf area index could be done anytime during a growing season without causing destructive effects. The field corn variety Suwan 4452 was used in this study. Plant samples were collected five times, eleven repetitions each, from a vegetative phase to a reproductive phase (35, 45, 55, 65, and 85 days after planting). Leaf area was determined with a leaf area meter. Dry weight of leaves, stems, and yield was determined. Imaging was done with a digital camera with a filter of 780 nm wavelength. The camera imaging resolution was 8.0 mega pixels. The images were captured at the heights of one, two, and three meters, respectively, above the crop canopy. These image were converted to BW for a histogram analysis. Then, the BW images were converted to NDVI for a comparison with LAI. The LAI was measured with Sunscan probe. The result showed a highly significant relationship between LAI and TDM (total dry weight) ($y = 208.33x - 212.7$, $R^2 = 0.73^{**}$) from the vegetative stage to the panicle-initiation stage. The LAI collected from a leaf area meter was consistent with the LAI from Sunscan probe ($y = 1.5193x + 0.3527$, $R^2 = 0.91^{**}$). The values obtained from image histogram means at 780 nm were significantly different from that of the visible. And the heights at which the images were taken had no effect on the histogram means. However, the study showed that positions of the images had an effect on the LAI. The center position of the image was correlated with the LAI. This relationship was obtained from the histogram means at near-infrared wavelength and the LAI ($y = 6.31x + 0.39$, $R^2 = 0.75^{**}$).

Keywords: Estimation, LAI, near infra red

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา 30000

School of Crop Production Technology, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

บทคัดย่อ

ปริมาณการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายในประเทศมีผลต่อการขยายตัวของอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทย เนื่องจากข้าวโพดเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับผลิตอาหารสัตว์ ดังนั้นการประเมินผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ระดับประเทศที่ให้ผลถูกต้อง และรวดเร็วในแต่ละปีทำได้ยาก มีการใช้ภาพถ่ายดาวเทียม TM โดยดาวเทียม Landsat ซึ่งมีการรับภาพจากการสะท้อนแสงหลายช่วงคลื่นของพืช ในการประเมินดัชนีพื้นที่ใบและผลผลิตของพืชตามลำดับ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบของพืชกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช แต่ปัญหาของการประเมินโดยข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat คือ ช่วงเวลาการได้มาของข้อมูลขึ้นกับวงโคจรของดาวเทียม (ทุก 16 วัน) ปริมาณเมฆที่ปรากฏขณะบันทึกภาพ ความแยกชัดของภาพที่มีจุดภาพขนาดใหญ่ (30 x 30 เมตร) และภาพถ่ายดาวเทียมมีราคาสูง ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้คิดวิธีการประมวลผลข้อมูลจากภาพถ่ายของกล้องดิจิตอล โดยเปรียบเทียบการถ่ายภาพ 2 ช่วงคลื่น คือช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เพื่อทำให้การติดตามการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบตลอดช่วงระยะเวลาของการเจริญเติบโตของพืชสามารถทำได้โดยไม่ต้องทำลายต้นพืช จากการศึกษาในฤดูปลูกปี พ.ศ. 2548 ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีโดยใช้ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 4452 ทำการเก็บข้อมูลของพืช 5 ครั้งในช่วงอายุของพืชการเจริญเติบโตทางลำต้น และ ช่วงการเจริญพันธุ์ (35, 45, 55, 65 และ 80 วันหลังปลูก) แต่ละครั้งจะเก็บตัวอย่างทั้งหมด 11 ซ้ำ การเก็บข้อมูลในแต่ละครั้งใช้กล้องดิจิตอลที่มีความคมชัด 8 ล้านจุดภาพ ติดตั้งฟิลเตอร์กรองแสงที่ความยาวคลื่น 780 นาโนเมตร ทำการถ่ายภาพที่ระดับความสูงเหนือทรงพุ่ม 1, 2 และ 3 เมตร การวัดดัชนีพื้นที่ใบ และพลังงานแสงในแปลงทดลองโดยใช้เครื่อง Sunscan นำตัวอย่างพืชแยกองค์ประกอบของใบ ลำต้น และฝัก เพื่อวัดน้ำหนักแห้ง และวัดดัชนีพื้นที่ใบด้วยเครื่องมือวัดพื้นที่ใบ (leaf area meter) ภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องดิจิตอลจะทำการแปลงภาพให้อยู่ในลักษณะภาพขาวดำเพื่อทำการอ่านค่าแผนภูมิภาพ และนำค่าแผนภูมิภาพที่ได้ไปสร้าง ดัชนีพืชพรรณเพื่อเปรียบเทียบกับดัชนีพื้นที่ใบ จากการศึกษาพบว่า ดัชนีพื้นที่ใบในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น จนถึงช่วงออกดอก มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับน้ำหนักแห้งของพืช ($y = 208.33x - 212.7$, $R^2 = 0.73$**) ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากเครื่อง Sunscan มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับค่าดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากเครื่องวัดพื้นที่ใบ ($y = 1.52x + 0.35$, $R^2 = 0.91$**) ค่าตัวเลขที่ได้จากค่าเฉลี่ยของแผนภูมิรูปภาพระหว่างค่าฟิลเตอร์ 780นาโนเมตร และค่าที่มองเห็นด้วยตาเปล่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ระดับความสูงของการถ่ายภาพที่ตำแหน่งเดียวกันไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแผนภูมิรูปภาพ แต่ตำแหน่งของจุดภาพมีผลต่อการประเมินพื้นที่ใบ โดยที่ตำแหน่งที่บริเวณตรงกลางภาพจะมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับดัชนีพื้นที่ใบ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากภาพถ่ายดิจิตอล ในรูปแบบของค่าดัชนีพืชพรรณ กับค่าที่ดัชนีพื้นที่ใบ ($y = 6.31x + 0.39$, $R^2 = 0.75$**)

