

การตอบสนองทางกายวิภาคของรากและสรีรวิทยาในอ้อยลูกผสมข้ามต่อสภาวะที่จำลองความเครียดแล้งในระบบการผลิตอ้อยช่วงต้นฤดูฝน

สุทธิดา พรหมเอี่ยม¹ พชริน ส่งศรี¹ และ ณกรณ์ จงรังกลาง^{1*}

¹สาขาวิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

*Corresponding author: nuntjo@kku.ac.th

(Received: August 8, 2025; Revised: November 6, 2025; Accepted: November 14, 2025)

บทคัดย่อ

อ้อยลูกผสมข้ามช่วยเพิ่มความหลากหลายทางพันธุกรรมและความสามารถในการทนแล้ง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินลักษณะทางกายวิภาคของราก และลักษณะทางสรีรวิทยาของอ้อยลูกผสมกลับช่วงรุ่นที่ 1 (backcross 1; BC1) ที่ทนทานต่อความแห้งแล้งแตกต่างกัน ดำเนินการทดลองในสภาพกระถางแบบ 2×4 Factorial in RCBD โดยปัจจัย A คือ การจัดการให้น้ำ 2 ระดับ ได้แก่ 1) ให้น้ำและควบคุมความชื้นดินที่ระดับความจุความชื้นระดับสนาม และ 2) ขาดน้ำช่วงต้นการเจริญเติบโตยาวนาน 18 วัน (ช่วง 30-48 วันหลังย้ายปลูก) และปัจจัย B คือ อ้อยลูกผสมกลับช่วงรุ่นที่ 1 จำนวน 4 โคลนพันธุ์ ได้แก่ BC1-21 BC1-44 BC1-50 และ BC1-63 พบว่า BC1-44 มีความสามารถในการรักษาการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาได้ดีกว่าโคลนพันธุ์อื่น โดยแสดงค่าดัชนีความทนแล้งสูง (DTI) ทั้งในลักษณะจำนวนหน่อ อัตราการสังเคราะห์แสง ค่าความเขียวเข้มของสีเขียว และการคายน้ำ พบว่า BC1-44 มีความยาวราก พื้นที่ผิวสัมผัส ปริมาตรของรากสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ และลักษณะกายวิภาคของรากที่เอื้อต่อการลำเลียงน้ำ เช่น มีจำนวนท่อไซเล็มมาก ขนาดของมัดท่อลำเลียงในบริเวณโคนรากและปลายรากที่มีขนาดเล็ก ซึ่งจะช่วยสนับสนุนการปรับปรุงพันธุ์อ้อยลูกผสมข้ามชนิดให้ทนทานต่อความแห้งแล้งในช่วยต้นของการเจริญเติบโตในระบบการผลิตอ้อยช่วงต้นฤดูฝนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

คำสำคัญ: ระบบรากอ้อย; ความยาวราก; ท่อลำเลียงน้ำ; การสังเคราะห์ด้วยแสง; การคายน้ำ

Root Anatomical and Physiological Responses of Interspecific Sugarcane Hybrids to Simulated Drought Stress in Early Rainy Season Sugarcane Production Systems

Suttida Prom-aiam¹, Patcharin Songsri¹ and Nakorn Jongrunklang^{1*}

Agronomy Department, Faculty of Agriculture, KhonKaen University, KhonKaen 40002

*Corresponding author: nuntjo@kku.ac.th

(Received: August 8, 2025; Revised: November 6, 2025; Accepted: November 14, 2025)

Abstract

Interspecific hybrid sugarcane results from crosses between commercial sugarcane and wild sugarcane (*Saccharum spontaneum*), which enhances genetic diversity and drought tolerant capacity. This study aimed to evaluate root anatomical characteristics and physiological traits of BC1 sugarcane clones with varying degrees of drought tolerance. The experiment was conducted under pot conditions using a 2 × 4 factorial design in a randomized complete block design (RCBD). Factor A consisted of two water management levels: 1) well-watered with soil moisture maintained at field capacity, and 2) water-withholding during early growth for 18 days (30-48 days after transplanting). Factor B comprised four BC1 sugarcane clones: BC1-21, BC1-44, -tolerant clone BC1-50 and BC1-63 -susceptible clone. BC1-44 exhibited superior capacity to maintain growth and physiological functions compared to other clones, displaying high drought tolerant indices across multiple parameters including tiller number, photosynthetic rate, SPAD chlorophyll meter reading (SCMR), and transpiration rate. Root characteristics revealed particularly BC1-44, possessed greater root length, surface area, and volume compared to other genotypes. Additionally, this clone exhibited root anatomical features conducive to water transport efficiency, including abundant xylem vessels and appropriately sized vascular bundles at both the basal and distal regions of the root. In contrast, the susceptible clone BC1-63 demonstrated fewer but larger xylem vessels and lower drought tolerant index (DTI) values in certain characteristics. The understanding in the differential response of these clones will support the improvement of interspecific hybrid

sugarcane breeding programs to enhance drought tolerance during early growth stages, thereby increasing the efficiency of sugarcane production systems during the early rainy season.

Keywords: Sugarcane root system; Root length; Xylem vessels; Photosynthesis; Transpiration

บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญระดับโลกที่มีการเพาะปลูกในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนของประมาณ 120 ประเทศ (Meena et al., 2020) อ้อยมีบทบาทหลักในฐานะวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำตาลโลกถึงร้อยละ 75 ในขณะที่ซูการ์บีตที่ปลูกในเขตอากาศเย็นมีส่วนแบ่งร้อยละ 25 นอกเหนือจากการผลิตน้ำตาลแล้ว อ้อยยังเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมหลายประเภท ทั้งการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากชานอ้อย การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และเป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับไบโอบิวทานอลและไบโอดีเซล (Budeguer et al., 2021) ประเทศไทยมีฐานะเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลอันดับสามของโลก รองจากบราซิลและอินเดีย ในปีการผลิต 2566/67 ประเทศไทยผลิตอ้อยได้ 98.78 ล้านตันจากพื้นที่เก็บเกี่ยว 11.12 ล้านไร่ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปีก่อนหน้าพบว่าพื้นที่ผลิตลดลงร้อยละ 2.76 อันเป็นผลมาจากปรากฏการณ์เอลนีโญที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรง ซึ่งนำไปสู่ความแห้งแล้งและคลื่นความร้อนที่ปกคลุมพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Office of the Cane and Sugar Board, 2020)

