



<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index>

บทความวิจัย

พารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของอ้อยโคลนดีเต้นภายใต้สภาวะเครียดจากการขาดน้ำ

ธีระรัตน์ ชินแสน* แสงเดือน ชนะชัย ชัยนต์ ภัคธิไทย อัมรารวรรณ ทิพย์วัฒน์ และ กรองกาญจน์ ป้องปัญญมิตร

ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ตำบลศิลา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ประเทศไทย 40000

ข้อมูลบทความ

Article history

รับ: 8 เมษายน 2567

แก้ไข: 19 มิถุนายน 2567

ตอบรับการตีพิมพ์: 25 มิถุนายน 2567

ตีพิมพ์ออนไลน์: 18 กรกฎาคม 2567

คำสำคัญ

คำชักนำการเปิด-ปิดปากใบ

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้

อัตราการคายน้ำ

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ

บทคัดย่อ

การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นแหล่งของเคมีอินทรีย์และพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช แต่การขาดน้ำเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะขาดแคลนน้ำและการตอบสนองหลังการได้รับน้ำอีกครั้งของอ้อยโคลนดีเต้น โดยดำเนินการทดลอง ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ปี พ.ศ. 2566 วางแผนการทดลองแบบ Split plot design จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยหลัก (main plot) คือ (1) การให้น้ำตามความต้องการของพืช และ (2) จดการให้น้ำนาน 19 วัน และปัจจัยรอง (sub plot) คือ พันธุ์โคลนอ้อยดีเต้น ได้แก่ (1) KK07-599 (2) KK12(R)-085 (3) KK3/E09-1 (4) LK92-11 และ (5) KK3 จากการศึกษพบว่า การขาดน้ำทำให้ค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อย ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (A) อัตราการคายน้ำ (E) และคำชักนำการเปิด-ปิดปากใบ (g_s) มีค่าลดลง แต่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ (Ci) และ TSS มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับอ้อยพันธุ์โคลนเดียวกันที่ได้รับน้ำ โดยโคลน KK3/E09-1 ที่ขาดน้ำนาน 14 วัน มีค่า g_s เพียง $0.02 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ และพบว่า ค่า A E และ g_s มีความสัมพันธ์กันอย่างสูงในทางเดียวกัน ทั้งนี้ เมื่อได้รับการให้น้ำอีกครั้งอ้อยสามารถฟื้นฟูพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงใกล้เคียงกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติโดยเฉพาะในอ้อยดีเต้นโคลน KK07-599 และ KK3/E09-1 ซึ่งอาจสามารถนำมาใช้ประกอบการคัดเลือกพันธุ์อ้อยหรือเป็นต้นแบบการศึกษาด้านสรีรวิทยาการสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยในประเทศไทยต่อไป

บทนำ

การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นอีกหนึ่งกระบวนการทางสรีรวิทยาที่มีความสำคัญต่อพืช เนื่องจากเป็นการนำพลังงานแสงมาเปลี่ยนแปลงคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำให้เป็นพลังงานเคมีในรูปของสารประกอบอินทรีย์หรือสารประกอบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเพื่อการใช้ประโยชน์ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ เช่น การเจริญเติบโต การเก็บในแหล่งสะสม (sink) เป็นต้น การสังเคราะห์ด้วยแสงถูกควบคุมด้วยปัจจัยที่หลากหลายทั้งปัจจัยภายในที่เกี่ยวข้องกับลักษณะจำเพาะของพันธุ์พืชขึ้น ๆ และปัจจัยภายนอกที่สภาพแวดล้อม ณ ขณะที่พืชเหล่านั้นเจริญเติบโตเป็นตัวกำหนด เช่น แสง อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น สำหรับอ้อยเมื่อจำแนกด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงถูกจัดให้เป็นพืช C4 ที่มีศักยภาพสูงในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจะเกิดขึ้นทั้งที่ mesophyll cell และ bundle sheath cell โดยผลิตภัณฑ์แรกที่ได้คือ oxaloacetate ที่มีคาร์บอน 4 อะตอม จากนั้นจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นน้ำตาลซูโครสเพื่อลำเลียงสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืชผ่านท่อลำเลียงอาหาร และเก็บสะสมน้ำตาลในเซลล์ parenchyma ของลำต้นซึ่งเป็นแหล่งของน้ำตาลในอ้อยและเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำตาลในภาคอุตสาหกรรมในลำดับต่อไป (Moore, 1995) ดังนั้น การ

สะสมน้ำตาลในอ้อยจึงมีความเชื่อมโยงกับการสังเคราะห์ด้วยแสง สอดคล้องกับ Inman-Bamber et al. (2010) ที่รายงานว่าการรักษาสภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงในอ้อยมีส่วนช่วยเพิ่มการสะสมน้ำตาลซูโครสทั้งโคลนที่มีน้ำตาลซูโครสต่ำหรือมีน้ำตาลซูโครสสูง

น้ำภายในพืชเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง นับตั้งแต่โมเลกุลของน้ำที่แตกตัวและให้อิเล็กตรอนเพื่อเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง รวมถึงการเคลื่อนที่ของสารอาหารที่มีน้ำช่วยลำเลียงในกระบวนการ phloem loading และ phloem unloading สู่แหล่งสะสมในพืช อย่างไรก็ตามการเพาะปลูกพืชยังคงประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกอ้อยในเขตอาศัยน้ำฝนที่มีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำเพื่อการเพาะปลูก Jaiphong et al. (2016) รายงานว่า อ้อยพันธุ์ NiF8 มีพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ คำชักนำการเปิด-ปิดปากใบ และอัตราการคายน้ำลดลงเมื่ออ้อยขาดน้ำนาน 15 วัน ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติ สอดคล้องกับ Chinnasaen et al. (2023) ที่รายงานว่า เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะเครียดจากการขาดน้ำค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยโคลนดีเต้นและพันธุ์เปรียบเทียบกับค่า

*Corresponding author

E-mail address: nongtheerarat@gmail.com (T. Chinnasaen)

Online print: 18 July 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.31>

ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติ โดยโคลน KK14-030 สามารถฟื้นคืนค่าชักนำการเปิด-ปิดปากใบและการคายน้ำให้มีความใกล้เคียงกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติภายหลังได้รับน้ำอีกครั้ง ภายใน 1 วัน ขณะที่เดียวกัน Vu & Allen Jr (2009) ได้เสนอว่า นอกจากการศึกษาความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์และอุณหภูมิที่มีผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยแล้ว ความชื้นหรือน้ำยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ควรศึกษาเพื่อนำมาใช้ประกอบการคัดเลือกพันธุ์อ้อยซึ่งเป็นพืชที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมน้ำตาลและอุตสาหกรรมเชื้อเพลิงขณะเดียวกัน Endres et al. (2010) กล่าวว่า การทราบความสัมพันธ์ระหว่างค่าชักนำการเปิด-ปิดปากใบ การคายน้ำ และการสังเคราะห์ด้วยแสงมีความสำคัญต่อการคัดเลือกพันธุ์อ้อยทั้งด้านศักยภาพการใช้น้ำหรือการทนทานต่อความแห้งแล้ง ขณะที่ การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นแหล่งของเคมีอินทรีย์และพลังงานเพื่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช การรับทราบถึงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงในอ้อยโคลนดีเด่นหรือพันธุ์อ้อยทางการค้าต่อสภาวะแล้งจึงเป็นแนวทางที่ทำให้ทราบถึงกลไกภายในพืชต่อผลผลิตที่ได้รับซึ่งอาจเป็นแนวทางไปสู่การคัดเลือกพันธุ์อ้อย รวมถึงเพื่อเพิ่มการรับรู้หรือเพิ่มข้อมูลด้านการสังเคราะห์ด้วยแสงในพันธุ์อ้อยของไทย

ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงและความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะขาดแคลนน้ำและการตอบสนองหลังการได้รับน้ำอีกครั้งของอ้อยโคลนดีเด่นซึ่งอยู่ในขั้นการเปรียบเทียบในไร่เกษตรกรหรือผ่านการคัดเลือกในไร่เกษตรกรของศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น เพื่อเป็นแนวทางประกอบการคัดเลือกอ้อยพันธุ์ใหม่ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกในเขตอาศัยน้ำฝนของไทย

