Research Article

Received: June 17, 2019; Accepted: September 2, 2019

การใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประเมินพื้นที่ใบของข้าว

Using Digital Image for Estimating Leaf Area of Rice

ณภัทร โรจนสกุล, รักศักดิ์ เสริมศักดิ์* และเกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์

ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Napat Rotchanasakul, Raksak Sermsak* and Kriengkri Kaewtrakulpong

Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University,

Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

พื้นที่ใบมีความสำคัญ เนื่องจากเป็นปัจจัยในการประเมินการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช วิธีการประเมินพื้นที่ใบมีทั้งแบบทางตรงและทางอ้อม การวัดโดยตรงเป็นวิธีที่ง่ายและมีความแม่นยำ แต่จะเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์แบบจำลองที่เหมาะสมที่ใช้ในการประมาณการพื้นที่ใบข้าวจากภาพถ่ายดิจิทัล โดยการถ่ายภาพที่ความสูง 1 เมตร เหนือทรงพุ่มต้นข้าวที่ช่วงอายุ 20, 40, 60, 80 และ 100 วันหลังปลูก แต่ละครั้งจะถ่ายภาพ 3 ช่วงเวลา คือ 08:00, 12:00 และ 16:00 น. วัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ ภาพที่ได้นำมาจำแนกสัญญาณแบบควบคุม เพื่อคำนวณหาจำนวนจุดภาพของใบ แล้ววิเคราะห์หาแบบจำลองที่เหมาะสม ผลการทดลองพบว่าสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าของจุดภาพและค่าพื้นที่ใบทั้งหมดด้วยสมการ $y = 17.24 + 0.01x$, $R^2 = 0.60^{**}$ เมื่อพิจารณาในแต่ละช่วงเวลาการถ่ายภาพพบว่าเวลา 12:00 น. เป็นช่วงที่มีความแม่นยำสูงที่สุด สมการ คือ $y = -329.24 + 0.012x$, $R^2 = 0.86^{**}$

คำสำคัญ : ภาพถ่ายดิจิทัล; การประเมิน; พื้นที่ใบข้าว

Abstract

Leaf area is an important canopy parameter, which is available in analyzing plant growth and development. Methods for estimating leaf area can be derived into two categories, direct and indirect method. The direct method is simple and precise, but more time and labor consuming. The objective of this study was to analyze the relationships between the digital camera image and leaf area of rice. Plant samples were collected at 20, 40, 60, 80 and 100 days after planting. The images were captured at a height of 1 meter above the crop canopy at 08:00 a.m., 12:00 a.m. and

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** agrrss@ku.ac.th **doi:** 10.14456/tstj.2020.136

04:00 p.m. Leaf area was determined with leaf area meter. Supervised technique was used to classify and calculate the pixel number of images. Finally, the models were conducted in this study. The result showed that leaf area was consistent with the pixel number as the equation; y = 17.24 + 0.01x, R^2 = 0.60**. The appropriate relationship between leaf area and pixel number at 12:00 a.m. is y = -329.24 + 0.012x, R^2 = 0.86**

