

การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ ดัชนีพืชพรรณ NDVI, $CI_{red\ edge}$ และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข

Feasibility Study of Sugarcane Yield Prediction Using NDVI, $CI_{red\ edge}$ Indices Associated with Volume of Digital Surface Model (DSM)

จิรวัดน์ โนดไธสง¹, ขวัญตรี แสงประชาธนากร^{1*}, Chanreaksa Chea¹, เจษฎา โพธิ์สม¹,
เสรี วงษ์พิเชษฐ¹, ศุภสิทธิ์ คนใหญ่¹ และ มหิสร ว่องผาติ²
Cheerawat Nodthaisong¹, Khwantri Saengprachathanarug^{1*}, Chanreaksa Chea¹, Jetsada Posom¹,
Seree Wongpichet¹, Supasit Konyai¹ and Mahisorn Wongphati²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002 ประเทศไทย

¹Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Muang, Khon Kaen, 40002, Thailand.

²HG Robotics Company Limited, บางกอกน้อย, กรุงเทพมหานคร, 10700, ประเทศไทย

²HG Robotics Company Limited, Bangkok Noi, Bangkok, 10700, Thailand

*Corresponding author: Tel: +66-8-7668-9270, E-mail: khwantri@kku.ac.th

บทคัดย่อ : การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI, $CI_{red\ edge}$ และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง โดยเป็นพื้นที่ที่แตกต่างกันทั้งหมดและแต่ละตัวอย่างมีพื้นที่ขนาด 6×8 ตารางเมตร และเก็บรวบรวมภาพถ่ายอ้อยในแปลง จากกล้องถ่ายภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral camera) แบบ 5 ช่วงคลื่น (Red, Green, Blue, NIR และ Red Edge) ซึ่งติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ จากนั้นเก็บเกี่ยวอ้อยแต่ละแปลงย่อยมาซึ่งน้ำหนักเพื่อหาผลผลิตต่อไร่สำหรับใช้เป็นค่ามาตรฐานในการสร้างแบบจำลอง ภาพถ่ายอ้อยทั้งหมดจากแต่ละช่วงคลื่น จะถูกนำมาประมวลผลเป็นภาพที่แปลงด้วยโปรแกรม Pix4D mapper แล้วนำข้อมูลในภาพไปคำนวณดัชนี 3 ค่า ประกอบด้วย ดัชนีพืชพรรณ NDVI, $CI_{red\ edge}$ และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีแต่ละค่ากับผลผลิตอ้อยในแปลง ด้วยวิธีสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression, SLR) ผลการวิเคราะห์พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงด้วยค่าดัชนี NDVI, $CI_{red\ edge}$ และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข โดยมีค่าสหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.77, 0.78 และ 0.87 ตามลำดับ และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย (Root Mean Square Error, RMSE) เท่ากับ 3.18, 3.11 และ 2.46 ตัน/ไร่ ตามลำดับ และมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานของการทำ cross-validation (Root Mean Square Error of Cross Validation, RMSECV) เท่ากับ 3.37, 3.32, และ 2.61 ตัน/ไร่ ตามลำดับ การที่ค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงเนื่องจากการเก็บข้อมูลภาพถ่ายใกล้ช่วงเก็บเกี่ยว การวิเคราะห์ภาพถ่ายไม่มีการตัด pixel ส่วนที่ไม่ใช่อ้อยออก จึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง ดังนั้น การศึกษาในขั้นตอนต่อไปจึงมุ่งศึกษาเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนายผลผลิตด้วยค่าดัชนีทั้งสามค่าและวิธีการประเมินผลผลิตวิธีอื่น

คำสำคัญ : ดัชนีพืชพรรณ, ปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข, ผลผลิตอ้อย, อากาศยานไร้คนขับ, กล้องถ่ายภาพหลายช่วงคลื่น

Abstract : The objective of this study was to investigate the feasibility of predicting sugarcane yield in the field using some vegetation indices including NDVI and $CI_{red\ edge}$ associated with volume of digital surface model (DSM). In this study, 30 samples were used, consisting of 30 varieties of 1 replicates from the same plot. Therefore, there are only 1 sample in each sample. Each sample is 6 × 8 square meters. The images of sugarcane field were captured using a multispectral camera, covering 5 wavebands i.e. Red, Green, Blue, NIR and Red Edge, installed on an unmanned aerial vehicle. The sugarcane was then harvested and weighed to determine the yield. Images from each wavelength were analyzed by Pix4D Mapper software and calculated for vegetation indices (NDVI and $CI_{red\ edge}$) and the volume of DSM. Correlations between the three indices and actual sugarcane yield were observed. The results showed that the NDVI, $CI_{red\ edge}$ and volume of DSM with correlated with actual yield at the correlation coefficient (r) of 0.77, 0.78 and 0.87, respectively, and the Root Mean Square Error (RMSE) of 3.18, 3.11 and 2.46, ton/rai, respectively and the Root Mean Square Error of Cross Validation (RMSECV) of 3.37, 3.32 and 2.61, ton/rai respectively, The tolerances are quite high due to the harvesting of photos near the harvest. Photo analysis does not cut out non-cane pixel parts. Therefore, the error is quite high. suggesting a feasibility to predict the cane yield Further study is necessary to improve the prediction accuracy.

Keywords : Vegetation Index, Volume of Digital surface model, Sugarcane Yield, Unmanned Aerial Vehicle, Multispectral Camera

บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ที่ช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ เพราะอ้อยเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีผู้เกี่ยวข้องในทุกกระดับ ตั้งแต่เกษตรกรถึงโรงงานน้ำตาลและอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น การผลิตไฟฟ้า กระดาษ เอทานอล ผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นต้น ในปีการผลิต พ.ศ. 2559/2560 มีพื้นที่ปลูกอ้อย 10.98 ล้านไร่ โดยเป็นพื้นที่เก็บเกี่ยวอ้อยส่งโรงงาน 9.86 ล้านไร่ และมีผลผลิตอ้อยเข้าหีบ 92.95 ล้านตัน (กรมวิชาการเกษตร, 2559; สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2560)

ปัจจุบัน ระบบการซื้อขายอ้อยโรงงานของไทย กำหนดราคาตามน้ำหนักและความหวานที่ตรวจพบจากผลผลิตนั้นๆ โดยดำเนินการตรวจวัดผลผลิตของเกษตรกรแต่ละรายที่หน้าโรงงาน ภายใต้การกำกับดูแลของสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2561) เนื่องจากวิธีการตรวจวัดในแปลงยังมีความยุ่งยากมาก ยังต้องใช้แรงงานคนในการตรวจวัดในแปลงอ้อย และผู้ตรวจแปลงสามารถสำรวจได้บริเวณขอบแปลง ไม่สามารถเข้าถึงบริเวณกลางแปลงได้ ยิ่งแปลงขนาดใหญ่แล้วยิ่งเกิดโอกาสผิดพลาดได้มาก เช่น หากมีบริเวณอ้อยล้ม อ้อยไม่เจริญเติบโต มีพื้นที่น้ำท่วม บริเวณตรงกลางแปลงที่เข้าไม่ถึง จะทำให้การประเมินผิดพลาดได้มาก ทำให้เกษตรกรและผู้ตรวจแปลงยังคงใช้วิธีการคาดคะเนด้วยประสบการณ์ แล้วจึงตัดสินใจเก็บเกี่ยวส่งโรงงาน อาจกล่าวได้ว่าผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายนับตั้งแต่เกษตรกร เจ้าของรถตัดอ้อย และโรงงานผู้รับซื้อ ยังคงบริหารจัดการการเก็บเกี่ยวอ้อยในพื้นที่ปลูกอ้อย โดยอาศัยวิธีการคาดคะเนจากประสบการณ์เป็นสำคัญ ซึ่งผลเสียของการคาดคะเนด้วยประสบการณ์ คือ ความแม่นยำในการประเมินผลผลิตอ้อยก่อนเก็บเกี่ยวมีความแม่นยำค่อนข้างต่ำและไม่สามารถประเมินอ้อยที่อยู่บริเวณตรงกลางแปลงได้ ความแม่นยำจึงขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญของผู้ประเมิน ดังนั้น ถ้าสามารถทราบข้อมูล