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Split plot design จำนวน 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยหลัก (main plot) คือ การจัดการการให้น้ำ 2 รูปแบบ ได้แก่ ให้น้ำตามความต้องการของพืช (อ้างอิงตามการศึกษาของ Paisancharoen et al., 2012) และงดการให้น้ำนาน 19 วัน โดยเริ่มต้นที่อายุ 297 - 316 วันหลังปลูก (ระยะสุกแก่) และปัจจัยรอง (sub plot) คือ พันธุ์/โคลนอ้อยที่แตกต่างกัน 5 พันธุ์/โคลน ได้แก่ อ้อยโคลนดีเด่น 3 โคลน คือ KK07-599 KK12(R)-085 และ KK3/E09-1 และพันธุ์เปรียบเทียบ คือ LK92-11 และ KK3 (พันธุ์อ้อยที่นิยมปลูก) สำหรับการให้น้ำตามความต้องการของพืช (อ้อย) แสดงดังสมการด้านล่าง (ตามวิธีของ Smith (1992) และ Doorenbos & Kassam (1979)) โดยให้น้ำด้วยระบบน้ำหยดทุก ๆ 7 วัน

$$ETc = Kc \times ETo$$

เมื่อ ETc = ปริมาณความต้องการน้ำของพืช (mm/day)

Kc = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ETo = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (mm/day)

วิธีดำเนินการทดลอง

ปลูกอ้อย ณ แปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ปี 2566 ในวงคอนกรีตเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 80 cm สูง 100 cm ดินที่ใช้ปลูกมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.4 ค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 0.018 dS/m ปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 0.47 % และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม และแคลเซียมที่สกัดได้มีค่าเท่ากับ 0.024 % 69.25 mg/g 41.37 ppm และ 253.97 ppm ตามลำดับ ทั้งนี้ ดินปลูกมีความจุความชื้นสนาม และความหนาแน่นเท่ากับ 13.56 % และ 1.65 g/cm³ ตามลำดับ ดำเนินการปลูกอ้อยพันธุ์/โคลนละ 3 หน่วยการทดลองต่อซ้ำ น้ำหนักดินปลูกเฉลี่ยต่อหน่วยการทดลองมีค่าประมาณ 345 kg และให้น้ำตามความต้องการของอ้อยหลังปลูก (โดยคำนวณจากค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของอ้อยในแต่ละช่วงอายุ) เมื่ออ้อยมีอายุ 297 วัน จึงจัดการให้น้ำตามแผนการทดลองที่กำหนด สำหรับการใส่ปุ๋ยดำเนินการโดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง ครั้งแรกใส่พร้อมปลูก (15-15-15 อัตรา 50 kg/rai) ครั้งที่ 2 ใส่หลังจากครั้งแรก 2 ½ เดือน (สูตร 15-15-15 อัตรา 50 kg/rai) ดูแลรักษา กำจัดวัชพืช และควบคุมการเข้าทำลายของโรคและแมลงตลอดช่วงการเพาะปลูก ในกรณีที่ฝนตกระหว่างช่วงที่งดการให้น้ำใช้พลาสติกคลุมวงบ่อคอนกรีตเพื่อป้องกันฝน จากนั้นที่อายุ 317 วัน จึงกลับมาให้น้ำอ้อยที่งดการให้น้ำอีกครั้ง โดยระหว่างดำเนินการทดลองอ้อยมีอายุ 297-320 วัน (อ้อยอยู่ในระยะสุกแก่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ เท่ากับ 0.83 (Paisancharoen et al., 2012)) อุณหภูมิสูงสุดรายวันและอุณหภูมิต่ำสุดรายวันอยู่ในช่วง 28.0-34.5 และ 15.5-24.5 °C ตามลำดับ ความชื้นสัมพัทธ์รายวันและความชื้นสัมพัทธ์รายวันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 60-77 และ 68.5 % ตามลำดับ ทั้งนี้ ระหว่างการงดการให้น้ำมีวันที่มีฝน 1 วัน คือ วันที่ 18 ของการงดการให้น้ำ มีปริมาณน้ำฝน เท่ากับ 0.4 mm (Figure 1-A) (ใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ตำบลศิลา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น) ขณะที่ การงดการให้น้ำทำให้ดินมีความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่องทุกระดับความลึกที่ 0-20, 20-50 และ 50-80 cm เมื่องดการให้น้ำนาน 19 วัน ดินมีความชื้นเฉลี่ยประมาณ 3.86 4.68 และ 3.82 % ตามลำดับ ขณะที่ ดินที่ได้รับน้ำตามปกติมีความชื้น เท่ากับ 7.62 7.25 และ 6.54 % ตามลำดับ (Figure 1-B, D) (คำนวณ % ความชื้นดิน ตามวิธีของ Khonghintaisong et al., 2017) ทั้งนี้ Paisancharoen et al. (2012) ได้รายงานไว้ว่า จุดเหี่ยวถาวรของดินปลูกอ้อยมีค่า เท่ากับ 4.2 % ขณะที่ ความชื้นดินที่ขาดน้ำนาน 19 วัน ในการทดลองครั้งนี้ มีค่าน้อยกว่า 4 % (ระดับ 0-20 และ 50-80 cm) เพื่อป้องกันความเสียหาย (อ้อยตาย) จึงสิ้นสุดการควบคุมการให้น้ำ และกลับมาให้น้ำอีกครั้งเพื่อศึกษาการฟื้นตัวของอ้อยภายหลังการได้รับน้ำอีกครั้ง

การบันทึกข้อมูล

ดำเนินการบันทึกข้อมูลก่อนการควบคุมการให้น้ำเมื่ออ้อยมีอายุ 297 วัน หลังควบคุมการให้น้ำนาน 7 14 และ 19 วัน หรืออ้อยมีอายุ 304 311 และ 316 วัน ตามลำดับ และหลังการได้รับน้ำอีกครั้งนาน 3 วัน หรืออ้อยมีอายุ 320 วัน โดยข้อมูลที่ดำเนินการบันทึกประกอบด้วย

(1) สรีรวิทยาการสังเคราะห์ด้วยแสง วัดค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยเครื่อง LCpro T Advanced Portable Photosynthesis System (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, UK) โดยสุ่มวัดจากตัวอย่างใบอ้อยที่สมบูรณ์ในใบที่ 2 หรือ 3 จากยอดที่กางเต็มที่ ในเวลา 08.00-10.00 น. และเป็นวันที่แดดจ้า กำหนดค่าความเข้มแสงที่ใช้วัด เท่ากับ $1500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Liu et al., 2020) ส่วนความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศและอุณหภูมิอากาศขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมระหว่างการบันทึกข้อมูลในวันนั้น ๆ โดยค่าพารามิเตอร์ที่บันทึก ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (Net photosynthesis rate; A) ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ (internal CO_2 concentration; Ci) อัตราการคายน้ำ (Transpiration rate; E) และค่าชักนำการเปิดปิดปากใบ (Stomatal conductance; g_s)

(2) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid, TSS) วัดด้วยเครื่อง Hand-Held Refractometer (Master refractometer, Japan) หน่วยเป็นองศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{Brix}$) โดยใช้แท่งเหล็กปลายแหลมเจาะปล้องอ้อยที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของลำอ้อยซึ่งเป็นปล้องอ้อยที่อยู่ในระยะแก่ (Qudsieh et al., 2001) แล้วใช้น้ำคั้นจากปล้องอ้อยที่เจาะได้วัดค่า TSS การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของแต่ละลักษณะที่ทำการศึกษาระหว่างเปรียบเทียบความแตกต่างตามแผนการทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เปรียบเทียบการให้น้ำที่แตกต่างกันของแต่ละพันธุ์/โคลน โดย pare T-test ด้วยโปรแกรม excel และตรวจสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation) ของแต่ละลักษณะ

