

การประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมันสำปะหลังโดยการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล

Estimation of Chlorophyll Content in Leaf of Cassava by Analyzing Digital Camera Image

ธนпат สุขเจริญ^{1*}, วันรัฐ อับดุลลาซิม¹,

Tanapat Sookchalearn^{1*}, Wanrat Abdullakasim¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม, 73140

¹Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140, Thailand

*Corresponding author: Tel: +66-8-5704-9146, Fax: +66-34-351896, E-mail: fengwra@ku.ac.th

บทคัดย่อ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญในประเทศไทย การใช้เครื่องมือตรวจติดตามการเจริญเติบโตของแปลงมันสำปะหลัง จะช่วยให้เกษตรกรบริหารจัดการแปลงมันสำปะหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยศึกษาการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบมันสำปะหลังและดัชนีพืชพรรณ(NDVI)

การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบมันสำปะหลังจะใช้เครื่องมือวัดแบบพกพาที่เรียกว่า SPAD-502 และการวัดดัชนีพืชพรรณจะใช้กล้องดิจิทัลติดตั้งฟิลเตอร์ที่ยอมให้ความยาวคลื่นแสงย่าน R, G, B และ NIR ผ่านได้

จากการทดลองเปรียบเทียบความสัมพันธ์ความยาวคลื่นแสงที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลกับปริมาณคลอโรฟิลล์จะพบว่า ที่ความยาวคลื่นแสงย่าน R และ B มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น 0.65 และ 0.83 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ เมื่อนำมา R และ B มาหาดัชนีพืชพรรณ $(r-b)/(r+b)$ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น 0.84 ค่ารากที่สองความคลาดเคลื่อนกำลังเฉลี่ย เท่ากับ 4.42

คำสำคัญ: ดัชนีพืชพรรณ, คลอโรฟิลล์, สำปะหลัง

Abstract

Cassava is important crop in Thailand. Utilization of cassava root growth. It will help farmers manage the cassava consersion effectively. In this research, the study investigated the correlation between chlorophyll content in leave and NDVI. Chloropyyll measurements at cassava leaves are measured using a protable instrument called SPAD-502 and the index of vegetation in measured using a digital camera equipped with a filter that wavelengths R, G, B and NIR through. The experiment was carried out to compare the wavelength of light taken with the camera. The R and B wavelength were correlated with the amount of chlorophyll and have Coefficient of determination 0.63 and 0.82. This corresponds to the ptoperties of chlorophyll. When R and B were applied to the index of vegetation $(r-b)/(r+b)$, the correlation have coefficient of determination 0.84, the root mean square error was 4.42.

Keywords: Vegetation Index, Chlorophyll, Cassava

1 บทนำ

ประเทศไทยมีการผลิตพืชไร่เศรษฐกิจที่สำคัญ การผลิตพืชเศรษฐกิจในอนาคต มีแนวโน้มที่จะพัฒนาในรูปแบบไปอยู่ในลักษณะของการเพาะปลูกบนพื้นที่ขนาดใหญ่ และมีความต้องการที่จะมุ่งเน้นไปในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและการบริหารจัดการ รวมถึงความต้องการทำนายคาดการณ์อนาคต เช่น การพยากรณ์ปริมาณผลผลิตด้วยดัชนีพืชพรรณ การใช้เครื่องมือประเมินสภาพพื้นที่แปลงขนาดใหญ่ปัจจุบันใช้นิยมใช้ภาพถ่ายมุมสูง เริ่มมีการใช้งานในประเทศไทยบ้างแล้ว

แต่ยังขาดการศึกษาวิจัยให้เหมาะกับชนิดพืชและสภาพพื้นที่แปลง

Bannari และคณะ(1995) ได้ทำการประมวลดัชนีพืชพรรณพบว่าโดยทั่วไปการใช้ดัชนีพืชพรรณสามารถบอกคุณสมบัติของพืชได้ดีกว่าการใช้ค่าสะท้อนสเปกตรัมเพียงความยาวคลื่นเดียว อย่างไรก็ตามการแปลผลค่าดัชนีพืชพรรณแต่ละตัวนั้นจะต้องแปลผลเป็นการจำเพาะสำหรับแต่ละกรณี ไม่สามารถกำหนดค่าที่ได้เป็นมาตรฐานที่ให้ผลถูกต้องทุกกรณีได้เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าดัชนีพืชพรรณที่จะคำนวณได้ เช่น สภาพบรรยากาศ Daughtry และคณะ(2000) พยายาม