ความผันผวนของสภาพอากาศส่งผลกระทบต่อรูปแบบการตกของฝนในประเทศไทยอย่างชัดเจน โดยเฉพาะฤดูฝนปี 2567 ที่เริ่มต้นช้ากว่าปกติ 1-2 สัปดาห์ คือในสัปดาห์ที่สี่ของเดือนพฤษภาคม และสิ้นสุดลงปลายเดือนตุลาคม สิ่งที่เป็นปัญหาเพิ่มเติมคือการเกิดฝนทิ้งช่วงตั้งแต่กลางเดือนมิถุนายนจนถึงกลางเดือนกรกฎาคม ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำสำหรับภาคการเกษตร สถานการณ์ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นแหล่งปลูกอ้อยหลักของประเทศ ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่ปลูกถึงร้อยละ 45 ตามด้วยภาคกลาง ภาคเหนือ และภาคใต้ ที่มีสัดส่วนร้อยละ 29, 26 และ 6 ตามลำดับ (Office of the Cane and Sugar Board, 2020) ลักษณะเฉพาะของการผลิตอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือคือการพึ่งพาระบบน้ำฝนเป็นหลัก ซึ่งมักประสบปัญหาภัยแล้งในระยะแรกของการเจริญเติบโต การผลิตจึงถูกแบ่งออกเป็นสองระบบหลัก ได้แก่ ระบบอ้อยต้นฤดูฝนที่เริ่มปลูกตั้งแต่ปลายเดือนเมษายนถึงกลางเดือนมิถุนายน ซึ่งมักได้รับผลกระทบจากภัยแล้งในช่วงระยะแตกกอ และระบบอ้อยปลายฤดูฝนหรืออ้อยข้ามแล้งที่เริ่มปลูกตั้งแต่ปลายเดือนตุลาคมถึงปลายเดือนพฤศจิกายน ซึ่งต้องเผชิญกับภัยแล้งในระยะเวลาที่ยาวนานกว่าระบบแรก

การขาดน้ำในช่วงต้นของการเจริญเติบโตส่งผลกระทบต่อผลผลิตอ้อย โดย Robertson et al. (1999) พบว่าความเครียดจากการขาดน้ำสามารถลดผลผลิตอ้อยได้ถึงร้อยละ 60 เนื่องจากส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและกระบวนการทางสรีรวิทยาอื่นๆ หนทางสำคัญในการแก้ไขปัญหาคือการพัฒนาพันธุ์อ้อยที่สามารถให้ผลผลิตสูงและทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ปัจจุบันอุตสาหกรรมอ้อยได้พัฒนาพันธุ์ลูกผสมข้ามสายพันธุ์ (Interspecific hybrid) ระหว่าง *Saccharum officinarum* ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลสูง และ *Saccharum spontaneum* ซึ่งมีเส้นใยมาก ต้านทานโรคและความเครียดในสภาพขาดน้ำได้ดี (Budeguer et al., 2021) การผสมข้ามดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อรวมคุณสมบัติที่ดีของทั้งสองสายพันธุ์ให้ได้พันธุ์ลูกผสมที่มีทั้งปริมาณน้ำตาลและผลผลิตสูง พร้อมความสามารถในการทนแล้ง (Wiangwiset et al., 2023) แม้ว่าการพัฒนาพันธุ์อ้อยทนแล้งจะมีความก้าวหน้า แต่ยังคงขาดความเข้าใจในเชิงลึกเกี่ยวกับกลไกการตอบสนองของอ้อยต่อสภาวะขาดน้ำ การระบุลักษณะที่เกี่ยวข้องกับความทนแล้งจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการคัดเลือกและพัฒนาพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ (Khonghintaisong et al., 2023) ปัจจุบันมีการศึกษาลักษณะการ



เจริญเติบโตและสรีรวิทยาของอ้อยภายใต้สภาวะขาดน้ำเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม ข้อมูลทางวิชาการที่สำคัญใน ด้านลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของอ้อยยังมีอย่างจำกัด โดยเฉพาะกายวิภาคศาสตร์ของรากในอ้อยลูกผสมข้ามสายพันธุ์ซึ่งยังไม่มีกรายงานการศึกษา แต่มีรายงานการศึกษากายวิภาคศาสตร์ของรากของข้าว โดยโครงสร้างรากข้าวตอบสนองต่อความเครียดจากภัยแล้งโดยการปรับเปลี่ยนโครงสร้างรากและโครงสร้างภายใน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมน้ำ ข้าวพันธุ์ทนแล้งมักพัฒนาระบบรากที่ลึกขึ้นมากยิ่งขึ้น (Ouyang et al., 2020) ดังนั้นลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์สามารถให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับกลไกการปรับตัวของรากต่อความแล้งได้ ซึ่งการศึกษารูปแบบการตอบสนองของลักษณะรากและสรีรวิทยาของอ้อยลูกผสมภายใต้สภาวะขาดน้ำในช่วงต้นการเจริญเติบโตจึงมีความจำเป็น เพื่อเข้าใจกลไกการปรับตัวและนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์อ้อยให้มีศักยภาพทนแล้งสำหรับระบบการผลิตในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

อุปกรณ์และวิธีการ

ดำเนินการทดลองในสภาพกระถางในโรงเรือนแบบเปิด ในหลังกักกันฝน ณ อาคารปลูกพืชไร่ดินสาขาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ใช้แผนการทดลองแบบ 2×4 Factorial in Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ โดยมีปัจจัย A คือ การให้น้ำ 2 รูปแบบ 1) ให้น้ำและควบคุมความชื้นดินที่ระดับความจุสนาม (field capacity; FC) และ 2) งดให้น้ำ (water-withholding; WW) เป็นเวลา 18 วัน ตามความยาวนานของฝนทิ้งช่วง พิจารณาจากจำนวนวันที่มีปริมาณน้ำฝนตกไม่ถึงวันละ 1 มิลลิเมตร ติดต่อกันในช่วงต้นฤดูฝนของข้อมูล 10 ปี (Northeastern Meteorological Center, 2023) ปัจจัย B คือ พันธุ์อ้อยลูกผสมกลับหัวที่ 1 (BC1) แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ พันธุ์ทนแล้ง BC1-21 และ BC1-44 พันธุ์อ่อนแอ BC1-50 และ BC1-63 โดยใช้ลักษณะการตอบสนองต่อความแห้งแล้งของกายวิภาคศาสตร์ของใบ (ค่าความหนาของใบ, ความหนาของชั้นคิวทิเคิล และลักษณะการจมลึกของปากใบ) และจำนวนผลผลิตที่แตกต่างกันในสภาวะขาดน้ำ (Wiangwiset et al., 2023)