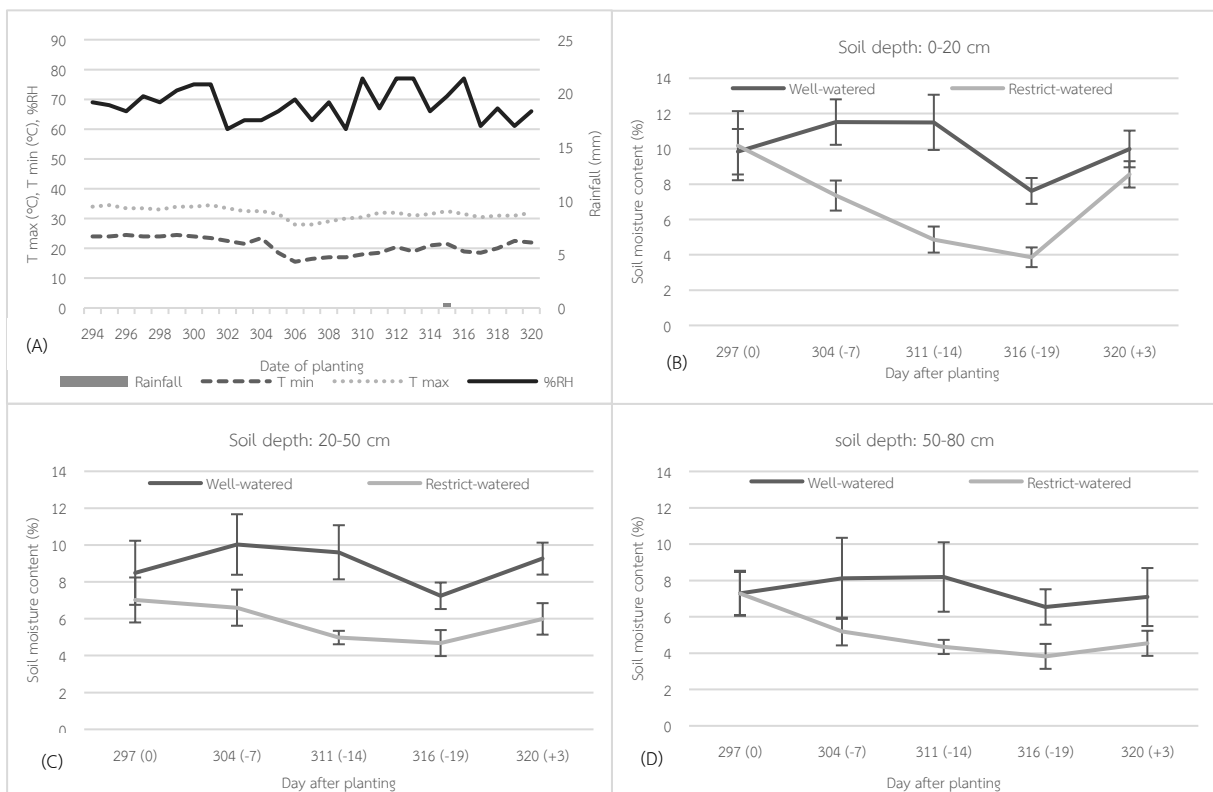


Figure 1 Daily climate (A) and soil moisture content at various soil depths; 0-20 cm (B), 20-50 cm (C), 50-80 cm (D), (data are mean $\pm$ SE) during conduct the experiment at Khon Kaen Field Crops Research Center, Khon Kaen Province on 5 to 27 November, 2023, restrict-watered period is among 298-316 day after planting.

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสง

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (Net photosynthesis rate; A) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดการการให้น้ำและพันธุ์/โคลนอ้อยที่แตกต่างกันต่อค่า A แต่พบว่า อ้อยที่ขาดน้ำนาน 7 14 และ 19 วัน มีค่าเฉลี่ยของค่า A น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำตามความต้องการของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 10.77 และ 13.72 4.80 และ 13.21 และ 3.80 และ 9.32 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ (ไม่แสดงข้อมูล) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบอ้อยภายในพันธุ์/โคลนเดียวกันแต่ได้รับการจัดการการให้น้ำที่แตกต่างกันพบว่า การงดการให้น้ำมีผลให้อ้อยมีค่า A น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ โดยค่า A มีแนวโน้ม

ลดลงเมื่อระยะเวลาขาดน้ำยาวนานขึ้น โคลน KK07-599 ที่ขาดน้ำนาน 7 และ 14 วัน มีค่า A เท่ากับ 11.38 และ 4.72 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างทางสถิติกับอ้อยที่ได้รับน้ำที่มีค่า A เท่ากับ 18.52 และ 18.53 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ และโคลน KK3/E09-1 ที่ขาดน้ำนาน 14 และ 19 วัน มีค่า A เท่ากับ 3.53 และ 4.55 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับซึ่งแตกต่างทางสถิติกับอ้อยที่ได้รับน้ำที่มีค่า A เท่ากับ 12.35 และ 11.58 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ เช่นเดียวกับพันธุ์ LK92-11 ที่ขาดน้ำนาน 19 วัน มีค่า A น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 2.06 และ 11.46 $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่า ค่า A ของโคลน KK12(R)-085 มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ แต่พบว่าเมื่อกลับมาได้รับน้ำ

อีกครั้งทำให้อ้อยที่ขาดน้ำมีค่า A น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เท่ากับ 6.67 และ $10.24 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ ทั้งนี้ พบว่า ค่า A ของพันธุ์ KK3 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้งช่วงที่อ้อยขาดน้ำหรืออ้อยกลับมาได้รับน้ำอีกครั้ง (Figure 2)

ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบ (internal CO_2 concentration, Ci) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดการการให้น้ำ และพันธุ์/โคลนอ้อยที่แตกต่างกันต่อค่า Ci แต่พบว่า อ้อยที่ขาดน้ำนาน 7 วัน มีค่าเฉลี่ยของค่า Ci น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำตามความต้องการของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 127.20 และ $141.13 \mu\text{molmol}^{-1}$ ตามลำดับ (ไม่แสดงข้อมูล) อย่างไรก็ตาม เมื่อ

เปรียบเทียบอ้อยภายในพันธุ์/โคลนเดียวกันแต่ได้รับการจัดการการให้น้ำที่แตกต่างกัน พบว่า การงดการให้น้ำมีผลให้อ้อยบางพันธุ์/โคลนมีค่า Ci สูงกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยโคลน KK07-599 ที่ขาดน้ำนาน 14 วัน มีค่า Ci สูงกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำเท่ากับ 123.67 และ $63.67 \mu\text{molmol}^{-1}$ ตามลำดับ และการขาดน้ำนาน 19 วัน มีผลให้อ้อยมีค่า Ci สูงกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ ซึ่งพบในโคลน KK12(R)-085 เท่ากับ 220.33 และ $108.67 \mu\text{molmol}^{-1}$ ตามลำดับ และพันธุ์ KK3 เท่ากับ 235.67 และ $165.67 \mu\text{molmol}^{-1}$ ตามลำดับ ขณะที่ โคลน KK3/E09-1 ที่ได้รับน้ำมีค่า Ci สูงกว่าอ้อยที่ขาดน้ำนาน 7 วัน และในวันที่สามหลังจากอ้อยได้รับน้ำอีกครั้ง (Figure 2)