Keywords: digital image; estimate; leaf area of rice

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชที่สำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ประเทศไทยมีการส่งออกข้าวและผลิตภัณฑ์จากข้าวประมาณ 11,940,227 ตัน คิดเป็นรายได้เข้าประเทศประมาณ 193,369 ล้านบาท ความต้องการข้าวไทยในตลาดโลกยังมีอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากประเทศคู่ค้ามีความต้องการข้าวคุณภาพดีจากไทย [1] นอกจากนี้ข้าวยังมีความสำคัญต่อวิถีชีวิตของคนไทย เนื่องจากเกษตรกรในประเทศส่วนใหญ่เป็นชาวนาและคนไทยส่วนใหญ่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ในการปลูกข้าวเกษตรกรจะปลูกเป็นพื้นที่กว้างทำให้การติดตามการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตทำได้ยากลำบาก ปัจจัยหนึ่งที่นำมาประเมินการเจริญเติบโต คือ พื้นที่ใบ เนื่องจากพื้นที่ใบมีความสัมพันธ์ต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของพืช ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช [2] ปัจจุบันการวัดพื้นที่ของใบพืชสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีการวัดทางตรง เช่น การวัดด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ การวัดพื้นที่ใบโดยวิธีการนับตาราง อีกวิธีการหนึ่ง คือ การวัดทางอ้อม เช่น การคำนวณจากการใช้ภาพถ่ายแบบโดยการใช้แสงสว่างส่องผ่าน การวัดความกว้างหรือความยาวสูงสุดของใบแล้วนำมาคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [3] การวัดพื้นที่ใบโดยตรงทำได้ง่ายและมีความแม่นยำมากกว่า แต่มีข้อเสีย คือ ราคาแพง ใช้แรงงานมาก และต้องทำลายตัวอย่างของพืช ขณะที่การวัดพื้นที่ใบทางอ้อมนั้นจะประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าและไม่ทำลายตัวอย่าง จึงเป็นเหตุที่มีการหาวิธีการการวัดพื้นที่ใบทางอ้อมประเภทอื่น ๆ การวัดพื้นที่ใบโดยใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเป็นวิธีการวัดพื้นที่ใบทางอ้อมรูปแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยม เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาให้นำมาประยุกต์ใช้กับการคำนวณหาพื้นที่ใบได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น และสามารถนำมาใช้กับพืชหลายชนิด [4] มีการใช้เครื่องมือประเมินพื้นที่ใบแบบออนไลน์ (online leaf assessment tool, OLAT) แปลงภาพให้เป็นภาพสีเทา (gray scale) จากนั้นนับจำนวนจุดภาพเพื่อประเมินพื้นที่ใบในไม้ยืนต้น [5] อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวยังมีข้อจำกัด คือ ยังขาดความแม่นยำจากอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ทั้งจากกายวิภาคของพืช ขั้นตอนการถ่ายภาพ ตลอดจนการใช้โปรแกรมในการคำนวณ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการปรับค่าที่ได้จากภาพถ่ายให้มีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น สมการมีความน่าเชื่อถือสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับการเจริญเติบโตของพืชมักถูกใช้ในการสร้างแบบจำลองในการหาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช การประยุกต์ใช้สมการดังกล่าวพบว่ามีความแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด [6] ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการประมาณการพื้นที่ใบข้าวจากภาพถ่ายดิจิทัลในสถานการณ์ที่มีปัจจัยด้านแสงสว่างที่

ต่างกัน เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้ในสภาพพื้นที่จริงต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ปลูกข้าวพันธุ์ กข 49 ซึ่งเป็นข้าวไม่ไวแสง ต้นสูงประมาณ 80-89 เซนติเมตร ออกดอกประมาณ 70 วันหลังปลูก เก็บเกี่ยว 102-107 วันหลังปลูก ทรงกอตั้ง ใบสีเขียวเข้ม ให้ผลผลิตประมาณ 939 กิโลกรัมต่อไร่ ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและโรคไหม้ [7]

2.2 ใช้กล้องรุ่น Logitech webcamera c170 [8] ถ่ายภาพที่ระยะ 1 เมตรเหนือทรงพุ่ม ที่ 5 ช่วงอายุของข้าว คือ ระยะ 20, 40 และ 60 วันหลังปลูก เป็นตัวแทนของระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative phase) ระยะ 80 และ 100 วันหลังปลูก เป็นตัวแทนของระยะการเจริญด้านการสืบพันธุ์ (reproductive phase) โดยแต่ละครั้งของการถ่ายภาพจะแบ่งเป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่ เวลา 08:00, 12:00 และ 16:00 น. แต่ละช่วงเวลาถ่ายภาพทั้งหมด 4 ซ้ำ รวมจำนวนภาพทั้งหมด 60 ภาพ พร้อมทั้งวัดความสว่างของแสง (ลักซ์) ขณะถ่ายภาพด้วยเครื่อง Testo-545 [9] จากนั้นวัดพื้นที่ใบของข้าวทั้งต้นด้วยเครื่อง LI 3100 area meter [10] 2.3 การประเมินจุดภาพของพื้นที่ใบข้าว (รูปที่ 1A) ภาพที่ได้นำมาจำแนกสัญญาณแบบควบคุม (supervised classification) โดยกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง (training area) เป็นบริเวณใบของข้าว [11] (รูปที่ 1B) จากนั้นแยกภาพพื้นหน้าออกจากพื้นหลัง (threshold) [12] ทำให้ภาพมีเพียงพื้นที่ใบของข้าวและฉากหลัง (รูปที่ 1C) แปลงสัญญาณภาพให้กลายเป็นภาพขาวดำ (binary) (รูปที่ 1D) คำนวณจำนวนจุดภาพ (pixel) (รูปที่ 1E) ในบริเวณที่เป็นพื้นที่ใบของข้าว