การปลูกและการดูแลรักษา

1) การเตรียมดินและการบรรจุดินใส่กระถาง ย้ายลงปลูกในกระถางรูปทรงกรวยตัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน 47 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่าง 40 เซนติเมตร ความสูง 65 เซนติเมตร ในแต่ละกระถางเติมดินจำนวน 129.5 กิโลกรัม ปริมาตรดินคำนวณตามความหนาแน่นของดิน 1.45 g/cm^3 การเติมดินลงกระถางแบ่งตามความสูงของกระถางออกเป็น 3 ชั้น ชั้นละ 20 เซนติเมตร ได้แก่ 0-20, 20-40 และ 40-60 เซนติเมตร ใส่ปุ๋ยก่อนปลูกสูตร 15-15-15 ในอัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ (5.2 กรัมต่อกระถาง) ใส่ปุ๋ยเมื่ออายุ 30 และ 60 วันหลังย้ายปลูก

2) การเตรียมต้นกล้าอ้อย การเตรียมท่อนพันธุ์อ้อยโดยคัดเลือกลำต้นอ้อยของแต่ละพันธุ์ที่มีความแข็งแรง ไม่มีโรคและแมลงเข้าทำลาย ใช้ท่อนพันธุ์อายุ 10 เดือน เลือกใช้ข้อตาบริเวณส่วนกลางลำต้น ซึ่งเป็นส่วนที่ตาอ้อยเจริญเติบโตได้ดี เตรียมอ้อยข้อตาเดียวโดยตัดเอาเฉพาะส่วนข้อตา ความยาวประมาณข้อตาละ 2

นี้ว โดยตัดให้ห่างจากข้อตาฝั่งละ 1 นิ้ว เพื่อให้ปริมาณอาหารสะสมมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด นำข้อตาที่ได้เพาะลงวัสดุปลูก หลังจากต้นกล้ามีอายุ 3 สัปดาห์ หรือมีใบจริงประมาณ 3 ใบ คัดเลือกต้นกล้าที่แข็งแรง และมีความสม่ำเสมอ ย้ายปลูกลงกระถาง โดย 1 ต้นต่อกระถาง

3) การจัดการการให้น้ำ การให้น้ำหลังปลูกอ้อยทุกกระถางให้น้ำจนถึงระดับความจุความชื้นสนาม field capacity; FC (FC = 6.7 %) หลังปลูก 1 วัน คำนวณปริมาณน้ำและควบคุมความชื้นให้อยู่ที่ระดับความจุความชื้นสนาม (field capacity; FC) จนกระทั่งอ้อยอายุครบ 30 วันหลังย้ายปลูก เพื่อให้อ้อยได้ตั้งตัวอย่างสม่ำเสมอและจำลองการขาดน้ำในช่วงฤดูฝน งดการให้น้ำในกรรมวิธีที่งดให้น้ำ เป็นระยะเวลา 18 วัน (ช่วงอ้อยอายุ 30-48 วันหลังย้ายปลูก)

ปริมาณการให้น้ำรายวันเพื่อควบคุมให้ความชื้นดินรักษาระดับความจุสนาม คำนวณจากความต้องการน้ำของอ้อย (ET crop) ดังสมการ (FAO, 2020)

$$ET_{crop} = ETo \times Kc$$

ET crop คือ ความต้องการน้ำของอ้อยหรือปริมาณน้ำที่สูญเสียไปเนื่องจากการใช้น้ำของอ้อย (มิลลิเมตรต่อวัน)

ETo คือ ค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิงในสภาพที่กำหนด (มิลลิเมตร) คำนวณโดย pan evaporation method.

Kc คือ สัมประสิทธิ์ความต้องการน้ำของอ้อยที่ขึ้นอยู่กับพันธุ์และอายุ (Khonghintaisong et al., 2023)

การบันทึกข้อมูล

ข้อมูลดินและความชื้นดิน ตรวจวัดด้วยวิธีวัดความชื้นโดยมวล (gravimetric water content) ที่ระดับความลึก 0-70 เซนติเมตร วัดโดยการชั่งน้ำหนักดินในกรถางทดลอง (น้ำหนักดินเปียก) จากนั้นนำตัวอย่างดินไปอบในตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักดินหลังอบ (น้ำหนักดินอบแห้ง) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นดินด้วยวิธีการของ FAO (2020) จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นดิน} = \frac{(\text{น้ำหนักดินเปียก} - \text{น้ำหนักดินอบแห้ง})}{\text{น้ำหนักดินอบแห้ง}} \times 100$$

ข้อมูลลักษณะการเจริญเติบโต เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตโดยการระบุต้น เมื่ออายุ 48 วันหลังย้ายปลูก ได้แก่ 1) จำนวนหน่อต่อกอ (Tiller number) ทำการตรวจนับจำนวนหน่ออ้อยที่งอกโผล่พ้นดิน 2) ความสูงต้น (stalk height) วัดจากโคนต้นจนถึงคอใบที่ 1 (dewlap) ตามวิธีของ Leanasawat et al. 2021

ข้อมูลลักษณะทางสรีรวิทยา เก็บข้อมูลสรีรวิทยาโดยการระบุต้น เมื่ออายุ 48 วันหลังย้ายปลูก ได้แก่ 1) วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ทางอ้อม ด้วยความเขียวเข้มของสีใบ (SPAD chlorophyll meter reading (SCMR))

