การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและผลผลิตของการปลูกอ้อย ด้วยรูปแบบการให้น้ำในวิธีที่แตกต่าง

Enhancing water use efficiency and yield production of sugarcane cultivation using different irrigation techniques

ชวนันท์ มาลี[1] กัมปนาท ภักดีกุล[2] ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์[3] บุญลือ คะเชนทร์ชาติ[4]

บทคัดย่อ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตในการปลูกอ้อย พื้นที่ปลูกอ้อยที่ใช้น้ำฝนเพื่อการเจริญเติบโตเพียงอย่างเดียวจึงไม่เพียงพอกับความต้องการใช้น้ำเพื่อการคายระเหย ดังนั้นเกษตรกรจึงให้น้ำเสริม แต่เนื่องจากน้ำต้นทุนของเกษตรกรมีจำกัดจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการให้น้ำที่ประหยัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและลดต้นทุน

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 โดยวิธีการให้น้ำแตกต่างที่กัน 3 วิธี ได้แก่1) การจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลงที่ 50% จากปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (50%MAD) 2) การรักษาระดับความชื้นในดินให้น้ำเต็มความจุความชื้นสนาม (100%FC) และ 3) 50%MAD ร่วมกับวิธีให้น้ำในขอบเขตรากบางส่วน (50%MAD+PRD) ตรวจวัดค่าการคายระเหยด้วยวิธีถังวัดการใช้น้ำแบบชั่งน้ำหนัก วัดผลผลิตด้วยวิธีเก็บเกี่ยวและวิเคราะห์คุณภาพน้ำตาล และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยน้ำความชื้นในดิน และลักษณะสรีรวิทยาของอ้อย ได้แก่ ดัชนีพื้นที่ใบ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง และดัชนีความเครียดด้านน้ำของพืช

ผลการศึกษา พบว่า วิธีการให้น้ำ 50%MAD, 100%FC และ 50%MAD+PRD อ้อยคายระเหยน้ำรวม 736.0, 924.8 และ 731.6 มิลลิเมตร และให้น้ำชลประทานเสริม 127.4, 181.6 และ 95.17 มิลลิเมตร ตามลำดับ แม้ว่าการให้น้ำวิธี 50%MAD และ 50%MAD+PRD จะให้ผลผลิตอ้อยต่ำกว่า 10.7% และ 18.0% แต่ให้คุณภาพความหวาน ซี.ซี.เอส. สูงกว่า เมื่อปรียบเทียบกับวิธีการให้น้ำ 100%FC ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้น้ำจาก

[1] นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
อีเมล์ Chawanan029@gmail.com

[2] รองศาสตราจารย์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
อีเมล์ kampanad.bha@mahidol.ac.th

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการจัดการภัยพิบัติ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี
อีเมล์ yutthana.pha@mahidol.ac.th

[4] อาจารย์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
อีเมล์ boonlue.kac@mahidol.ac.th

สัดส่วนระหว่างผลผลิตซี.ซี.เอส.ต่อน้ำชลประทานพบว่า วิธีการให้น้ำ 50%MAD และ 50%MAD+PRD มีค่า 9.6 และ 10.2 กิโลกรัมต่อลูกบากศ์เมตรซึ่งสูงกว่า 84.6% และ 96.1% และให้ผลตอบแทนต่อต้นทุนในการปลูกอ้อยสูงกว่า 9.0 % และ 0.3 % เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการให้น้ำ 100%FC ตามลำดับ โดยค่าการคายระเหยน้ำของอ้อยและความชื้นในดินผกผันกับดัชนีความเครียดด้านน้ำของพืช

การประยุกต์วิธีการให้น้ำอ้อยโดยการยอมให้ความชื้นในดินพร่องลงร่วมกับวิธีการให้น้ำในขอบเขตรากบางส่วนเป็นวิธีที่มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงนิเวศด้านการใช้ทรัพยากรน้ำในการปลูกอ้อยแลคุณภาพของอ้อยโดยให้ผลตอบแทนต่อต้นทุนที่คุ้มค่าจึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งที่มีปริมาณน้ำต้นทุนจำกัด

คำสำคัญ: อ้อย, การให้น้ำแบบขอบเขตรากบางส่วน, การจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง, การคายระเหยน้ำ ผลผลิตน้ำ

Abstract

Water is an important factor for increasing sugarcane yield. Sugarcane plantations using only rainfall for sugarcane growth have insufficient water to meet the crop water requirement for evapotranspiration. Thus, the farmers must provide additional irrigation. However, due to the limited of water supply, it is necessary to develop water-saving irrigation methods to enhance water use efficiency

The objective of this research was to investigate the water use efficiency of Khon Kaen 3 sugarcane cultivar by 3 different irrigation methods, which included 1) management allowed depletion (MAD) at 50% from readily available water (RAW) (50%MAD) 2) maintaining soil moisture content at 100% field capacity. (100%FC). and 3) integrated of 50%MAD with partial root-zone drying (PRD) irrigation methods (50%MAD+PRD). The actual evapotranspiration (ET_a) was measured by a weighing lysimeter method. Sugarcane yield was determined by harvesting method and sugar quality analysis. The relationships between evapotranspiration, soil moisture, and sugarcane physiology including leaf area index, photosynthetic efficiency and crop water stress index were determined.

The results showed that 50%MAD, 50%MAD+PRD and 100%FC irrigation methods had total evapotranspiration of 736.0, 924.8 and 731.6 mm, and used additional water irrigation of 127.4, 181.6 9 and 95.17 mm, respectively. Although, the sugarcane yields from the 50% MAD and 50%MAD+PRD were 10.7% and 18% lower, but the C.C.S. sweetness qualities were higher when compared with 100%FC, respectively. When the water use efficiency was determined as a proportion of C.C.S yield per amount of crop water use from rainfall plus irrigation, it was found that the water use efficiencies of 50%MAD and 50%MAD+PRD were 9.6 and 10.2 kg m^{-3}, which were

84.6% และ 96.1% higher than that of 100%FC and had the higher benefit/cost ratios of 9.0% and 0.3%, respectively. The sugarcane evapotranspiration and soil moisture values were inversed to the crop water stress index.

The application of sugarcane irrigation by integrated MAD with PDR is a potential method to increase the ecoefficiency of sugarcane cultivation and sugarcane quality, which provides reasonable benefit/cost ratio. It is thus appropriate to use in drought risk area with limited water supply.

Keywords: Sugarcane (*Saccharum officinarum L*), Partial root zone drying, Management allowed depletion, Evapotranspiration, Water pproductivity

ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจมีบทบาทที่สำคัญต่อความมั่นคงทางอาหารและพลังงานชีวมวล ในปี 2563-2564 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอ้อยรวม 10.86 ล้านไร่ ผลิตอ้อยได้ 66.5 ล้านตัน (คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2564) และเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลอันดับสามของโลก (USDA, 2021) พื้นที่ปลูกอ้อยประมาณร้อยละ 80 อยู่นอกเขตชลประทาน เกษตรกรใช้น้ำฝนเป็นแหล่งน้ำต้นทุนหลักในการเพาะปลูก ประกอบกับความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลให้ปริมาณและการกระจายตัวของฝนไม่แน่นอน อ้อยประสบกับภาวะขาดน้ำจากฝนทิ้งช่วง (กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ และคณะ, 2555) เมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ปลูกอ้อยของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2562 มีปริมาณฝนน้อยกว่าค่าเฉลี่ยส่งผลให้ผลผลิตอ้อยตันต่อไร่และผลผลิตน้ำตาลลดลง (คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2562) ดังนั้นการพัฒนาวิธีการกำหนดเวลาและปริมาณการให้น้ำอ้อยจะช่วยประหยัดน้ำและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Kang et al., 2000)