น้ำหนักและความหวานของอ้อยแต่ละแปลงหรือเกษตรกรแต่ละรายในพื้นที่ปลูกอ้อย ข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง สำหรับการบริหารจัดการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวและเพิ่มรายได้ของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายในพื้นที่ กระบวนการจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ในลักษณะดังกล่าว หรือเรียกว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) ได้มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมน้ำตาลของออสเตรเลียปัจจุบัน (Davis et al., 2007)

จากประเด็นปัญหาวิธีการตรวจวัดในแปลงดังกล่าวข้างต้น จึงมีการพัฒนาวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากภาพถ่ายซึ่งถ่ายภาพด้วยช่วงคลื่นจำเพาะ เช่น ช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) เป็นต้น แล้วนำกล้องดังกล่าวไปติดตั้งบนอากาศยาน เช่น โดรน เครื่องบิน ดาวเทียม เป็นต้น เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลในรูปแบบภาพถ่าย

ปัจจุบัน เนื่องจากโดรนหรืออากาศยานไร้คนขับมีราคาถูกลงมาก จึงมีการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในงานเกษตรกรรมกันอย่างกว้างขวาง นับตั้งแต่การนำไปใช้สำรวจแปลงขนาดใหญ่ เพื่อวิเคราะห์ดินเพื่อปลูก รวมไปถึงการวางแผนเก็บเกี่ยวให้แม่นยำมากขึ้น หรือการใช้งานเฉพาะขั้นตอน เช่น การตรวจสอบความชื้นในดินเพื่อให้น้ำ การตรวจสอบธาตุอาหารเพื่อให้ปุ๋ย การตรวจโรคพืช การลดปริมาณการใช้สารเคมีสำหรับเกษตรอินทรีย์ การประมาณค่าชีวมวลเหนือพื้นดินของต้นหม่อน เป็นต้น ซึ่งการประยุกต์ใช้งานในลักษณะดังกล่าว ทำให้เกษตรกรรมแบบดั้งเดิมเริ่มปรับมาเป็นเกษตรกรรมแม่นยำสูง (Precision Agriculture) ซึ่งความแม่นยำที่เพิ่มขึ้น ช่วยลดต้นทุนวัสดุเกษตร (เช่น ปุ๋ย สารเคมี) ลดเวลาในการทำงาน ลดจำนวนคน แต่ได้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2560; วิชัย และคณะ, 2560; ศิรา, 2561)

สำหรับการประยุกต์ใช้ในงานผลิตอ้อย พบว่า มีงานวิจัยในประเทศออสเตรเลียเกี่ยวกับการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเมินผลผลิตอ้อย และคาดการณ์ผลผลิตอ้อยในปีถัดไป โดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI และ GNDVI (Ronson et al., 2016) งานวิจัยประเทศไช้แลนด์มีการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการประเมินผลผลิตอ้อยแต่ละปี โดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI (Morel et al., 2014) งานวิจัยประเทศสหรัฐอเมริกามีการใช้อากาศยานไร้คนขับสำหรับประเมินความชื้นของไนโตรเจน โดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณ $CI_{red\ edge}$ (Olga et al., 2018) และงานวิจัยประเทศโครเอเชียมีการใช้อากาศยานไร้คนขับสำหรับประเมินความสูงและความหนาแน่นของทุ่งหญ้า ป่าไม้ โดยใช้ Digital Surface Model (DSM) ในการประเมินความสูงป่าไม้ และความหนาแน่น (Ivan et al., 2015) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้ ผู้วิจัยเห็นได้ว่าการใช้ดัชนีพืชพรรณ (NDVI, $CI_{red\ edge}$) สามารถบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณได้ เนื่องจากช่วงคลื่นย่าน NIR สามารถแยกแยะความแตกต่างของส่วนที่เป็นน้ำและส่วนที่ไม่เป็นน้ำได้ ส่วนช่วงคลื่นย่าน Red สามารถแยกคลอโรฟิลล์ของพืชสีเขียวที่ดูดกลืนพลังงานได้ แต่ไม่สามารถบอกถึงความสูงของอ้อยได้ จึงมีการใช้ DSM ในการหาความสูงของอ้อยสามารถนำมาคำนวณเป็นปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข (Volume of Digital Surface Model, DSM) ของอ้อยจากการกำหนดพื้นที่ในแปลงได้

สำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพื่อทำนายผลผลิตอ้อยในแปลง(ต้น/ไร่) โดยใช้ดัชนีพืชพรรณ (NDVI และ $CI_{red\ edge}$) และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข

วิธีการศึกษา

2.1 กรอบแนวคิด

กรอบแนวคิดวิธีการศึกษา เริ่มจากบินถ่ายภาพด้วยกล้อง Multispectral ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ หลังจากนั้นประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper Pro-Educational ของบริษัท Pix4D ขั้นตอนต่อไปคือ วิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ(NDVI และ $CI_{red\ edge}$) และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข โดยคิดค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างแล้วนำมา

หาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีทั้ง 3 กับน้ำหนักอ้อยหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อสร้างสมการทำนายผลผลิตอ้อยของแต่ละดัชนี
สามารถสรุปได้แสดงดัง Figure 1

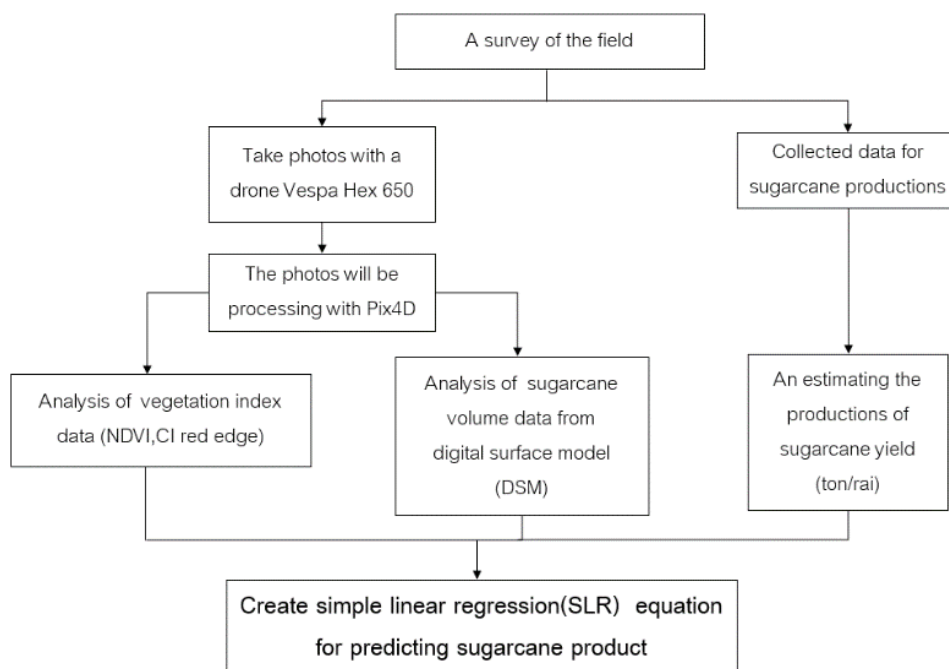


Figure 1 The idea to create an equation to predict yield.