2.4 การวิเคราะห์สมการในการประมาณการพื้นที่ใบข้าวเพื่อสร้างแบบจำลองใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใบที่ได้จากภาพถ่ายดิจิทัลและเครื่องวัดพื้นที่ใบในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองจากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination) หรือ ค่า R-square (R^2) เพื่อคำนวณหาแบบจำลองที่เหมาะสม

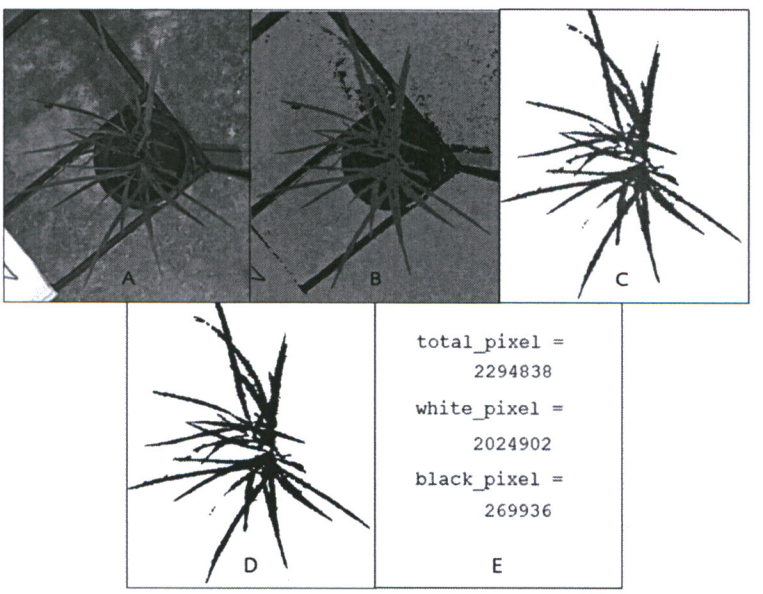


Figure 1 Digital image processing steps of leaf area estimation

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 พื้นที่ใบ

การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบในแต่ละระยะการเจริญเติบโตของข้าว (รูปที่ 2) พบว่าในช่วงอายุ 20-40 วันหลังปลูก (ตารางที่ 1) มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่จาก 92.68 เป็น 311.47 ตารางเซนติเมตร มีการเพิ่มพื้นที่ใบในอัตรา 10.94 ตารางเซนติเมตรต่อวัน ช่วงอายุ 40-60 วันหลังปลูก อัตราการเพิ่มพื้นที่ใบสูงที่สุด คือ 51.19 ตารางเซนติเมตรต่อวัน ทำให้พื้นที่ใบเพิ่มขึ้นเป็น 1,335.29 ตารางเซนติเมตร ช่วงอายุ 60-80 วันหลังปลูก มีการเพิ่มพื้นที่ใบในอัตรา 41.82 ตารางเซนติเมตรต่อวัน ทำให้พื้นที่ใบเพิ่มขึ้นเป็น 2,171.62 ตารางเซนติเมตร และช่วงอายุ 80-100 วัน พื้นที่ใบเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง 8.47 ตารางเซนติเมตรต่อวัน พื้นที่ใบลดลงเป็น 2,002.29 ตารางเซนติเมตร ในช่วงอายุ 20-80 วัน ข้าวมีการเจริญเติบโตทางลำต้นในช่วง 20-40 วัน จะเริ่มแตกกอทีละน้อย แล้วเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วง 40-90 วัน ซึ่งเป็นช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้นเพื่อสะสมพลังงาน แล้วการเจริญเติบโตจะค่อย ๆ ลดลงแล้วเข้าสู่ระยะการเจริญด้านการสืบพันธุ์ (รูปที่ 3) โดยใบจะเหลือง แก่ และเริ่มร่วงหล่น รวมทั้งมีการสะสมน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้น [13]