การให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ โดยให้น้ำอ้อยตามความต้องการใช้น้ำเพื่อการคายระเหยจากผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop coefficient; K_c) กับค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential evapotranspiration, ET_o) หรือ การรักษาระดับความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเต็มความจุความชื้นสนาม (Field capacity; FC) ซึ่งเป็นวิธีการให้น้ำตามปริมาณที่พืชคายระเหยได้เต็มที่โดยที่ไม่ก่อให้เกิดความเครียดด้านน้ำ ในทางปฏิบัติไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องในสภาพพื้นที่ปลูกอ้อยที่มีน้ำต้นทุนไม่เพียงพอและมีต้นทุนการให้น้ำสูง อีกทั้งการใช้น้ำของพืชตามระยะการเจริญเติบโตของพืชมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาของพืชแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าการรักษาความชื้นที่ระดับ ให้เต็มความจุความชื้นสนามจึงเป็นการให้น้ำพืชที่เกินความจำเป็น เนื่องจากพืชมีความสามารถในดึงความชื้นจากดินได้แม้ว่ามีความเครียดของน้ำในดิน (Soil Water Tension) ลดลงใกล้จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point; PWP) ที่ -15 บรรยากาศ (Ouda & Noreldin, 2020) ดังนั้นการควบคุมความชื้นในเขตรากพืชให้อยู่ในช่วง FC ถึง PWP เพื่อให้อยู่ในช่วงความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยกำหนดเวลาการให้น้ำเมื่อความชื้นในดินลดลงก่อนถึง PWP โดยพิจารณาความสามารถในการทนแล้งของพืช ความเสี่ยงของผลผลิตที่จะลดลงจากความเครียดด้านน้ำของพืชและสภาพภูมิอากาศ จึงเป็นวิธีการให้น้ำที่ประหยัด โดยทั่วไปจะยอมให้ความชื้นในดิน

ลดลง 50-75% ของความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Total Available Water; TAW) (Allan et al., 1998) เรียกว่า วิธีการจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลง (Management Allowed Depletion; MAD) (Padhiary et al., 2020)

นอกจากนี้วิธีให้น้ำในขอบเขตรากบางส่วน (Partial Root-Zone Drying; PRD) เป็นการให้น้ำเพียงครึ่งหนึ่งของขอบเขตรากทั้งหมดและปล่อยให้พื้นที่รากอีกครึ่งหนึ่งของต้นพืชแห้งแล้วจึงทำการสลับข้างการให้น้ำเป็นอีกข้างที่แห้งในการให้น้ำครั้งต่อไป จะเป็นกระตุ้นการสังเคราะห์กรดแอบไซสิก (Abscisic acid; ABA) ในรากที่แห้งและจะถูกส่งไปยังยอดและใบ ทำให้ปากใบของพืชปิด ซึ่งช่วยลดการลำเลียงน้ำในท่อลำเลียงน้ำ (Xylem) ของพืชและลดการคายน้ำของปากใบเพื่อรักษาศักย์ของน้ำในใบ (Iqbal, et al., 2020) นับเป็นวิธีการให้น้ำที่ประหยัดและเหมาะสม โดยเฉพาะในช่วงแล้ง ฝนทิ้งช่วง หรือเกษตรกรมีน้ำต้นทุนจำกัด ซึ่งเป็นการเพิ่มศักยภาพของการใช้น้ำให้เพียงพอตลอดช่วงที่พืชประสบกับการขาดน้ำ (ปรีชา กาเพ็ชร และคณะ, 2559) อีกทั้ง PRD มีประสิทธิภาพประหยัดน้ำในระบบการให้น้ำตามร่องได้ถึง 26% เมื่อเทียบกับการให้น้ำแบบเต็มความต้องการใช้น้ำของพืช และให้ผลผลิตของอ้อยสูงขึ้น 10% (Sepaskhah & Ahmadi, 2010) นอกจากนี้วิธีการให้น้ำแบบ PRD สามารถลดการใช้น้ำได้มากกว่าการให้น้ำแบบผิวดินปกติ โดยผลผลิตลดลง แต่ผลผลิตมีคุณภาพดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มการดูดซึมธาตุอาหาร และเพิ่มน้ำหนักราก (Sonawane et al., 2022)

การศึกษาการให้น้ำด้วยวิธี PDR ในอ้อยอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ (Iqbal et al., 2020) แต่ยังไม่มีการศึกษาในประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความผันแปรของประสิทธิภาพการใช้น้ำในการผลิตอ้อย ภายใต้สมมุติฐานที่ว่ารูปแบบการให้น้ำที่แตกต่างกัน ระหว่างการรักษาระดับความชื้นในดินให้น้ำเต็มความจุความชื้นสนาม การจัดการความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดินที่ยอมให้พร่องลง และวิธีให้น้ำในขอบเขตรากบางส่วน มีผลต่อความเครียดด้านน้ำของอ้อยและจะส่งผลให้ผลผลิตและประสิทธิภาพการใช้น้ำของอ้อยแตกต่างกัน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาการค่าคายระเหยน้ำจากวิธีการให้น้ำอ้อยที่แตกต่างกัน
2. ประสิทธิภาพการใช้น้ำของการผลิตอ้อยในเชิงทรัพยากรและเศรษฐศาสตร์จากวิธีการให้น้ำอ้อยที่แตกต่างกัน
3. การตอบสนองทางสรีรวิทยาของอ้อยจากวิธีการให้น้ำอ้อยด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในระดับไร่นา ฤดูกาลผลิต 2564/2565 ณ แปลงทดลองของบริษัทเกษตรไทย อินเตอร์เนชั่นแนล ชูการ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) สาขา 3 ตำบลหัวดง อำเภอเก้าเลี้ยว จังหวัดนครสวรรค์ คุณสมบัติของดินเป็นดินร่วนปนทราย ระดับความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ที่ FC– PWP คือ 22%V/V สภาพดินเป็นกรดอ่อน pH 6.15 ความอุดมสมบูรณ์ของดินปานกลาง ความหนาแน่นของดิน 1.56±0.02 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ปลูกอ้อยพันธุ์ขอนแก่น ในถังวัดการใช้น้ำ โดยกำหนดกรรมวิธีการทดลองตามวิธีการให้น้ำ ประกอบด้วย 1) การจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลงที่ 50% จากปริมาณความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (50%MAD) 2) การรักษาระดับความชื้นในดินให้น้ำเต็มความจุความชื้นสนาม (100%FC) และ 3) 50%MAD ร่วมกับวิธีให้น้ำในขอบเขตรากบางส่วน (50%MAD+PRD) ในแต่ละกรรมวิธีการทดลองทำการตรวจวัดค่าความชื้นในดินแบบอัตโนมัติคาบ 5 นาที ที่ระดับความลึกรากอ้อย 30 เซนติเมตร เพื่อกำหนดเวลาและปริมาณการให้น้ำอ้อยแบบอัตโนมัติ (รูปที่ 1ง) โดย 50%MAD ควบคุมความชื้นไม่ให้ลดลงเกิน 50%MAD หรือ 16%v/v จะเริ่มให้น้ำจนความชื้นในดินมีค่าเท่ากับ FC สำหรับ 100%FC ควบคุมความชื้นให้อยู่ที่ 22 %v/v โดยยอมให้ความชื้นลดลงไม่เกิน 75%FC หรือ 19%V/V และ 50%MAD+PRD ควบคุมความชื้นไม่ให้ลดลงเกิน 50%MAD แต่ในการให้น้ำจะทำด้วยหลักการ PRD คือให้น้ำเพียงครึ่งหนึ่งของขอบเขตรากทั้งหมดและปล่อยให้พื้นที่รากอีกครึ่งหนึ่งของต้นพืชแห้ง แล้วจึงทำการสลับข้างการให้น้ำอีกข้างที่แห้งในครั้งถัดไป

