แบบประเมินบทความ/งานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ชื่อบทความ (ภาษาไทย) : การตรวจติดตามความเครียดจากการขาดน้ำของต้นทุเรียนพันธุ์หมอนทองด้วยการสะท้อนแสงของใบ

52

(ภาษาอังกฤษ) : Monitoring Water Stress in Durian 'Monthong' by Leaf Reflectance

หัวข้อการพิจารณา

หัวข้อ	คะแนนประเมิน					ข้อแก้ไข / ข้อเสนอแนะ
	1	2	3	4	5	
1. บทคัดย่อ				✓		
2. Abstract			✓			
3. บทนำ			✓			
4. วัตถุประสงค์การวิจัย/การศึกษา				✓		
5. วิธีการวิจัย/วิธีการศึกษา				✓		
6. ผลการวิจัย/ผลการศึกษา				✓		
7. สรุปผลการวิจัย/สรุปผลการศึกษา				✓		
8. อภิปรายผล/ข้อเสนอแนะ				✓		
9. เอกสารอ้างอิง				✓		
10. ความใหม่และคุณค่าทางวิชาการ			✓			

(อาจมีเอกสารแนบหรือข้อเสนอแนะเพิ่มเติม – ถ้ามี)

การตรวจติดตามความเครียดจากการขาดน้ำของต้นทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ด้วยการสะท้อนแสงของใบ

ยรรยง จันนูน[1], พูนพิภพ เกษมทรัพย์[1], รัฐพล ฉัตรบรรยงค์[1], คณพล จุฑามณี[2], วีรศิลป์ สอนจรูญ[3] และจุติภรณ์ ทัสสกุลพนิช[1,*]

[1] ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[2] ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[3] วิทยาลัยบูรณาการศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
*email: jutiporn.thu@ku.th

บทคัดย่อ

การตรวจติดตามความเครียดจากการขาดน้ำในพืชช่วยป้องกันความเสียหายของพืชจากการได้รับน้ำไม่พอเพียง ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความเครียดจากการขาดน้ำของทุเรียนในระดับกระถางโดยวัดการสะท้อนแสงของใบเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาอื่น ๆ ทำการทดลองโดยเลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่มีความสูงและจำนวนใบใกล้เคียงกัน ออกแบบการทดลองโดยแบ่งเป็น 2 ทรีตเมนต์ ได้แก่ ทุเรียนที่ได้รับน้ำปกติ (รดน้ำทุกวัน) และทุเรียนที่ได้รับความเครียดจากการขาดน้ำ (ไม่ได้รดน้ำ) วัดค่าการสะท้อนแสงของใบและคำนวณดัชนีสเปกตรัม ประกอบด้วย ดัชนี Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) และดัชนี Normalized Difference Red-edge Index (NDRE) นอกจากนี้วัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การเกิดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนต์ ดัชนีความเขียวของใบ และการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนเรียน พารามิเตอร์ทั้งหมดถูกวัดก่อนการขาดน้ำ (วันที่ 0) และวัดทั้งหมด 3 ครั้งต่อสัปดาห์จนกระทั่งอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดต่ำกว่า 50% เมื่อเปรียบเทียบกับวันก่อนการขาดน้ำ ผลการทดลองพบว่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิและค่านำไหลปากใบลดลงหลังจากไม่มีการรดน้ำเป็นเวลา 8 วัน และพบอาการใบเหลืองในทุเรียนหลังจากไม่ได้รดน้ำเป็นเวลา 21 วัน เมื่อเปรียบเทียบการสะท้อนแสงของใบระหว่างทุเรียนที่ได้รับน้ำปกติและทุเรียนที่ได้รับความเครียดจากการขาดน้ำพบว่า ทุเรียนที่ได้รับความเครียดจากการขาดน้ำมีค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นของแสงสีแดง (668-683 นาโนเมตร) จนถึงช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ (>750 นาโนเมตร) มากกว่าทุเรียนที่ได้รับน้ำปกติ นอกจากนี้ค่าดัชนี NDVI และ NDRE ของทุเรียนที่ได้รับน้ำปกติมีค่ามากกว่าทุเรียนที่ได้รับความเครียดจากการขาดน้ำ ดังนั้นทั้งสองดัชนีสเปกตรัมนี้จึงเหมาะสมในการใช้ตรวจสอบการขาดน้ำในของทุเรียนในสภาพกระถาง

คำสำคัญ: การขาดน้ำ, ดัชนีสเปกตรัม, ไม้ผลเขตร้อน, สรีรวิทยาของทุเรียน

Monitoring Water Stress in Durian 'Monthong' by Leaf Reflectance

Yroryong Channun[1], Poonpipope Kasemsap[1], Rattaphon Chatbanyong[1], Kanapol Jutamanee[2], Weerasin Sonjaroon[3] and Jutiporn Thussagunpanit[1,*]

[1] Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University
[2] Department of Botany, Faculty of Science, Kasetsart University
[3] School of Integrated Science, Kasetsart University
*email: jutiporn.thu@ku.th

Abstract

Monitoring water stress prevents the plant damage from water deficit. This study aimed to detect water stress in durian by the leaf reflectance comparing with other physiological changes in pot condition. Durian 'Monthong' trees which had a similar plant height and number of leaves were chosen to experiment. The experiment had two treatments included of control (daily watering) and water deficit (no-watering). Leaf reflectance at 380 – 790 nm were measured to calculate various spectral indices including Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Red-edge Index (NDRE). Moreover, the photosynthetic rate, chlorophyll fluorescence, leaf greenness index and changes of plant character were determined. All parameters were measured before water deficit (day 0) and 3 times/week until photosynthetic rate reduced than 50% of day 0. The result showed that the net photosynthetic rate and the stomatal conductance became drop after 8 days of no-watering whereas the leaf chlorosis was observed at 21 days after no-watering. Comparing leaf reflectance between control and water deficit treatment found that water deficit treatment had the higher leaf reflectance in red (668-683 nm) to near-infrared (>750 nm) than control. Moreover, NDVI and NDRE indices of water deficit treatment were higher than control. These two spectral indices were appropriate to monitor water stress in durian at pot condition.