2.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

ในการพัฒนาโมเดลทำนายผลผลิตที่ดีจำเป็นต้องเลือกตัวอย่างแปลงที่ให้ผลผลิตครอบคลุมช่วงของค่าผลผลิต
อ้อยที่เป็นไปได้และมีการกระจายความถี่ในแต่ละช่วงผลผลิตที่สม่ำเสมอ ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกศึกษาพื้นที่แปลงทดสอบ
ที่ใช้พัฒนาสายพันธุ์อ้อยของหมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (16.476894, 102.811260) จำนวน
30 ตัวอย่าง ที่ประกอบด้วยสายพันธุ์ที่ใช้ในปัจจุบันและกำลังพัฒนาขึ้นใหม่ ที่มีผลผลิตที่แตกต่างกันไปในแต่ละสายพันธุ์
คือสายพันธุ์ CSB 07-79, CSB06-2-15, CSB06-4-162, CSB06-5-20, CSB07-219, KK06-501, KK07-037, KK07-478,
KKU 99-01, KKU 99-02, KKU 99-03, KKU 99-06, MPT02-458, NSUT08-22-3-13, Q229, TBJ04-229, TBy27-1385,
TBy28-0348, TBy27-1211, TP 06-419, UT 84-12, UT 07-381, UT84-13, V38(28-0941), 91-2-527, K88-92, KPS01-
12, LK92-11, KK3 และ TPJ03-452 แต่ละสายพันธุ์ปลูกจำนวน 4 แถว ในพื้นที่ขนาด 6×8 ตารางเมตร ระยะห่างระหว่าง
แถว 1.5 เมตร ปลูกแบบวางท่อนคู่ต่อหลุม เป็นอ้อยปีการเพาะปลูก พ.ศ. 2560/2561 ซึ่งมีกำหนดเก็บเกี่ยว ช่วงต้นเดือน
กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 โดยทำการถ่ายภาพวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2561 ช่วงเวลาการบิน 13.00 น. และใช้เวลาถ่ายรูป
ประมาณ 15 นาที

2.3 การเก็บข้อมูลภาพถ่าย

2.3.1 อากาศยานไร้คนขับ (UAVs)

อากาศยานไร้คนขับ รุ่น VESPA HEX 650 (HG Robotic company, Thailand) แสดงดัง Figure 2 ชนิด 6 มอเตอร์
6 ใบพัด น้ำหนัก 4.5 กิโลกรัม (รวมแบตเตอรี่) เพดานบินสูงสุดไม่เกิน 500 เมตร ติดตั้งกล้อง Multispectral รุ่น Red Edge
พร้อมด้วย GPS Mini Ublox NEO-M8N และแบตเตอรี่ Lithium-ion Polymer ขนาด 10,000 mAh 22.2 V สรุป
รายละเอียดดัง Table 1

Table 1 Summary of UAV specification

Name	VESPA HEX 650 / HG Robotics	148 149
Number of rotor	6	150
Takeoff weight	4.5 kg	151 152
Maximum altitude	Less than 500 meters	153
Camera	Multispectral camera	154 155
GPS	Mini Ublox NEO-M8N	156
Battery	Lithium-polymer battery, 10000mAh, 22.2V	157 158



Figure 2 Unmanned Aerial Vehicle Version VESPA HEX 650 (HG Robotic company)

2.3.2 Multispectral camera

กล้อง Multispectral รุ่น RedEdge (Figure 3) ผลิตโดยบริษัท MicaSense กล้องรุ่นนี้สามารถถ่ายภาพ ได้ทั้งหมด 5 ช่วงคลื่น ได้แก่ Red, Green, Blue, NIR และ Red Edge ซึ่งแต่ละช่วงคลื่นมีศูนย์กลางความยาวคลื่นที่ 668, 560, 475, 840 และ 717 nm ตามลำดับ และตัวกล้องมีน้ำหนัก 150 กรัม ซึ่งภาพที่ถ่ายออกมาได้แต่ละช่วงคลื่น เป็นภาพขนาด 16 bit และมีขนาดภาพ 1280×960 pixel (MicaSense, 2015)



Figure 3 Multispectral camera (MicaSense RedEdge-M™)

2.3.3 การเก็บข้อมูล Ground control points

ในขั้นตอนการประมวลผลภาพในโปรแกรม Pix4Dmapper Pro เพื่อให้ได้ภาพแผนที่ของทั้ง 5 ช่วงคลื่น (Red, Green, Blue, NIR และ Red Edge) ขั้นตอนการใส่ Ground control points (GCPs) เป็นขั้นตอนที่สำคัญ โดยทำการเก็บ

พิกัดของ GCP ทุกจุด ซึ่งเป็นตำแหน่งละติจูดและลองจิจูด ใส่ในขั้นตอนการประกอบภาพ เพราะ GCP จะช่วยเพิ่มความแม่นยำของตำแหน่งภาพแต่ละตำแหน่ง โดยมีตำแหน่งอ้างอิงคือแผ่นป้ายขาวดำ ยังมีตำแหน่งอ้างอิงมาก จะทำให้ตำแหน่งภาพแต่ละพิกเซลของภาพทั้ง 5 ช่วงคลื่น ตรงกัน เพราะถ้าตำแหน่ง pixel ของภาพไม่ตรงกัน จะทำให้การคำนวณดัชนีพืชพรรณเกิดความผิดพลาดได้ โดยการทดลองครั้งนี้ ใช้แผ่นป้ายขาวดำ สำหรับใช้อ้างอิงตำแหน่ง GCP โดยแผ่นป้ายมีขนาด 50×50 ตารางเซนติเมตร แสดงดัง Figure 4 สำหรับการทดสอบแปลงนี้ใช้ทั้งหมด 12 แผ่น โดยวางที่ตำแหน่งบริเวณแต่ละมุมและตรงกลางของแปลงทั้ง 3 แปลง(ดังตำแหน่งบริเวณรูปดาว Figure 5) เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ทดสอบขนาด 26 ไร่ และทำการเก็บข้อมูลบริเวณในพื้นที่เส้นประ ดัง Figure 5 มีพื้นที่ขนาดประมาณ 1.5 ไร่ จากที่ทำการบินทั้งหมด 3 แปลง เนื่องจากต้องการเก็บภาพในพื้นที่ที่กว้างขึ้น และอาจเป็นประโยชน์ในการนำภาพแปลงที่ไม่ได้ทดสอบไปใช้งานอื่น



Figure 4 Ground control points panel



Figure 5 The position of the ground control points panel and storage

2.3.4 การวางแผนการบิน

การวางแผนการบิน ดำเนินการโดยใช้ Flight planning program (HG Robotic company, Thailand) การศึกษานี้ได้ทดลองตั้งค่าการเก็บข้อมูลภาพถ่ายจากการฝึกทางด้านเทคนิคและคำนวณความสูงของการบินจากบริษัท HG Robotic เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่แปลงอ้อยจำนวน 3 แปลง ขนาดประมาณ 26 ไร่ ดังนี้ Ground Sampling Distance (GSD) 5 เซนติเมตร, ความสูงการบิน 73 เมตร, ความเร็วการบิน 5 เมตร/วินาที, frontal overlapping 80% และ side overlapping 60% ตามลำดับ ซึ่งความสูงการบินจะขึ้นอยู่กับขนาด GSD ในการบิน โดยมีงานวิจัยในการใช้อากาศยานไร้คนขับในการประเมินค่า Brix ของอ้อย โดยใช้ GSD 5 เซนติเมตร และความสูงการบิน 73 เมตร (Chea et al., 2018) ผู้วิจัยจึงใช้ GSD 5 เซนติเมตร สำหรับการบินครั้งนี้ เพื่อให้ครอบคลุมแปลงข้างเคียงเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานด้านอื่นๆ โดยมีภาพโปรแกรมระหว่างการทำงานแสดงดัง Figure 6 กำหนดช่วงเวลาบิน เวลาประมาณ 13.00 น. เนื่องจากสภาพแสงที่เกิดจากดวงอาทิตย์ทำให้ภาพถ่ายของต้นอ้อยในแต่ละแปลงย่อยเกิดเงาแน่นน้อยกว่าช่วงเวลาอื่น และทำการบินจำนวน 1 ครั้ง



Figure 6 Flight planning program

2.4 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ (Image Processing)

รูปภาพถ่ายจากการบิน ถูกนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper pro – educational ของบริษัท Pix4D โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Initial processing : ประกอบภาพเบื้องต้น โดยโปรแกรมจะนำภาพที่ถ่ายได้ทุกภาพมาประกอบต่อกันตามแผนที่การบินที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้ภาพรวมแผนการบินทั้งหมด แต่ยังไม่มีการปรับแก้ไขรายละเอียดของพิกเซล