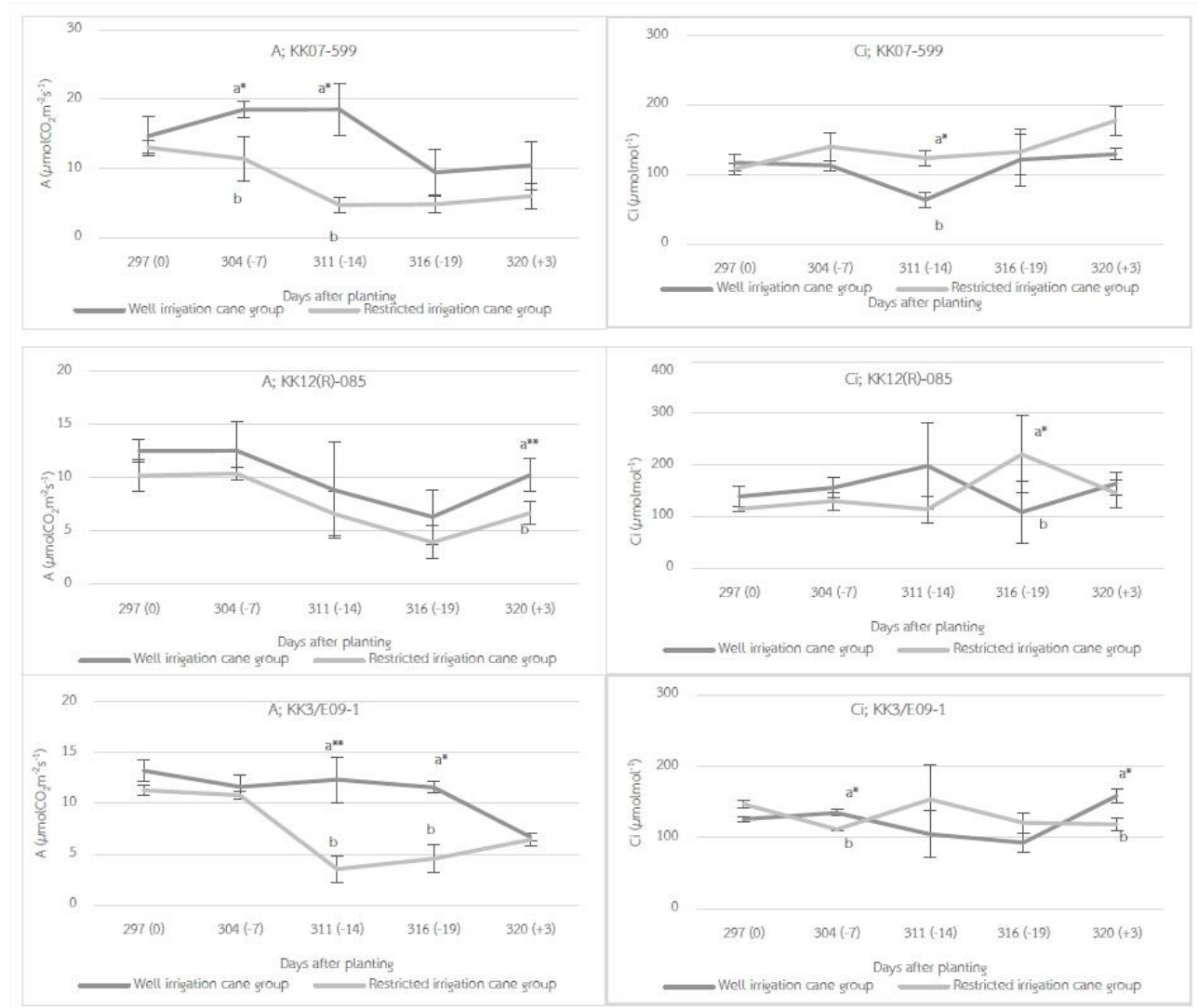


Figure 2 Net photosynthesis rate; A (left panel) and internal CO_2 concentration; Ci (right panel) of promising sugarcane clones (data are mean $\pm$ SE), restrict-watered period is among 297-316 day after planting, - = day after restrict-water, + = day after rehydration. Mean followed by the same letter in each day are not significantly different by T-test for various watered. *=Significant at $p < 0.05$, **=Significant at $p < 0.01$.

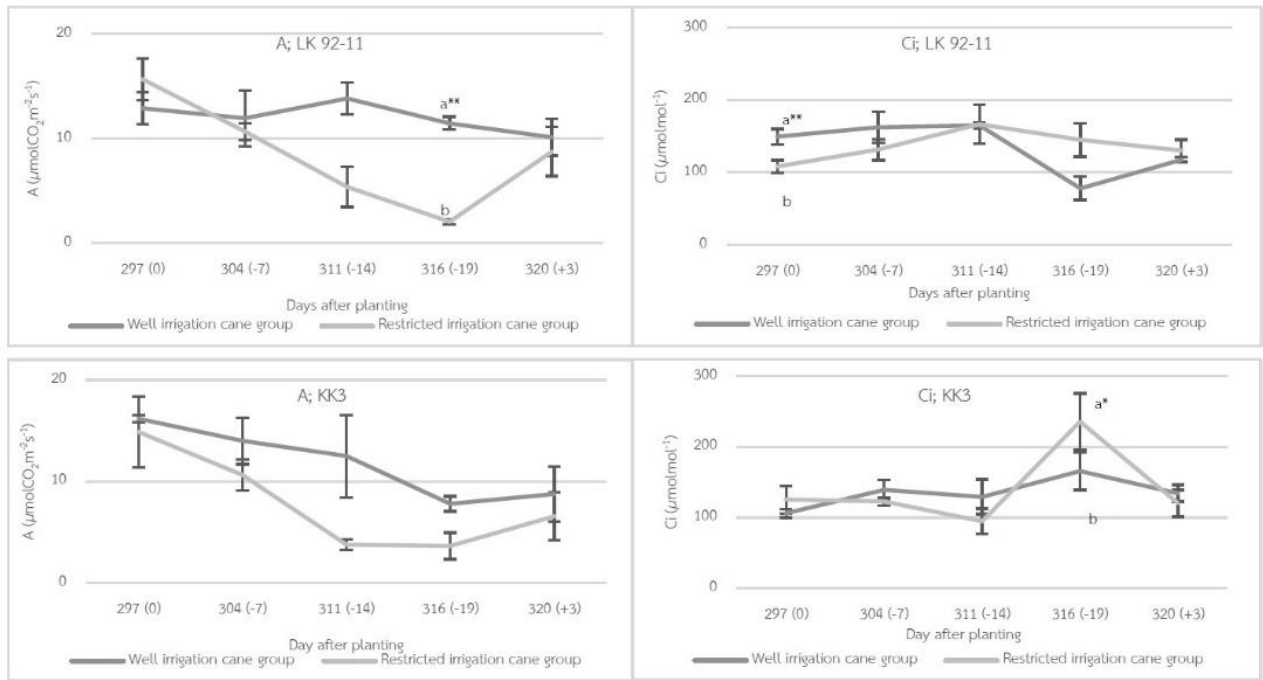


Figure 2 (Cont.) Net photosynthesis rate; A (left panel) and internal CO₂ concentration; Ci (right panel) of promising sugarcane clones (data are mean $\pm$ SE), restrict-watered period is among 297-316 day after planting, - = day after restrict-water, + = day after rehydration. Mean followed by the same letter in each day are not significantly different by T-test for various watered. * = Significant at p < 0.05, ** = Significant at p < 0.01.

อัตราการคายน้ำ (Transpiration rate; E) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดการการให้น้ำและพันธุ์/โคลนย่อยที่แตกต่างกันต่อค่า E แต่พบว่า อ้อยที่ขาดน้ำนาน 7 14 และ 19 วัน มีค่าเฉลี่ยของค่า E น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำตามความต้องการของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 1.50 และ 1.74 0.86 และ 1.54 และ 0.68 และ 1.34 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ (ไม่แสดงข้อมูล) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบอ้อยภายในพันธุ์/โคลนเดียวกันแต่ได้รับการจัดการการให้น้ำที่แตกต่างกัน พบว่า การงดการให้น้ำมีผลให้อ้อยมีค่า E น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ โดยค่า E มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาขาดน้ำยาวนานขึ้น โคลน KK12(R)-085 ที่ขาดน้ำนาน 14 วัน มีค่า E ต่างทางสถิติกับอ้อยที่ได้รับน้ำ เท่ากับ 1.14 และ 1.40 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ เช่นเดียวกับ โคลน KK3/E09-1 ที่ขาดน้ำนาน 14 และ 19 วัน มีค่า E น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ เท่ากับ 0.60 และ 0.81 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ และ 1.42 และ 1.56 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ รวมถึง พันธุ์ LK92-11 และ KK3 ที่ค่า E ของอ้อยที่ขาดน้ำนาน 19 และ 14 วัน ตามลำดับ มีค่า E น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม พบว่า การขาดน้ำมีผลให้ค่า E ของโคลน KK07-599 มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ เช่นเดียวกับค่า E

ของทุกพันธุ์/โคลนที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติในวันที่สามหลังกลับมาได้รับน้ำอีกครั้ง (Figure 3)