Keywords: Durian physiology, Spectral index, Tropical fruit, Water deficit

บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตทุเรียนที่มีการส่งออกเป็นอับดับต้น ๆ ของโลก ในช่วง 6 เดือนแรกของปี 2562 ประเทศไทยมีสัดส่วนการส่งออกทุเรียนสด 44% ของการส่งออกผลไม้ทั้งหมด และเป็นประเทศที่มีการส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยตลาดส่งออกที่ใหญ่ที่สุด คือ ประเทศจีน (กรุงเทพธุรกิจ, 2562) ในปี 2562 ทุเรียนมีพื้นที่ปลูกทั่วประเทศประมาณ 937,607 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) อย่างไรก็ตามปัญหาหนึ่งในการผลิตทุเรียนพบว่าน้ำจัดเป็นปัจจัยภายนอกที่มีอิทธิพลสำคัญต่อการเจริญของต้นทุเรียน โดยเฉพาะระยะก่อนให้ผลผลิตจะมีความต้องการน้ำสูงเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตก่อนถึงช่วงออกดอก (ปัญจพรและคณะ, 2547) หากทุเรียนเกิดการขาดน้ำจะแสดงอาการใบเหี่ยว กิ่งแห้ง และทำให้เกิดดอกร่วงส่งผลให้ทุเรียนไม่สามารถสร้างผลผลิตได้

การตรวจสอบการขาดน้ำในทุเรียนเป็นวิธีการที่สามารถช่วยในการบริหารจัดการน้ำ การติดตามตรวจสอบความเครียดทางสรีรวิทยาจากการขาดน้ำของพืชอาจโดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยา เช่น การทิ้งใบ การเปลี่ยนแปลงของสีใบ ใบและกิ่งแห้ง วิธีการนี้มีข้อจำกัดเนื่องจากความเครียดจากการขาดน้ำในระดับที่แสดงออกทางสัณฐานวิทยาเป็นการเกิดความเครียดในระดับรุนแรง ทำให้ไม่สามารถแก้ไขอย่างทันท่วงทีเพื่อลดความเสียหายต่อผลผลิต นอกจากนี้วิธีการตรวจสอบความเครียดจากการขาดน้ำของพืชยังทำได้โดยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยา เช่น การลดลงของอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเกิดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ วิธีนี้เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมเนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถตรวจสอบความเครียดได้ทันท่วงที อย่างไรก็ตามเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดมีราคาค่อนข้างสูงและจำเป็นต้องตรวจวัดโดยผู้มีความชำนาญในการใช้เครื่องมือ

จากข้อจำกัดของการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาหลักการสะท้อนแสงของใบในการติดตามตรวจสอบความเครียดจากการขาดน้ำของทุเรียนในระดับกระถาง โดยปกติภายในใบจะมีคลอโรฟิลล์ซึ่งสามารถดูดกลืนพลังงานแสงสีน้ำเงิน (425-490 นาโนเมตร) และแสงสีแดง (610-700 นาโนเมตร) นอกจากนี้ยังพบการสะท้อนพลังงานแสงโดยแสงที่พบการสะท้อนได้มาก ได้แก่ แสงสีแดงอินฟราเรดย่านใกล้ (Near-Infrared หรือ NIR 700-1300 นาโนเมตร) (Humboldt state university, 2019) และแสงสีเขียว (520-610 นาโนเมตร) ส่งผลให้สามารถสังเกตเห็นใบไม้เป็นสีเขียว (Shafiq *et al.*, 2021)

เมื่อพืชเกิดอาการผิดปกติเช่น ใบแห้ง ใบเหี่ยว โดยคลอโรฟิลล์ที่อยู่ภายในใบมีจำนวนลดลงทำให้ใบไม้เกิดการเปลี่ยนสีและเกิดการสะท้อนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ลดลงที่น้อยกว่าใบพืชที่สมบูรณ์ (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2558) หลักการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดการขาดน้ำภายในใบได้โดยค่าที่ได้เป็นข้อมูลเชิงฟิสิกส์ การสะท้อนแสงของใบที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ สามารถนำมาคำนวณเป็นดัชนีสเปกตรัม (spectral index) ต่าง ๆ เช่น Normalized Difference Vegetable Index (NDVI)(Rouse *et al.*, 1974) Water Index (WI)(Penuelas, 1997) และ Normalized Water Index (NWI)(Bandyopadhyay *et al.*, 2014) เป็นต้น โดยดัชนีสเปกตรัมที่คำนวณได้จะมีประโยชน์ให้เกษตรกรนำมาใช้ประโยชน์ด้านการบริหารและจัดการน้ำในต้นทุเรียนเพื่อให้ทุเรียนเจริญเติบโตได้ดี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อตรวจสอบความเครียดจากการขาดน้ำของทุเรียนในระดับกระถาง โดยวัดการสะท้อนแสงของใบเปรียบเทียบกับการใช้พารามิเตอร์ทางสรีรวิทยาต่าง ๆ เช่น อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง การเกิดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนต์ ดัชนีความเขียวของใบ เป็นต้น

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเตรียมต้นทุเรียน การควบคุมการขาดน้ำแลการวางแผนการทดลอง

เลือกต้นทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่มีอายุระหว่าง 8-12 เดือนโดยต้นพันธุ์จะต้องมีความแข็งแรงและไม่เป็นโรค โดยต้นทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่ใช้ทดลองจะต้องมีจำนวนใบที่ใกล้เคียงกันและมีความสูงระหว่าง 80-100 เซนติเมตร นำมาย้ายปลูกในกระถางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 20 นิ้ว ใช้วัสดุปลูกผสมที่ประกอบด้วย แกลบดิบ ปุ๋ยคอก และดิน ในอัตราส่วน 1:1:1 เพาะปลูกในโรงเรือนที่มีหลังคาพลาสติกคลุมจากนั้นบันทึกสภาพอากาศในโรงเรือนตลอดการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ และความเข้มแสง ในระยะก่อนการทดลองจะมีการดูแลรักษาต้นทุเรียนในโรงเรือนมีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนให้สูงกว่า 60% โดยใช้การรดน้ำบริเวณพื้นที่ในโรงเรือน ฉีดสารป้องกันแมลงและเชื้อโรคเพื่อให้ต้นทุเรียนมีสภาพที่สมบูรณ์แข็งแรงก่อนนำไปใช้ในการทดลอง