ขั้นตอนที่ 2 Point Cloud and Mesh : หลังจากที่ได้ภาพรวมแผนที่ทั้งหมด มาแล้วในขั้นตอนนี้จะทำการใส่ตำแหน่ง Ground control point (GCP) ซึ่งเป็นค่า ละติจูดกับลองจิจูด ของทั้ง 12 จุด โดยการใส่ตำแหน่ง GCP ขึ้นอยู่กับพื้นที่การบิน และตำแหน่ง GCP จะช่วยผสานรายละเอียดของพิกเซลภายในภาพ ให้ภาพที่ออกมาของ 5 ช่วงคลื่นตำแหน่ง pixel มีตำแหน่งที่ตรงกันและลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการประกอบภาพ

ขั้นตอนที่ 3 Index : ขั้นตอนนี้ทำการสอบเทียบค่าแสงของทั้ง 5 ช่วงคลื่น ซึ่งการบินครั้งเดียว สภาพแสงในแต่ละแถวการบินอาจมีค่าไม่เท่ากัน โดยได้ปรึกษากับบริษัท HG Robotic เพื่อทำการปรับแสงที่เกิดขึ้นจากการถ่ายภาพให้มีค่าแสงที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และได้จำแนกภาพตามความยาวคลื่นที่ใช้ในการถ่าย รวมทั้งหมด 5 ช่วงคลื่น ได้แก่ Blue, Green, Red, NIR และ Red Edge ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 4 DSM Orthomosaic : นำภาพจำลองที่แสดงถึงค่าความสูงพื้นผิว อ้างความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ได้จากตำแหน่ง GPS ของอากาศยานไร้คนขับ มาคำนวณปริมาตรของอ้อย ในพื้นที่ที่ต้องการ (บริษัท จีไอเอส จำกัด, ม.ป.ป. ; Chea et al., 2018)

2.5 คำนวณดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index, VI)

การคำนวณดัชนีพืชพรรณ ในงานศึกษานี้ใช้ ดัชนี NDVI และ $CI_{red\ edge}$ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการการประมวลผลภาพ จะได้ภาพมา 5 ช่วงคลื่น ได้แก่ Red, Green, Blue, NIR และ Red Edge แต่ละภาพมีขนาด 4475×5368 pixel ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 26 ไร่ จากนั้นนำภาพที่ได้มาตัดให้เหลือเฉพาะแปลงที่ทดสอบ ขนาด 3199×1388 pixel ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 4 ไร่ และนำภาพมาคำนวณดัชนีพืชพรรณ NDVI , $CI_{red\ edge}$ ตามสมการที่ 1 และ 2 จากนั้นทำการตัดพื้นที่แต่ละตัวอย่าง ขนาด 120×130 pixel เพื่อให้ได้ตัวอย่างขนาดจริง 6×8 ตารางเมตร และนำค่าดัชนีพืชพรรณของแต่ละตัวอย่าง มาหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับผลผลิตอ้อย

2.5.1 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

NDVI เป็นความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) และช่วงคลื่นสีแดง (Red) ที่ตามองเห็นได้ ดังรายละเอียดในสมการที่ 1 ซึ่งมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง +1 ในกรณีที่ค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าพืชพรรณมีใบเขียวที่แสดงถึงความอุดมสมบูรณ์ของพืช (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552) โดยช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) ที่พืชพรรณไม่ดูดกลืนพลังงานแต่จะเกิดการกระเจิงจากโครงสร้างของใบ และ ช่วงคลื่นสีแดง (Red) ที่คลอโรฟิลล์ของพืช

เขียวจะดูดกลืน ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าความอุดมสมบูรณ์ที่แสดงออกทางใบอ้อย คาดว่ามีความสัมพันธ์กับความอุดมสมบูรณ์ของลำอ้อย

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)} \quad (1)$$

2.5.2 Chlorophyll Index red edge ($CI_{red\ edge}$)

$CI_{red\ edge}$ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR) ที่สามารถแยกแยะความแตกต่างของน้ำและส่วนที่ไม่ใช่น้ำ และช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีแดง (Red Edge) ที่สามารถวิเคราะห์สภาพการเจริญเติบโตของพืช ดังรายละเอียดในสมการที่ 2 ดัชนีพืชพรรณนี้บ่งบอกถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ของพืชพรรณจากการประเมินทางใบซึ่งคาดว่าปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์กับความอุดมสมบูรณ์ของลำอ้อย (Oliveira et al., 2016)

$$CI_{red\ edge} = \frac{NIR}{Red\ Edge} - 1 \quad (2)$$

2.6 ปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข (Volume of Digital Surface Model, DSM)

Digital Surface Model (DSM) คือ ค่าความสูงพื้นผิวปกคลุมประเทศ โดยอ้างอิงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยคำนวณจากระบบกำหนดตำแหน่ง GPS บนอากาศยานไร้คนขับ และระบบรังวัดการเอียงตัว (Orientation System) ที่มีความละเอียดสูง ซึ่งระบบ GPS จะแสดงค่าตำแหน่งในระบบ 3 มิติ (ละติจูด ลองจิจูด และค่าความสูงเหนือพื้นผิวทรงกลมโลก) ดังนั้นภาพถ่ายที่ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ จะได้ภาพที่บอกความสูงในแต่ละพิกเซลของภาพ โดยความเที่ยงตรงจะขึ้นอยู่กับระบบ GPS และสภาพอากาศของวันที่ถ่ายภาพ จากนั้นนำค่าความสูงที่ได้จากภาพถ่ายนำมาคำนวณเป็นปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลขได้ จากการกำหนดบริเวณพื้นที่ ดังรายละเอียดในสมการที่ 3 (จิณัฐ และ คณะ, ม.ป.ป. ; Pix4Dsupport, 2018)

$$\text{ปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข} = \text{ความกว้าง} \times \text{ความยาว} \times \text{ความสูง} \quad (3)$$

2.7 ขั้นตอนการวัดผลผลิตของอ้อย

การวัดผลผลิตจะทำโดยการตัดต้นอ้อยของแต่ละตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปคำนวณน้ำหนักอ้อยต่อพื้นที่ (3×8 ตารางเมตร/พันธุ์) จากนั้นแปลงค่าเป็น ตัน/ไร่ โดยเลือกตัดตัวอย่างอ้อยเฉพาะ 2 แถวกลาง (Figure 7) ซึ่งทำการตัดต้นอ้อยทุกต้นของ 2 แถว เนื่องจาก แถว 1 และ 4 เป็นอ้อยที่ปลูกไว้เพื่อป้องกันผลกระทบจากพันธุ์ข้างเคียง

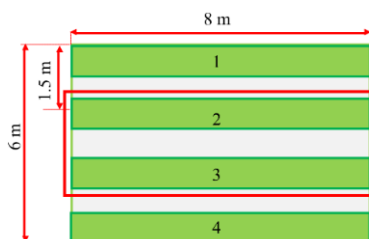


Figure 7 Lay out of the each sugarcane plots (4 rows)

2.8 การสร้างสมการสอบเทียบเพื่อทำนายผลผลิตของอ้อย

หลังจากขั้นตอนหาค่าดัชนีพืชพรรณและปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข ของอ้อยแต่ละตัวอย่างแล้ว นำมาหาความสัมพันธ์กับน้ำหนักอ้อยจริงด้วยวิธี Simple linear regression (SLR) เพื่อสร้างสมการทำนายผลผลิตของ

ข้อและตรวจสอบสมการทำนายผลผลิตโดยใช้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) ทั้ง 30 ตัวอย่าง เพื่อทราบถึงความคลาดเคลื่อนของสมการทำนายผลผลิตข้อ และตรวจสอบค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของตัวอย่างในกลุ่มสร้างสมการ โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้ (Root Mean Square Error of Cross Validation, RMSECV) ทั้ง 30 ตัวอย่าง ดังรายละเอียดใน สมการที่ 4

$$\text{RMSE or RMSECV} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2} \quad (4)$$