ค่าชักนำการเปิด-ปิดปากใบ (Stomatal conductance; g_s) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดการการให้น้ำและพันธุ์/โคลนย่อยที่แตกต่างกันต่อค่า g_s แต่พบว่า อ้อยที่ขาดน้ำนาน 7 14 และ 19 วัน มีค่าเฉลี่ยของค่า g_s น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำตามความต้องการของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.07 และ 0.09 0.03 และ 0.07 และ 0.02 และ 0.05 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ (ไม่แสดงข้อมูล) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบอ้อยภายในพันธุ์/โคลนเดียวกันแต่ได้รับการจัดการการให้น้ำที่แตกต่างกันพบว่าการงดการให้น้ำมีผลให้อ้อยมีค่า g_s น้อยกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ โดยค่า g_s มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาขาดน้ำยาวนานขึ้น และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในอ้อยโคลน KK3/E09-1 ที่ขาดน้ำนาน 14 วัน มีค่า g_s เท่ากับ 0.02 และ 0.06 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ และพันธุ์ LK92-11 ที่ขาดน้ำนาน 19 วัน มีค่า g_s เท่ากับ 0.01 และ 0.06 $\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ ขณะที่ พันธุ์/โคลนอื่นที่การขาดน้ำหรือการกลับมาได้รับน้ำอีกครั้งมีค่า g_s ไม่แตกต่างจากอ้อยที่ได้รับ (Figure 3)

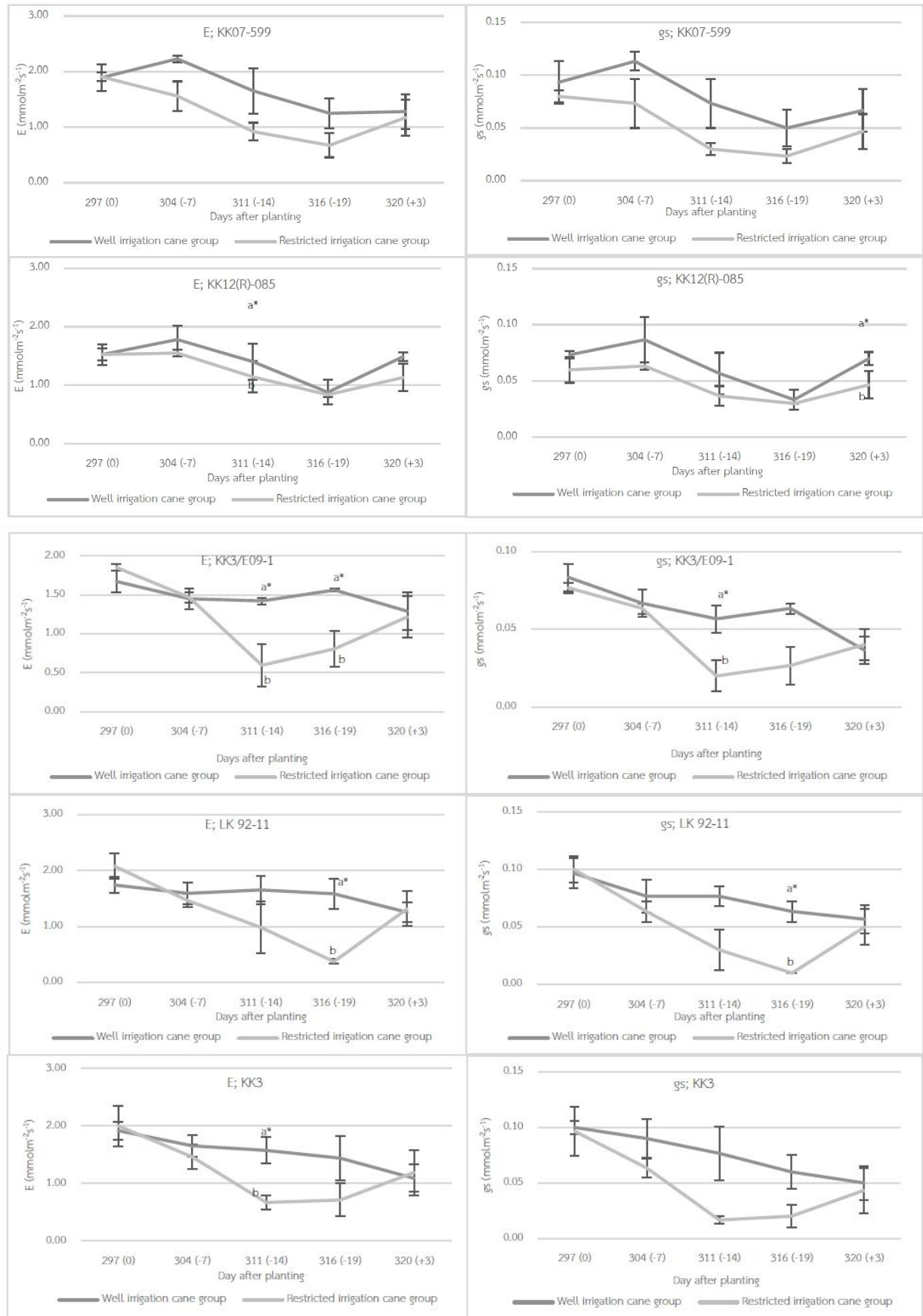


Figure 3 Transpiration rate; E (left panel) and stomatal conductance; gs (right panel) of promising sugarcane clones (data are mean±SE), restrict-watered period is among 297-316 day after planting, - = day after restrict-water, + = day after rehydration. Mean followed by the same letter in each day are not significantly different by T-test for various watered. * = Significant at p < 0.05, ** = Significant at p < 0.01.

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid; TSS) ไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดการการให้น้ำและพันธุ์/โคลน อ้อยที่แตกต่างกันต่อค่า TSS แต่พบว่า อ้อยที่ขาดน้ำนาน 7 และ 19 วัน มีค่าเฉลี่ยของค่า TSS สูงกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำตามความต้องการของพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 20.87 และ 19.70 และ 22.40 และ 20.93 °Brix ตามลำดับ (ไม่แสดงข้อมูล) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบอ้อยภายในพันธุ์/โคลนเดียวกันแต่ได้รับการจัดการการให้

น้ำที่แตกต่างกัน พบว่า พันธุ์/โคลนอ้อยส่วนใหญ่มีค่า TSS ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่า ค่า TSS ของอ้อยที่ขาดน้ำมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการขาดน้ำเพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโคลน KK3/E09-1 ที่ขาดน้ำนาน 19 วัน มีค่า TSS สูงกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำ เท่ากับ 22.75 และ 20.08 °Brix ตามลำดับ หรือในวันที่สามหลังจากกลับมาได้รับน้ำอีกครั้ง มีค่าเท่ากับ 20.25 และ 18.67 °Brix ตามลำดับ (Figure 4)

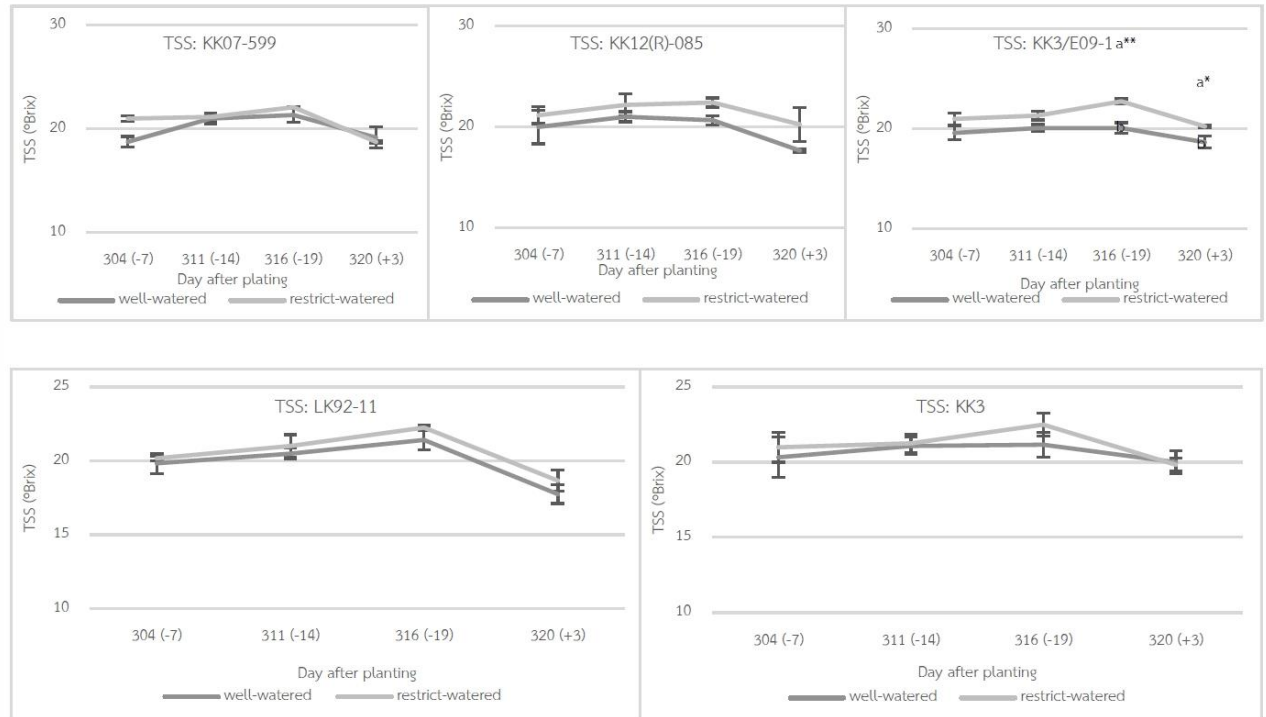


Figure 4 Total soluble solid; TSS of promising sugarcane clones (data are mean±SE), restrict-watered period is among 297-316 day after planting, - = day after restrict-water, + = day after rehydration. Mean followed by the same letter in each day are not significantly different by T-test for various watered.