หลังจากย้ายปลูกได้ 2 สัปดาห์ต้นทุเรียนจะถูกนำมาใช้ทดลอง โดยการชั่งน้ำหนักกระถางต้นทุเรียนก่อนเริ่มทำการทดลอง วางแผนการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) แบ่งเป็น 2 ทรีตเมนต์ประกอบไปด้วย ทรีตเมนต์ที่ได้รับน้ำปกติหรือชุดควบคุม (Control) และทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำ (Treatment) ทำการทดลองทรีตเมนต์ละ 6 ซ้ำ ซ้ำละ 1 กระถาง โดยชุดควบคุมในวันแรกจะทำการรดน้ำในช่วงเช้ากระถางละ 4 ลิตร ชั่งน้ำหนักกระถางต้นทุเรียนและในวันถัดไปจะรดน้ำปริมาณเท่ากับน้ำหนักกระถางในวันแรกที่ทุเรียนได้รับน้ำ 4 ลิตร สำหรับทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำวันแรกจะทำการรดน้ำในวันช่วงเช้ากระถางละ 4 ลิตรหลังจากนั้นจะทำการงดน้ำตลอดการทดลองอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงต่ำกว่า 50% โดยทั้ง 2 ทรีตเมนต์จะนำผ้ามาคลุมปากกระถางเพื่อลดการสูญเสียน้ำจากผิวดินในกระถางสู่ชั้นบรรยากาศจากนั้นตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาที่เกิดขึ้น

2. การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

ติดตามตรวจสอบความเครียดทางสรีรวิทยาที่เกิดจากการขาดน้ำในทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำเปรียบเทียบกับทรีตเมนต์ที่ได้รับน้ำตามปกติ บันทึกการขาดน้ำของทุเรียนโดยการชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักของน้ำที่ลดลงเนื่องจากการใช้น้ำของต้นทุเรียน

ในทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำและชุดควบคุมจะวัดค่าการสะท้อนแสงของใบด้วยเครื่อง Spectroradiometer รุ่น PolyPen RP400 UVIS (Photon Systems Instruments, Brno, Czech Republic) วัดการสะท้อนแสงในใบทุเรียนที่เจริญเต็มที่ ทำเครื่องหมายไว้เพื่อเป็นตัวแทนของทุเรียนทั้งต้นโดยจะวัดทั้งหมด 3 ระดับ ได้แก่ ใบระดับบน ระดับกลาง และระดับล่างของลำต้น วัดจำนวนแต่ละระดับจำนวนละ 1 ใบบริเวณนอกทรงพุ่ม บันทึกค่าที่วัดได้เพื่อนำไปใช้ในการหาดัชนีสเปกตรัม นอกจากนี้ยังวัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาด้านอื่นของใบทุเรียน ได้แก่

1) อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (photosynthetic rate, P_n) และค่านำไหลปากใบ (stomatal conductance, g_s) ด้วยเครื่องวัดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส รุ่น LI-6400XT (LiCor Inc., USA) โดยกำหนดความเข้มแสง 1,600 µmol m^{-2} s^{-1} ซึ่งเกินจุดความอิ่มตัวของแสงในทุเรียน (Light saturation point) เพื่อให้ทุเรียนได้รับแสงอย่างเต็มที่ กำหนดให้ค่าความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 400 ppm, ความชื้นสัมพัทธ์ 60-75 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิใบในขณะวัด 30±2 องศาเซลเซียส ดำเนินการเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 9.00-14.00 น. (เจษฎา และคณะ, 2558)

2) การเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ วัดค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของระบบแสงสอง (F_v/F_m) โดยเริ่มต้นจากหนีบใบโดยการใช้ dark leaf clip ทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้อิเล็กตรอนในระบบแสงสอง (Photosystem II) เคลื่อนที่น้อยที่สุดและเสถียร จากนั้นวัดค่าโดยใช้เครื่อง Portable Chlorophyll Fluorometer รุ่น PAM-2500 (Walz, Germany) บันทึกค่าที่วัดได้

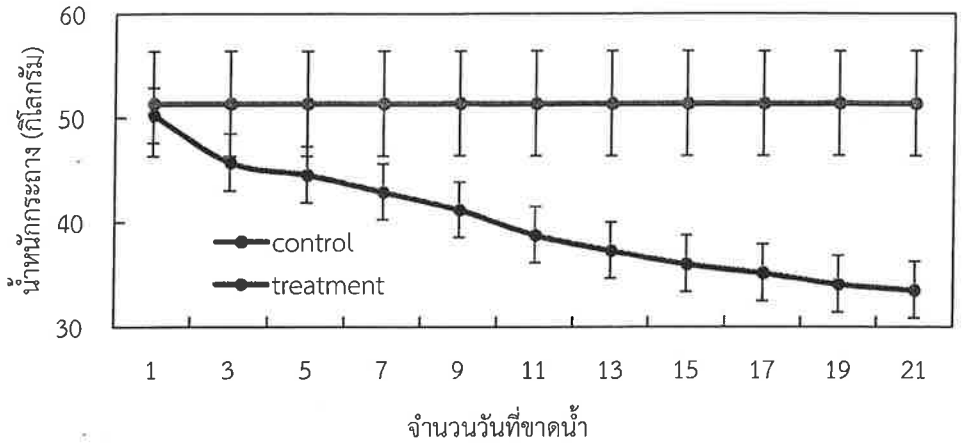
3) ดัชนีความเขียว ด้วยเครื่องวัด Chlorophyll Meter SPAD-502 (Minolta, Japan) บันทึกค่าที่ได้จากการหนีบใบทุเรียนที่เลือกไว้ทั้งหมด 4 ครั้ง/ใบ โดยสุ่มวัดให้เต็มพื้นที่ใบ จากนั้นนำค่าทั้งหมดที่วัดได้นำมาหาค่าเฉลี่ย

ติดตามตรวจสอบความเครียดทางสรีรวิทยาตามวิธีการข้างต้นโดยติดตามตรวจสอบ 3 ครั้ง/สัปดาห์ จนกระทั่งค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthetic rate) ลดต่ำกว่า 50% จากวันแรกที่ทำการทดลอง จากนั้นนำค่าการสะท้อนแสงของใบมาคำนวณหาดัชนีสเปกตรัม (Photon Systems Instruments, 2018) นำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของใบทุเรียนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักกระถางหลังการงดน้ำ