เมื่อ RMSE คือ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองเฉลี่ย

RMSECV คือ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองของการพิสูจน์แบบไขว้

n คือ จำนวนตัวอย่าง

$\hat{Y}_i$ คือ ค่าจากการวัดจริง

Y_i คือ ค่าจากการทำนาย

ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 ลักษณะของภาพถ่าย และค่าทางสถิติของผลผลิตข้อ

การสร้างโมเดลทำนายที่ดี จะต้องสร้างจากตัวอย่างแปลงข้อที่มีผลผลิต(ตัน/ไร่) ครอบคลุมทุกช่วงผลผลิตที่จะนำไปใช้ทำนายตั้งแต่ผลผลิตต่ำจนถึงผลผลิตสูง และควรมีการกระจายความถี่ในแต่ละช่วงผลผลิตที่มีความสม่ำเสมอ (กิตติศักดิ์, 2553) จากหลักการดังกล่าวข้างต้น แปลงข้อที่มีผลผลิตในช่วง 0-20 ตัน/ไร่ จำนวน 30 ตัวอย่าง จากแปลงทดสอบจำนวน 1 แปลง จึงถูกเลือกมาใช้เป็นตัวอย่างในการสร้างโมเดลทำนายผลผลิต โดยตัวอย่างดังกล่าวครอบคลุมทั้งพื้นที่ที่มีการปลูกในประเทศไทยปัจจุบัน และพื้นที่อยู่ระหว่างการพัฒนาเพื่อใช้ในอนาคต ซึ่งจากกราฟกระจายความถี่ของผลผลิตของแปลงตัวอย่าง Figure 8 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างมีความถี่ที่ใกล้เคียงกันของทุกช่วงผลผลิตอย่างไรก็ตาม จากการเลือกแปลงตัวอย่างโดยมุ่งหมายให้ได้โมเดลทำนายผลผลิตที่ดี ซึ่งต้องพิจารณาจากการกระจายความถี่ของค่าผลผลิตของแปลงเป็นหลักดังกล่าวข้างต้น ทำให้แปลงตัวอย่างที่เลือกใช้ในบทความนี้ เป็นพื้นที่แตกต่างกันทั้งหมดทั้ง 30 ตัวอย่าง จึงไม่สามารถศึกษา interaction ระหว่างพื้นที่ และ yield ได้

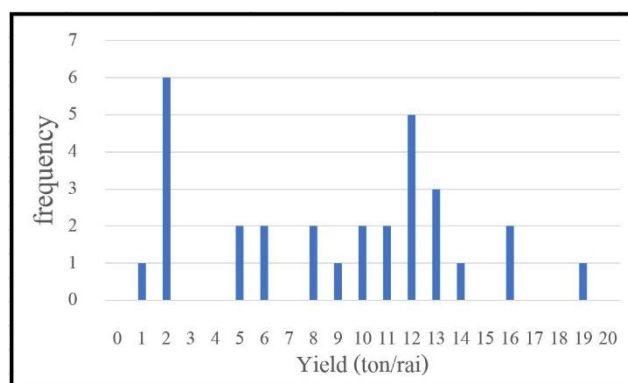
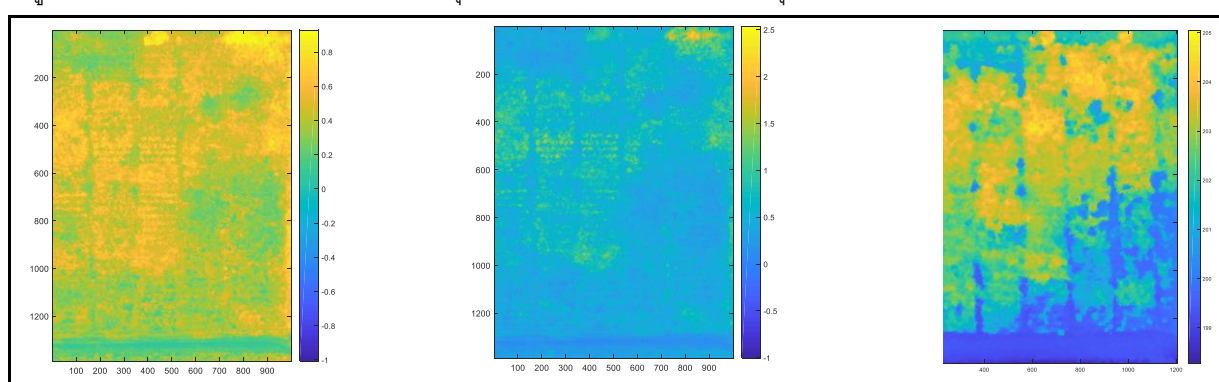


Figure 8 The graph shows the frequency of sugarcane yield

ลักษณะของภาพถ่ายแต่ละภาพจะแสดงเป็นค่าตัวเลขในแต่ละช่วงคลื่นทั้งหมด 5 ช่วงคลื่น และนำมาคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI และ $CI_{red\ edge}$) 30 ตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่างอยู่ในช่วง 0.318-0.583, 0.362-0.785 ตามลำดับ และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข มีค่าอยู่ในช่วง 16.95-216.81 m^3 เมื่อทำเป็นภาพแผนที่รวมแปลงของ ดัชนีพืชพรรณ (NDVI และ $CI_{red\ edge}$) และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข จะมีลักษณะแสดงดัง Figure 9 ซึ่งวิธีดัชนีพืชพรรณจะบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณจากสีของใบอ้อย สียิ่งเขียวมากความอุดมสมบูรณ์ของพืชยิ่งมีค่ามาก ส่วนปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข จะบอกถึงปริมาตรของอ้อยจากการคำนวณด้วยความสูงอ้อยกับพื้นที่ แต่ไม่สามารถบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของพืชได้ โดยภาพที่ดัง Figure 9 แสดงนั้นไม่ได้บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในอ้อยในแต่ละจุด แต่จะบอกถึงปริมาณดัชนีพืชพรรณในแต่ละพื้นที่และความสูงของอ้อย ซึ่งหลังจากเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อยในแปลงพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.2-18.7 ตัน/ไร่ โดยค่าผลผลิตอ้อยบางแปลงมีค่าต่ำเนื่องจากมาเป็นแปลงสำหรับปลูกทดสอบและพัฒนาพันธุ์ ในบางแปลงย่อยหรือบางพันธุ์อาจจะให้ผลผลิตที่ไม่ดี หรือบางพันธุ์ที่ให้ผลผลิตที่ดี ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ตัวอย่างที่สามารถครอบคลุมช่วงผลผลิตให้ได้ช่วงที่กว้างที่สุด



(a)

(b)

(c)

Figure 9 The map shows the characteristics of the 3 Index

(a) NDVI map

(b) $CI_{red\ edge}$ map

(c) DSM map

3.2 ผลการสอบเทียบสมการของความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณและผลผลิตของอ้อย

ผลการสอบเทียบสมการเพื่อทำนายผลผลิตอ้อย ดังแสดงใน Table 2 พบว่า NDVI และ $CI_{red\ edge}$ มีค่า r เท่ากับ 0.77 และ 0.78 ตามลำดับ มีค่า RMSE เท่ากับ 3.18 และ 3.11 ตัน/ไร่ ตามลำดับ และมีค่า RMSECV เท่ากับ 3.37 และ 3.32 ตัน/ไร่ ตามลำดับ โดยข้อมูลแสดงให้เห็นดัง Figure 10(a) และ 10(b) จากเกณฑ์พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม Table 3 พบว่า ค่า r ของสมการสอบเทียบสำหรับการใช้ค่า NDVI และ $CI_{red\ edge}$ สามารถใช้ในการประเมินเพื่อแบ่งกลุ่มของระดับผลผลิตอย่างหยาบ สาเหตุที่ส่งผลให้ค่า r มีค่าค่อนข้างต่ำ คาดว่ามีสาเหตุจากผลของสรีรวิทยาของอ้อยต่อการสะท้อนแสง เช่น ลักษณะของใบอ้อยที่แตกต่างกันในแต่ละตัวอย่าง เนื่องจากวิธีการนี้ทำนายผลผลิตอ้อยโดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณจากภาพถ่ายมุมสูง ซึ่งเห็นเฉพาะลักษณะของใบอ้อยเพียงอย่างเดียว ซึ่งพบว่าบางตัวอย่างมีผลผลิตใกล้เคียงกัน แต่ความอุดมสมบูรณ์ของใบแตกต่างกันอย่างชัดเจนตัวอย่าง เช่น ดังตำแหน่งวงกลมบน Figure 10(a) มีค่าผลผลิต ใกล้เคียงกัน แต่ NDVI มีค่าแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ในทางกลับกันดังตำแหน่งสี่เหลี่ยมบน Figure 10(b) มีค่า NDVI ใกล้เคียงกัน แต่ ผลผลิต มีค่าแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจาก บางพันธุ์มีใบสด บางพันธุ์มีใบแห้ง และบางพันธุ์มีการเจริญเติบโตที่ไม่ดี ทำให้วิธีการนี้มีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ และวิธีการนี้บอกได้ถึงความอุดมสมบูรณ์จากใบอ้อย แต่ไม่สามารถบอกถึงความหนาแน่นของอ้อย และความสูงของอ้อยได้

3.3 ผลการสอบเทียบสมการของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลขและผลผลิตของอ้อย ผลการสอบเทียบสมการเพื่อทำนายผลผลิตอ้อย ดังแสดง Table 2 พบว่าปริมาณจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข มีค่า r เท่ากับ 0.87 มีค่า RMSE เท่ากับ 2.46 ตัน/ไร่ และมีค่า RMSECV เท่ากับ 2.61 ตัน/ไร่ โดยข้อมูลแสดงให้เห็นดัง Figure 10(c) จากเกณฑ์พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม Table 3 พบว่า r ของสมการสอบเทียบสำหรับการใช้ ค่าปริมาณจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข อยู่ในช่วง Screening เป็นเกณฑ์ที่สามารถแบ่งกลุ่มของระดับผลผลิตได้ พอใช้ สาเหตุที่ส่งผลให้ค่า r มีค่าค่อนข้างต่ำแต่สูงกว่าการประเมินแบบดัชนีพืชพรรณ คาดว่ามีสาเหตุจากการคำนวณ ค่าเฉลี่ยที่ยังไม่ได้ตัดพื้นที่ส่วนช่องว่างระหว่างแถวของอ้อย หรือ ตัดในส่วนขอบบนสุดของอ้อยถึงใบอ้อยออก ให้เหลือ เฉพาะบริเวณอ้อยที่แท้จริง เช่น ดังตำแหน่งสามเหลี่ยมบน Figure 10(c) มีค่าปริมาณจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข ใกล้เคียงกันแต่ผลผลิตมีค่าแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เป็นต้น จากผลการทดลองทำให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่ปริมาณ จากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข มีความสัมพันธ์กับผลผลิตอ้อย และวิธีการนี้สามารถบอกถึงความสูงอ้อยในแต่ละพื้นที่ เพื่อคำนวณเป็น ปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข ของอ้อยได้ แต่ไม่สามารถบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของต้น อ้อยได้ จึงเป็นการเปรียบเทียบของทั้ง 2 วิธีและแสดงความสัมพันธ์แสดงดัง Figure 10

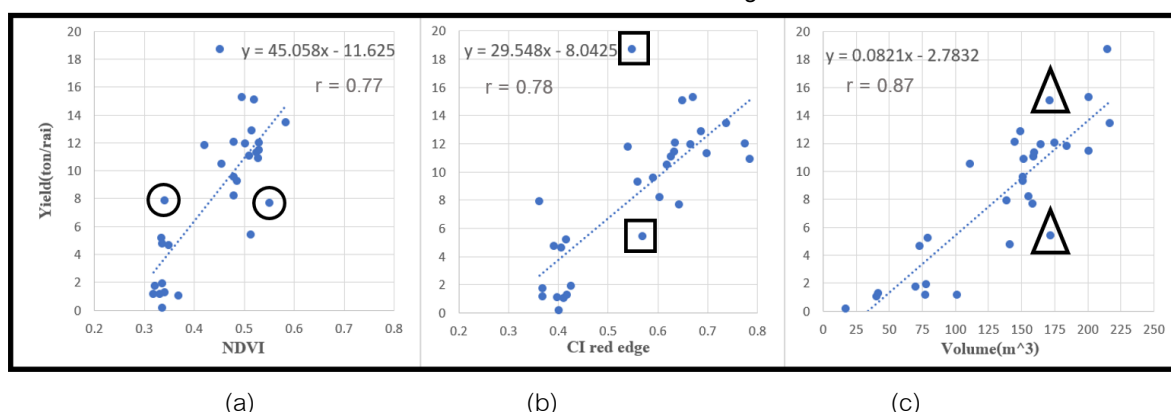


Figure 10 (a) The relationship between NDVI and yield of sugarcane
(b) The relationship between $CI_{red\ edge}$ and yield of sugarcane
(c) The relationship between Volume of DSM and yield of sugarcane

Note : The circle is the comparison between Sugarcane yield with the similar but different NDVI.

The square is the comparison between the $CI_{red\ edge}$ with the similar but different yield.

The triangle is the comparison between the volume with the similar but different yield.

จากค่าความสัมพันธ์ของดัชนีทั้งสามกับผลผลิตของอ้อย เมื่อ y คือ ผลผลิตอ้อย(ตัน/ไร่) สามารถสรุปได้ดัง Table 2

Table 2 The predicted yield of 3 index.

Vegetation Index	Model	r	R^2	RMSE(ton/rai)	R^2_{cv}	RMSECV(ton/rai)
NDVI	$y = 45.058(NDVI) - 11.625$	0.77	0.59	3.18	0.54	3.37
$CI_{red\ edge}$	$y = 29.548(CI_{red\ edge}) - 8.0425$	0.78	0.61	3.11	0.56	3.32
Volume of DSM	$y = 0.0821(\text{Volume of DSM}) - 2.7832$	0.87	0.76	2.46	0.73	2.61

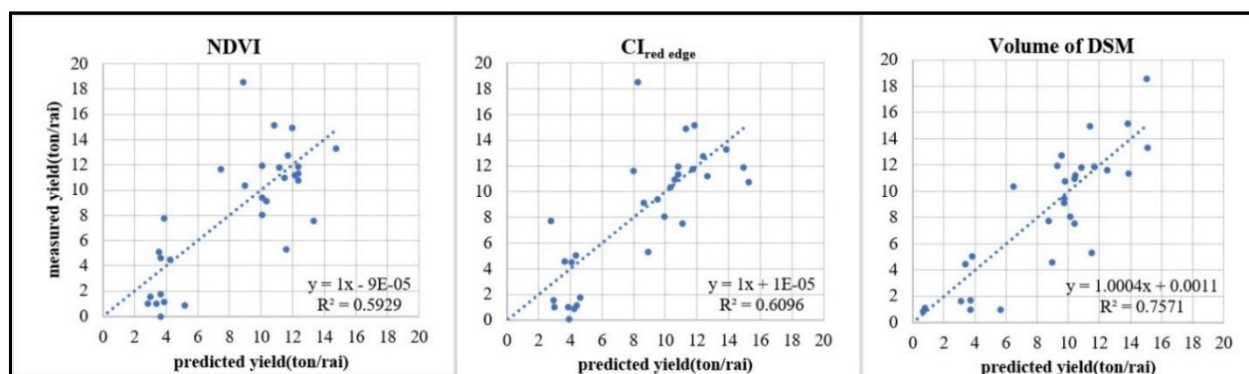
การทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อจะทำนายสมบัติที่ต้องการวัด ทำได้จากวิธีการทางสถิติและ
 คำนวณค่าในการประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของแบบจำลอง จากเกณฑ์การพิจารณาค่า r และ R^2 สามารถ
 สรุปได้ดัง Table 3

Table 3 Criteria for the r and R^2

r	R^2	Interpretation
Up to ± 0.5	5 up to 0.25	Not usable
$\pm 0.51-0.70$	0.26-0.49	Poor correlation
$\pm 0.71-0.80$	0.50-0.64	Rough screening
$\pm 0.81-0.90$	0.66-0.81	Screening
$\pm 0.91-0.95$	0.83-0.90	Research
$\pm 0.96-0.98$	0.92-0.96	Quality assurance
$\pm 0.99-1$	0.98-1	Any application