ด้วยเครื่อง SPAD chlorophyll meter ทำการเก็บข้อมูลใบที่แผ่ขยายเต็มที่ วัดจากโคน กลาง ปลายของใบ แล้วหาค่าเฉลี่ย เก็บข้อมูลช่วง 10.00 – 12.00 น. (Wirojsirasak et al., 2024) 2) การสังเคราะห์ด้วยแสงสุทธิ (Net photosynthetic rate; Pn) ประสิทธิภาพการคายน้ำ (Transpiration efficiency; TE) และค่าการชักนำของปากใบ (stomatal conductance) โดยวัดจากใบที่ 3 หรือ 4 ที่แผ่ขยายเต็มที่ของต้นหลัก เก็บข้อมูลช่วงเวลาที่มีแสงแดด ประมาณ 10:00 – 12:00 เป็นต้น โดยวัดด้วยเครื่องการสังเคราะห์ด้วยแสง (Licor-6800; LI-COR, USA) ที่ความเข้มแสง $1,500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{S}^{-1}$ และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (Tippa-art et al., 2025) 3) ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงสูงสุด (Maximum quantum efficiency of PSII; Fv/Fm) ตรวจวัดโดยใช้เครื่อง chlorophyll fluorescence (Mini-PAM2000 Heinz Walz GmbH, Germany) ตรวจวัดในสภาพมืด โดยใช้ตัวหนีบใบบริเวณจุดกึ่งกลางใบก่อนวัด ทิ้งไว้ 30 นาที เก็บข้อมูลในช่วงเวลา 10.00-14.00 น. (Wirojsirasak et al., 2024)

ข้อมูลสัณฐานวิทยาของราก เก็บข้อมูลลักษณะเมื่ออ้อยอายุ 48 วันหลังย้ายปลูก ตัวอย่างรากล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อแยกดินกับรากอ้อยออกจากกัน นำรากทั้งหมดสแกนด้วยเครื่อง Epson V800 นำภาพที่ได้จากการสแกนไปวิเคราะห์ ความยาวราก (root length) พื้นที่ผิวสัมผัสราก (root surface area) ปริมาตรราก (root volume) และเส้นผ่านศูนย์กลางราก (root diameter) ด้วยโปรแกรม Winrhizo (Winrhizo Pro (s) V. 2004a, Regent Instruments, Inc)

ข้อมูลกายวิภาคศาสตร์ของราก เก็บข้อมูลลักษณะเมื่ออ้อยอายุ 48 วันหลังย้ายปลูก นำตัวอย่างรากล้างด้วยน้ำสะอาดเพื่อแยกดินกับรากอ้อยออกจากกันเก็บตัวอย่างรากของลำต้นหลัก (shoot roots) สุ่มเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ บริเวณของรากปลาย ที่อ้อยอายุ 48 วันหลังย้ายปลูก หลังจากตัดตัวอย่างรากให้นำไปแช่แอลกอฮอล์ (ethyl alcohol 70%) เพื่อคงสภาพของเซลล์ จากนั้นนำตัวอย่างรากที่ผ่านการแช่ในสารละลายฟอมาลินอะซิติกแอซิดแอลกอฮอล์ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาแช่น้ำกลั่นประมาณ 1-2 ชั่วโมง เพื่อล้างสารละลายฟอมาลินอะซิติกแอซิดแอลกอฮอล์ นำตัวอย่างรากมาตัดตามขวางด้วยมือ (free hand section) โดยตัดตามขวางของแนวของรากให้มีความบางมากที่สุด นำเนื้อเยื่อไปย้อมสีซาฟรานิน 1% (safranin O) ที่ละลายในแอลกอฮอล์ 95% บนแผ่นสไลด์ ประมาณ 10-15 นาที จากนั้นพ่นกสไลด์ด้วยน้ำกลั่น ปิดสไลด์ด้วยกระจกปิดสไลด์ (cover glass) นำไปตรวจวัดภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (light microscope) ที่กำลังขยาย 10X, 40X และ 100X ตามลำดับ เลือกตัวอย่างเนื้อเยื่อที่สมบูรณ์นำไปทำสไลด์ถาวร โดยดึงน้ำจากเนื้อเยื่อด้วยแอลกอฮอล์ 70%, 95% และ 100% ผสมกับไซลีน (xylene) อัตรา 1:1 ปริมาณตามลำดับ นำไปพ่นกสไลด์โดยใช้ดีพีเอ็กซ์ (DePeX mounting medium; DPX) ปิดสไลด์ด้วยกระจกปิดสไลด์ (cover glass) จากนั้นนำไปตรวจวัดลักษณะทางกายวิภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Olympus BH-2) และ Zeiss พร้อมด้วยโปรแกรมการกำหนดค่า MB2004-AxioVision (MB2004 configuration-AV) การตรวจวัดข้อมูลเนื้อเยื่อลักษณะทางกายวิภาค ได้แก่ ขนาดของราก (root size) ขนาดของมัดท่อลำเลียง (stele size) ขนาดของท่อไซเล็ม (xylem size) จำนวนท่อไซเล็ม (xylem number) ขนาดของท่อไซเล็มทั้งหมด (total xylem size)

พื้นที่ของท่อไซเล็ม (xylem area) และ สัดส่วนขนาดของท่อไซเล็มต่อขนาดของมัดท่อลำเลียง (Xylem size percentage) คำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{Xylem size percentage} = \frac{(\text{Total xylem vessel size})}{(\text{stele size})} \times 100$$

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนในทุกลักษณะตามแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomized Complete Block Design และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี least significant difference (LSD) ด้วย โปรแกรม Statistix 10 ที่ระดับนัยสำคัญ $P \leq 0.05$ เปรียบเทียบการตอบสนองของผลผลิตและ องค์ประกอบผลผลิต ลักษณะทางการเกษตร สันฐานวิทยา และกายวิภาคในแต่ละพันธุ์ที่ได้รับน้ำแตกต่างกัน หาค่าความสัมพันธ์ของลักษณะต่าง ๆ และวิเคราะห์ค่าดัชนีความทนทานต่อความแห้งแล้ง Drought tolerant index (DTI) เป็นค่าที่ใช้วัดความสามารถของพืชในการทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้ง คำนวณจาก $DTI = \text{สภาวะแห้งแล้ง} / \text{สภาวะปกติ}$