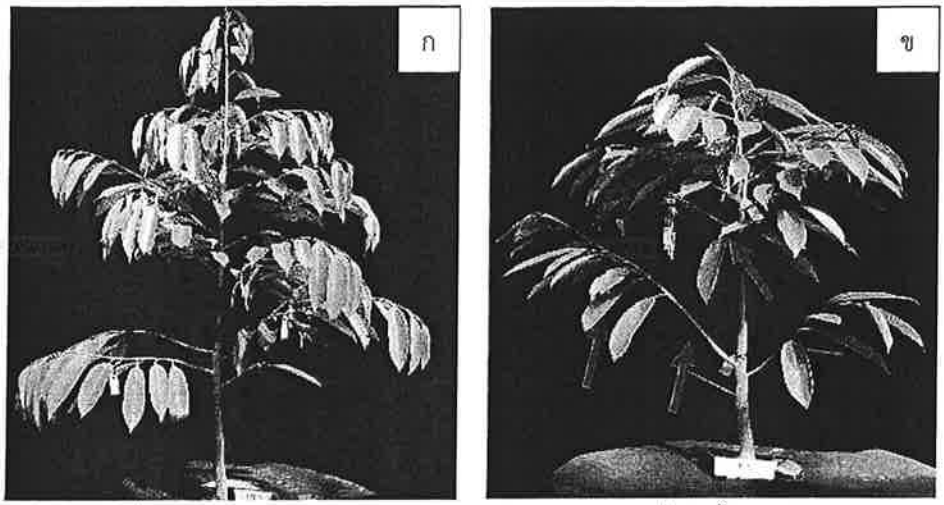
การทดสอบน้ำหนักกระถางในชุดควบคุม (Control) และทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำ (Treatment) เริ่มต้นชั่งน้ำหนักโดยการชั่งก่อนเติมน้ำหลังจากนั้นเติมน้ำปริมาณ 4 ลิตร ชั่งน้ำหนักอีกครั้งพร้อมบันทึกค่าโดยชุดควบคุมมีน้ำหนักกระถางเฉลี่ย 53.14 กิโลกรัม และทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำมีน้ำหนักกระถางเฉลี่ย 52.28 กิโลกรัม ผลการทดลองพบว่าในช่วงแรกของการงดน้ำน้ำหนักกระถางของทรีตเมนต์ที่งดน้ำจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งงดน้ำทรีตเมนต์น้ำเป็นเวลา 11 วันเป็นต้นไปน้ำหนักกระถางจึงลดลงอย่างช้า ๆ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของต้นทุเรียนในกระถางระหว่างชุดควบคุม (Control) และทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำ (Treatment) ตั้งแต่วันที่ 1 จนกระทั่งวันที่ 21 โดยแต่ละจุดแสดงถึงค่าเฉลี่ยและแถบแนวตั้งแสดงถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย

การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของต้นทุเรียนเมื่อได้รับความเครียดจากการขาดน้ำ

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แสดงออกในทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำพบว่าในช่วงระยะเวลาแรกที่ทำการขาดน้ำต้นทุเรียนยังไม่พบการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งทรีตเมนต์ขาดน้ำเป็นระยะเวลา 8 วันขึ้นไปทรีตเมนต์เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงทางลักษณะสัณฐานวิทยา และเห็นการเปลี่ยนแปลงชัดเจนเมื่อขาดน้ำเป็นเวลา 21 วัน โดยต้นทุเรียนที่ขาดน้ำมีอาการใบเหลือง ทิ้งใบแก่สร้างใบใหม่ที่ใบมีขนาดเล็กลง และพบอาการยอดใบแห้ง (ภาพที่ 2)