*=Significant at $p < 0.05$, **=Significant at $p < 0.01$.

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอ้อยที่ขาดน้ำนาน 19 วัน และในวันที่ 3 หลังได้รับน้ำอีกครั้ง

วิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของอ้อยที่ขาดน้ำนาน 19 วัน พบว่า ค่า A ของอ้อยมีความสัมพันธ์ปานกลางในทางตรงข้ามกับค่า Ci ($r=-0.553^*$) ขณะที่ มีความสัมพันธ์กันอย่างสูงในทางเดียวกันกับ E และ gs ($r=0.751^*$ และ 0.782^{**}) แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า TSS สำหรับค่า Ci ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า E gs

หรือ TSS ขณะที่ ค่า E มีความสัมพันธ์กันอย่างสูงในทางเดียวกันกับค่า gs ($r=0.953^{**}$) แต่มีความสัมพันธ์น้อยในทางตรงข้ามกับค่า TSS และค่า gs มีความสัมพันธ์น้อยในทางตรงข้ามกับค่า TSS ทั้งนี้ หลังจากขาดน้ำ 19 วัน ในวันที่สามหลังได้รับน้ำอีกครั้ง พบว่า ค่า A ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า Ci และ TSS แต่พบว่า มีความสัมพันธ์อย่างสูงในทางเดียวกันกับค่า E และ gs ($r=0.909^{**}$ และ 0.922^{**}) เช่นเดียวกับ ค่า E ที่มีความสัมพันธ์อย่างสูงในทางเดียวกันกับค่า gs ($r=0.974^{**}$) (Table 1)

Table 1 Correlation coefficients among photosynthetic parameters and TSS of promising sugarcane clones at date 19th of restrict-watered and at date 3rd of re-watering (restrict-watered group)

Trait	A ^{1/2}	Ci	E	gs
At date 19 th of restrict-watered				
Ci	-0.553 ^{2/2}			
E	0.751*	-0.075ns		
gs	0.782**	-0.086ns	0.953**	
TSS	-0.016ns	0.018ns	-0.287ns	-0.221ns
At date 3 rd of re-watering				
Ci	0.082ns			
E	0.909**	0.221ns		
gs	0.922**	0.264ns	0.974**	
TSS	0.001ns	0.149ns	0.135ns	0.122ns

^{1/2}A=net photosynthesis rate, Ci=internal CO₂ concentration, E=transpiration rate, gs=stomatal conductance, and TSS=total soluble solid

^{2/2}*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed) **Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed) ns=not significant

การขาดน้ำทำให้อ้อยมีการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง เนื่องจากเมื่อพืชขาดน้ำ การตอบสนองแรกที่เกิดขึ้นเพื่อลดการสูญเสียคือการลดการคายน้ำด้วยการปิดปากใบที่เป็นผลมาจากเซลล์คุมที่มีแรงเต่งลดลง (Gupta et al., 1989; Chaves et al., 2002) ดังนั้น ค่า gs และ E ของอ้อยจึงมีค่าลดลงตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงมากยิ่งขึ้นเมื่อระยะเวลาขาดน้ำเพิ่มขึ้น จากลักษณะดังกล่าวจึงทำให้ค่า A มีความสัมพันธ์กับค่า gs และค่า E สอดคล้องกับการศึกษาของ Silva et al. (2013) รายงานว่า อ้อยทนแล้งพันธุ์ TCP02-4587 มีค่า A สัมพันธ์ในทางเดียวกันกับค่า gs และ E ($r=0.96^{**}$ และ 0.93^{**} ตามลำดับ) และมีความสัมพันธ์น้อยในทางตรงข้ามกับค่า Ci Leanasawat et al. (2021) รายงานว่า ค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสง ได้แก่ ค่า A E และ gs ของอ้อยที่ได้รับความชื้นที่ระดับความจุ ความชื้นสนามมีค่าสูงกว่าอ้อยที่ได้รับความชื้นครึ่งเท่าของความจุ ความชื้นสนามหรืออ้อยที่เจริญเติบโตโดยอาศัยน้ำฝน และ Gomathi et al. (2011) รายงานว่า อ้อยที่ได้รับน้ำมีค่า A เฉลี่ยสูงกว่าอ้อยที่ขาดน้ำ เท่ากับ 18.49 และ $12.21 \mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ เช่นเดียวกับ ค่า E เฉลี่ยของอ้อยที่ได้รับน้ำมีค่าสูงกว่าอ้อยที่ขาดน้ำ เท่ากับ 1.78 และ $1.51 \text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ตามลำดับ ดังนั้น Ribeiro et al. (2013) จึงแนะนำว่า พันธุ์โคลนอ้อยที่สามารถคงศักยภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงได้แม้อยู่ภายใต้สภาวะที่มีน้ำจำกัดจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มอ้อยที่ทนทานต่อความแห้งแล้ง เช่นเดียวกับ Gomathi et al. (2011) ที่รายงานไว้เมื่ออยู่ในสภาวะแล้ง อ้อยทนแล้งพันธุ์ Co99004 และ Co99008 จะสูญเสียน้ำในปริมาณน้อย ในขณะที่มีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่าการเจริญเติบโต อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า การขาดน้ำมีผลให้อ้อยส่วนใหญ่มีค่า Ci สูงกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากอิเล็กตรอนที่ได้จากการแตกตัวของน้ำมีจำกัดจึงทำให้ได้พลังงาน (ATP, NADPH) ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในระบบแสง II ลดลงทำให้ (1) พลังงานที่ใช้รีดิวซ์คาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์มีจำกัดจึงส่งผลให้อ้อยไม่สามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้ตามปกติ หรือ (2) ขาดพลังงานในขั้นตอน Regeneration ของกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้มี RuBP ไม่เพียงพอสำหรับตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จึงทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น (Kasemsap, 2006)

ขณะเดียวกัน สภาวะแล้งเป็นปัจจัยหลักที่จำกัดการสะสมน้ำตาลในอ้อย (Venkataramana et al., 1986) ทั้งนี้ Gomathi et al. (2011) ได้สนับสนุนว่า สภาวะแล้งมีผลกระทบต่อน้ำตาลซูโครส โดย