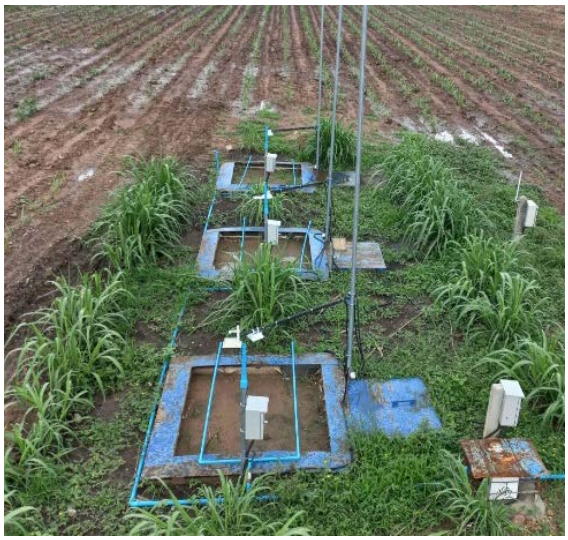
วัดค่าการคายระเหยน้ำด้วยวิธีถังวัดการใช้น้ำแบบชั่งน้ำหนัก (Weighting lysimeter) โดยการการออกแบบและจัดสร้างตามระบบต้นแบบของ Jia et al. (2006) และ da Silva et al. (2013) มีขนาดกว้าง 1.52 เมตร ยาว 1.52 เมตร และ ลึก 1.35 เมตร จำนวน 3 ถัง (รูปที่ 1ก) ระบบการวัดค่าการคายระเหยน้ำ เป็นการประยุกต์ระบบอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เพื่อตรวจวัดน้ำหนักจาก Loadcell ติดตามค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของถังทุก ๆ 5 นาที บันทึกข้อข้อมูลอัตโนมัติ (Datalogger) และส่งข้อมูลผ่านระบบการสื่อสาร 4G จัดเก็บข้อมูลบนเครื่องบริการฐานข้อมูล (Database server) ประมวลผลด้วยโปรแกรมประยุกต์ Web application (รูปที่ 1ข) คำนวณค่าการคายระเหยน้ำที่แท้จริง (ET_a) ในหน่วย มม. ด้วยสมการ $ET_a = P + I - SW \pm \Delta w$ เมื่อ P คือ ปริมาณน้ำฝน (มม.), I คือ ปริมาณน้ำชลประทาน (มม.), SW คือ การซึมลึกของน้ำพ้นเขตรากพืช (มม.) และ Δw คือ การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักน้ำภายในถังในรอบ 24 ชั่วโมง (มม.) (Zeleke & Wade, 2012)

การวัดผลผลิตอ้อยใช้วิธีตัดฟันและชั่งน้ำหนักสดและการวิเคราะห์คุณภาพผลผลิต ได้แก่ ร้อยละของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%Brix) ร้อยละของน้ำตาลซูโครส (%Pol) ร้อยละปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ (%Fiber) ความบริสุทธิ์ (Purity) และ ร้อยละความหวานอ้อย (C.C.S.)

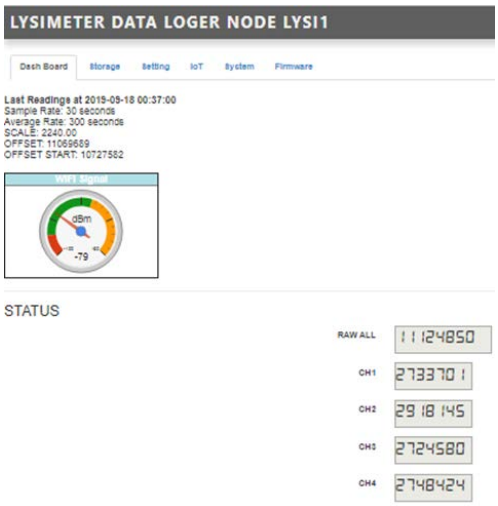
ค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำเชิงทรัพยากรน้ำและเศรษฐศาสตร์ (Water use efficiency, WUE และ Economic water use efficiency, eWUE) คำนวณจากสมการ WUE = ผลผลิต/การคายระเหย, WUE = ผลผลิต/ปริมาณการใช้น้ำซึ่งเป็นผลรวมของน้ำฝนและน้ำชลประทาน (Chai et al., 2014), eWUE = รายได้สุทธิ/ ปริมาณการใช้น้ำซึ่งเป็นผลรวมของน้ำฝนและน้ำชลประทาน, eWUE = รายได้สุทธิ/ต้นทุนสุทธิ (Ndeketeya, 2012)

การศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของอ้อยที่มีต่อการคายระเหยน้ำอันเป็นผลมาจากวิธีการให้น้ำที่แตกต่างกัน ได้แก่ ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf area index; LAI) ใช้เครื่องมือวัดดัชนีพื้นที่ใบ (Plant canopy analyzer) ยี่ห้อ Li-Cor รุ่น LAI-2000 ค่าประสิทธิภาพของการใช้แสง (Maximum quantum efficiency of PSII photochemistry; Fv/Fm) วัดด้วยเครื่อง Chlorophyll fluorometer ยี่ห้อ Hansatech รุ่น Handy PEA+ และดัชนีความเครียดด้านน้ำของพืช (Crop water stress index; CWSI) คำนวณจากสมการ $T_c - T_{wet} / T_{dry} - T_{wet}$ (Jones, 1999) โดยใช้กล้องอินฟาเรด (Infrared thermometry) วัดอุณหภูมิใบอ้อยใน Lysimeter (Canopy Temperature; T_c) สำหรับ

อุณหภูมิใบของอ้อยที่ไม่มีการคายน้ำ (T_{dry}) และ อุณหภูมิใบของอ้อยที่คายน้ำเต็มศักยภาพ (T_{wet}) วัดโดยวิธี Artificial reference surfaces (ARS) ตามวิธีการของ Apolo et al. (2020) (รูปที่ 1ค)

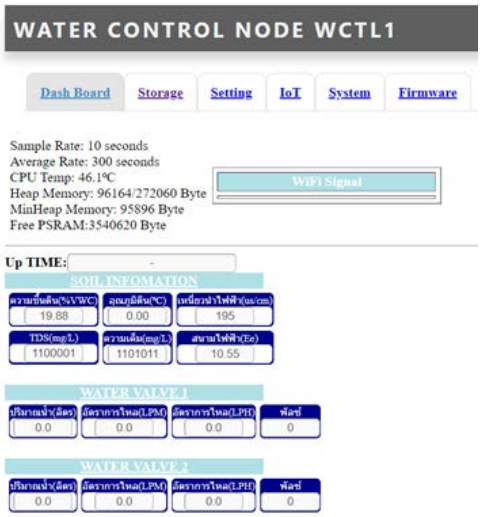


(1ก)



(1ข)

(1ค)



(1ง)

รูปที่ 1 ถังวัดการใช้น้ำแบบชั่งน้ำหนัก (1ก), ระบบบันทึกน้ำหนักของถังวัดการใช้น้ำราย 5 นาที (1ข), ระบบบันทึกอุณหภูมิราย 5 นาทีจากกล้องอินฟาเรดวัดอุณหภูมิใบอ้อย (1ค), ระบบบันทึกความชื้นในดินราย 5 นาทีที่ความลึก 30 เซนติเมตรและระบบความคุมการให้น้ำผ่านระบบ IoT (1ง)