บทนำ

ข้าวโพด (*Zea mays* L.) เป็นธัญพืชที่มีความสำคัญของโลก เนื่องจากข้าวโพดสามารถใช้เป็นอาหารได้ทั้งของมนุษย์และสัตว์ โดยเฉพาะข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์เป็นอย่างมาก ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมากหลังจากที่มีการขยายการเลี้ยงสัตว์เนื่องจากการส่งออกในรูปเนื้อสัตว์จะมีมูลค่าเพิ่มมากกว่าการส่งออกในรูปเมล็ดข้าวโพด ปัจจุบันการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ และปริมาณของผลผลิตในแต่ละปีก็มีความแปรปรวน เนื่องจากส่วนใหญ่ของพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพื้นที่อาศัยน้ำฝน ที่มีปริมาณ และช่วงเวลา

ที่ฝนตกไม่แน่นอน โอกาสที่ข้าวโพดจะมีความเสียหายเนื่องจากความแห้งแล้งเกิดขึ้นได้มากทำให้จำเป็นต้องมีการประเมินผลผลิตข้าวโพด เนื่องจากข้อมูลจากการประเมินผลผลิตที่ถูกต้อง และแม่นยำเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยในการวางแผนการผลิต หรือปริมาณที่ต้องนำเข้า ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับการซื้อขายล่วงหน้าได้

ในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เกษตรกรจะปลูกเป็นพื้นที่กว้างการติดตามการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของพืชทำได้อย่างยากลำบาก ปัจจัยหนึ่งที่นำมาใช้ในการประเมินการเจริญเติบโตของพืช คือลักษณะใบของพืช เนื่องจากใบพืชมีหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงโดยเปลี่ยนพลังงานแสงให้อยู่ในรูปของพลังงานเคมี เพื่อการเจริญเติบโต และดำรงชีวิตของพืช และยังเกิดเป็นผลผลิตเพื่อให้มนุษย์นำมาใช้ในการบริโภคอีกด้วย นอกจากทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงแล้ว ใบของพืชยังทำหน้าที่คายน้ำเพื่อลดอุณหภูมิภายในต้นพืชซึ่งมีผลต่อเนื่องทำให้เกิดแรงดึงน้ำของรากเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำ และธาตุอาหารเข้ามาในต้นพืช เพื่อใช้ในกระบวนดำรงชีวิต และเจริญเติบโตของพืชดังนั้นพื้นที่ใบของพืชจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช การวัดพื้นที่ใบของพืช วัดเป็นพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก เรียกว่า ดัชนีพื้นที่ใบ (Scurlock et al., 2001) โดยปกติการวัดพื้นที่ใบทำโดยการเก็บตัวอย่างใบพืชที่มีสีเขียวมาวัดด้วยเครื่องมือวัดพื้นที่ใบ ซึ่งข้อดีคือมีความแม่นยำสูง แต่ข้อเสียคือต้องทำอย่างรวดเร็วก่อนที่ใบพืชจะเหี่ยว ในกรณีที่เก็บตัวอย่างมาจากต้นพืชเป็นการทำลายต้นพืช หรือถ้าวัดพื้นที่ใบในพื้นที่ปลูกขนาดใหญ่ต้องใช้เวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายสูง จึงมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งมีการรับภาพจากการสะท้อนแสงหลายช่วงคลื่นของพืช และมีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบของพืช แต่ช่วงคลื่นแสงที่นำมาใช้ในการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ คือ ช่วงของคลื่นแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (visible) มีความยาวคลื่นประมาณ 400-700 นาโนเมตร และช่วงของคลื่นแสงอินฟราเรดใกล้ (near infrared) ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 700-1,500 นาโนเมตร (Sabins, 1987) โดยที่ลักษณะทางชีวเคมีภายในพืชที่เป็นตัวควบคุมการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า คือปริมาณของคลอโรฟิล (chlorophyll content) ภายในใบ ซึ่งมีการสะท้อนพลังงานแสงสูงสุดในช่วงคลื่นประมาณ 550 นาโนเมตร (Sims and Gamon, 2002) และ การสะท้อนพลังงานแสงในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เป็นการสะท้อนของเซลล์มีโซฟิล (mesophyll) ของใบ (Taiz and Zeiger, 2002) สูงถึงประมาณ 50 % ส่วนพลังงานที่เหลือ จะถูกส่งผ่าน และถูกดูดกลืน (ชรัตน์, 2540) การสะท้อนพลังงานแสงสูงสุดของเซลล์ดังกล่าวในช่วงอินฟราเรดใกล้เกิดขึ้นที่ช่วงคลื่นประมาณ 800 และ 900 นาโนเมตร (Dawson and Curran, 1998) จากนั้นได้นำข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียมที่แสดงถึงค่าสะท้อนพลังงานแสงของพืชจากช่วงคลื่นดังกล่าว มาทำดัชนีพืชพรรณ และใช้สมการมาตรฐานที่แปลงค่าที่ได้จากข้อมูลภาพไปเป็นดัชนีพื้นที่ใบ ข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบที่ได้สามารถประเมินการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช จากความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้งของพืช และสุดท้ายผลผลิตที่คำนวณจากดัชนีการเก็บเกี่ยว (harvest Index) (Jesus and Yolanda, 2002)โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบและผลผลิตที่คำนวณจากแบบจำลองการปลูกพืช ทั้งในสภาวะปกติหรือสภาวะที่เกิดความเครียด