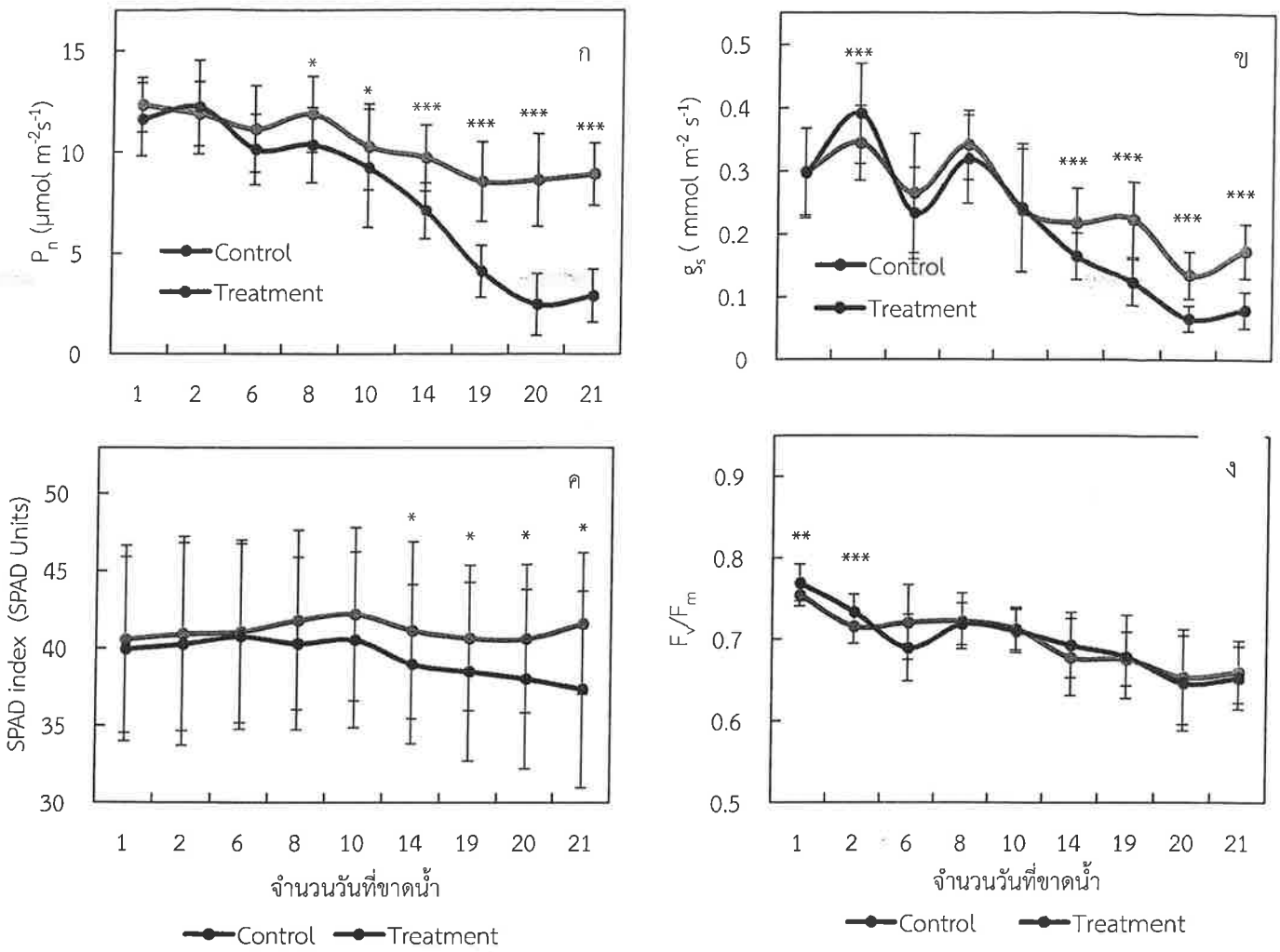


ภาพที่ 2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นทุเรียนในกระถางที่ขาดน้ำในวันที่ 21 ระหว่างทรีตเมนต์ที่ได้รับน้ำปกติ (Control) (ก) และทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำ (Treatment) (ข) โดยตำแหน่งที่ลูกศรชี้คือลักษณะของใบที่มีอาการเหลืองและกิ่งที่เกิดการทิ้งใบ

ที่มา : ภาพถ่ายโดย นายยรรยง จันนูน เมื่อวันที่ 2 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2563

การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของต้นทุเรียนเมื่อได้รับความเครียดจากการขาดน้ำ

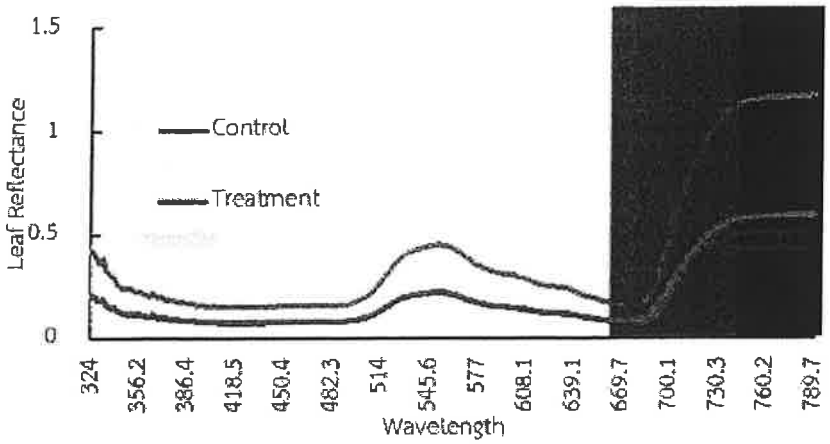
ผลการทดลองพบว่าทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำในช่วง 6 วันแรกของการขาดน้ำทุเรียนมีการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (P_n) ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3ก) เมื่อระยะเวลาผ่านไป 8 วันหลังจากการขาดน้ำอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิของทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำลดลงต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิเมื่อมีการขาดน้ำในวันที่ 21 ของชุดควบคุมและทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำมีค่า 8.94 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ และ 2.90 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ตามลำดับ (ภาพที่ 3ก) สำหรับค่านำไหลปากใบ (stomatal conductance, g_s) ซึ่งสะท้อนถึงการเปิดของปากใบ พบว่าในชุดควบคุมและทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำช่วง 10 วันแรกที่งดน้ำมีลักษณะคล้ายคลึงกันคือการเปิดของปากใบที่ไม่คงที่และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ จนกระทั่งเมื่อขาดน้ำเป็นระยะเวลา 10 วันขึ้นไปทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำมีค่านำไหลปากใบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างต่อเนื่อง โดยค่านำไหลปากใบสังเคราะห์ด้วยแสงเมื่อมีการขาดน้ำในวันที่ 21 ของชุดควบคุมและทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำมีค่า 0.17 $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$ และ 0.08 $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ตามลำดับ (ภาพที่ 3ข) จากการตรวจสอบดัชนีความเขียวของใบ (SPAD index) ผลการทดลองพบว่าทรีตเมนต์ในช่วงแรกของการงดน้ำ ทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเขียวของใบ จนกระทั่งขาดน้ำเป็นระยะเวลา 14 วันขึ้นไปทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำจึงมีดัชนีความเขียวของใบลดต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าดัชนีความเขียวของใบเมื่อมีการขาดน้ำในวันที่ 21 ของชุดควบคุมและทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำมีค่า 41.60 และ 37.34 ตามลำดับ (ภาพที่ 3ค) นอกจากนี้ค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของระบบแสงสอง (F_v/F_m) ของชุดควบคุมและทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำพบว่าไม่มีค่าที่แตกต่างกันในทางสถิติตลอดระยะเวลาการทดลอง (ภาพที่ 3ง)



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาระหว่างทรีตเมนต์ที่ได้รับน้ำปกติ (Control) และทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำ (Treatment) ประกอบด้วย อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (P_n)(ก) ค่านำไหลปากใบ (g_s)(ข) ดัชนีความเขียวของใบ (SPAD index)(ค) และค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของระบบแสงสอง (F_v/F_m)(ง) โดยแต่ละจุดแสดงถึงค่าเฉลี่ยและแถบแนวตั้งแสดงถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย มีสัญลักษณ์ทางสถิติต่าง ๆ ดังนี้ *, ** และ *** คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$, < 0.01 และ < 0.001 ตามลำดับ โดยวิธี t-test