ผลการวิจัย

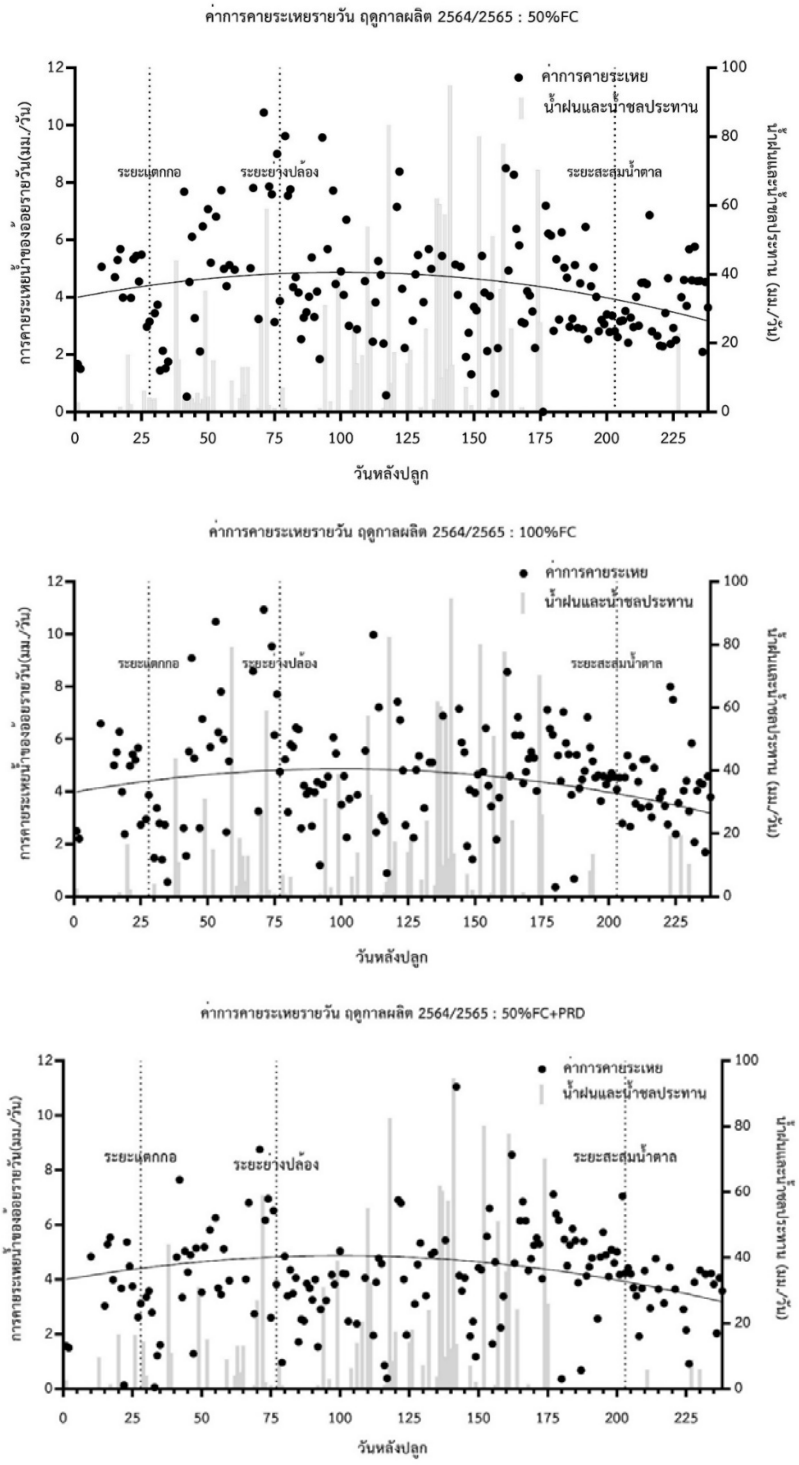
การศึกษาค่าการคายระเหย

ค่าการคายระเหยน้ำของอ้อย ตามระยะการเจริญเติบโต 4 ระยะ ได้แก่ ระยะตั้งตัว แตกกอ ย่างปล้อง และสะสมน้ำตาล ที่ 0-27 DAT 28-76 DAT 7-202 DAT และ 203-238 DAT พบว่าการคายระเหยน้ำเฉลี่ยรายวันของกรรมวิธี 50%MAD, 100%FC และ 50%MAD+PRD ที่ 4.4±2.0, 5.0±2.7 และ 4.1±1.7 มิลลิเมตรต่อวัน มีค่าแตกต่างกัน ($P<0.05$) ตามลำดับ รวมค่าการใช้น้ำของอ้อยเพื่อการคายระเหยน้ำรวม 750.1, 878.6 และ 661.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และ รูปที่ 2) ในระหว่างการทดลองอ้อยได้รับน้ำจากน้ำฝน 1,307 มิลลิเมตร และให้น้ำเสริม 127.4, 181.6 และ 95.17 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่าการคายระเหยน้ำด้วยวิธี Weighting lysimeter ฤดูกาลผลิต 2564/2565

ฤดูกาลผลิต	50%MAD		100%FC		50%MAD+PRD	
2564/2565	เฉลี่ย	รวม	เฉลี่ย	รวม	เฉลี่ย	รวม
ตลอดฤดูกาลผลิต	4.4±2.0^{A}	750.1	5.0±2.7^{B}	878.6	4.1±1.7^{A}	661.1
ตั้งตัว	4.3±1.4	55.7	4.4±1.5	61.4	3.5±1.7	45.8
แตกกอ	4.9±2.5^{AB}	148.2	6.6±4.4^{B}	211.7	4.3±2^{A}	133.7
ย่างปล้อง	4.4±2.1	421.2	4.9±2.3	465.6	4.2±1.8	393
สะสมน้ำตาล	3.7±1.1	125	4.1±1.3	139.8	3.5±0.9	88.5
น้ำฝน		1,307		1,307		1,307
น้ำชลประทาน		127.4		181.6		95.17
ให้น้ำรวม		1,435		1,489		1,402

หมายเหตุ: ตัวอักษรยกกำลังในแต่ละระยะการเจริญเติบโต หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)



รูปที่ 2 ความผันแปรของค่าการคายระเหยน้ำรายวันจากการให้น้ำทั้ง 3 วิธีด้วยวิธีการ Weighting lysimeter จำนวน 238 วัน ฤดูกาลผลิต 2564/65

ผลผลิตและคุณภาพผลผลิตอ้อย

ผลผลิตอ้อยสดของวิธีการให้น้ำ 100%FC มีค่า 13.89 ตันต่อไร่ ซึ่งมากกว่าวิธีการให้น้ำ 50%MAD และ 50%MAD+PRD ร้อยละ 10.71 และ 17.97 เมื่อพิจารณาคุณภาพผลผลิตน้ำตาล 100%FC ผลิตได้ 1.5 ตันซี.ซี.เอส. ต่อไร่ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแปลงอ้อยที่ยอมให้พืชขาดน้ำ 50%MAD และ 50%MAD+PRD โดยมีผลผลิตน้ำตาลสูงกว่าร้อยละ 31.09 และ 3.64 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลผลิตและคุณภาพผลผลิตอ้อยจากการให้น้ำที่แตกต่างกัน 3 วิธี

กรรมวิธีทดลอง	50%MAD	100%FC	50%MAD+PRD
ผลผลิต (ตัน/ไร่)	12.40	13.89	11.39
ร้อยละของแข็งที่ละลายน้ำได้ (%Brix)	22.03	19.22	20.60
ร้อยละน้ำตาลซูโครส (%Pol)	20.23	15.07	17.80
ร้อยละของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ (%Fiber)	11.93	10.50	10.64
ความบริสุทธิ์ (Purity)	91.84	78.41	86.41
ร้อยละความหวานอ้อย (C.C.S.)	15.84	10.79	13.63
ผลผลิตน้ำตาล (ตัน C.C.S /ไร่)	1.96	1.50	1.55
ร้อยละผลผลิตเมื่อเปรียบเทียบ 100%FC	-10.71	0.00	-17.97
ร้อยละผลผลิตน้ำตาลเมื่อเปรียบเทียบ 100%FC	31.09	0.00	3.64

ประสิทธิภาพการใช้น้ำของการปลูกอ้อยเชิงทรัพยากรน้ำ

อ้อยที่ประสบกับภาวะขาดน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการปลูกอ้อยที่มีการให้น้ำอ้อยอย่างสม่ำเสมอ ในการทดลองที่เงื่อนไข 50%MAD 100%FC และ 50%MAD+PRD พบว่าในทุกๆการคายระเหยน้ำของอ้อย 1 ลูกบาศก์เมตรจะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 10.3, 9.9 และ 10.8 กิโลกรัม ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาคุณภาพผลผลิต พบว่าหากอ้อยประสบกับสภาวะขาดน้ำ โดยเฉพาะในช่วงระยะสะสมน้ำตาลจะส่งผลให้ค่าความหวานของผลผลิตเพิ่มมากขึ้น โดยในทุกการคายระเหย 1 ลูกบาศก์เมตร อ้อยจะมีผลผลิตน้ำตาลเพิ่มขึ้น 1.6, 1.1และ 1.5 กิโลกรัมซีซีเอส ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการใช้น้ำในเชิงทรัพยากรน้ำของการปลูกอ้อย ฤดูกาลผลิต 2564/2565

ประสิทธิภาพการใช้น้ำเชิงทรัพยากรน้ำ	50%MAD	100%FC	50%MAD +PRD
ค่าคายระเหยน้ำของอ้อย (ลบ.ม./ไร่)	1,200.2	1,405.8	1,057.8
น้ำฝน (ลบ.ม./ไร่)	2,091.2	2,091.2	2,091.2
น้ำชลประทาน (ลบ.ม./ไร่)	203.8	290.6	152.3
ผลรวมให้น้ำทั้งหมด (ลบ.ม./ไร่)	2,296.0	2,382.4	2,243.2
ผลผลิต/การคายระเหย (กก./ลบ.ม.)	10.3	9.9	10.8
ผลผลิต/การให้น้ำทั้งหมด (กก./ลบ.ม.)	5.4	5.8	5.1
ผลผลิต/น้ำฝน (กก./ลบ.ม.)	5.9	6.6	5.4
ผลผลิต/น้ำชลประทาน (กก./ลบ.ม.)	60.8	47.8	74.8
ผลผลิตซี.ซี.เอส/การคายระเหย (กก./ลบ.ม.)	1.6	1.1	1.5
ผลผลิตซี.ซี.เอส/การให้น้ำทั้งหมด (กก./ลบ.ม.)	0.9	0.6	0.7
ผลผลิตซี.ซี.เอส/น้ำฝน (กก./ลบ.ม.)	0.9	0.7	0.7
ผลผลิตซี.ซี.เอส./น้ำชลประทาน (กก./ลบ.ม.)	9.6	5.2	10.2