แต่ปัญหาของการประเมินดัชนีพื้นที่ใบโดยอาศัยข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมคือ ช่วงเวลาการได้มาของข้อมูลขึ้นกับวงโคจรของดาวเทียม (temporal resolution) เช่น ดาวเทียม Landsat ที่ใช้ระยะเวลา 16 วัน จึงจะกลับมาบันทึกภาพที่ตำแหน่งเดิมปัญหาอีกประการหนึ่งคือปริมาณเมฆที่ปรากฏขณะบันทึกภาพโดยเฉพาะฤดูฝน ซึ่งเป็นฤดูปลูกของพืชหลายชนิด นอกจากนี้ความแยกชัดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) ของภาพถ่ายดาวเทียมยังมีขนาดไม่เหมาะสมกับการประเมินผลผลิตของพืช เช่น ดาวเทียม Landsat มีขนาด 30 x 30 เมตร อีกทั้งภาพถ่ายดาวเทียมยังมีราคาสูง ดังนั้นจึงได้คิดที่จะประยุกต์วิธีการประมวลผลภาพถ่ายโดยข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายของกล้องดิจิตอลที่ช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ซึ่งจะใช้ฟิลเตอร์ที่

ยอมให้แสงในความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรดใกล้ส่องผ่าน ทำให้สามารถกำหนดความแยกชัดของภาพได้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูก และสามารถกำหนดช่วงระยะเวลาในการถ่ายภาพได้ตลอดเวลา ทำให้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพื้นที่ใบตลอดช่วงระยะเวลาของการเจริญเติบโตได้โดยไม่ต้องทำลายต้นพืช และสามารถนำมาเป็นเครื่องมือช่วยในการประเมินพื้นที่ใบของภาพถ่ายดาวเทียม ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่เป็นพื้นที่ขนาดใหญ่

วัตถุประสงค์ในการทดลองครั้งนี้ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลการสะท้อนแสง ของทรงพุ่มพืชที่ได้จากภาพถ่ายดิจิตอล กับดัชนีพื้นที่ใบ และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบ กับน้ำหนักแห้งของพืช เพื่อหาแนวทางในการประเมินน้ำหนักแห้งของพืชจากภาพถ่ายดิจิตอล

วิธีการศึกษา

ทำการทดลองในช่วงเดือน มิถุนายน-กันยายน 2548 โดยปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ สุวรรณ4452 ในพื้นที่แปลงทดลองภายในฟาร์มของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีระยะห่างระหว่างต้น 25 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแถว 75 เซนติเมตร กำหนดให้มีต้นข้าวโพด 1 ต้นต่อหลุม ให้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ โรยข้างแถวหลังปลูก 25 วัน แล้วพรวนดินกลบ ทำการให้น้ำทุก 5 วัน

การเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างพืช 5 ระยะ คือ 35, 45, 55, 65 และ 80 วันหลังปลูก การเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งครั้งละ 4 หลุม เมื่อเก็บตัวอย่างแล้วนำมาแยกใบคละเคล้ากันก่อนที่จะทำการสุ่มใบ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด เพื่อนำมาวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ จากนั้นนำใบสุ่มและใบทั้งหมดอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปคำนวณหาพื้นที่ใบทั้งหมด จากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งใบสุ่ม กับพื้นที่ใบสุ่ม และนำไปหาร ด้วยพื้นที่ที่เก็บตัวอย่างก็ได้ค่าเป็น “ดัชนีพื้นที่ใบ”

$$\text{พื้นที่ใบทั้งหมด} = \frac{\text{พื้นที่ใบสุ่ม}}{\text{น้ำหนักแห้งใบสุ่ม}} \times \text{น้ำหนักแห้งของใบทั้งหมด}$$

การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล

กล้องที่ใช้ เป็นกล้องดิจิตอล SONY CYBERSHOT F828 ซึ่งสามารถรับช่วงคลื่นได้ตั้งแต่ 330-1,200 นาโนเมตร (Sony Corporation, 2003) ติดฟิลเตอร์ชนิดที่รับแสงในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และชนิดที่รับแสงในช่วงคลื่น 780 นาโนเมตร มีการกำหนดระยะในการถ่ายภาพ 3 ระยะความสูง คือ 1, 2 และ 3 เมตร (Fig. 1) เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาว่าผลของการเพิ่มระยะของการถ่ายภาพ ที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นมีผลอย่างไรต่อค่าของภาพจากกล้องดิจิตอลที่นำมาวิเคราะห์

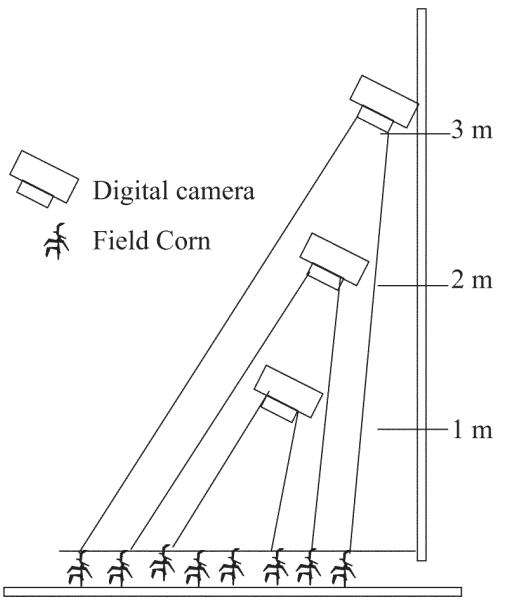

Fig. 1 The images cover when the heights were increased.

ในขณะที่ทำการถ่ายภาพวัดพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหนือทรงพุ่มของพืช (μmol. $m^{-2}s^{-1}$) และวัดดัชนีพื้นที่ใบ ด้วยเครื่อง Sunscan (Delta-T Device, 1996) เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่อง Sunscan วิเคราะห์ความ

สัมพันธ์ระหว่างค่าจากจากภาพถ่ายดิจิตอล กับเครื่องวัดดัชนีพื้นที่ใบอัตโนมัติ ในการถ่ายภาพเมื่อระยะของกล้องสูงขึ้น ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ของกล้องมากขึ้น จึงเก็บตัวอย่างข้อมูลพืชที่จุดตรงกลาง และขอบของภาพ (Fig. 2) เพื่อนำค่ามาวิเคราะห์ความแตกต่างของการสะท้อนแสงในแต่ละจุด ซึ่งสามารถเก็บตัวอย่างพืชได้ 11 ชุดตัวอย่าง

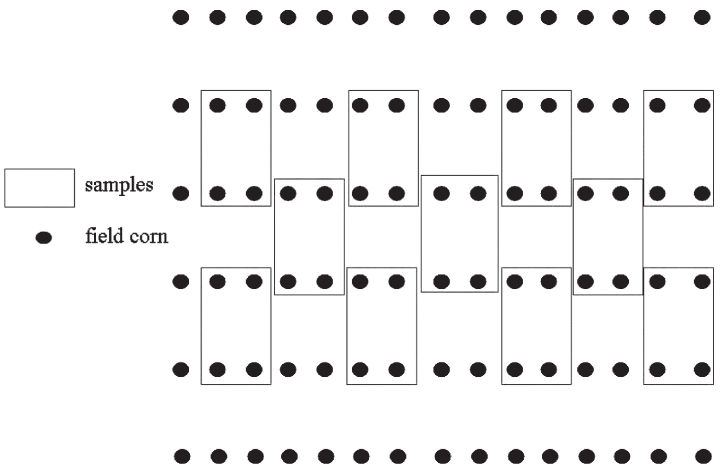

Fig. 2 The samples position.

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งกับดัชนีพื้นที่ใบ และดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากเครื่องวัดดัชนีพื้นที่ใบกับดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่อง Sunscan (Delta-T Device, 1996)

นำข้อมูลจากภาพถ่ายดิจิตอลในแต่ละระยะห่างจากทรงพุ่มของฟิลเตอร์ทั้ง 2 ชนิด มาทำการประมวลผลภาพ โดยแปลงค่าเป็นภาพขาว-ดำให้ แสดงข้อมูลแผนภูมิภาพ เพื่อที่ทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพ (histogram) นำค่าดังกล่าวของทั้งสองฟิลเตอร์มาสร้างเป็นดัชนีพืชพันธุ์ ใช้สูตร

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

เมื่อ NDVI คือ ดัชนีพืชพันธุ์
NIR คือ ค่าที่ได้ในช่วงคลื่นอินฟราเรด ใกล้
และ VIS คือ ค่าที่ได้ในช่วงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ดัชนีพื้นที่ใบของพืชที่วัดจากเครื่อง Sunscan และจากการเก็บตัวอย่างและภาพในระดับความสูงเหนือทรงพุ่มต่างๆ ที่ผ่านการประมวลผลแล้ว

ผลการทดลอง และวิจารณ์

ในการเก็บตัวอย่างของพืชที่ 5 ระยะคืออายุ 35, 45, 55, 65 และ 80 วัน หลังจากปลูก ในระยะ 35 และ 45 วันเป็นระยะที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative phase) ในวันที่ 55 เริ่มมีการออกดอก (panicle initiation) และเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ (reproductive phase) เริ่มเกิดฝักในช่วงวันที่ 65 จนกระทั่งฝักโตเต็มที่ในวันที่ 80 (Fig. 3)

ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต (35 และ 45 วัน) มีอัตราการขึ้นเพิ่มของน้ำหนักแห้งของลำต้นและใบ เจริญเติบโตทางลำต้น หลังจากที่ข้าวโพดออกดอก (55 วัน) อัตราการเจริญเติบโตทางลำต้นลดลง ส่วนใบ

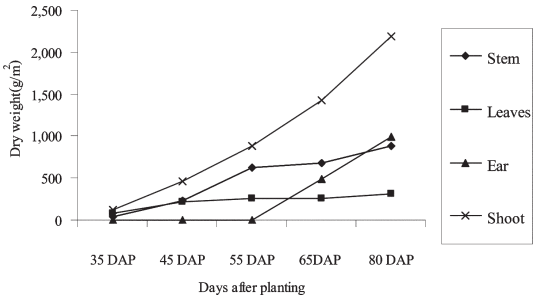

Fig. 3 Field corn dry weights (g/m^2).

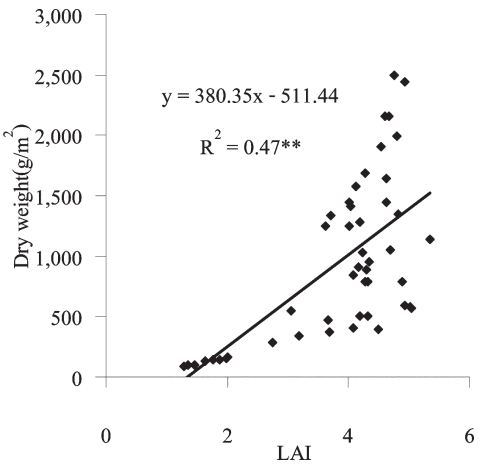

Fig. 4 Relationship between total dry weight (g/m^2) and LAI.

ของพืชจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงในช่วงแรกของการเจริญเติบโตหลังจากเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์น้ำหนักแห้งของใบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Young and Chun (1999)

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้งของพืช

จากข้อมูลทั้งหมดของดัชนีพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้งของพืชมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (R^2 = 0.47**) (Fig. 4)

แต่เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ดังกล่าวในแต่ละครั้งที่เก็บตัวอย่างเห็นได้ว่า ในช่วงเวลาที่พืชเจริญเติบโตในระยะเจริญพันธุ์ดัชนีพื้นที่ใบไม่มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งของข้าวโพด (Fig. 5)

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ ช่วงอายุ 35 วันหลังปลูกมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งสูงที่สุด (R^2 = 0.95**) เนื่องจากผลจากการสังเคราะห์แสงของพืชทั้งหมดจะส่งไปพัฒนาลำต้น เมื่อพิจารณาที่อายุ 45 วันหลังปลูก (R^2 = 0.78**) และ 55 วันหลังปลูก (R^2 = 0.58**) จะพบว่าความสัมพันธ์จะเริ่มลดลงจนกระทั่ง เมื่อเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ใบเริ่มมีการแห้งเหี่ยวทำให้ความสัมพันธ์ดังกล่าวลดลงเมื่อพืชมีอายุ 65 วัน (R^2 = 0.16ns) และ 80 วัน (R^2 = 0.39ns)

จากข้อมูลดังกล่าว ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังกล่าวเฉพาะในช่วงระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นจนกระทั่งออกดอก พบว่าความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบกับน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น (R^2 = 0.73**) (Fig. 6)

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่องวัดพื้นที่ใบ (leaf area meter) และเครื่อง Sunscan

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของดัชนีพื้นที่ใบจากการวัดด้วยเครื่องดัชนีพื้นที่ใบ และเครื่อง Sunscan พบว่า มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (R^2 = 059**) (Fig.7) แสดงให้เห็นว่าสามารถที่จะใช้เครื่อง Sunscan มาช่วยในการวัดดัชนีพื้นที่ใบของข้าวโพดในแปลงได้

แต่เมื่อพิจารณาในละช่วงอายุของการเก็บตัวอย่าง พบว่าในช่วงระยะพืชเจริญเติบโตในระยะเจริญพันธุ์ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบที่วัดจากเครื่องวัดพื้นที่ใบ และเครื่อง Sunscan (Fig. 8)

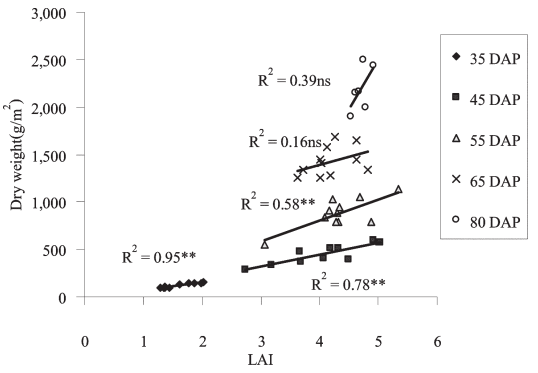

Fig. 5 Relationship between total dry weight (g/m^2) and LAI at 35, 45, 55, 65 and 80 days after planting (DAP).