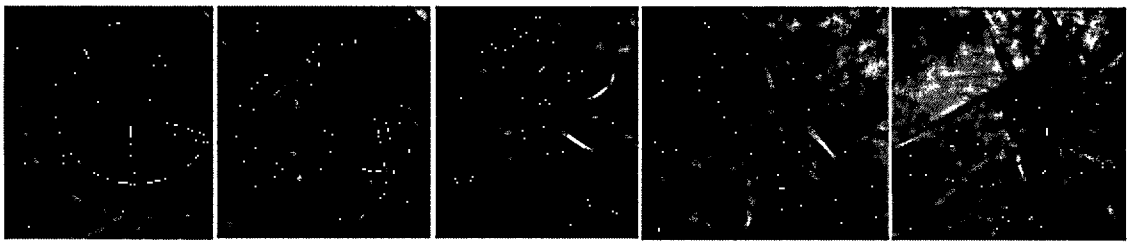


Figure 2 Images at 20, 40, 60, 80 and 100 days after planting (DAP)

Table 1 Leaf areas and rates of leaf area changes

Plant ages (days after planting)	Leaf areas (cm^2)	Leaf area rates (cm^2/day)
20	92.68	4.63
40	311.47	10.94
60	1,335.29	51.19
80	2,171.62	41.82
100	2,002.29	-8.47

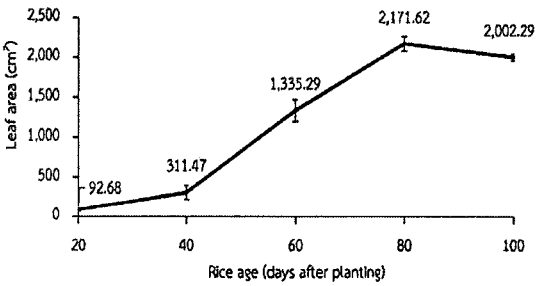


Figure 3 Changes in leaf area of rice at different growth stages

3.2 ความสว่างของแสง

เมื่อเปรียบเทียบค่าความสว่างของแสง (ลักซ์) ขณะถ่ายภาพในเวลา 08:00, 12:00 และ 16:00 น. ด้วยวิธีการเปรียบเทียบสองกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระจากกัน (independent t-test) ที่ความแปรปรวนไม่เท่ากัน (unequal variance) พบว่าช่วงเวลา 12:00

น. มีค่าความสว่างสูงที่สุด คือ 7,084.21 ลักซ์ รองลงมา คือ ช่วงเวลา 16:00 และ 08:00 น. มีค่าความสว่าง 2,601.05 และ 561.10 ลักซ์ ตามลำดับ (รูปที่ 4) ความสว่างของภาพที่ต่างกันอาจมีผลต่อคุณภาพของภาพถ่าย โดยภาพถ่ายที่ถ่ายในขณะที่มีแสงสว่างมากจะมีความชัดเจนมากกว่าภาพที่มีแสงสว่างน้อย เนื่องจากการถ่ายภาพอาศัยแสงจากดวงอาทิตย์เป็นหลัก ซึ่งแสงจากดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาจะมีทิศทางและสีที่ต่างกัน ช่วงเวลาเช้าและเย็นก่อนดวงอาทิตย์ตกเวลาประมาณ 06:30-08:30 และ 16:00-18:00 น. แสงอาทิตย์จะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีส้ม จะได้ภาพที่มีความนุ่มนวล แต่อาจมีเงาดำมากเกินไป ขณะที่แสงช่วงเที่ยงเป็นช่วงที่แสงของดวงอาทิตย์แรง โดยจะอยู่ที่เวลาประมาณ 11:30-13:30 น. [14] ทำให้ค่าความสว่างของแสงในช่วงเวลา 12:00 น. มีค่าความสว่างสูงที่สุด