ประเมินระดับคลอโรฟิลล์ในข้าวโพดจากค่าการสะท้อนสเปกตรัม พบว่าดัชนี Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI) และ NIR/Green เป็นค่าชี้วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ดี แต่อาจได้รับอิทธิพลจากการสะท้อนของดิน ในขณะที่ดัชนี Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (OSAV) และ NIR/Red สามารถลดอิทธิพลจากการสะท้อนของดินได้ จึงใช้ดัชนีทั้งสองกลุ่มร่วมกันทำนายคลอโรฟิลล์ ทำให้ได้ผลลัพธ์ถูกต้องมากขึ้น Hunt และคณะ(2006) ใช้ดัชนี Normalized Green-Red Difference Index (NGRDI) ที่ได้จากภาพทางอากาศในการประเมินน้ำหนักแห้งและปริมาณไนโตรเจนในถั่วเหลือง อัลฟัลฟา และข้าวโพด พบว่าพืชทั้งสามชนิดมีค่า NGRDI เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้พบว่าค่า NGRDI ไม่สัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนในข้าวโพด สรุปได้ว่าดัชนี NGRDI สัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งของพืชในช่วงก่อนที่ทรงพุ่มจะเจริญเติบโตเต็มที่ หลังจากนั้นไม่สามารถใช้ประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์ดี คมสันต์และปรเมศ(2559) ใช้ SPAD เป็นพารามิเตอร์วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ใบมันสำปะหลังเพื่อดูผลตอบสนองต่อการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่ระดับต่างกัน

การหาค่าดัชนีพืชพรรณต้องการเครื่องมือตรวจวัดสเปกตรัม ซึ่งปัจจุบันในต่างประเทศมีผู้ผลิตเซ็นเซอร์ในเชิงพาณิชย์หลายรายซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวยังคงมีราคาค่อนข้างสูง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดดัชนีพืชพรรณจากอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ในประเทศ และเหมาะสมกับพืชเศรษฐกิจ

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ดัชนีพืชพรรณและการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัด

การวิจัยนี้ได้ศึกษาดัชนีพืชพรรณ 2 ดัชนี คือ normalized difference vegetation index (NDVI) และดัชนี Excess Green Index (ExG) ในภาคสนามดัชนี NDVI นั้นจะอาศัยค่าการสะท้อนคลื่นในช่วง visible (VIS) และ near-infrared (NIR) โดยตามปกติสำหรับช่วงคลื่น VIS จะได้สเปกตรัมสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง (Blue, Green, Red) ที่ความยาวคลื่นในช่วง 400-450 nm, 500-550nm, 640-680nm และ NIR ที่ความยาวคลื่น 700nm ซึ่งต้องติดตั้งกล้อง 2 ตัวเพื่อรับการสะท้อนค่า red, green, blue, NIR การพัฒนาอุปกรณ์วัดดัชนี NDVI ทำโดยนำกล้องถ่ายภาพดิจิทัล (Lumix DMC-FS6, Panasonic) มาปรับแต่งโดยเปลี่ยนฟิลเตอร์บริเวณด้านหน้าช่องรับแสงออก ซึ่งเดิมจะกรองคลื่น NIR ออกแล้วยอมให้คลื่นแสงเฉพาะช่วงความยาวคลื่น VIS ผ่านได้เท่านั้น มาเป็นฟิลเตอร์กรองแสง(R2007, Rosco, USA) ที่จะยอมให้คลื่น NIR ผ่านได้ ตามภาพที่ 1

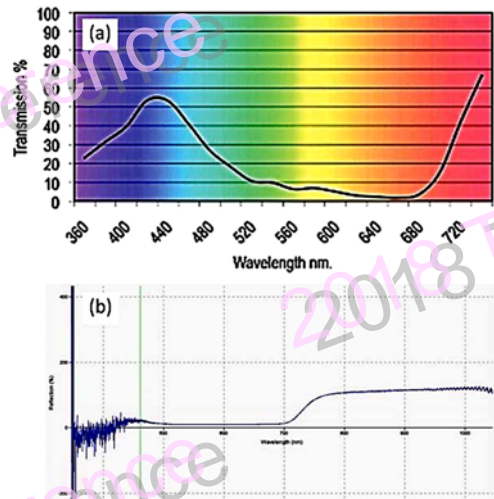


Figure 1 Spectral characteristics of Rosco R2007 dual band filter: (a) provided by the manufacturer, and (b) test using VIS-NIR spectrometer

2.2 การทดลองวัดดัชนีพืชพรรณที่ใบมันสำปะหลัง การศึกษาในผู้วิจัยได้ใช้ใบมันสำปะหลังอายุ 5 เดือน