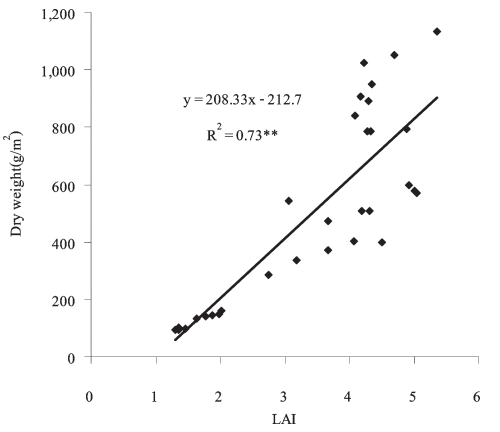

Fig. 6 Relationship between total dry weight (g/m^2) and LAI from vegetative stage to panicle initiation stage.

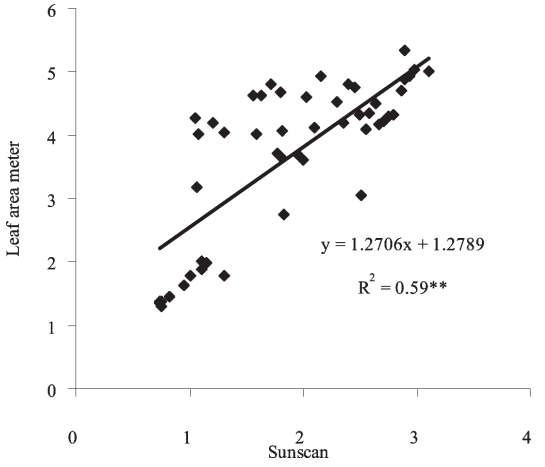

Fig. 7 Relationship between LAI from leaf area meter and LAI from Sunscan probe.

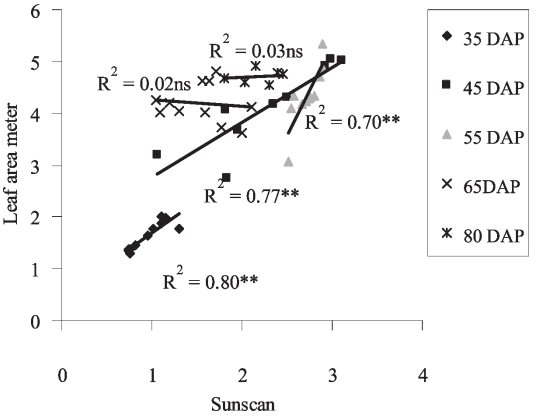

Fig. 8 Relationship between LAI from leaf area meter and LAI from Sunscan probe at 35, 45, 55, 65 and 80 days after planting (DAP).

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว(Fig. 8) พบว่า ในช่วงอายุ 35 วัน ซึ่งเป็นช่วงที่ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากเครื่องมือทั้งสองมีความสัมพันธ์กันสูงที่สุด (R^2 = 0.80**) เนื่องจากเป็นช่วงที่ใบของพืชมีการปกคลุมพื้นที่ และยังไม่มีการบังใบมากนักทำให้ความแม่นยำของเครื่อง Sunscan มีสูง จากนั้นเมื่อใบของพืชเริ่มมีการพัฒนามากขึ้น ที่อายุ 45 วัน (R^2 = 0.78**) และ 55 วัน (R^2 = 0.70**) ยังสามารถใช้เครื่อง Sunscan วัดพื้นที่ใบได้ แต่เมื่อพืชเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ ความสัมพันธ์ดังกล่าวลดลงที่อายุ 65 วัน (R^2 = 0.02ns) และ 85 วัน

(R^2 = 0.03ns) หลังจากปลูกตามลำดับ เนื่องจากเครื่อง SUNSCAN จะใช้หลักการของการส่องผ่านของพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคำนวณดัชนีพื้นที่ใบ (Delta-T Device, 1996) ในช่วงเวลาดังกล่าวพืชมีกิ่งมากส่งผลต่อการบดบังแสง และสาเหตุหนึ่งอาจจะมาจากใบที่เจริญเต็มที่ด้านบนของทรงพุ่มมีการบดบังใบที่อยู่ด้านล่าง แม้ว่ามีใบล่างแก่ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ แต่ยังไม่ร่วง ทำให้ค่าที่วัดได้มีความถูกต้องลดลง

จากข้อมูลดังกล่าวจึงทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังกล่าวเฉพาะในช่วงเวลาเจริญเติบโตทางลำต้น จนกระทั่งออกดอก พบว่า ความสัมพันธ์เพิ่มขึ้น (R^2 = 0.91**) (Fig. 9)

แผนภูมิภาพ (Histogram) ของภาพถ่ายดิจิตอลของในฟิลเตอร์ในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่าและช่วงอินฟราเรดใกล้