3.3 จำนวนจุดภาพ

การประเมินจำนวนจุดภาพจากภาพทั้งหมด 60 ภาพ ที่ถ่ายทั้ง 3 ช่วงเวลา และเปรียบเทียบจำนวนจุดภาพที่ได้จากการถ่ายภาพในช่วงเวลาที่ต่างกันทั้ง 3 ช่วงเวลา (รูปที่ 5) ด้วยวิธีการเปรียบเทียบสองกลุ่มตัวอย่างที่เป็นอิสระจากกันที่ความแปรปรวนเท่ากัน พบว่าจำนวนจุดภาพไม่มีความแตกต่างทางสถิติ โดยช่วงเวลา 08:00, 12:00 และ 16:00 น. ได้จำนวนจุดภาพเฉลี่ย 118,589.20, 130,257.10 และ 133,990.05 จุด ตามลำดับ (รูปที่ 5) ซึ่งเห็นได้ว่าความสว่างในแต่ละช่วงเวลาของการถ่ายภาพไม่มีผลต่อการนับจำนวนจุดภาพ ทำให้จำนวนจุดภาพโดยเฉลี่ยที่ได้จากการถ่ายภาพทั้ง 3 ช่วงเวลา ไม่มีความแตกต่างกัน

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดภาพและพื้นที่ใบ

ความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพ 3 ช่วงเวลา จำนวน 60 ภาพ กับพื้นที่ใบ สามารถสร้างสมการความ

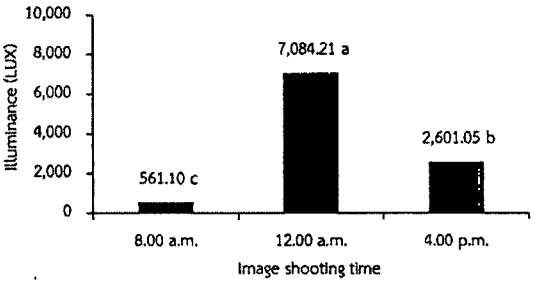


Figure 4 Mean value of illuminance (LUX)

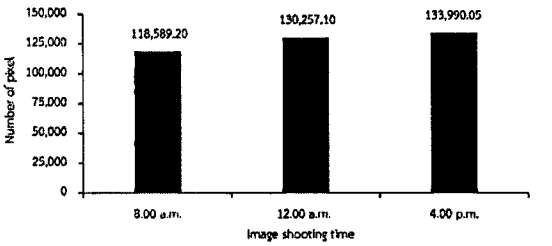


Figure 5 Numbers of pixel at 08:00 a.m., 12:00 a.m. and 04:00 p.m.

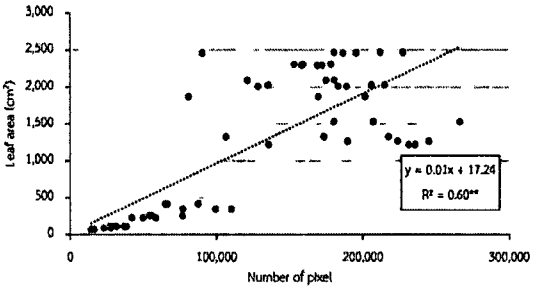


Figure 6 Relationship between numbers of pixel and leaf areas

สัมพันธ์ $y = 0.01x + 17.24$ (รูปที่ 6) เมื่อ y คือ พื้นที่ใบ และ x คือ จำนวนจุดภาพ เมื่อทดสอบทางสถิติพบว่าสมการการถดถอยนี้มีความเชื่อมั่นทางสถิติร้อยละ 99 เมื่อพิจารณาจากข้อมูลทั้งหมดจะเห็นได้ว่าจำนวนความสัมพันธ์ของพื้นที่ใบขึ้นกับจุดภาพที่ถ่ายภาพทั้งทรงพุ่มร้อยละ 60 ซึ่งเป็นการพัฒนาวิธีการวัดประเมินพื้นที่ใบโดยใช้เทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ร่วมกับวิธีการประมวลผลภาพดิจิทัลสร้างเครื่องมือ

สำหรับประเมินพื้นที่ใบ [3] ส่วนกรณีที่มีการวัดพื้นที่ใบเดี่ยวจะมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ใบกับจุดภาพร้อยละ 90 [5] สาเหตุของความสัมพันธ์ที่ลดลงเนื่องจากเมื่อต้นข้าวเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตเกิดความโค้งของปลายใบซึ่งส่งผลต่อรายละเอียดของภาพที่ได้