การเปลี่ยนแปลงการสะท้อนแสงของใบทุเรียนเมื่อได้รับความเครียดจากการขาดน้ำ

การสะท้อนแสงของใบทุเรียนโดยใช้ความยาวคลื่นตั้งแต่ 380 ถึง 790 นาโนเมตร เมื่อต้นทุเรียนขาดน้ำทั้งหมด 21 วัน พบว่าทั้งชุดควบคุมและทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำมีค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 320 ถึง 660 นาโนเมตร ค่อนข้างต่ำจนกระทั่งในช่วงคลื่นแสงสีแดงหรือ 668 ถึง 683 นาโนเมตร ช่วงคลื่นขอบแดง (Red-edge) หรือ 680 ถึง 750 นาโนเมตร และช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้ (Near-Infrared, NIR) หรือมากกว่า 750 นาโนเมตร (Ribera-Fonseca *et al.*, 2019) ค่าการสะท้อนแสงของใบในทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำสูงกว่าชุดควบคุมเป็นอย่างชัดเจน (ภาพที่ 4) ดังนั้นจึงเลือกใช้ดัชนีสเปกตรัมที่คำนวณได้จากช่วงคลื่นแสงสีแดง ขอบแดง และ NIR ในการตรวจสอบการขาดน้ำของต้นทุเรียน



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าการสะท้อนแสงในของใบระหว่างทรีตเมนต์ที่ได้รับน้ำปกติ (Control) และทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำ (Treatment) เมื่อทำการขาดน้ำได้ 21 วัน โดยแถบสีแดง สีเลือดหมู และสีน้ำตาล แสดงถึงการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นแสงสีแดง (668 – 683 นาโนเมตร) ช่วงคลื่นขอบแดง (680 – 750 นาโนเมตร และช่วงคลื่นอินฟราเรดย่าน ใกล้ (>750 นาโนเมตร) (Ribera-Fonseca *et al.*, 2019) ตามลำดับ

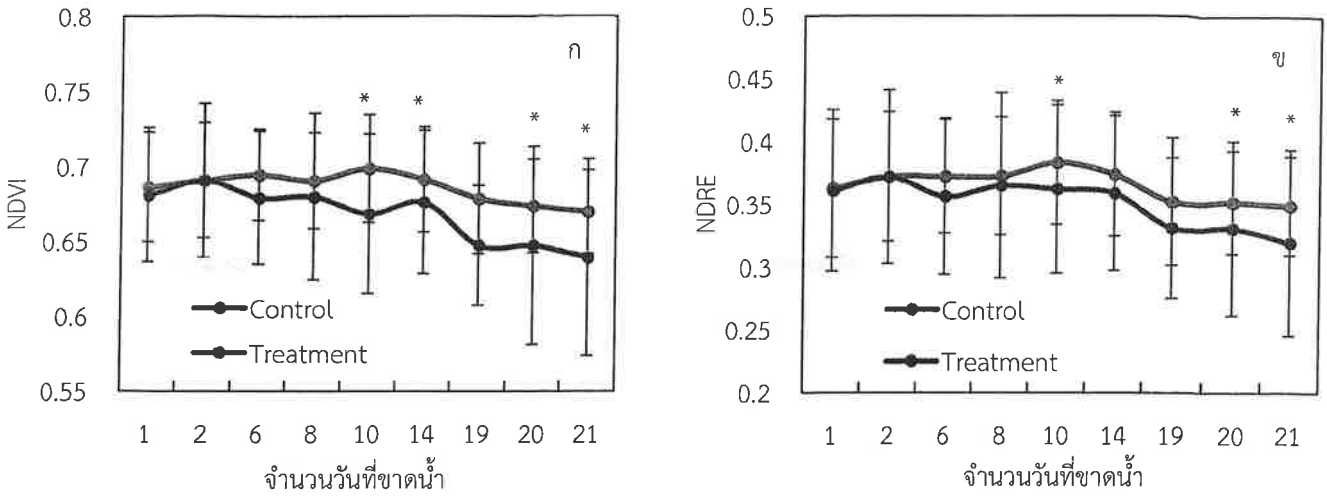
จากผลการตรวจสอบการสะท้อนแสงของใบทุเรียนพบว่าดัชนีสเปกตรัมที่น่าสนใจในการศึกษาเพื่อตรวจสอบการขาดน้ำในทุเรียนมี 2 ดัชนี ได้แก่ ดัชนี Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) และดัชนี Normalized Difference Red-edge Index (NDRE) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ตารางแสดงดัชนีสเปกตรัมที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัย

ดัชนีสเปกตรัม	ชื่อย่อ	สูตรในการคำนวณ	แหล่งอ้างอิง
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$\frac{(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED})}$	Rouse *et al.*, 1974
Normalized Difference Red-edge Index	NDRE	$\frac{(R_{790} - R_{720})}{(R_{790} + R_{720})}$	Barnes *et al.*, 2000

R = ค่าการสะท้อนแสงโดยมีหน่วยเป็นนาโนเมตร (nm)

ผลการทดลองพบว่าดัชนี NDVI และดัชนี NDRE ของทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำเริ่มลดต่ำกว่าชุดควบคุมในวันที่ 6 หลังงดน้ำ จากนั้นเมื่อขาดน้ำตั้งแต่ 8 วันขึ้นไปดัชนี NDVI และดัชนี NDRE ของทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยช่วงแรกค่าดัชนีสเปกตรัมลดลงอย่างช้า ๆ และมีแนวโน้มจะลดลงเมื่อระยะเวลาการขาดน้ำเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงดัชนี Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (ก) และดัชนี Normalized Difference Red-edge Index (NDRE) (ข) ของทรีตเมนต์ที่ได้รับน้ำปกติ (Control) และทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำ (Treatment) โดยแต่ละจุดแสดงถึงค่าเฉลี่ยและแถบแนวตั้งแสดงถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย * คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ โดยวิธี t-test