ผลและวิจารณ์

การตอบสนองทางด้านการเจริญเติบโต

อ้อยโคลนพันธุ์ BC1-44 มีความโดดเด่นทั้งทางด้านความสูง (Figure 1a) และจำนวนหน่อ ความสูงต้นลดลงเพียงเล็กน้อยในสภาวะแห้งแล้ง เมื่อเทียบกับสภาวะปกติและมีโดยมีค่าดัชนีความทนแล้ง (drought tolerant index; DTI) ของจำนวนหน่อสูงสุด คือ 1.06 (Figure 1b) บ่งชี้ถึงความสามารถในการเจริญเติบโตภายใต้ความเครียดจากความแห้งแล้งได้ดี ในทางกลับกันอ้อยโคลนพันธุ์ BC1-63 มีค่าความสูงและจำนวนหน่อลดลงอย่างชัดเจน และมีค่า DTI ต่ำที่สุด (Figure 1) ซึ่งสะท้อนถึงความอ่อนแอต่อความแล้ง ซึ่งเป็นไปตาม Silva et al. (2018) ระบุว่าความเครียดจากความแห้งแล้งส่งผลให้การเจริญเติบโตลดลง โดยเฉพาะในช่วงต้นของการเจริญเติบโตที่มีความอ่อนแอต่อการขาดน้ำมากที่สุดนอกจากนี้ยังพบว่า BC1-21 และ BC1-50 มีผลตอบสนองระดับปานกลาง โดยเฉพาะ BC1-21 ที่รักษาระดับการเจริญเติบโตไว้ได้ค่อนข้างดีแม้อยู่ภายใต้ที่ขาดน้ำ (Figure 1) จากค่า DTI สามารถแยกกลุ่มโคลนพันธุ์ที่มีศักยภาพในการพัฒนาพันธุ์ทนแล้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในลักษณะของการเจริญเติบโตในสภาวะแห้งแล้งในช่วงต้นของการเจริญเติบโตพบว่าอ้อย BC1-44 มีศักยภาพสูงในการคัดเลือกเป็นพันธุ์อ้อยทนแล้งในอนาคต

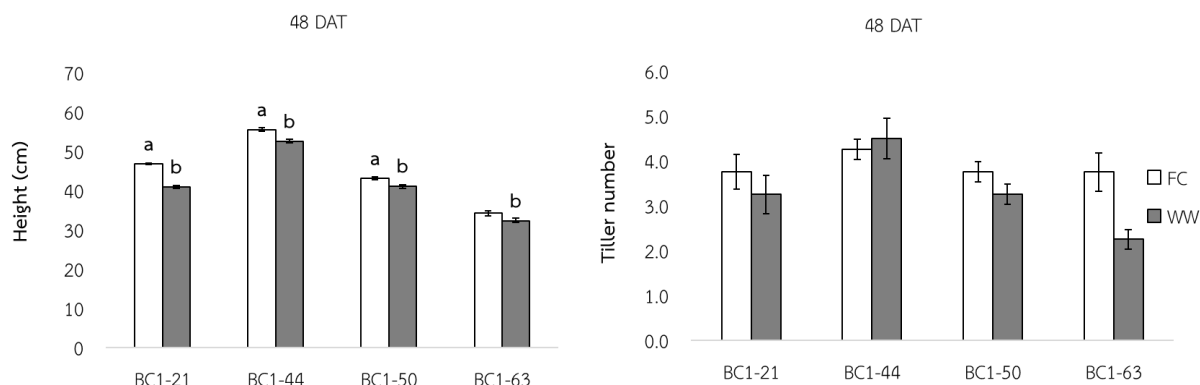


Figure 1. Height (cm) (a) and tiller number (b) of BC1 clones: drought-tolerant (BC1-21 and BC1-44) and drought-susceptible (BC1-50 and BC1-63) at 48 days after transplanting (DAT). Drought tolerant index (DTI) of four sugarcane cultivars calculated based on field capacity (FC) and water-withholding (WW)

การตอบสนองทางสรีรวิทยา

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโคลนพันธุ์ BC1-44 มีศักยภาพโดดเด่นในการทนแล้ง โดยสามารถรักษาค่า DTI ของลักษณะทางสรีรวิทยา ได้แก่ ค่าความเขียวใบ ($DTI = 0.93$), อัตราการสังเคราะห์แสง ($DTI = 0.95$), การคายน้ำ ($DTI = 0.67$) และประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสูงสุด ($DTI = -0.04$) ซึ่งแสดงถึงกลไกการตอบสนองที่มีประสิทธิภาพต่อความเครียดจากความแห้งแล้ง ในทางกลับกัน โคลน BC1-63 มีค่าลักษณะทางสรีรวิทยาทุกลักษณะลดลงอย่างชัดเจนภายใต้สภาวะขาดน้ำ โดยเฉพาะค่า P_n และ g_s รวมถึงมีค่า DTI ต่ำในทุกลักษณะ (Figure 2) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Silva et al. (2018) ที่ระบุว่าสภาวะแห้งแล้งส่งผลให้พืชลดการเปิดปากใบ (g_s) ส่งผลทำให้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำ อย่างไรก็ตาม ในโคลนพันธุ์อ่อนแอจากความแห้งแล้งอย่างโคลน BC1-21 สามารถรักษาค่า g_s และ P_n ได้ค่อนข้างดี จึงนับว่าเป็นโคลนที่มีศักยภาพรองลงมาจากพันธุ์ BC1-44 ขณะที่ BC1-50 แสดงการตอบสนองระดับปานกลางในทุกลักษณะ (Figure 2) โดยรวมแล้ว การใช้ค่า DTI ร่วมกับลักษณะทางสรีรวิทยา สามารถใช้ในการจำแนกโคลนพันธุ์ที่มีศักยภาพทนแล้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ Ratnam et al. (2021) และ Basnayake et al. (2012) โดยเฉพาะในช่วงต้นของการเจริญเติบโตที่เป็นช่วงวิกฤตต่อการขาดน้ำ