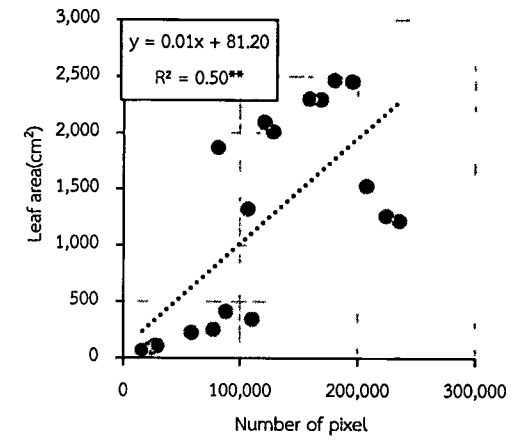
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุดภาพและพื้นที่ใบในช่วงเวลา 08:00, 12:00 และ 16:00 น.

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพทั้งหมดกับพื้นที่ใบในแต่ละช่วงเวลาถ่ายภาพสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ในช่วงเวลา 08:00, 12:00 และ 16:00 น. ได้สมการ $y = 0.01x + 81.20$, $y = 0.01x - 329.24$ และ $y = 0.0079x + 171.57$ ตามลำดับ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 0.50, 0.86 และ 0.52 ตามลำดับ

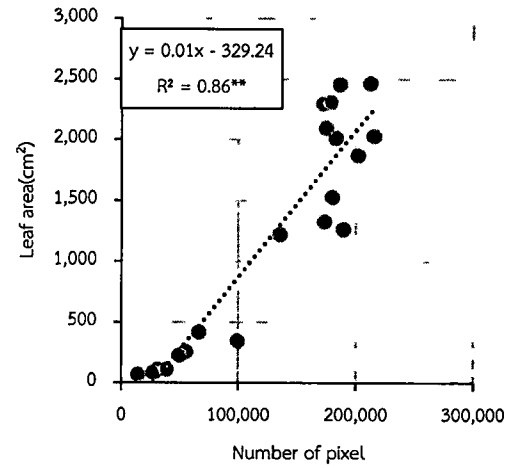
เมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่ถ่ายภาพในแต่ละช่วงเวลากับความแม่นยำในการประมาณการพื้นที่ใบข้าว (รูปที่ 7) พบว่าสมการสามารถประมาณการอย่างแม่นยำสูงที่สุดเมื่อมีการถ่ายภาพในช่วงเวลา 12:00 น. จากสมการ $y = 0.01x - 329.24$ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ 0.86 ส่วนภาพถ่ายที่ถ่ายในช่วงเวลาที่มีความสว่างของแสงลดลง คือ 16:00 น. และ 08:00 น. มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจลดน้อยลงตามลำดับ เนื่องจากแสงสว่างที่น้อยเกินไปมีผลต่อการรับภาพของกล้อง ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการประมวลผลเพื่อหาขอบเขตพื้นที่ใบ (image segmentation) นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนของภาพยังแปรผันตรงตามระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของภาพด้วย [15]

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

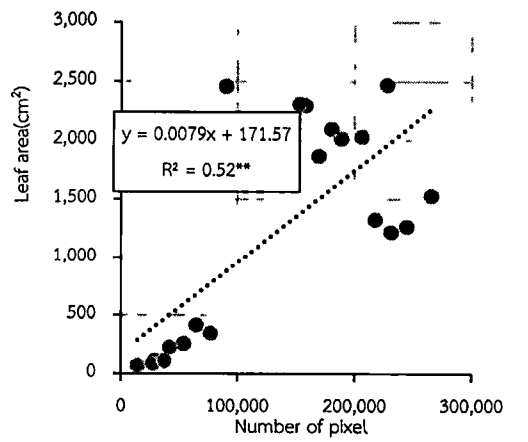
การวัดพื้นที่ใบข้าวโดยใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเป็นวิธีการวัดพื้นที่ใบข้าวที่สะดวกและไม่มีการทำลายตัวอย่างของพืช แต่มีข้อจำกัด คือ ยังขาดความแม่นยำ การวิจัยครั้งนี้พบว่าสมการที่เหมาะสมที่สามารถอธิบายและประมาณการพื้นที่ใบข้าวได้แม่นยำที่สุด คือ



A. 08:00 a.m.



B. 12:00 a.m.



C. 04:00 p.m.

Figure 7 Relationship between numbers of pixel and leaf areas at 08:00 a.m., 12:00 a.m. and 04:00 p.m.