สรุปและอภิปรายผล

หลังจากทำการทดลองโดยให้ทุเรียนขาดน้ำพบว่าทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำจะมีน้ำหนักกระถางที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยน้ำหนักกระถางของทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำในช่วงแรกพบว่าน้ำหนักกระถางลดลงอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 1) เนื่องจากมาจากปริมาณน้ำที่ได้รับมีปริมาณมากเกินกว่าที่ดินจะดูดซับน้ำไว้ได้ทำให้น้ำส่วนเกินไหลออกนอกกระถาง (อภินันท์, ม.ป.ป.) นอกจากนี้ดินในกระถางมีขั้นดินที่ตื้นกว่าพื้นดินปกติทำให้ความชื้นในดินในกระถางลดลงอย่างรวดเร็วมากขึ้น ในระยะเวลาต่อมาน้ำหนักกระถางจะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ เนื่องจากดินมีความสามารถในการดูดซับน้ำดูดซึม (capillary water) โดยมีน้ำส่วนที่พืชนำไปใช้ได้ (available moisture) ซึ่งพืชจะใช้น้ำในส่วนนี้ในการเจริญเติบโตและน้ำค่อย ๆ หมดลงจนกระทั่งถึงจุดที่เหลือน้ำที่ยึดเกาะรอบเม็ดดิน (hygroscopic water) โดยน้ำในส่วนนี้พืชไม่สามารถนำมาใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ (วิบูลย์, 2518) ทำให้น้ำหนักกระถางไม่ลดลงอย่างรวดเร็ว

ต้นทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่ทำการทดลองให้เกิดการขาดน้ำอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 21 วันพบว่าในทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำต้นทุเรียนมีการเปลี่ยนแปลงทางลักษณะทางสัณฐานวิทยา คือ จำนวนใบลดลงและขนาดของใบมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ภาพที่ 2) ซึ่งเกิดจากพืชมีการปรับตัวเมื่อขาดน้ำ โดยขั้นตอนแรกพืชจะลดประสิทธิภาพการใช้น้ำลงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาทำให้พืชสามารถทนต่อความแห้งแล้งได้ดียิ่งขึ้น (Farooqi *et al.*, 2020) โดยการเปลี่ยนแปลงเมื่อพืชเกิดการขาดน้ำเป็นระยะเวลานานขึ้นพืชที่มีใบจะมีการทิ้งใบเพื่อเก็บรักษาน้ำไว้ (พูนพิภพ, 2554) นอกจากนี้ในทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำยังพบอาการใบเหลืองแสดงให้เห็นว่าทุเรียนซึ่งเป็นไม้ผลที่ไม่ทนทานต่อการขาดน้ำ น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโต หากต้นทุเรียนขาดแคลนน้ำเป็นระยะเวลานานอาจจะส่งผลให้ทุเรียนยืนต้นตายได้ (หิรัญ และคณะ, 2541)

การลดลงของค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิมีความสอดคล้องกับผลการเปลี่ยนแปลงของค่านำไหลปากใบ (ภาพที่ 3ก และ 3ข) โดยค่านำไหลปากใบเป็นค่าที่สะท้อนถึงการเปิดปิดของปากใบ หากค่านำไหลปากใบมีค่าสูงแสดงว่าปากใบเปิดกว้างมาก (Thruppoyil and Ksiksi, 2020) แสดงให้เห็นว่าพืชมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาโดยการปิดของปากใบเพื่อช่วยให้พืชลดการคายน้ำ ทำให้พืชใช้น้ำน้อยลงจึงสามารถทนต่อสภาวะที่ขาดน้ำได้ดียิ่งขึ้น แต่ในขณะเดียวกันการปิดปากใบจะส่งผลให้พืชดูดซึมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้ลดลง ซึ่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จัดเป็นสารตั้งต้นที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงทำให้พืชสังเคราะห์ด้วยแสงได้ลดลงส่งผลต่อการเจริญเติบโต และส่งผลให้ผลผลิตลดลงได้ (Ribera-Fonseca *et al.*, 2019) สำหรับการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเขียวของใบ ทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำมีดัชนีความเขียวของใบลดลง (ภาพที่ 3ค) แสดงให้เห็นว่าใบของทุเรียนที่ขาดน้ำมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ลดน้อยลง โดยดัชนีความเขียวของใบที่วัดได้

จากเครื่อง Chlorophyll Meter SPAD-502 (Minolta, Japan) นี้มีค่าแปรผันตรงกับปริมาณคลอโรฟิลล์ภายในใบ (Limantara *et al.*, 2015) อย่างไรก็ตามค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุดของระบบแสงสอง (F_v/F_m) ซึ่งสะท้อนถึงการเกิดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ โดยบ่งบอกถึงค่าสัดส่วนของพลังงานแสงที่พืชดูดซับไว้ใช้ในกระบวนการการสังเคราะห์ด้วยแสง พืชที่เกิดความเครียดจะมีค่า F_v/F_m ต่ำเนื่องจากเกิดการเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ สำหรับพืชที่ไม่ได้รับความเครียดจะมีค่า F_v/F_m ประมาณ 0.80 (Björkman and Demmig, 1987) จากการทดลองพบว่าทรีตเมนต์ที่ขาดน้ำมีค่า F_v/F_m ที่ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (ภาพที่ 3ง) แสดงให้เห็นว่าค่า F_v/F_m ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าต้นทุเรียนในการทดลองครั้งนี้เกิดความเครียดจากการขาดน้ำ

ต้นทุเรียนที่ขาดน้ำมีการเปลี่ยนแปลงของค่าการสะท้อนแสงของใบแตกต่างจากชุดควบคุม (ภาพที่ 4) พืชที่เกิดความเครียดจากการขาดน้ำจะสะท้อนช่วงแสงสีแดงได้มากกว่าพืชปกติเพราะคลอโรฟิลล์ภายในใบที่ขาดน้ำมีจำนวนลดลง โดยคุณสมบัติสำคัญของคลอโรฟิลล์คือการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร (Gitelson, Chivkunova, Zhigalova, & Solovchenko, 2017) สำหรับการนำการสะท้อนแสงอินฟราเรดย่านใกล้มาใช้ในการหาค่าดัชนีสเปกตรัมเนื่องจากปริมาณสปองจีมีโซฟิลล์ (spongy mesophyll)ในใบ มีความคุณสมบัติในการการสะท้อนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ ในพืชที่ได้รับความเครียดจากการขาดน้ำจะมีโพรงอากาศในช่องสปองจีมีโซฟิลล์มากขึ้น แต่มีปริมาณน้ำในเซลล์สปองจีมีโซฟิลล์น้อยลง จึงส่งผลต่อความสามารถในการสะท้อนแสงอินฟราเรดย่านใกล้ (Ribera-Fonseca *et al.*, 2019) จากผลการทดลองจึงทำให้ดัชนี NDVI และ ดัชนี NDRE ซึ่งคำนวณจากการสะท้อนแสงของใบในช่วงคลื่นอินฟราเรดย่านใกล้และช่วงคลื่นขอบแดง ตามลำดับ (ตารางที่ 1) สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบการขาดน้ำในทุเรียนได้ โดยดัชนี NDVI และดัชนี NDRE ของทรีตเมต์ที่ขาดน้ำจะลดต่ำกว่าชุดควบคุม (ภาพที่ 5) ทั้งสองดัชนีสเปกตรัมนี้จึงเหมาะสมในการใช้ตรวจสอบการขาดน้ำในของทุเรียนในสภาพกระถาง โดยมีข้อดีคือเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว และเป็นวิธีที่ไม่จำเป็นต้องทำลายตัวอย่าง