ประสิทธิภาพการใช้น้ำของการปลูกอ้อยเชิงเศรษฐศาสตร์

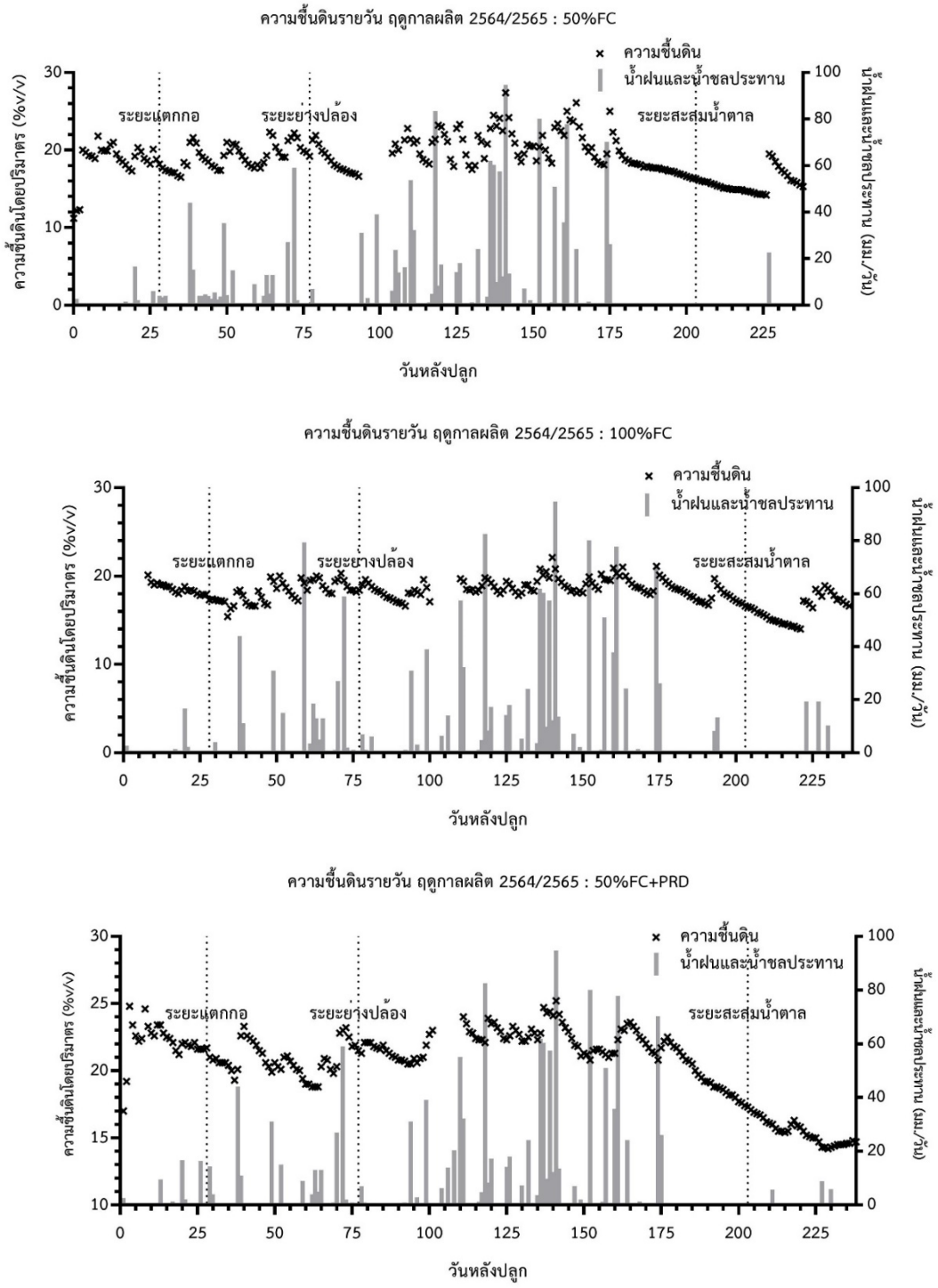
แม้ว่าการปลูกอ้อยที่ให้น้ำสม่ำเสมอจะให้ผลผลิตมากกว่า ในทางตรงกันข้ามอ้อยที่ยอมพร่องน้ำบางส่วนกลับให้ผลผลิตที่มีคุณภาพด้านความหวานมากกว่า เมื่อพิจารณาผลตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์ที่มีความเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจถึงความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยฤดูกาลผลิตปี 2564/2565 ราคาอ้อยขั้นต้นในอัตรา 1,070 บาท/ตันอ้อย ณ ระดับความหวานที่ 10 C.C.S. อัตราขึ้น/ลงของราคาอ้อยเท่ากับ 64.20 บาท ต่อ 1 หน่วย C.C.S. ผลตอบแทนการผลิตและจำหน่ายน้ำตาลทรายขั้นต้น 485.60 บาทต่อตันอ้อย (ราชกิจจานุเบกษา, 2565) และ ต้นทุนการปลูกอ้อย 9,713.61 บาทต่อไร่ (ศิลา จำเนียรสุข, 2562) ค่าสูบน้ำ 1.5 บาท ต่อ ลูกบาศก์เมตร ผลตอบแทนจากการให้น้ำเสริมต่อต้นทุน พบว่า การให้น้ำเสริมแบบพร่องน้ำบางส่วนจะให้ผลตอบแทนมากกว่าการให้น้ำสูงสุดแม้ว่าต้นทุนจะเพิ่มมากขึ้นจากค่าสูบน้ำ แต่ยังคงมีผลตอบแทนต่อต้นทุนใกล้เคียงกันกับการให้น้ำที่ทำให้พืชไม่มีความเครียด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการใช้น้ำในเชิงเศรษฐศาสตร์ของการปลูกอ้อย ฤดูกาลผลิต 2564/2565

ประสิทธิภาพการใช้น้ำเชิงเศรษฐศาสตร์	50%MAD	100%FC	50%MAD +PRD
เงินเพิ่มจาก C.C.S. มากกว่า 10 C.C.S. (บาท/C.C.S.)	374.9	50.7	233.0
เงินเพิ่มจากการผลิตและจำหน่ายน้ำตาลทรายขั้นต้น (บาท)	5,686.3	6,368.6	5,224.0
ผลตอบแทน/พื้นที่ (บาท/ไร่)	23,603.4	21,933.2	20,068.3
ผลตอบแทน/การคายระเหยน้ำ (บาท/ลบ.ม.)	19.7	15.7	19.0
ผลตอบแทน/การให้น้ำทั้งหมด (บาท/ลบ.ม.)	10.3	9.2	8.9
ผลตอบแทน/น้ำชลประทาน (บาท/ลบ.ม.)	115.8	75.5	131.8
ต้นทุนการปลูกอ้อย (บาท/ไร่)	9,713.6	9,713.6	9,031.3
ต้นทุนค่าสูบน้ำ (บาท/ไร่)	305.8	435.9	228.4
ต้นทุนทั้งหมด (บาท/ไร่)	10,019.4	10,149.5	9,259.7
B:C ratio (ผลตอบแทนสุทธิ/ต้นทุนสุทธิ)	2.4	2.2	2.2
B:C ratio (ผลตอบแทนเงินเพิ่มมากกว่า10 C.C.S./ ต้นทุนการให้น้ำ)	0.22	0.03	0.26

ความชื้นในดิน

ความผันแปรของความชื้นในดินตลอดระยะเวลาการปลูกอ้อยของแต่ละกรรมวิธีการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยพบว่าความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อให้น้ำ และลดลงตามลำดับ แต่ในระหว่างการทดลองในช่วง 130 วันแรกมีปริมาณน้ำฝนมาก จึงทำให้ความชื้นของการทดลองเงื่อนไข 50%MAD และ 50%MAD+PRD มีค่าที่สูงในช่วงระยะตั้งตัวถึงระยะย่างปล้องช่วงต้น