ที่มา : Williams (2007)

เมื่อนำสมการทั้ง 3 ดัชนีมาทดสอบสมการ มาหาค่า RMSE ของ NDVI, $CI_{red\ edge}$ และปริมาตรจากแบบจำลอง
 พื้นผิวเชิงตัวเลขมีค่าเท่ากับ 3.18, 3.11 และ 2.46 ตัน/ไร่ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า RMSE ยังมีค่าค่อนข้างสูง คาดว่ามี
 สาเหตุจากวิธีการของดัชนีพืชพรรณคำนวณจากลักษณะของใบอ้อย ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้มาก และวิธีการของ
 ปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข คำนวณจากความสูงใน DSM เพื่อคำนวณเป็นปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิง
 ตัวเลข ของอ้อย ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้น้อยกว่าวิธีการของดัชนีพืชพรรณ จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง



(a)

(b)

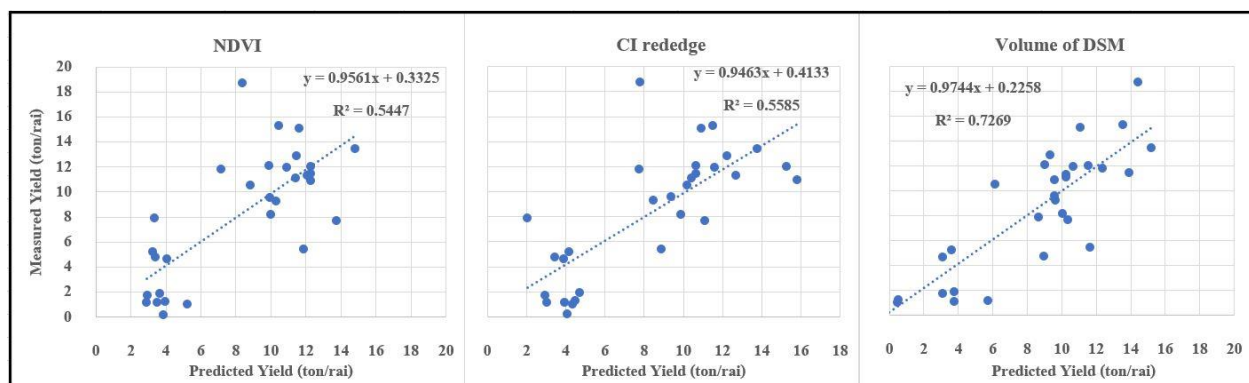
(c)

Figure 11 (a) The relationship between measured yield and predicted yield (NDVI)

(b) The relationship between measured yield and predicted yield ($CI_{red\ edge}$)

(c) The relationship between measured yield and predicted yield (Volume of DSM)

เมื่อตรวจสอบสมการทำนายด้วยวิธี RMSECV และหาค่า RMSECV ของ NDVI, $CI_{red\ edge}$ และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลขมีค่าเท่ากับ 3.37, 3.32 และ 2.61 ตัน/ไร่ ตามลำดับ และมีค่า R^2_{CV} เท่ากับ 0.54, 0.56 และ 0.73 ตามลำดับ ดัง Table 2 จะเห็นได้ว่า RMSECV ยังมีค่าค่อนข้างสูง คาดว่ามีสาเหตุจากวิธีการของดัชนีพืชพรรณคำนวณจากลักษณะของใบอ่อน ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะมีลักษณะใบอ่อนที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้มาก และวิธีการของปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข คำนวณจากความสูงใน DSM เพื่อคำนวณเป็นปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข ของอ่อน ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้น้อยกว่าวิธีการของดัชนีพืชพรรณ จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตอ่อนทำนายและผลผลิตอ่อนจริง โดยแสดงข้อมูลดัง Figure 12



(a)

(b)

(c)

Figure 12 (a) The relationship between measured yield and predicted yield(NDVI)

(b) The relationship between measured yield and predicted yield ($CI_{red\ edge}$)

(c) The relationship between measured yield and predicted yield (Volume of DSM)

จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีทั้ง 3 ค่ากับผลผลิตอ่อนจริง มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้เพื่อประเมินผลผลิตอ่อน แต่ยังมีความแม่นยำค่อนข้างต่ำ เนื่องจากดัชนี NDVI หรือ $CI_{red\ edge}$ ประเมินผลผลิตอ่อนจากภาพถ่าย ต้องดูสภาพของใบอ่อนและลักษณะของแปลง ถ้าใบมีลักษณะแห้งหรือต้นอ่อนล้มเยอะ จะส่งผลต่อความแม่นยำในการทำนายค่อนข้างสูงและวิธีการนี้จะไม่สามารถบอกถึงความสูงอ่อนได้ จึงต้องมีวิธีการของปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข ที่สามารถบอกถึงความสูงอ่อน เพื่อจะคำนวณเป็นปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลขตามการกำหนดพื้นที่ และควรพิจารณาจากสภาพของพื้นที่ ว่ามีความสูงหรือพื้นที่ที่สามารถคำนวณ ปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข ให้ได้ผลต่อความแม่นยำน้อยที่สุดและวิธีการปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข จะไม่สามารถบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของอ่อนได้ ดังนั้นการใช้ SLR ยังถือว่าให้ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีทั้ง 3 กับผลผลิตอ่อนที่ค่อนข้างต่ำ

ผู้วิจัยมีความเห็นว่าการศึกษานี้ควรมีการใช้ Multiple Linear Regression Analysis (MLR) ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติม ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ การสร้างโมเดลทำนายด้วย MLR ตัวแปรทั้ง 3 ควรจะต้องเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ multi-collinearity ในงานวิจัยนี้ พบว่า DSM NDVI และ CI มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูง ซึ่งค่าสหสัมพันธ์ไม่ควรเกิน 0.7 (สุทิน, 2560) แสดงดัง Table 4 เนื่องจากดัชนีพืชพรรณ มีช่วงคลื่น NIR ที่ใช้ในการคำนวณและมีความสัมพันธ์กับ DSM ดังนั้นผู้เขียนจึงพิจารณาเลือกการสร้างโมเดลทำนายด้วย SLR ซึ่งมีความเหมาะสมมากกว่าวิธี MLR ในกรณีนี้

Table 4 Verify the multi-collinearity

Index	NDVI	CI red edge	DSM
NDVI	1		
CI red edge	0.95	1	
DSM	0.79	0.73	1

สรุปและวิจารณ์ผล

จากผลการศึกษามีความเป็นไปได้ในการทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ (NDVI และ $CI_{red\ edge}$) และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลขมีค่า r เท่ากับ 0.77, 0.78 และ 0.87 ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีทั้ง 3 ค่า สมการที่ทำนายผลผลิตอ้อยได้ดีที่สุดคือ ปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข เนื่องจากปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข คำนวณจาก DSM ที่สามารถบอกถึงความสูงอ้อยและกำหนดพื้นที่เพื่อคำนวณเป็นปริมาตรของอ้อย แต่ไม่สามารถบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของอ้อยได้ และสมการทำนายของดัชนีพืชพรรณที่ยังมีความแม่นยำค่อนข้างต่ำเนื่องจากการวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณและปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข คำนวณจากค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง ซึ่งยังไม่มี การตัดพื้นที่ส่วนที่ไม่ใช่อ้อยออก และลักษณะของรูปร่างใบหรือสีของใบ ที่ใช้บอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณ ซึ่ง 2 วิธีการนี้ทำให้ลดระยะเวลาในการตรวจสอบแปลงขนาดเล็กและขนาดใหญ่เพื่อประเมินผลผลิตอ้อยในพื้นที่ที่ไม่สามารถเข้าไปตรวจสอบได้ แต่อย่างไรก็ตาม ควรจะมีการศึกษาถึงผลกระทบต่อการคำนวณดัชนีพืชพรรณและปริมาตรเชิงพื้นที่ เช่น เพิ่มช่วงเวลาในการถ่ายภาพเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลผลผลิตอ้อยจริง ศึกษาลักษณะอ้อยของแต่ละพันธุ์ สํารวจภาคสนามว่ามีต้นอ้อยที่ล้มหรือใบแห้งหรือไม่ รวมไปถึงการตัดพื้นที่ดินในภาพถ่ายให้เหลือเฉพาะใบอ้อยหรือต้นอ้อย เป็น ต้น ดังนั้น การศึกษาในขั้นตอนต่อไปจึงมุ่งศึกษาเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนายผลผลิตด้วยค่าชี้ผลทั้ง 3 ค่านี้และ ศึกษาค่าชี้ผลชนิดอื่นเพิ่มเติม เช่น การตัดผลกระทบในการคำนวณในพื้นที่ที่ไม่ใช่ใบอ้อยออก การเริ่มเก็บข้อมูลภาพถ่าย และข้อมูลภาคสนามในช่วงอ้อยที่เจริญเติบโตได้ 4-5 เดือน เพื่อจะทราบถึงปริมาณความหนาแน่นอ้อยจากปริมาณ จำนวนลำอ้อย คาดว่าจะทำให้การทำนายผลผลิตอ้อยมีความแม่นยำมากขึ้น