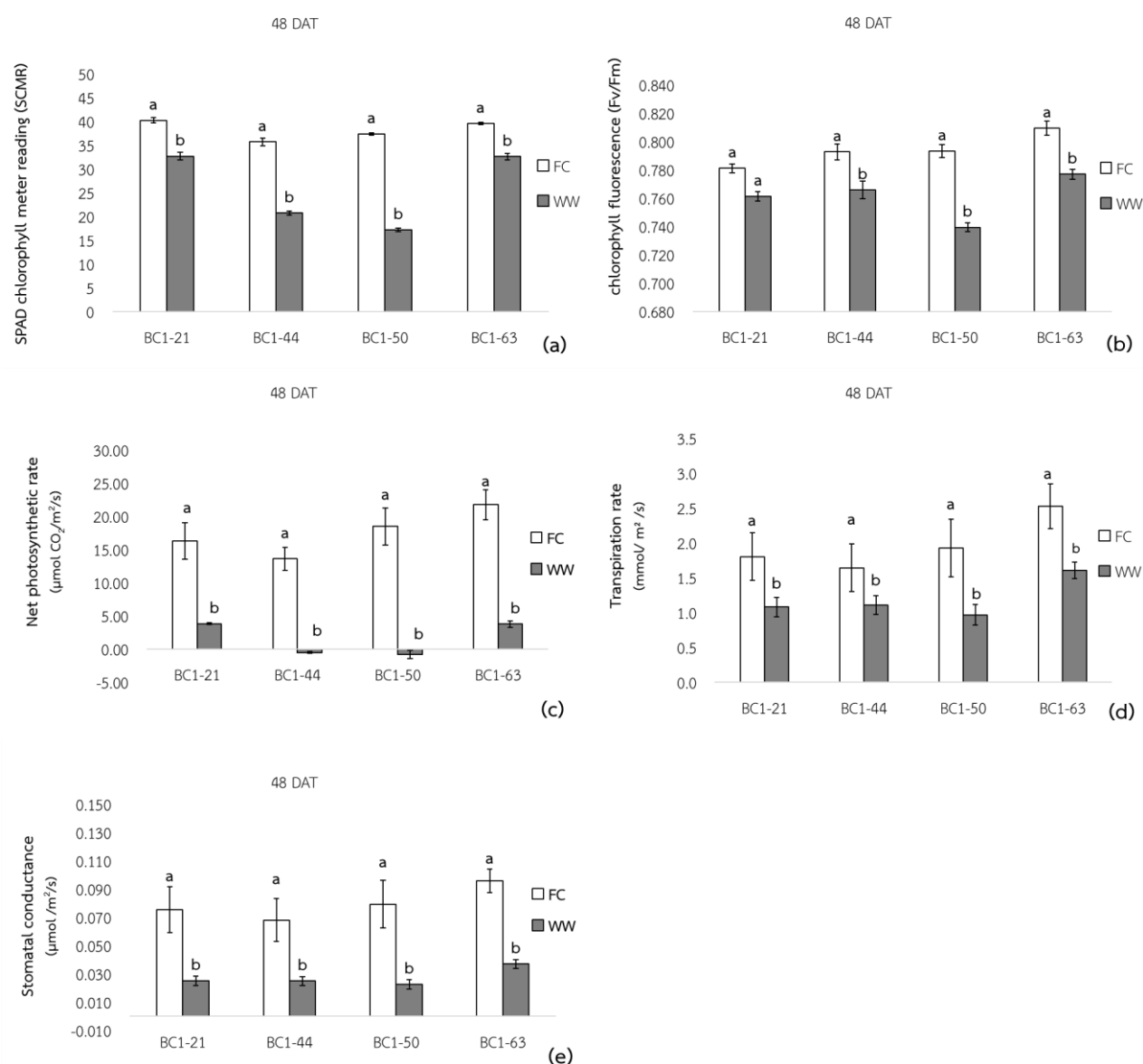


Figure 2. SPAD chlorophyll meter reading (SCMR) (a), maximum quantum efficiency of PSII; (Fv/Fm) (b), stomatal conductance (g_s) (c), transpiration rate (TE) (d) and net photosynthetic rate (Pn) (e) of BC1 clones: drought-tolerant (BC1-21 and BC1-44) and drought-susceptible (BC1-50 and BC1-63) at 48 days after planting. Drought tolerant index (DTI) of four sugarcane clone calculated based on field capacity (FC) and water-withholding (WW)



การตอบสนองของลักษณะสัณฐานวิทยาของราก

โคลนพันธุ์ BC1-44 มีค่า DTI ของความยาวราก (DTI = 1.22) (Figure 3a) พื้นที่ผิวสัมผัสราก (DTI = 1.02) (Figure 3b) และปริมาตรราก (DTI = 1.05) (Figure 3d) สูงที่สุดเมื่อเทียบกับพันธุ์อื่นๆ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการตอบสนองต่อความเครียดจากการขาดน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับ Basnayake et al. (2012) และ Ratnam et al. (2021) ที่ใช้ลักษณะความยาวราก พื้นที่ผิวสัมผัสราก และปริมาตรราก เป็นตัวบ่งชี้ความทน ในการคัดเลือกพันธุ์ทนแล้งของอ้อยพันธุ์การค้า ส่วนโคลนพันธุ์อ่อนแออย่าง BC1-63 มีค่าความยาวราก พื้นที่ผิวราก และปริมาตรรากลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และมี DTI ต่ำที่สุด ส่วนโคลน BC1-21 แม้จะไม่โดดเด่นในลักษณะราก แต่สามารถรักษาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางรากไว้ได้ดี (DTI = 1.00) (Figure 3c) ซึ่งอาจมีบทบาทต่อการคงความมั่นคงของโครงสร้างรากและการดูดน้ำ จากการรายงานของ Khonghintaisong et al. (2023) กล่าวว่า อ้อยพันธุ์การค้าที่มีผลผลิตสูงในสภาพแล้ง มีลักษณะของความยาวราก พื้นที่ผิวราก และปริมาตรรากมากกว่าพันธุ์อ้อยที่ให้ผลผลิตต่ำ (อ่อนแอต่อความแห้งแล้ง) ซึ่งการปรับตัวในลักษณะรากดังกล่าวจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดน้ำในช่วงต้นของระยะการเจริญเติบโตได้

การตอบสนองของลักษณะกายวิภาคของราก

ในสภาวะขาดน้ำโคลนพันธุ์อ้อยที่มีความทนแล้งตอบสนองทางกายวิภาคบริเวณโคนราก โดยมีจำนวนท่อไซเล็มมากกว่าพันธุ์อ่อนแอ และพื้นที่ท่อไซเล็มรวม ขนาดมัดท่อลำเลียง ขนาดของรากเล็กกว่าพันธุ์อ้อยที่อ่อนแอต่อสภาวะแห้งแล้ง อ้อย BC1-50 และ BC1-63 มีขนาดท่อไซเล็มรวมและขนาดของรากมีที่ใหญ่กว่าอ้อยพันธุ์ทนแล้ง (Table 1) สะท้อนถึงความอ่อนแอต่อความแห้งแล้งอย่างเด่นชัด BC1-21 ที่มีความสามารถทนแล้งมีจำนวนไซเล็มมากกว่าพันธุ์อื่น ซึ่งอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการลำเลียงน้ำ ผลการทดลองนี้ยังสอดคล้องกับงานของ Khonghintaisong et al. (2023) ที่รายงานว่าอ้อยพันธุ์การค้าที่ทนแล้ง มีขนาดของมัดท่อลำเลียงเล็กและมีจำนวนไซเล็มมาก ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดน้ำและลดการสูญเสียน้ำในระยะต้นของการเจริญเติบโตได้ ในการทดลองนี้พบว่าโคลน BC1-44 ลดขนาดของมัดท่อลำเลียงและขนาดของรากลงอย่างมาก (Figure 4) ส่วนโคลนพันธุ์ BC1-50 มีการตอบสนองไม่แตกต่างกับสภาพไม่ขาดน้ำทุกลักษณะ (Table 1) นอกจากนี้ Fonta et al. (2022) และ Siangliw et al. (2022) รายงานว่าพันธุ์ข้าวที่ทนแล้ง เช่น Azucena มีมัดท่อลำเลียงขนาดใหญ่แต่มีจำนวนท่อไซเล็มมากกว่าพันธุ์อ่อนแอต่อแล้งอย่าง IR64