น้ำตาลซูโครสจะเปลี่ยนกลับเป็นน้ำตาลเฮกโซส (น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโทส) ทำให้น้ำตาลในอ้อยมีคุณภาพลดลงและมีผลต่อการสะสมน้ำตาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากแหล่งผลิตสู่แหล่งสะสม เนื่องจากน้ำมีส่วนช่วยเคลื่อนย้ายน้ำตาลใน phloem loading โดยเมื่อค่าศักย์ของน้ำใน sieve tube ลดลง ทำให้น้ำจากท่อลำเลียงน้ำออสโมซิสเข้าสู่ sieve tube แล้วช่วยลำเลียงน้ำตาลหรือสารอาหารสู่แหล่งใช้ (Kasemsap, 2006) ดังนั้น เมื่อขาดน้ำจึงอาจเป็นสาเหตุให้น้ำในท่อลำเลียงน้ำน้อยลง และส่งผลให้น้ำตาลระหว่าง phloem loading มีความเข้มข้นมากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่า อ้อยที่ขาดน้ำทุกพันธุ์/โคลนมีค่า TSS สูงกว่าอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติโดยไม่ได้รับผลกระทบจากอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ลดลง Jaiphong et al. (2016) ที่รายงานไว้ว่า อ้อยที่ขาดน้ำนาน 15 วัน มีซูโครสเพิ่มขึ้นและแตกต่างทางสถิติกับอ้อยที่ได้รับตามปกติ ขณะเดียวกัน Gomathi et al. (2011) กล่าวว่า สภาวะแล้งทำให้อ้อยมีการเจริญเติบโตลดลงจึงอาจเป็นสาเหตุให้คาร์บอนส่วนใหญ่ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงถูกเก็บสะสมยังลำอ้อยในรูปของน้ำตาลมากกว่าถูกนำไปใช้ในแหล่งใช้อื่น ต่างจากอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติที่ยังสามารถรักษาการเจริญเติบโตได้ โดยคาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงนอกจากจะถูกสะสมในลำอ้อยแล้ว ยังถูกเคลื่อนย้ายไปยังแหล่งใช้อื่น เช่น ใบ ปล้อง หรือ ยอด เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ เช่น กระบวนการหายใจ การสังเคราะห์โปรตีนและไฟเบอร์ เป็นต้น (Bindon & Botha, 2002; Wang, 2017) และจากลักษณะดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงอาจส่งผลให้พารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงไม่สัมพันธ์กับค่า TSS ทั้งในสภาวะขาดน้ำหรือได้รับน้ำอีกครั้ง

ทั้งนี้ เมื่ออ้อยที่ผ่านการงดการให้น้ำแล้วได้รับน้ำอีกครั้ง พบว่าค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงมีค่าใกล้เคียงกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติ โดยอ้อยสามารถฟื้นฟูศักยภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยการเพิ่มค่าชักนำการเปิด-ปิดปากใบ และเพิ่มการคายน้ำที่ให้น้ำเกิดการเคลื่อนที่ภายในต้นพืชทดแทน (ไอน้ำ) ที่สูญเสียจากการคายน้ำ ประกอบกับ ดินมีความชื้นเพิ่มขึ้นภายหลังการให้น้ำอีกครั้ง (Figure 1) ทำให้ท่อลำเลียงน้ำมีน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้น อ้อยจึงอาจมีน้ำเพียงพอสำหรับการใช้ประโยชน์ในระบบแสง II (PSII) และเพื่อการลำเลียงสารอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยพิจารณาจากค่าอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิที่เพิ่มขึ้น และค่า TSS ที่ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Dinh et al. (2019) ที่รายงานไว้ว่า อ้อยสามารถฟื้นฟูการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ทันทีหลังได้รับน้ำอีกครั้ง และ Medeiros et al. (2013) รายงาน

ว่า อ้อยพันธุ์ RB962962 ที่ขาดน้ำนาน 8 วัน สามารถฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็วในวันที่สองหลังได้รับน้ำอีกครั้ง

การศึกษาในครั้งนี้ ถึงแม้ว่าพันธุ์/โคลนอ้อยที่ดำเนินการศึกษาไม่ได้แสดงลักษณะพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงที่บ่งชี้ถึงการทนทานต่อความแห้งแล้ง แต่อ้อยเหล่านั้นได้แสดงออกโดยลดการสูญเสียน้ำด้วยการปิดปากใบซึ่งเป็นการปรับตัวของพืชเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะขาดน้ำ ขณะเดียวกัน จากหลายการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การฟื้นตัวเป็นอีกหนึ่งลักษณะที่สามารถนำมาใช้เพื่อบ่งชี้ถึงศักยภาพด้านการสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยได้ (Aidar et al., 2014; Wang et al., 2022) โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธุ์อ้อยที่แตกต่างกันจะมีลักษณะพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงต่อการฟื้นตัวที่แตกต่างกัน (Leanasawat et al., 2021) ดังนั้น อ้อยโคลนดีเด่นที่สามารถฟื้นฟูปารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงใกล้เคียงกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติคือ KK07-599 และ KK3/E09-1 เช่นเดียวกับอ้อยพันธุ์ LK92-11 และ KK3 ที่มีค่า g_s และ E ใกล้เคียงกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอ้อยพันธุ์ KK3 ที่ได้รับการยอมรับจากหลายการทดลองที่ผ่านมาว่าหลังจากผ่านสภาวะกระแทกแล้งแล้ว สามารถฟื้นตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับน้ำอีกครั้ง (Namwongsa et al., 2019; Buakom et al., 2020) ทั้งนี้ ในวันที่ 19 ของการควบคุมการให้น้ำในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าค่าพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติมีค่าลดลงหรือใกล้เคียงกับอ้อยทั้งการให้น้ำนั้น เป็นเพราะช่วงการวัดข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงก่อนครบกำหนดการให้น้ำ ทำให้ดินมีความชื้นลดลง (Figure 1) และส่งผลต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชตามลำดับ (Chinnasaen et al., 2023)

สรุปผลการวิจัย

การขาดน้ำมีอิทธิพลต่อพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มากกว่าพันธุ์/โคลนอ้อยที่แตกต่างกัน และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดการการให้น้ำและพันธุ์/โคลนอ้อยที่แตกต่างกันต่อค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อขาดน้ำพารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงของอ้อย ได้แก่ อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ อัตราการคายน้ำ และค่าชักนำการเปิด-ปิดปากใบมีค่าลดลง โดยทั้งสามพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์กันอย่างสูงในทางเดียวกัน ขณะที่ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในใบและปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เมื่อได้รับการให้น้ำอีกครั้ง อ้อยโคลนดีเด่น ได้แก่ KK07-599 และ KK3/E09-1 สามารถฟื้นฟูปารามิเตอร์การสังเคราะห์ด้วยแสงได้ใกล้เคียงกับอ้อยที่ได้รับน้ำตามปกติ โดยอ้อยโคลนดีเด่นดังกล่าวควรถูกคัดเลือกเพื่อทดสอบในประเด็นการศึกษาอื่น ๆ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสงกับการสะสมน้ำตาลภายใต้เงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (เช่น สภาวะแล้ง อุณหภูมิสูง และ น้ำท่วมขัง เป็นต้น) หรือใช้อ้อยโคลนดีเด่นทั้งสองเป็นพ่อหรือแม่พันธุ์ในขั้นตอนการผสมพันธุ์ซึ่งอาจทำให้ได้อ้อยพันธุ์ใหม่ที่มีความโดดเด่นด้านการปรับตัวทางการสังเคราะห์ด้วยแสงต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศนั้น ๆ ขณะเดียวกัน รูปแบบการศึกษาในครั้งนี้อาจสามารถนำมาใช้เป็นต้นแบบประกอบการคัดเลือกพันธุ์อ้อยในขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์อ้อยได้เช่นเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

References

- Aidar, S. T., Meirelles, S. T., Oliveira, R. F., Chaves, A. R. M., & Fernandes-Júnior, P. I. (2014). Photosynthetic response of poikilochlorophyllous desiccation-tolerant *Pleurostima purpurea* (Velloziaceae) to dehydration and rehydration. *Photosynthetica*, 52(1), 124-133. doi:10.1007/s11099-014-0014-0
- Bindon, K. A., & Botha, F. C. (2002). Carbon allocation to the insoluble fraction, respiration and triose-phosphate cycling in the sugarcane culm. *Physiologia Plantarum*, 116(1), 12-19. doi:10.1034/j.1399-3054.2002.1160102.x
- Buakom, W., Krachal, P., Gonkhamdee, S., Songsri, P., & Jongrunklang, N. (2020). Responses of rooting and physiological characteristics of sugarcane grown under mimic drought stress as low water potential at early stage. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 48(6), 1442-1457. doi:10.14456/kaj.2020.127
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, I., Rodrique, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., Carvalloho, I., Faria, T., & Pinharo, C. (2002). How plants cope with water stress in the field ? photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 89(7), 907-916. doi:10.1093/aob/mcf105
- Chinnasaen, T., Chanachai, S., Pakdeethai, C., Tippayawat, A., Jungpol, P., Boonchim, T., & Pongpanchamit, K. (2023). The change in photosynthetic parameters of sugarcane promising clones under drought stress. *Prawarun Agricultural Journal*, 20(1), 54-64. doi: 10.14456/paj.2023.7. (in Thai)
- Dinh, T. H., Takaragawa, H., Watanabe, K., Nakabaru, M., & Kawamitsu, Y. (2019). Leaf photosynthesis response to change of soil moisture content in sugarcane. *Journal Sugar Tech*, 21(6), 949–958. doi: 10.1007/s12355-019-00735-8
- Doorenbos, J., & Kassam, A.H. (1979). *Yield Response to Water*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Endres, L., Silva, J. V., Ferreira, V. M., & Barbosa, G. V. de S. (2010). Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. *The Open Agriculture Journal*, 4(1), 31-37. doi: 10.2174/1874331501004010031
- Gomathi, R., Vasantha, S. Hemaprabha, G., Alarmelu, S., & Shanthi, R.M. (2011). Evaluation of elite sugarcane clones for drought tolerance. *Journal of Sugarcane Research*, 1(1), 55 - 62.