ข้อเสนอแนะ

การหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าพารามิเตอร์ทางสรีรวิทยากับดัชนีสเปกตรัมเพื่อศึกษาว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันหรือไม่และการนำข้อมูลที่ได้ไปทดลองในการปลูกทุเรียนระดับแปลงเพื่อบริหารจัดการน้ำได้เพียงพอและสร้างผลผลิตที่มีคุณภาพ

เอกสารอ้างอิง

Björkman, O., & Demmig, B. (1987). **Photon yield of O_2 evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins.** *Planta, 170*(4), 489-504. doi:10.1007/BF00402983

Farooqi, Z. U. R., Ayub, M. A., Zia ur Rehman, M., Sohail, M. I., Usman, M., Khalid, H., & Naz, K. (2020). **Regulation of drought stress in plants.** In *Plant Life Under Changing Environment* (pp. 77-104).

Humboldt state university (2019). **Spectral reflectance.** แหล่งที่มา: http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson2-1/reflectance.htm, 20 พฤษภาคม 2564.

Gitelson, A., Chivkunova, O., Zhigalova, T., & Solovchenko, A. (2017). **In situ optical properties of foliar flavonoids: Implication for non-destructive estimation of flavonoid content.** *J Plant Physiol, 218*, 258-264. doi:10.1016/j.jplph.2017.08.009

Ihuoma, S. O., & Madramootoo, C. A. (2019). **Sensitivity of spectral vegetation indices for monitoring water stress in tomato plants.** *Computers and Electronics in Agriculture, 163*, 104860. doi:https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104860

Limantara, L., Dettling, M., Indrawati, R., Indriatmoko, & Brotosudarmo, T. H. P. (2015). **Analysis on the Chlorophyll Content of Commercial Green Leafy Vegetables.** *Procedia Chemistry, 14*, 225-231. doi:https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.03.032

Photon Systems Instruments (2018). **Polypen RP400 & RP410 Manual and User Guide.** แหล่งที่มา: https://handheld.psi.cz/documents/PolyPen%20RP400_RP410_Manual_04_2021.pdf, 20 พฤษภาคม 2564.

Ribera-Fonseca, A., Jorquera-Fontena, E., Castro, M., Acevedo, P., Parra, J. C., & Reyes-Diaz, M. (2019). **Exploring VIS/NIR reflectance indices for the estimation of water status in highbush blueberry plants grown under full and deficit irrigation.** *Scientia Horticulturae, 256*, 108557. doi:https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108557

Shafiq, I., Hussain, S., Raza, M. A., Iqbal, N., Asghar, M. A., Raza, A., Yang, F. (2021). **Crop photosynthetic response to light quality and light intensity.** *Journal of Integrative Agriculture, 20*(1), 4-23. doi:https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63227-0

Thruppoyil, S. B., & Ksiksi, T. (2020). **Time-dependent stomatal conductance and growth responses of Tabernaemontana divaricata to short-term elevated CO2 and water stress at higher than optimal growing temperature.** *Current Plant Biology, 22*, 100127. doi:https://doi.org/10.1016/j.cpb.2019.100127

ปัญจพร เลิศรัตน์, เบญจมาส รัตนชินกร, สุชาติ วิจิตรานนท์, ศรุต สุทธิอารมณ์, สมทรง ปวีณการ์, หิรัญ หิรัญประดิษฐ์, สุขวัฒน์ จันทรปรรณิก, เสริมสุข สลักเพ็ชร์. (2547). **ทุเรียน: เอกสารวิชาการลำดับที่ 13/2547.** (โครงการหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ด้านการเกษตรเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว). กรมวิชาการเกษตร. แหล่งที่มา: http://ebook.lib.ku.ac.th/item/2/2011-004-0075, 30 เมษายน 2563.

พูนพิภพ เกษมทรัพย์. (2554). **ชีววิทยา 2 สรีรวิทยาของพืช.** โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษาในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยานิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์. พิมพ์ ครั้งที่ 5 (ปรับปรุงใหม่). บริษัทด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด. 440 หน้า.

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. (2518). **หลักการชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน.** ห.จ.ก.โรงพิมพ์เอเชีย, กรุงเทพมหานคร. 274 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562). **ข้อมูลการผลิตสินค้าสินค้าเกษตรของทุเรียน.** แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th, 6 พฤษภาคม 2564.

หิรัญ หิรัญประดิษฐ์, สุขวัฒน์ จันทรปรรณิก และเสริมสุข สลักเพ็ชร์. (2541). **เทคโนโลยีการผลิตทุเรียน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 190 หน้า.

อภินันท์ กำนัลรัตน์, ธีระ เอกสมทราเมษฐ์, ประวิตร โสภโณดร, วิจิตต์ วรรณชิต, รังสรรค์ อาภาคัพภะกุล, จำเริญ ยืนยงสวัสดิ์ วิษณุ สมทรัพย์, วัชรินทร์ ชุ้นสุวรรณ. (ม.ป.ป.). **เอกสารคำสอนวิชาลักการกสิกรรม.** แหล่งที่มา: http://natres.psu.ac.th/Department/plantscience/510-111web/Book%20outline.htm, 4 พฤษภาคม 2564.