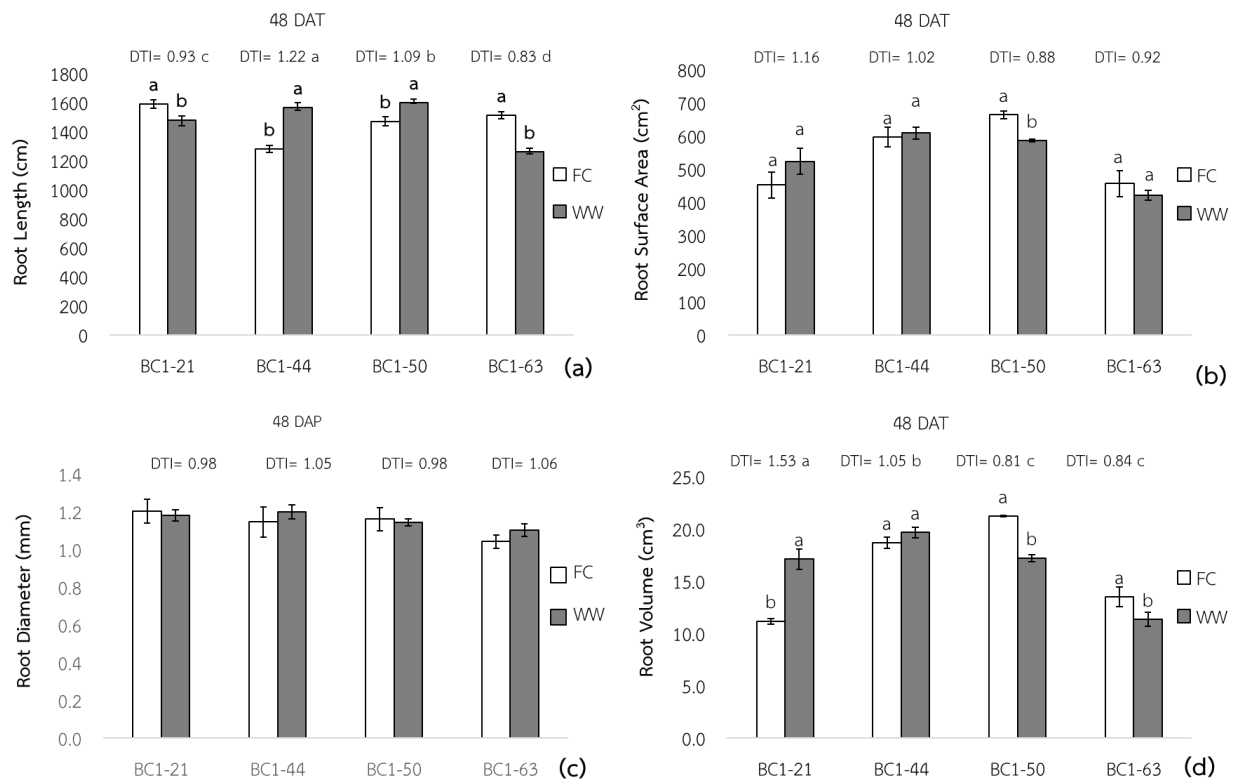


Figure 3. Root length (cm) (a), root surface area (cm²) (b), root diameter (c) and root volume (cm³) (d) of BC1 clones: drought-tolerant (BC1-21 and BC1-44) and drought-susceptible (BC1-50 and BC1-63) at 48 days after planting. Drought tolerant index (DTI) of four sugarcane cultivars calculated based on water-withholding (WW) and field capacity (FC)

ส่วนบริเวณปลายราก โคลน BC1-44 มีศักยภาพสูงสุดในลักษณะทางกายวิภาคของรากเช่นเดียวกับกับส่วนของบริเวณโคนราก ซึ่งมีค่า DTI อยู่ในระดับสูง (0.89–1.00) ในลักษณะจำนวนท่อไซเล็ม ขนาดท่อไซเล็ม ขนาดมัดท่อลำเลียง และขนาดเฉลี่ยของท่อไซเล็ม (Table 2) แสดงถึงความทนทานต่อความแห้งแล้ง ในขณะที่ BC1-50 และ BC1-63 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่อ่อนแอ มีขนาดท่อไซเล็ม ขนาดของมัดท่อลำเลียง และขนาดของรากที่ใหญ่กว่าพันธุ์ทนแล้งทั้งสองพันธุ์ สะท้อนถึงความอ่อนแอต่อความแห้งแล้งอย่างเด่นชัด นอกจากนี้ โคลน BC1-21 และ BC1-44 มีขนาดท่อไซเล็มเล็กและจำนวนไซเล็มมากภายใต้สภาวะขาดน้ำ (Figure 5) ซึ่งอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการลำเลียงน้ำ ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khonghintaisong et al. (2023) ระบุว่าอ้อยพันธุ์ต้านทานต่อความแห้งแล้ง มีศักยภาพในการเจริญของปลายรากยาวขึ้นและมีพื้นที่ผิวรากมากขึ้น ส่งผลให้พืชสามารถรักษาการดูดน้ำและการสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าพันธุ์ที่อ่อนแอ

Table 1. Root base anatomy of sugarcane clones BC1: drought tolerant (BC1-21 and BC1-44) and drought sensitive (BC1-50 and BC1-63). Root cross-sections were taken at 10 to 20 mm below the root-shoot junction, at 48 days after planting.