ช่วงเวลา 12:00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่แสงสว่างที่สุด สมการที่ได้ คือ y = 0.01x - 329.24 โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของค่าประมาณการและค่าจริงถึงร้อยละ 86 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประมาณการพื้นที่ใบข้าวจากภาพถ่ายดิจิทัลสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในระดับหนึ่ง เพื่อเป็นข้อมูลที่แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มหรือความเป็นไปได้ของการเจริญเติบโตของข้าว อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลาที่พืชมีการเจริญเติบโตมากขึ้นอาจมีที่ใบที่ซ้อนทับกัน ทำให้ความแม่นยำในการประเมินลดลง นอกจากนี้กรณีที่วัดในแปลงปลูกควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับระยะห่างที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินเมื่อมีจำนวนต้นข้าวมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเครื่องจักรกลเกษตรและอาหาร) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวิทยาศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

7. References

[1] Office of Agricultural Economics, 2017, Agricultural Statistics of Thailand2017, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, 197 p. (in Thai)

[2] Kandiannan, K., Parthasarathy, U., Krishnamurthy, K.S., Thankamani, C.K. and Srinivasan, V., 2009, Modeling individual leaf area of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) using leaf length and width, Sci. Hort. 120: 532-537.

[3] Thaiparnit, S., Osateerakul, B. and Ketcham, M., 2014, Application of image processing and linear regression for estimation of leaf area, RMUTSB Acad. J. 2(1): 23-31. (in Thai)

[4] Kapetch, P., Pakdeethai, C. and Sarawat, V., 2011, Estimation of leaf area using digital image, Khon Kaen Agric. J. 39(Suppl.): 392-397. (in Thai)

[5] Can, M., Gursoy, O., Akcesme, B. and Akcesme, F.B., 2012, Leaf area assessment by image analysis, South. Eur. J. Soft Comp. 1(2): 9-10.

[6] Barrera, J.A., Hernandez, M.S., Melgarejo, L.M., Martinez, O. and Fernandez-Trujillo, J.P., 2008, Physiological behavior and quality traits during fruit growth and ripening of four Amazonic hot paper accession, J. Sci. Food Agric. 88: 847-857.

[7] Division of Rice Research and Development, 2016, Rice Knowledge Bank, Rice Department Ministry of Agriculture and Cooperatives, Available Source: http://www.ricethailand.go.th/rkb3/17กข49.pdf, February 11, 2019. (in Thai)

[8] Logitech, 2019, C170 Webcam, Available Source: https://www.logitech.com/th-th/product/webcam-c170, June 18, 2019.

[9] Testo, 2004, Testo 545 Luminous Intensity Measuring Instrument Instruction Manual, Available Source: http://www.testo-direct.com/0560-0545/manual/0560-0545-manual.pdf, June 18, 2019.

[10] LI-COR, Inc., 1987, LI-3100 Area Meter Instruction Manual, Available Source: https:

//toolik.alaska.edu/edc/equipment/equipment_manuals/LICOR_LI-3100_Leaf_Scanner.pdf, June 18, 2019.

[11] ERDAS, Inc., Erdas, 1999, ERDAS Field Guide™ Fifth Edition, Revised and Expanded, Available Source: http://web.pdx.edu/~emch/ip1/Field Guide.pdf, June 18, 2019.

[12] Gonzalez, R. C. and Wood, R. E., 2007, Digital Image Processing, 3rd Ed., Prentice Hall, New Jersey, 793 p.

[13] Division of Rice Research and Development, 2013, PSL05102-19-1-5-4 Rice Line, Rice Department Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, 42 p. (in Thai)

[14] Buangern, S., 2011, The Art of Composition for Photographer, MIS Publishing Co., Ltd., Bangkok. 349 p.

[15] Mongkolsawat, C., 1997, Remote Sensing, KhonKaen University, 163 p. (in Thai)