รูปที่ 3 ความผันแปรของปริมาณความชื้นในดินรายวันของแต่ละกรรมวิธีทดลอง

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของอ้อย

ลักษณะทางสรีรวิทยาของอ้อยที่ตอบสนองต่อปริมาณการคายระเหยน้ำจากการให้น้ำโดยวิธีที่แตกต่างกัน พบว่า ดัชนีพื้นที่ใบมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน (P>0.05) แต่พบว่า ค่าประสิทธิภาพการใช้แสง Fv/Fm มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันเฉพาะระยะตั้งตัวโดยที่ค่าเฉลี่ย Fv/Fm ของ 50%MAD+PRD มีค่าสูงกว่า 50%MADFC และ 100%FC (P<0.05) และยังพบว่าระยะย่างปล้อง ดัชนีความเครียดด้านน้ำของพืชที่ 50%MAD+PRD มีค่าสูงที่สุดที่ 0.6 ซึ่งอ้อยมีความเครียดมากกว่า 50%MAD และ 100%FC ร้อยละ 16.7 และ 50 ตามลำดับ (P<0.05) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าตรวจวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ตอบสนองต่อสรีรวิทยาของอ้อยในแต่ละระยะการเจริญเติบโต

ระยะการเจริญเติบโต	50%MAD			100%FC			50%MAD+PRD		
	CWSI	LAI	Fv/Fm	CWSI	LAI	Fv/Fm	CWSI	LAI	Fv/Fm
ตั้งตัว	0.0±0.0	0.9	0.7±0.01^{a}	0.2±0.0	1.1	0.6±0.03^{ac}	0.0±0.0	1.2	0.7±0.02^{b}
แตกกอ	0.4±0.0	1.8	0.7±0.05	0.2±0.1	1.1	0.7±0.06	0.6±0.3	1.5	0.7±0.04
ย่างปล้อง	0.4±0.2^{b}	3.6	0.7±0.05	0.1±0.1^{a}	3.7	0.7±0.64	0.5±0.2^{a}	3.6	0.7±0.06
สะสมน้ำตาล	0.8±0.1	3.6	0.7±0.04	0.6±0.3	3.7	0.7±0.04	0.8±0.2	3.6	0.7±0.09
เฉลี่ย	0.5±0.3	2.6±1.3	0.7±0.05	0.3±0.3	2.5±1.4	0.7±0.06	0.6±0.2	2.5±1.2	0.7±0.06

หมายเหตุ: ตัวอักษรยกกำลังในแต่ละระยะการเจริญเติบโต หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P<0.05)

สหสัมพันธ์ระหว่างการคายระเหยน้ำ ความชื้นในดิน และ การตอบสนองทางสรีรวิทยาของอ้อย

เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ด้วยวิธี Spearman correlation พบว่า การคายระเหยน้ำของอ้อยมีความผกผันกับดัชนีความเครียดด้านน้ำของพืช (R=-0.145, P>0.05) และแปรผันตามความชื้นในดิน (R=0.012, P>0.05), ดัชนีพื้นที่ใบ (R=0.375,P>0.05), ค่าประสิทธิภาพการใช้แสง (R=0.096, P>0.05) ส่วนความชื้นในดินมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับดัชนีการขาดน้ำของพืช (R=-0.64, P<0.05) และดัชนีความเครียดด้านน้ำของพืชมีความผกผันกับความชื้นในดิน (R=-0.638, P<0.05) แต่ดัชนีพื้นที่ใบแปรผันตามค่าประสิทธิภาพการใช้แสง (R=0.154, P>0.05) ดังตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการขาดน้ำของพืช ความชื้นในดิน และการคายระเหยน้ำ

สหสัมพันธ์	ดัชนีความเครียดด้านน้ำของพืช	ความชื้นในดิน	ค่าการคายระเหย
ดัชนีความเครียดด้านน้ำของพืช	1.000	-0.638	-0.145
ความชื้นในดิน	-0.638	1.000	0.012
ค่าการคายระเหย	-0.145	0.012	1.000

ตารางที่ 7 สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ ประสิทธิภาพการใช้แสง และการคายระเหยน้ำ

สหสัมพันธ์	ดัชนีพื้นที่ใบ	ค่าประสิทธิภาพการใช้แสง	ค่าการคายระเหย
ดัชนีพื้นที่ใบ	1	0.154	0.375
ค่าประสิทธิภาพการใช้แสง	0.154	1	0.096
ค่าการคายระเหย	0.375	0.096	1

อภิปรายผล

ในการศึกษานี้พบว่าการให้น้ำในบริเวณขอบเขตรากบางส่วนและการควบคุมความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลงมีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตน้ำตาลและประสิทธิภาพการใช้น้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกอ้อยที่ให้น้ำเพื่อการคายระเหยอย่างไม่จำกัด โดยปราศจากผลกระทบทางสรีรวิทยาที่ส่งผลต่อความเครียดด้านน้ำของอ้อย

โดยทั่วไปอ้อยมีการคายระเหยน้ำเฉลี่ย 3.63 มม./วัน (กรมชลประทาน, 2554) ซึ่งในการทดลองนี้อ้อยคายระเหยน้ำเฉลี่ย 4.5 มม./วัน จากการศึกษาของ ฐิตนนท์ หงส์โชติธนวดี และ ณัฐพัชร์ วงษ์ศุภลักษณ์ (2558), Keson et al. (2021), Singta et al. (2018), ณัฐดนัย จุลทรักษ์ และคณะ (2563) ในอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 และอ้อยไม่ระบุพันธุ์ มีค่าการคายระเหยรวม 1,228.57, 1057.8, 1,080.0 และ 851.2 มิลลิเมตร ตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ตามลำดับ สำหรับในการศึกษานี้มีค่าการคายระเหยน้ำรวมอยู่ในช่วง 661.1-878.6 มม. ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ต่ำของค่าเฉลี่ยดังกล่าว เนื่องจากระหว่างการปลูกพืช พืชประสบกับภาวะการขาดน้ำจากการควบคุมความชื้นในดิน ทำให้พืชไม่สามารถใช้น้ำในการคายระเหยได้อย่างเต็มที่ โดยปกติในทางสรีรวิทยาของพืชเมื่อปริมาณน้ำในดินลดลงการคายน้ำของอ้อยจะลดต่ำลง (Wang et al., 2021)

ทั้งนี้ผลผลิตอ้อยสดที่เก็บเกี่ยวได้จากการให้น้ำ100%FC ได้มากกว่าวิธีการให้น้ำ 50%MAD และ 50%MAD+PRD แต่วิธีการให้น้ำแบบMADและPRD ให้ผลผลิตน้ำตาลและประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ Olivier and Singels (2003) ที่ให้น้ำอ้อยตามสัดส่วนของค่าการคายระเหยพืชอ้างอิง (ET_o) พบว่าการให้น้ำที่ 100%ET_o ให้ผลผลิต 184.3 ตัน/เฮกตาร์ ในขณะที่ 50%ET_o และ 25%ET_o ให้ผลผลิตต่ำกว่าแต่มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงกว่า โดยในระยะตั้งตัวอ้อยมีค่าการใช้น้ำเพื่อการคายระเหยเฉลี่ยของวิธีการ 50%MAD และ 50%MAD+PRD น้อยกว่า 100%FC ซึ่งสอดล้องกับผลการศึกษาของ Ribeiro et al. (2014) ซึ่งพบว่า วิธี PDR อ้อยคายน้ำน้อยกว่า 17.6% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการให้น้ำเต็มที่และไม่มีความเครียดด้านน้ำ

ในการศึกษานี้ประสิทธิภาพการให้น้ำอ้อยสัดส่วนระหว่างผลผลิตซี.ซี.เอส/การคายระเหยและผลผลิตซี.ซี.เอส/การให้น้ำทั้งหมด โดยวิธีให้น้ำแบบการพร่องน้ำบางส่วน (1.6 และ 0.9 กก./ลบ.ม.) มีค่าไม่แตกต่างจากวิธีให้น้ำแบบขอบเขตรากบางส่วน (1.5 และ 0.7 กก./ลบ.ม.) แต่สูงกว่าวิธีการให้น้ำแบบเต็มความจุความชื้นสนาม (1.1 และ 0.6 กก./ลบ.ม.) ในขณะที่ประสิทธิภาพการใช้น้ำของประเทศบราซิล สัดส่วนระหว่างผลผลิตซี.ซี.เอส/การให้น้ำทั้งหมดมีค่า 1.22 กก./ลบ.ม. (Silva et al., 2011); 2.2 กก./ลบ.ม. (Gava et al., 2011) และ 2.10-2.13 กก./ลบ.ม. (Leal et al., 2017) ซึ่งค่า WUE ที่มีความผันแปรดังกล่าว สาเหตุประการหนึ่งเป็นเพราะความสามารถในการสังเคราะห์ด้วยแสงและความขีดจำกัดความทนทานต่อความแห้งแล้งของแต่ละสายพันธุ์อ้อยมีความแตกต่างกัน (Gava et al., 2011)