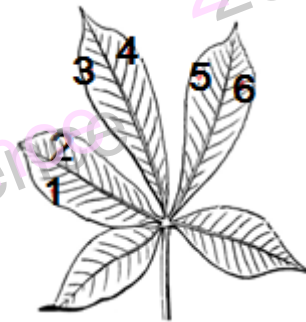


Figure 2 Measure position for leaf cassava

ใช้เครื่องมือ SPAD-502 วัดค่าที่ใบมันสำปะหลัง จำนวน 96 ตำแหน่ง และใช้กล้องดิจิทัลถ่ายภาพสูงจากใบมันสำปะหลัง 30 เซนติเมตร

นำผลการวัดค่าด้วย SPAD-502 มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล

2.3 การวิเคราะห์ภาพ

การวิเคราะห์ภาพทำโดยการใช้โปรแกรม MATLAB[®] ในการคำนวณดัชนี พืชพรรณโดยใช้ค่า NIR, Red, Green และ Blue-RGB color model คือ ระบบสีที่อิงอุปกรณ์ประกอบด้วยแม่สี 3 สี คือ แดง(Red), เขียว(Green) และน้ำเงิน(Blue)

CIE XYZ เป็นระบบสีที่สัมพันธ์กับการมองเห็นของมนุษย์

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4125 & 0.3575 & 0.1804 \\ 0.2127 & 0.7152 & 0.0721 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9502 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

HIS system คือระบบสีที่มนุษย์ตีความหมายของสี

$$H = \frac{2 * G - R - B}{4} \quad (2)$$

$$I = \frac{R+G+B}{3} \quad (3)$$

$$S = \frac{R-B}{2} \quad (4)$$

เมื่อ H คือค่าสีบริสุทธิ์, S คือความบริสุทธิ์ของสีเมื่อผสมแสงสีขาว และ I คือ gray level

สำหรับสมการดัชนีพืชพรรณ

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad (5)$$

โดยที่ NIR คือค่าการสะท้อนคลื่น NIR และ VIS คือค่าการสะท้อนคลื่น Red, Green และ Blue

สำหรับดัชนีพรรณพืชที่ใช้ในการหาระดับความเขียวของแต่ละภาพคือ ดัชนีแบบ Excessive Green(ExG) โดยสามารถคำนวณจากช่วงความยาวคลื่นที่มนุษย์มองเห็น(Visible wavelength) สีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน(B) จากแต่ละพิกเซลในภาพ

$$ExG = 2G - R - B \quad (6)$$

$$ExGn = 2g - r - b \quad (7)$$

โดยที่

$$r = \frac{R^*}{R^* + G^* + B^*} \quad (8)$$

$$g = \frac{G^*}{R^* + G^* + B^*} \quad (9)$$

$$b = \frac{B^*}{R^* + G^* + B^*} \quad (10)$$

และ

$$R^* = \frac{R}{R_m}, G^* = \frac{G}{G_m}, B^* = \frac{B}{B_m}$$

เมื่อ R_m , G_m และ B_m คือค่าสูงสุดของสีแดง เขียว และน้ำเงินตามลำดับ

และ r คือ ค่า normalized ของสีแดง

g คือ ค่า normalized ของสีเขียว

b คือ ค่า normalized ของสีน้ำเงิน

การประเมินความถูกต้องของค่าที่ตรวจวัดจะประเมินจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น (Coefficient of determination, R^2)

การประเมินความถูกต้องของค่าที่ตรวจวัดจะประเมินจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น (Coefficient of determination, R^2) และค่ารากที่สองความคลาดเคลื่อนกำลังเฉลี่ย(Root mean square error: RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (SPAD_{Observed} - SPAD_{Actual})^2} \quad (11)$$

โดยที่ $SPAD_{Observed}$ คือค่าที่ได้จากกล้อง Lumix DMC-FS6 และ $SPAD_{Actual}$ คือ ที่ได้จากเครื่องมือ SPAD ผลและวิจารณ์

จากการทดลองผลการวิเคราะห์ภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัล ความยาวคลื่นแสง R, G, และ B จะให้ได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.52, 0.42, และ 0.63 ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับ Gang Lv และ Haiqing Yang(2011) ได้ทดลองโดยไบอองุ่นได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.56, 0.43 และ 0.33 ตามลำดับ จาก ภาพที่ 3 คลอโรฟิลล์ดูดกลืนคลื่นแสงสีน้ำเงิน สีแดงได้มาก ทำให้เรามองใบพืชเป็นสีเขียว ในการวิเคราะห์ที่จากกล้องดิจิทัล ผลของการ normalized สีแดง เขียวและน้ำเงิน แต่ละจุดภาพที่วัดได้ สีเขียวจะมีปริมาณค่ามากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดกลืนค่าแสง ดังภาพที่ 4