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยอ้อยและน้ำตาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น หมวดพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนพื้นที่ทดสอบ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมประยุกต์เพื่อพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น บริษัท HG Robotic Thailand ที่สนับสนุนอุปกรณ์ในการทดสอบและคำปรึกษาการวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2553. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย Minitab 15 (ฉบับปรับปรุง) จนิษฐ์ ประเสริฐบุรณะกุล, วิลาสลักษณ์ วงศ์เยาว์ฟ้า, สุกิจ วิเศษสินธุ์ และ บ.ESRI จำกัด. ม.ป.ป. การวิเคราะห์พื้นที่น้ำท่วม ด้วย LIDAR : ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขความละเอียดสูง. แหล่งข้อมูล http://www.lidddservice.org/services/PDF/Flood_LIDAR.pdf. ค้นเมื่อ 19 มิถุนายน 2561.

- บริษัท จีไอเอส จำกัด . Pix4D คู่มือการใช้งาน ภาษาไทย . ม.ป.ป. . แหล่งข้อมูล
<http://cste.sut.ac.th/miscste/company/manual/Pix4DThaiUsermanual.pdf>. ค้นเมื่อ 6 มิถุนายน 2561.
- ศิวา แก้วปลั่ง. 2561. การประเมินการใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับการประมาณค่าชีวมวลเหนือ
 พื้นดินของต้นหม่อน. แก่นเกษตร 46 ฉบับพิเศษ 1: 381-387.
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. โดรนเพื่อการเกษตร...กำลังมาแรงเพื่อสร้างทางเลือกใหม่ในยุคเกษตร 4.0. 2560. แหล่งข้อมูล
<http://www.newsdatatoday.com/images/News/OO1-5-18/8699.pdf>. ค้นเมื่อ 6 มิถุนายน 2561.
- สุทิน ชนะบุญ. 2560. สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยเบื้องต้น. สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดขอนแก่น.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. รายงานพื้นที่ปลูกอ้อยปีการผลิต 2559/60. 2560. แหล่งข้อมูล
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:>. ค้นเมื่อ 12 มิถุนายน 2561.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. การจัดทำประมาณการรายได้ การกำหนดและการชำระราคาอ้อยและค่า
 ผลิตน้ำตาลทราย และอัตราของผลตอบแทนระหว่างชาวไร่อ้อยและโรงงาน. 2561. แหล่งข้อมูล
<http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2561/E/008/2.PDF>.
- <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-9999.pdf>. ค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2561.
- สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5. สถานการณ์การผลิตอ้อย. 2560. แหล่งข้อมูล
<http://www.doa.go.th/oard5/images/pdf/03KM/KM60/05.pdf>. ค้นเมื่อ 3 มิถุนายน 2561.
- Brown and French. ม.ป.ป. . The long wavelength forms of chlorophyll a. Biophysical Journal. 539-550.
- Chea, Saengprachathanarug, Wongphati, Posom and Taira. 2018. Feasibility Study of Evaluation Brix of
 Sugarcane Using Multispectral Camera Mounted on Unmanned Aerial Vehicle น. 173-184 ใน: The 11th
 Thai Society of Agricultural Engineering International Conference, 26-27 April 2018
- Ivan, Hrvoje, Dijana, Elvis and Krunoslav. 2015. Quality assessment of high density digital surface model over
 different land cover classes. Periodicum Biologorum. Vol. 117. 459-470
- Micasense. MicaSense RedEdge™ 3 Multispectral Camera User Manual. 2015. Available
[:https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/215261448-RedEdge-User-Manual-PDF-Download-](https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/215261448-RedEdge-User-Manual-PDF-Download-)
 Accessed May. 20, 2018.
- Morel, Todoroff, Begue, Bury, Martine and Petit. 2014. Toward a Satellite-Based System of Sugarcane Yield
 Estimation and Forecasting in Smallholder Farming Conditions: A Case Study on Reunion Island. Journal
 of remote sensing.
- Oliveira, Gomes and Santana. 2016. Estimating foliar nitrogen in Eucalyptus using vegetation indexes. Journal
 of Scientia Agricola.
- Pix4D. Pix4Dmapper, Photogrammetry software for professional drone-based mapping purely from images.
 Versions 4.0. 2018. Available: <https://pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software/>.
 Accessed Feb. 10, 2018.
- Rahman and Robson. 2016. A Novel Approach for Sugarcane Yield Prediction Using Landsat Time Series
 Imagery: A Case Study on Bundaberg Region. Journal of remote sensing.

- 514 Roberts, Roth and Perroy. Hyperspectral Vegetation Indices. 2016. Available:
 515 [https://www.researchgate.net/publication/288952459_Hyperspectral_Vegetation_Indices?enrichId=](https://www.researchgate.net/publication/288952459_Hyperspectral_Vegetation_Indices?enrichId=rgreq-42caa379a2743f8ad0a3eb7ff17f003b-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzl4ODk1MjQ1OttBUzozNTQMjgwMzAMTIMDBAMTQMTUzNzQNzYOQ%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf)
 516 [rgreq-42caa379a2743f8ad0a3eb7ff17f003b-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzl4ODk1MjQ1Ott](https://www.researchgate.net/publication/288952459_Hyperspectral_Vegetation_Indices?enrichId=rgreq-42caa379a2743f8ad0a3eb7ff17f003b-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzl4ODk1MjQ1OttBUzozNTQMjgwMzAMTIMDBAMTQMTUzNzQNzYOQ%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf)
 517 [BUzozNTQMjgwMzAMTIMDBAMTQMTUzNzQNzYOQ%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/288952459_Hyperspectral_Vegetation_Indices?enrichId=rgreq-42caa379a2743f8ad0a3eb7ff17f003b-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzl4ODk1MjQ1OttBUzozNTQMjgwMzAMTIMDBAMTQMTUzNzQNzYOQ%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf).
 518 Accessed June. 10, 2018.
- 519 Schultz, Pereira, Baldani, Boddey, Alves and Reis. 2017. Yield of sugarcane varieties and their sugar quality
 520 grown in different soil types and inoculated with a diazotrophic bacteria consortium. Journal of Plant
 521 Production Science.
- 522 Vina, Gitelson, NGuy-Roberson and Peng. 2011. Comparison of different vegetation indices for the remote
 523 assessment of green leaf area index of crops. Remote Sensing of Environment. 3468-3478
- 524 Walsh, Marshall, Swoboda, Belmont and, Thompson. 2018. Assessment of UAV Based Vegetation Indices for
 525 Nitrogen Concentration Estimation in Spring Wheat. Journal of remote sensing. 7 : 71-90.
- 526 Williams. 2007. Comparing Correlation Coefficients, Slopes, and Intercepts. Available:
 527 <http://core.ecu.edu/psyc/wuenschk/docs30/CompareCorrCoeff.pdf>. Accessed July. 12, 2018].