จากการทบทวนวรรณกรรมผลการศึกษาการให้น้ำด้วยวิธี PRD ในการปลูกอ้อย ในประเทศอียิปต์ การศึกษาของ Ibrahim and Emara (2010) พบว่าการให้น้ำอ้อยแบบ PRD ลดการใช้น้ำได้ 43% ส่งผลให้ผลผลิตอ้อยสดลดลง 9.7% และผลผลิตน้ำตาลลดลงเล็กน้อย แต่มีประสิทธิภาพการใช้น้ำระหว่างผลผลิตอ้อยสดต่อน้ำชลประทานเพิ่มขึ้น 60.3 % เมื่อเทียบกับการให้น้ำเพื่อการคายระเหยอย่างไม่จำกัด ในขณะที่การศึกษานี้ประสิทธิภาพการใช้น้ำเพิ่มขึ้น 54.5% บ่งชี้ว่าการให้น้ำอ้อยเสริมในสภาวะที่ดินมีความเครียดแต่ไม่ถึงจุดวิกฤตสามารถประหยัดการให้น้ำและไม่ส่งผลถึงการลดลงของคุณภาพผลผลิต กล่าวได้ว่าการให้น้ำแบบ PRD เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยการให้น้ำที่ลดลงในพืชชนิดต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น องุ่น, มันฝรั่ง, มะเขือเทศ, ข้าวโพด, อ้อย, คาโนลา, พริกไทย, และ ข้าวสาลี โดยให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำ 13.9, 380.14, 2.2, 16.2, 16.1, 0.67, 2.0 และ 2.67 กก./ลบ.ม ตามลำดับ (Iqbal et al., 2020)

เมื่อพิจารณาการตอบสนองสรีรวิทยาของพืช ในการวิจัยนี้พบความสัมพันธ์ผกผันระหว่างดัชนีความเครียดด้านน้ำและความชื้นในดิน แต่การเพิ่มขึ้นของระดับความเครียดด้านน้ำแม้จะทำให้ผลผลิตลดลงแต่ผลผลิตน้ำตาลกลับเพิ่มสูงขึ้น โดยการลดการให้น้ำในระยะการสะสมน้ำตาลจะส่งเสริมให้อ้อยสะสมน้ำตาลมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการขาดน้ำเมื่อดินมีความชื้นต่ำส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช รากรับรู้สภาพการขาดน้ำ จึงสังเคราะห์กรดแอบไซสิก (ABA) ควบคุมให้เซลล์คุมปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ แต่ถ้ามีสภาพแห้งแล้งนานเกินไปจนเกินความสามารถของการควบคุม พืชจะสะสมความเครียดและทำให้เซลล์ตาย (ยงยุทธ โอสถสภา, 2559) จากข้อมูลเชิงประจักษ์ของ Ru et al. (2020) รายงานว่าความเครียดด้านน้ำของพืชจะทำให้ความสามารถในการดูดใช้น้ำของระบบรากลดลงและทำให้ปริมาณน้ำของพืชลดลงซึ่งเป็นลักษณะทางอ้อมและปรับตัวของพืชเพื่อรับมือกับความชื้นในดินที่ลดลง ผลการทดลองวิธีการให้น้ำอ้อยที่แตกต่างกันทั้ง 3 แบบ พบว่า ค่าประสิทธิภาพการใช้แสง จากพารามิเตอร์ Fluorescence ratio (Fv/Fm) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ยกเว้นในระยะตั้งตัวของอ้อย บ่งชี้ว่าการเจริญเติบโตของพืชไม่ได้รับผลกระทบ โดยผลผลิตสดไม่แตกต่างกันแต่สภาวะแล้งจะกระตุ้นการสะสมน้ำตาลได้มาก สอดคล้องกับการศึกษาของ Bamrungrai et al. (2021) ที่พบว่า Fv/Fm ของกรรมวิธีทดลองที่ทำให้อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ประสบกับสภาวะแล้ง มีค่าไม่แตกต่างกันจากกรรมวิธีทดลองที่ไม่ขาดน้ำแต่อ้อยที่ประสบกับสภาวะแล้ง 60 วัน ให้คุณภาพอ้อย ได้แก่ Brix และ C.C.S สูงกว่า ส่วนการศึกษาของ Ribeiro et al. (2014) พบว่าการเปิดปิดปากใบและอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อ้อยเป็นพืช C4 ซึ่งมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงที่สูงมีความทนทานต่อสภาวะเครียดกว่าพืชชนิดอื่น (da Graça et al., 2009)

ข้อเสนอแนะ

(1) การให้น้ำอ้อยในปริมาณมากแม้ว่าจะให้ผลผลิตสูง แต่มีผลต่อการลดคุณภาพผลผลิต ซึ่งอ้อยเป็นพืชที่มีความทนทานต่อสภาวะแล้ง โดยเฉพาะในระยะสุกแก่ สภาวะแล้งจะช่วยเพิ่มการสะสมน้ำตาลในลำต้น

(2) การให้น้ำแบบการจัดการความชื้นในดินให้ต่ำกว่าระดับความจุความชื้นสนามและการสลับให้น้ำในขอบเขตรากบางส่วน มีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพผลผลิตและผลลิตน้ำที่สูงและให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

(3) การตัดสินใจการให้น้ำอ้อยนอกจากพิจารณาสถานะของน้ำในดินแล้ว ควรพิจารณาการตอบสนองทางสรีรวิทยา เช่น ความเครียดด้านน้ำของพืช เนื่องจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาของอ้อยต่อสภาวะน้ำในดินของอ้อยแต่ละสายพันธุ์และตามระยะการเจริญเติบโต มีผลต่อการคายระเหยน้ำของอ้อย ซึ่งจะช่วยกำหนดเวลาจำนวนครั้งการให้น้ำอ้อยให้แม่นยำยิ่งขึ้น

(4) ผลจากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการน้ำชุมชนเพื่อสร้างเสริมความเข้มแข็งเศรษฐกิจชุมชนและการจัดการทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อให้ชุมชนพึ่งตนเองได้ภายใต้การดำเนินการที่มีต้นทุนต่ำ ให้ผลตอบแทนสูง และสิ่งแวดล้อมยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยบางส่วนจาก บัณฑิตวิทยาลัย และ สมาคมศิษย์เก่าบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล ประจำปี พ.ศ. 2564 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท เกษตรไทย อินเตอร์เนชั่นแนล ชูการ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) สาขา 3 ที่ให้ความอนุเคราะห์ทรัพยากรบุคลลและปัจจัยการผลิตขององค์กรสนับสนุนการวิจัยในภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. (2554). **คู่มือการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างองและค่าสัมประสิทธิ์พืช ฉบับปรับปรุง.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/iwmd/pdf/rev_cwr_manual.pdf [2565, 10 มีนาคม]

กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ, ทักษิณา ศันสยะวิชัย, ศุภกาญจน์ ล้วนมณี, ศรีสุดา ทิพยรักษ์, เกษม ชูสอน, จินดารัตน์ ชื่นรุ่ง และ ชยันต์ ภักดีไทย. (2555). ความต้องการน้ำและค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3. **แก่นเกษตร.** 40 (ฉบับพิเศษ 3), 103-114.

คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2562). **รายงานสถานการณ์การปลูกอ้อย ปีการผลิต 2562/63.** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-1854.pdf, (2565, 6 เมษายน)

คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2564). **ผลการดำเนินงาน รายงานสถานการณ์ การปลูกอ้อย ปีการผลิต 2563/64**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : http://www.ocsb.go.th/upload/journal /fileupload /923-9200.pdf (2565, 25 มีนาคม)

ฐิตนนท์ หงส์โชติธนวดี และ ณัฐพัชร์ วงษ์ศุภลักษณ์. (2558). **การศึกษาวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำและปริมาณฝนใช้การรายเดือนในการปลูกอ้อยของสถานีทดลองการใช้น้ำชลประทานที่ 5 จังหวัดนครปฐม ปี 2557/58**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/iwmd/omdirrw/paper/paper001.pdf (2565. 27 มีนาคม)

ณัฐดนัย จุลทรักษ์ เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย เกศวรา สิทธิโชค บุญลือ คะเชนทร์ชาติ ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์. (2564). การศึกษารูปแบบการจัดการความชื้นในดินที่ยอมให้พร่องลงสำหรับกำหนดการให้น้ำแก่อ้อยโดยใช้

แบบจำลอง DSSAT-CANEGRO. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. 10(1). 14-25.

ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่มที่ 139 ตอนพิเศษ 76 ง. (2565) เรื่อง **ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย เรื่อง การกำหนดราคาอ้อยขั้นต้นและผลตอบแทนการผลิตและจำหน่ายน้ำตาลทรายขั้นต้น ฤดูการผลิตปี 2564/2565** [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2565/E/076/T_0011.PDF (2565ม 20 มีนาคม)

ปรีชา กาเพ็ชร, ทักษิณา ศันสยะวิชัย และกอบเกียรติ ไพศาลเจริญ. (2559). การประเมินประสิทธิภาพของสมการแบบเรียบง่ายสำหรับประมาณการค่า การคายระเหยน้ำและการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินในไร่อ้อย. **วารสารวิชาการเกษตร**. 34(1), 2-12.

ยงยุทธ โอสถสภา. (2559). ความเครียดของพืชและการบรรเทาความเครียด. **วารสารดินและปุ๋ย**. 38(1-4). 47-78.

ศิลา จำเนียรสุข. (2562). **การวิเคราะห์ต้นทุนในการปฏิบัติตามมาตรฐานการผลิตอ้อยอย่างยั่งยืน**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : http://mab.eco.ku.ac.th/wp-content/uploads/2015/06/6014752765.pdf (2565, 22 มีนาคม 2565)

เสกสม พัฒนพิชัย, อุดมเกียรติ เกิดสม, ณัฐพัชร์ วงษ์ศุภลักษณ์ และศุภชัย แก้วลำไย. (2563). **การศึกษาการให้น้ำชลประทานแบบประหยัดแก่ปาล์มน้ำมันโดยใช้เทคนิค Partial Root-zone Drying**. [ออนไลน์]. สืบค้นจาก : https://www.rid.go.th/thaicid/_5_article/13symposium/06.pdf (2565, 25 มีนาคม)

Allan, R., Pereira, L., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and drainage paper.** (56).

Apolo, O. E., Martínez Guanter, J., Pérez-Ruiz, M., & Egea, G. (2020). Design and assessment of new artificial reference surfaces for real time monitoring of crop water stress index in maize. **Agricultural Water Management**. 240, 106-304.

Bamrungrai, J., Tubana, B., Tre-loges, V., Promkhambut, A., & Polthanee, A. (2021). Effects of Water Stress and Auxin Application on Growth and Yield of Two Sugarcane Cultivars under Greenhouse Conditions. **Agriculture**. 11(7), 613.

Chai Q., Gan, Y., Turner, N. C., Zhang, R.-Z., Yang, C., Niu, Y., & Siddique, K. H. M. (2014). Chapter Two - Water-Saving Innovations in Chinese Agriculture. In D. L. Sparks (Ed.), **Advances in Agronomy**. 126, 149-201.

da Graça, J., Rodrigues, F., Farias, J., Neves De Oliveira, M., Hoffmann-Campo, C., & Zingaretti, S. (2009). Physiological parameters in sugarcane cultivars submitted to water deficit. Brazilian **Journal of Plant Physiology**. 22, 189-197.

da Silva, V. d. P. R., da Silva, B. B., Albuquerque, W. G., Borges, C. J. R., de Sousa, I. F., & Neto, J. D. (2013). Crop coefficient, water requirements, yield and water use efficiency of sugarcane growth in Brazil. **Agricultural Water Management**. 128, 102-109.

Gava, G. J. d. C., Silva, M. d. A., Silva, R. C. d., Jeronimo, E. M., Cruz, J., & Kölln, O. T. (2011). Productivity of three sugarcane cultivars under dry and drip irrigated management. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 15(3), 250-255.

Ibrahim, M.A.M., and T.K. Emara. (2010). **Water saving underalternative furrows surface irrigation in clay soils of north Nile delta**. Fourteenth International Water Technology Conference (IWTC), Cairo. 21-23 March. Water Technology Association (WTA), Cairo, Egypt.

Iqbal, R., Raza, M. A. S., Toleikiene, M., Ayaz, M., Hashemi, F., Habib-ur-Rahman, M., ... & Haider, I. (2020). Partial root-zone drying (PRD), its effects and agricultural significance: a review. **Bulletin of the National Research Centre**, 44(1). 1-15.

Jia, X., Dukes, M. D., Jacobs, J. M., & Irmak, S. (2006). Weighing lysimeters for evapotranspiration research in a humid environment. **Transactions of the ASABE.** 49, 401-412.

Jones, H. G. (1999). Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. **Agricultural and Forest Meteorology**, 95(3), 139-149.

Kang, S., Shi, P., Pan, Y., Liang, Z., Hu, X., & Zhang, J. (2000). Soil water distribution, uniformity and water-use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas. **Irrigation Science**. 19(4), 181-190.

Keson, J., Silalertruksa, T., & Gheewala, S. H. (2021). Spatial and Temporal Distribution of Water Requirement by Major Crops in Chainat Province, Thailand. **Thai Environmental Engineering Journal**. 35(3), 41-49.

Leal, D., Coelho, R., Da, F., Barbosa, S., Fraga Jr, E., Mauri, R., Santos, L., & Santos, C. (2017). Water productivity for sugar and biomass of sugarcane varieties. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 21, 618-622.

Ndeketeya A. (2012). **An Assessment of the Economic Water Use Efficiency and Productivity of the Upstream and Downstream Catchment's Agricultural Production, South Africa**. (Record no. 2012916). [Master's thesis, wageningen university]. MSc theses

Olivier, F., & Singels, A. (2003). Water use efficiency of irrigated sugarcane as affected by row spacing and variety. **Proceedings of the South African Society of Sugar Technologists**. 77.

Ouda, S., Noreldin, T. (2020). **Deficit Irrigation and Water Conservation**. In: Deficit Irrigation. Springer, Cham.

Padhiary, J., Swain, J., & Patra, K. (2020). Optimized Irrigatin Scheduling Using SWAT for Improved crop water productivity. **Irrigation and Drainage.** 69.

Ribeiro, M. S., Netto, A. T., do Couto, T. R., da Silva, J. R., de Assis Figueiredo, F. A. M. M., Nogueira, R. J. M. C., Glenn, D. M., & Campostrini, E. (2014). Partial rootzone drying in sugarcane (Saccharum officinarum L.): effects on gas exchange, growth and water use efficiency. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**. 26(3), 251-262.

Ru, C., Hu, X., Wang, W., Ran, H., Song, T., & Guo, Y. (2020). Evaluation of the Crop Water Stress Index as an Indicator for the Diagnosis of Grapevine Water Deficiency in Greenhouses. **Horticulturae**. 6, 86.

Sepaskhah, A., & Ahmadi, S. H. (2010). A Review on Partial Root-Zone Drying Irrigation. International **Journal of Plant Production**. 4, 1735-6814.

Silva, T., Moura, M., Zolnier, S., Soares, J., Vieira, V., & Júnior, W. (2011). Water requirement and efficiency of water use of irrigated sugarcane in semi-arid Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 15, 1257-1265.

Singta, S., Chidthaisong, A., Komori, D., Surapioith, V., & Kim, W. (2018). Estimation of Evapotranspiration from Sugarcane Plantation Using Eddy Covariance Method. **Journal of Sustainable Energy & Environment**. 9, 1-9.

Sonawane, A. V., & Shrivastava, P. K. (2022). Partial root zone drying method of irrigation: A review. **Irrigation and Drainage**. 1-15

United States Department of Agriculture (USDA). (2021). Sugar: World Markets and Trade. [Online]. Search from: https://www.fas.usda.gov/data/sugar-world-markets-and-trade (2022, 25 March)

Wang, Y., Zhang, Y., Yu, X., Jia, G., Liu, Z., Sun, L., Zheng, P., & Zhu, X. (2021). Grassland soil moisture fluctuation and its relationship with evapotranspiration. **Ecological Indicators**. 131, 108-196.

Zeleke, K., & Wade, L. (2012). Evapotranspiration Estimation Using Soil Water Balance, Weather and Crop Data. Evapotranspiration. **Remote Sensing and Modelling**. 3, 41-58.