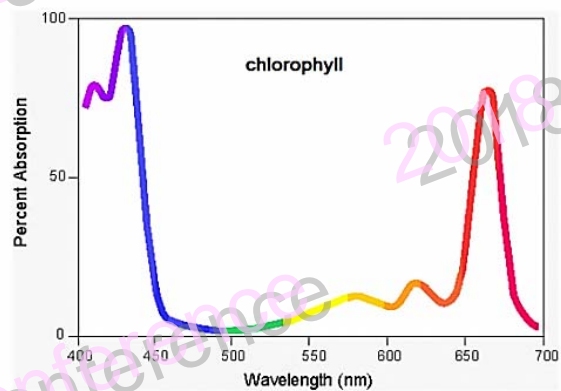


Figure3 Spectral absorption of chlorophyll.

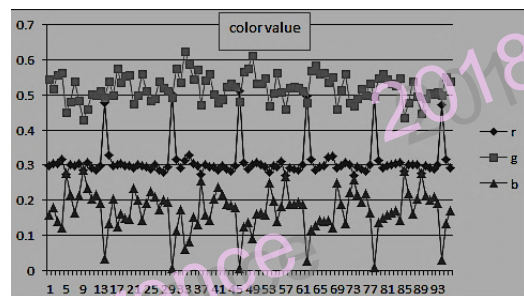


Figure4 Color value for experiment

เมื่อพิจารณาผลการใช้ฟิลเตอร์ Rosco R2007 ไม่สามารถวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ได้เนื่องจากฟิลเตอร์ยอมให้คลื่นแสงสีน้ำเงินช่วง 440nm. ผ่าน แต่เปอเซนต์การส่องผ่านอยู่ที่ 55 เปอเซนต์ ซึ่งไม่เพียงพอที่จะรับการสะท้อนแสงที่ใบไม้สำหรับหลังสะท้อนมาและคลอโรฟิลล์ดูดกลืนคลื่นแสงใกล้-อินฟราเรดได้มาก จึงทำให้ได้ผลเช่นเดียวกัน ส่วนผลของดัชนี excessive green ไม่เหมาะสมในวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ได้

Table 1 Prediction model

Linear fuction	Coefficient of determination		RMSE
	R ²		
Spad ^a =94.62-1.05*R	0.52		7.93
Spad ^a =112.53-0.78*G	0.42		8.76
Spad ^a =-3.81+0.62*B	0.63		6.98
Spad ^a =211.77-0.012* NIR _{R2007}	0.0005		11.54
Spad ^a =194.27+0.06*B _{R2007}	0.0096		11.39
Spad ^a =75.62-0.09*X	0.0081		11.40
Spad ^a =100.34-0.74*Y	0.44		8.57
Spad ^a =11.61+0.48*Z	0.44		8.53
Spad ^a =48.22-0.84*S	0.76		5.69
Spad ^a =67.78-0.40*I	0.26		18.01
Spad ^a =33.57-0.28*H	0.43		8.57
Spad ^a =53.1-0.14*R-0.27*G+0.79*B	0.85		4.40
Spad ^a =53.1-0.13*X-0.48*Y+1.02*Z	0.85		4.40
Spad ^a =53.1-0.79*H+0.39*I-0.93*S	0.85		4.39
Spad ^a =103.86-188.95*r	0.65		6.79
Spad ^a =106.13-116.66*g	0.15		10.53
Spad ^a =15.52+176.02*b	0.83		4.64
Spad ^a =179-198*r-138*g	0.86		4.27
Spad ^a =67.25-38.89*ExGn	0.15		11.43
Spad ^a =77.52-0.38*ExG	0.43		8.57
Spad ^a =0.043-0.0002* BNDVI _{R2007}	0.19		34.12
Spad ^a =0.39+0.0057*BNDVI	0.63		33.83
Spad ^a =1.06-0.012*(R-B)/(R+B)	0.84		4.62
Spad ^a =1.06-0.02*(r-b)/(r+b)	0.84		4.62

^aChlorophyll content for camera.

3 สรุป

วิธีการใช้กล้องดิจิทัลสามารถใช้ตรวจวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ใบมันสำปะหลังได้โดยไม่ต้องควบคุมสภาพแวดล้อมของแสงด้วยการ Normalized ความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมในการวัดคือสีแดงและน้ำเงิน

4 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KURDI) ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

5 เอกสารอ้างอิง

Abdel-Rahman E. M., Anamed, F. B.2008. The application of remote sensing techniques to sugarcane (*Saccharum spp. hybrid*) production: a review of the literature. *International Journal of Remote Sensing* 29 (13), 3753–3767.