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพของภาพที่ถ่ายในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบ T-test พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยค่าเฉลี่ยของค่าที่สะท้อนแสงของทรงพุ่มในช่วงอินฟาเรดใกล้มีค่าสูงกว่าช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Fig. 10) แสดงให้เห็นว่าทรงพุ่มของพืชดูดกลืนช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และสะท้อนแสงช่วงอินฟราเดใกล้ ทำให้สามารถนำค่าเฉลี่ยของแผนภูมิภาพในช่วงคลื่นที่พืชดูดกลืนแสง และสะท้อนแสงมาสร้างเป็นดัชนีพืชพรรณได้ (Liew, 2001)

ความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณ (NDVI) กับดัชนีพื้นที่ใบ (LAI)

จากการถ่ายภาพที่มีการเก็บตัวอย่างที่บริเวณจุดศูนย์กลางของภาพ และบริเวณขอบของภาพ และแปลงข้อมูลภาพแต่ละจุดภาพที่เก็บตัวอย่างเป็นดัชนีพืชพรรณเปรียบเทียบกัน เพื่อหาความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบ พบว่าที่บริเวณขอบของภาพมีความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณ และ ดัชนีพื้นที่ใบต่ำ (R^2 = 0.08ns) (Fig. 11)

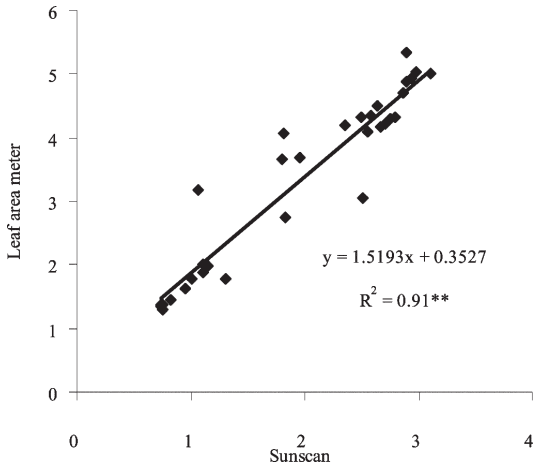

Fig. 9 Relationship between LAI from leaf area meter and LAI from Sunscan probe from vegetative stage to panicle initiation stage.

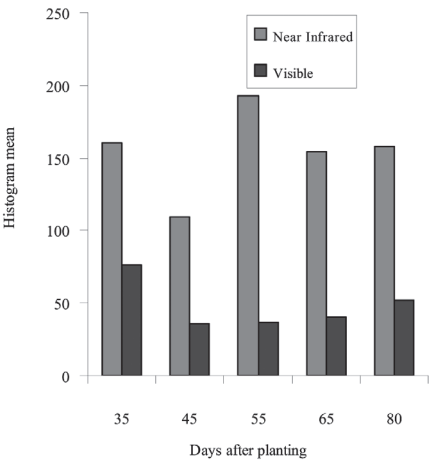

Fig.10 Histogram means comparison of visible wavelengths and near infrared wavelengths.

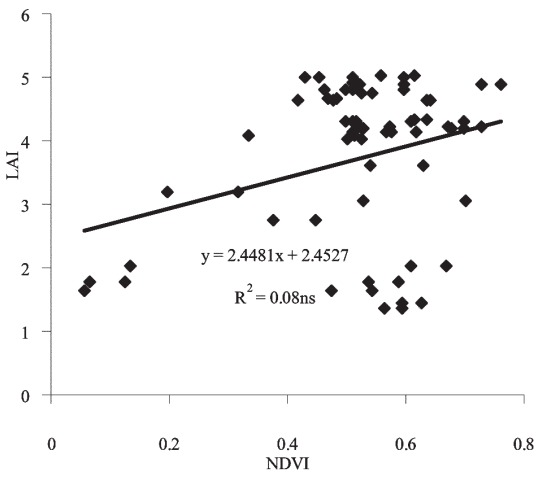

Fig. 11 Relationship between NDVI and LAI at the edge position.

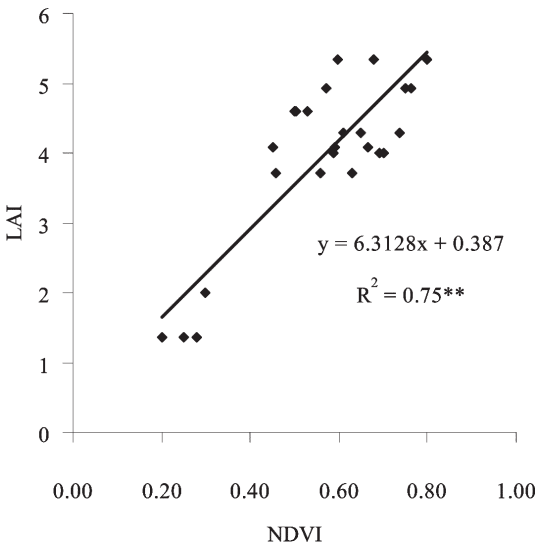

Fig. 12 Relationship between NDVI and LAI at the center position.