- Gupta, A. S., Berkowitz, G. A., & Pier, P. A. (1989). Maintenance of photosynthesis at low leaf water potential in wheat. *Plant Physiology*, 89(4), 1358-1365. doi: 10.1104/pp.89.4.1358
- Inman-Bamber, N. G., Bonnett, G. D., Spillman, M. F., Hewitt, M. H., & Glassop, D. (2010). Sucrose accumulation in sugarcane is influenced by temperature and genotype through the carbon source-sink balance. *Crop and Pasture Science*, 61(2), 111-121. doi: 10.1071/CP09262
- Jaiphong, T., Tominaga, J., Watanabe, K., Nakabaru, M., Takaragawa, H., Suwa, R., Ueno, M., & Kawamitsu, Y. (2016). Effects of duration and combination of drought and flood conditions on leaf photosynthesis, growth and sugar content in sugarcane. *Plant Production Science*, 19(3), 427-437. doi: 10.1080/1343943X.2016.1159520
- Kasemsap, P. (2006). *Biology 2*. Bangkok, Thailand: The Promotion of Academic Olympiad and Development of Science Education Foundation. (in Thai)
- Khonghintaisong, J., Songsri, P., & Jongrunklang, N. (2017). Growth and physiological patterns of sugarcane cultivars to mimic drought conditions in late rainy season system. *Naresuan University Journal: Science and Technology*, 25(2), 102-112. (in Thai)
- Leanasawat, N., Kositrakun, M., Lontom, W., & Songsri, P. (2021). Physiological and agronomic traits of certain sugarcane genotypes grown under field conditions as influenced by early drought stress. *Agronomy*, 11(11), 2319. doi:10.3390/agronomy11112319
- Liu, Y. Y., Li, J., Liu, S. C., Yu, Q., Tong, X. J., Zhu, T. T., Gao, X. X., & Yu, L. X. (2020). Sugarcane leaf photosynthetic light responses and their difference between varieties under high temperature stress. *Photosynthetica*, 58(4), 1009-1018. doi: 10.32615/ps.2020.038
- Medeiros, D. B., da Silva, E. C., Nogueira, R. J. M. C., Teixeira, M. M., & Buckeridge, M. S. (2013). Physiological limitations in two sugarcane varieties under water suppression and after recovering. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25(3), 213-222. doi:10.1590/S2197-00252013000300006
- Moore, P. H. (1995). Temporal and spatial regulation of sucrose accumulation in the sugarcane stem. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22(4), 661-679. doi:10.1071/PP9950661
- Namwongsa, J., Jongrunklang, N., & Songsri, P. (2019). Genotypic variation in root distribution and physiological responses of sugarcane induced by drought stress. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 51(4), 470-493. doi:10.1101/503912
- Paisancharoen, K., Sansayawichai, T., Luanmanee, S., Thippayarugs, S., Chusorn, K., Chuenrung, J., & Pakdeethai, C. (2012). Water requirement and Kc values of Khon Kaen 3 sugarcane variety. *Khon Kaen Agriculture Journal*, (Suppl. 3), 103-114. (in Thai)
- Qudsieh, H. Y. M., Yusof, S., Osman, A., & Rahman, R. A. (2001). Physico-chemical changes in sugarcane (*Saccharum officinarum* var yellow cane) and the extracted juice at different portions of the stem during development and maturation. *Food Chemistry*, 75(2), 131-137. doi:10.1016/S0308-8146(00)00294-6
- Ribeiro, R. V., Machado, R. S., Machado, E. C., Machado, D. F. S. P., Filho, J. R. M., & Landell, M. G. A. (2013). Revealing drought-resistance and productive patterns in sugarcane genotypes by evaluating both physiological responses and stalk yield. *Experimental Agriculture*, 49(2), 212-224. doi:10.1017/S0014479712001263
- Silva, M de. A., Jifon, J., dos Santos, C. M., Jadoski, C. J., & Da Silva, J. A. (2013). Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56(5), 735-748. doi:10.1590/S1516-89132013000500004
- Smith, M. (1992). *CROPWAT: a computer Program for irrigation planning and management*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Venkataramana, S., Gururaja Rao, P. N., & Naidu, K. M. (1986). The effects of water stress during the formative phase on stomatal resistance and leaf water potential and its relationship with yield in ten sugarcane varieties. *Field Crop Research*, 13, 345-353. doi:10.1016/0378-4290(86)90035-3
- Vu, J. V. C., & Allen Jr, L. H. (2009). Stem juice production of the C₄ sugarcane (*Saccharum officinarum*) is enhanced by growth at double-ambient CO₂ and high temperature. *Journal of Plant Physiology*, 166(11), 1141-1151. doi: 10.1016/j.jplph.2009.01.003
- Wang, J., Zhang, X., Han, Z., Feng, H., Wang, Y., Kang, J., Han, X., Wang, L., Wang, C., Li, H., & Ma, G. (2022). Analysis of physiological indicators associated with drought tolerance in wheat under drought and re-watering conditions. *Antioxidants (Basel)*, 11(11), 2266. doi: 10.3390/antiox11112266
- Wang, J., Zhao, T., Yang, B., & Zhang, S. (2017). Sucrose metabolism and regulation in sugarcane. *Journal of Plant Physiology & Pathology*, 5(4), 1-6. doi: 10.4172/2329-955X.1000167

Research article

Photosynthetic parameters and total soluble solid of promising sugarcane clones under drought stress condition

Theerarat Chinnasaen* Sangdaun Chanachai Chayant Pakdeethai Ammarawan Tippayawat and Krongkan Pongpanchamit

Khon Kaen Field Crops Research Center, Sila, Khon Kaen District, Khon Kaen Province, Thailand 40000

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 8 April 2024

Revised: 19 June 2024

Accepted: 25 June 2024

Online published: 18 July 2024

Keyword

Stomatal conductance

Total soluble solid

Transpiration rate

Net photosynthesis rate

ABSTRACT

Photosynthesis is the major source of organic carbon and energy for plant growth and biomass production. However, drought is one of the crucial factors that affect photosynthesis. Hence, this study aimed to evaluate the change in photosynthetic parameters and TSS (Total soluble solid) under drought stress and the recovery after re-watering in promising sugarcane clones at Khon Kaen Field Crops Research Center (KKFCRC) in 2023. The experimental design was a split plot with 3 replications, main plots were (1) well-watered based on plant requirement, (2) restricted-watered for 19 days, and subplots were the genotypes of sugarcane: (1) KK07-599, (2) KK12(R)-085, (3) KK3/E09-1, (4) LK92-11, and (5) KK3. The results showed that drought reduced the photosynthetic parameters as net photosynthesis (A), transpiration rate (E), and stomatal conductance (gs) while internal CO₂ concentration (Ci) and TSS tended to be elevated when compared with the homogenous genotype that was irrigated with well-watered, restricted irrigation for 14 days in KK3/E09-1 presented the lowest gs as 0.02 mmolm⁻²s⁻¹, and A, E, and gs presented high positive correlation in each other. Moreover, photosynthetic parameters were recovered after re-watering, especially in KK07-599 and KK3/E09-1 which could apply to selecting sugarcane breeding or be the study model of sugarcane photosynthesis physiology in Thailand.

*Corresponding author

E-mail address: nongtheerarat@gmail.com (T. Chinnasaen)

Online print: 18 July 2024 Copyright © 2024. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2024.31>