Bannari, A., Morin, D., Bonn, F. 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews* 13, 95–120.

Begue, A., Lebourgeois, V., Bappel, E., Todoroff, P., Pellegrino, A., Baillarin, F., Siegmund, B. 2010. Spatiotemporal variability of sugarcane fields and recommendations for yield forecast using NDVI. *International Journal of Remote Sensing* 31, 5391–5407.

Daughtry, C. S. T., Walthall, C. L., Kim, M. S., Brown de Colstoun, E., McMurtrey III, J. E. 2000. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment* 74, 229–239.

Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Merzlyak, M. N. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment* 58(3), 289–298.

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 26-27 เมษายน 2561

- Gitelson, A. A., Merzlyak, M. N., Chivkunova, O. B. 2001. Optical properties and non-destructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. *Photochemistry and Photobiology* 74, 38–45.
- Gunnula, W., Kosittrakun, M., Righetti, T., Weerathaworn, P., Prabpan, M. 2011. Normalized difference vegetation index relationships with rainfall patterns and yield in small plantings of rain-fed sugarcane. *Australian Journal of Crop Science* 5(13), 1845–1851.
- Gang Lv, Haiqing Yang. 2011. Nondestructive measurement of grape leaf chlorophyll content using multi-spectral image technology and calibration models. *Advanced Engineering For.* ISSN:2234-991X, Vol. 1, 365-369
- Hunt, E. R. JR., Cavigelli, M., Daughtry, C. S. T., McMurtrey III, J., Walthall C. L. 2005. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture* 6, 359–378.
- Jansen, M., Bergsträsser, S., Schmittgen, S., Müller-Linow, M., Rascher, U. 2014. Non-invasive spectral phenotyping methods can improve and accelerate *Cercospora* disease scoring in sugar beet breeding. *Agriculture* 4, 147–158.
- Julien, Y., Sobrino, J. A., Mattar, C., Ruescas, A. B., Jimenez-Munoz, J. C., Soria, G., Hidalgo, V., Atitar, M., Franch, B., Cuenca, J. 2011. Temporal analysis of normalized difference vegetation index (NDVI) and land surface temperature (LST) parameters to detect changes in the Iberian land cover between 1981 and 2001. *International Journal of Remote Sensing* 32(7), 2057–2068.
- Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Drummond, S. T., Scharf, P.C., Palm, H. L., Roberts, D. F., Vories, E. D. 2010. Ground-based canopy reflectance sensing for variable-rate nitrogen corn fertilization. *Agronomy Journal* 102(1), 71–84.
- Lofton, J., Tubana, B. S., Kanke, Y., Teboh, J., Viator, H., Dalen, M. 2012. Estimating sugarcane yield potential using an in-season determination of normalized difference vegetative index. *Sensors* 12, 7529–7547.
- Merzlyak, M. N., Solovchenko, A. E., Gitelson, A. A. 2003. Reflectance spectral features and non-destructive estimation of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in apple fruit. *Postharvest Biology and Technology* 27, 197–211.
- Merzlyak, M. N., Chivkunova, O. B., Solovchenko, A. E., Naqvi, K. R. 2008. Light absorption by anthocyanins in juvenile, stressed, and senescing leaves. *Journal of Experimental Botany* 59(14), 3903–3911.
- Meyer, G. E., Camargo Neto, J. 2008. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *Computers and Electronics in Agriculture* 63, 282–293.
- Mutanga, S., van Schoor, C., Olorunju, P. L., Gonah, T., Ramoelo, A. 2013. Determining the best optimum time for predicting sugarcane yield using hypertemporal satellite imagery. *Advances in Remote Sensing* 2, 269–275.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Scheel, J. A., Deering, D. W. 1974. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Proceedings of the 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium*, Vol. 1, pp.48–62.
- Perez-Mendoza, J., Hagstrum, D.W., Dover, B.A., Hopkins, T.L., Baker, J.E. 1999. Flight response, body weight, and lipid content of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) as influenced by strain, season and phenotype. *Journal of Stored Products Research* 38, 183–195.
- คมสันต์ พันธุ์พาน, ประเมศ บรรเท็ง. 2559. การประเมินความเข้มข้นของสีใบด้วย SCMR การเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลัง ที่ปลูกภายใต้การจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน, แก่นเกษตร 44 ฉบับพิเศษ 1:1086-1091
- ธนพัทธ์ สุขเจริญ, วันรัฐ อับดุลลาฮิม. 2559. การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดดัชนีพืชพรรณสำหรับการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของพืช. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 17 ประจำปี 2559