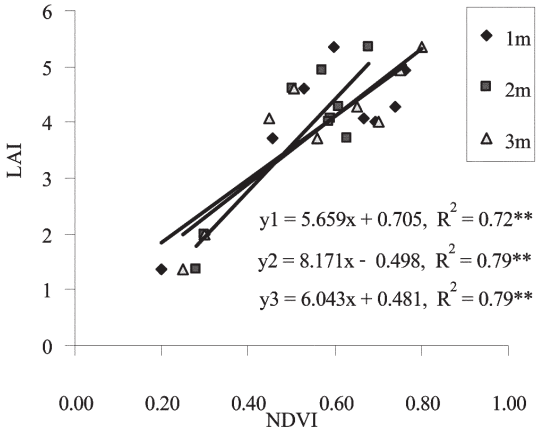

Fig.13 Relationship between NDVI and LAI at 1, 2 and 3 meters.

แต่เมื่อพิจารณาที่จุดศูนย์กลางของภาพ พบว่าค่าความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบ กับดัชนีพืชพรรณมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (R^2 = 0.75**) (Fig. 12) ซึ่งสาเหตุเกิดจากระยะของความคลาดเคลื่อนภาพ จะแปรผันตามกับระยะทางที่ห่างจากจุดศูนย์กลางของภาพ (ชรัตน์, 2540) ดังนั้นจุดศูนย์กลางของภาพจึงมีความเหมาะสมสำหรับการประเมินดัชนีพืชพรรณ เพื่อนำไปประเมินดัชนีพื้นที่ใบ

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของภาพ คือ ตำแหน่งความสูงของกล้องเหนือทรงพุ่มจึงได้นำข้อมูลที่จุดศูนย์กลางไปพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีพืชพรรณกับดัชนีพื้นที่ใบที่ระดับความสูงของการถ่ายภาพต่างกัน คือ 1, 2 และ 3 เมตรเหนือทรงพุ่มที่ระดับความสูง 1 เมตร (R^2 = 0.72**) 2 เมตร (R^2 = 0.79**) และ 3 เมตร (R^2 = 0.79**) ตามลำดับ (Figure 13) และเมื่อนำข้อมูลดัชนีพืชพรรณทั้งหมดมาเปรียบเทียบด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบ T-test ทีละคู่ พบว่าระยะความสูงตั้งแต่ 1- 3 เมตรไม่เพียงพอที่ทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณแตกต่างกันทางสถิติ

สรุป

1. การวัดดัชนีพื้นที่ใบเพื่อประเมินการเจริญเติบโตของพืชนั้น ให้ผลที่ดีในช่วงที่พืชเจริญเติบโตทางลำต้น คือตั้งแต่เมื่อพืชปกคลุมดินจนกระทั่งออกดอก ถ้าหลังจากนั้นความสัมพันธ์จะลดลง

2. การใช้เครื่อง SUNSCAN มาเป็นเครื่องมือวัดในแปลงทดลองสามารถที่จะทำได้ตลอดทั้งฤดูปลูก แต่ช่วงเวลาที่เหมาะสมคือช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น หลังจากนั้นข้อมูลที่ได้จากการวัดมีค่าสูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากวัดค่าใบของพืชที่แห้งตาย

3. จุดที่เหมาะสมในภาพถ่ายดิจิตอลที่จะนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการประเมินดัชนีพื้นที่ใบ ควรเป็นจุดกึ่งกลางของภาพ

4. การถ่ายภาพเหนือทรงพุ่มทั้ง 3 ระยะ คือ 1, 2 และ 3 เมตร ให้ผลไม่แตกต่างกัน เนื่องจากระยะความสูงไม่สูงมากพอที่จะส่งผลให้เกิดความแตกต่างได้

เอกสารอ้างอิง

ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. 2540. การสำรวจข้อมูลระยะไกล. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Campbel, J. B. 2002. Introduction to remote sensing. Guilford. New York.

Dawson, T.P. and P.J. Curran. 1998. A new technique for interpolating the reflectance red edge position. International Journal of Remote Sensing, 21:2043-2051.

Delta-T Device. 1996. Sunscan canopy analysis system user manual. Delta-T device Ltd.UK.

Jesus S.R. and F.R. Yolanda. 2002. Maize crop yield prediction through satellite images and mathematical models. (Cited November 23, 2004). Available at http://www.ldd.go.th/Wcss2002/papers/1393.pdf.

Liew, S.C .2001. Optical remote sensing. (Cited April 25, 2005). Available at http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/optical.htm.

Sabins, F. F. 1987. Remote sensing principles and interpretation remote sensing. Enterprises, Inc. America.

Scurlock, J.M.O., G.P Asner., and S.T. Gower. 2001. Worldwide historical estimates of leaf area index, 1932-2000. (Cited September 30, 2006). Available at http://www.eosdis.ornl.gov/VEGETATION/lai_des.html.

Sims, D.A. and J.A. Gamon. 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages Remote. Environment. 81:337-354.

Sony Corporation. 2003. Sony digital still camera operating instruction. Sony Electronics inc, San Diego .

Taiz, L. and E. Zeiger. 2002. Plant physiology. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.

Young, S.K and H. Chun.1999. Production of chili pepper in different kinds of greenhouse in Korea. (Cited December 11, 2004). Available http://www.agnet.org/library/eb/478/.