Cultivar	Xylem number	Xylem size (μm^2)	Stele size (μm^2)	Total Xylem size (μm^2)	Root size (μm^2)	Xylem size percentage (%)
BC1-21						
Field capacity (FC)	19	6,937 a	115,028 a	585,380	6,543,200 b	13
Water withholding (WW)	15	5,535 b	71,220 b	604,350	4,755,100 a	9
F-test	ns	**	**	ns	**	**
DTI	0.83	0.79	0.61	1.02 a	0.73	0.69 a
BC1-44						
Field capacity (FC)	11	9,129	104,355 a	562,780 a	8,324,600 a	7 b
Water withholding (WW)	11	8,723	92,988 b	503,680 b	4,652,800 b	10.8 a
F-test	ns	ns	**	ns	**	*
DTI	1	0.96	0.89	0.89 b	0.56	1.54 b
BC1-50						
Field capacity (FC)	12	7,785	100,028	714,350	6,848,600	10.5 a
Water withholding (WW)	12	7,147	88,287	653,430	6,799,400	9.8 b
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DTI	1	0.92	0.88	0.91 a	0.99	0.93 ab
BC1-63						
Field capacity (FC)	12	7,198	90,418 a	741,680	8,102,700 a	12.8
Water withholding (WW)	14	6,497	75,546 b	649,280	5,177,400 b	9.5
F-test	ns	ns	**	ns	**	ns
DTI	1.17	0.9	0.84	0.88 ab	0.64	0.75 a

ns indicates non-significance; *, ** indicate significance at the 0.01 and 0.05 levels of probability, respectively. Means in the same column with the same letters are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at $P < 0.05$. Drought tolerant index (DTI) of four sugarcane cultivars calculated based on field capacity (FC) and water-withholding (WW)

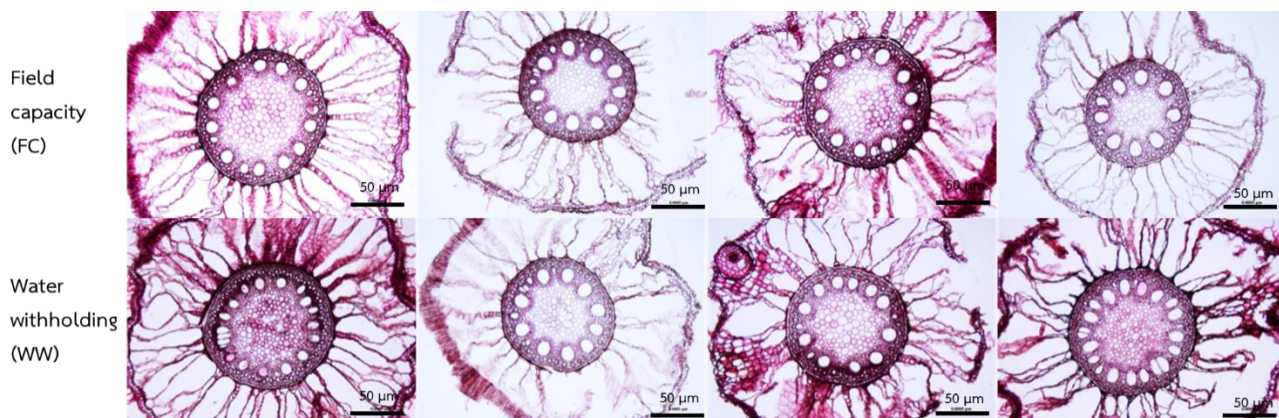


Figure 4. Root stele features of BC1 clones: drought-tolerant BC1-21 (a,e) and BC1-44 (b,f) and drought-susceptible BC1-50 (c,g) and BC1-63 (d,h). Root cross-sections were taken at 10 to 20 mm below the root-shoot junction, at 48 days after transplanting (DAT).

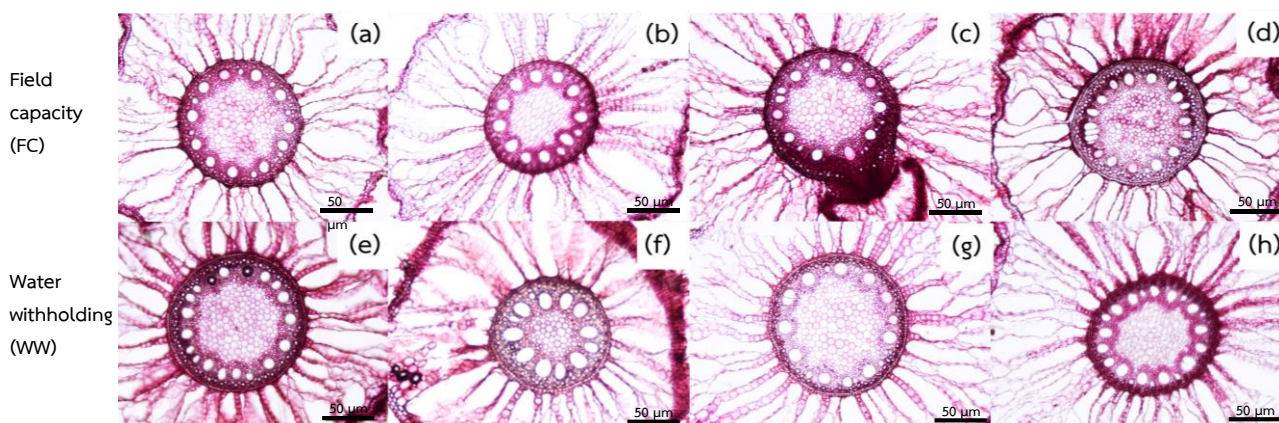


Figure 5. Root stele features of BC1 clones: drought-tolerant BC1-21 (a,e) and BC1-44 (b,f) and drought-susceptible BC1-50 (c,g) and BC1-63 (d,h). Root cross-sections were taken at 10 to 20 mm above root apex, at 48 days after transplanting (DAT).

Table 2. Root apex anatomy of sugarcane clones BC1: drought tolerant (BC1-21 and BC1-44) and drought sensitive (BC1-50 and BC1-63). Root cross-sections were taken at 10 to 20 mm above root apex, at 48 days after planting.

Cultivar	Xylem number	Xylem size	Stele size	Total Xylem size	Root size	Xylem size percentage
		(μm^2)	(μm^2)	(μm^2)	(μm^2)	(%)
BC1-21						
Field capacity (FC)	14	6,222	107,747	657,680	1,370,500	5
Water withholding (WW)	12	4,725	79,221	430,700	1,064,200	4
F-test	ns	ns	**	**	**	ns
DTI	0.89	0.79	0.74	0.65 b	0.77 b	0.8
BC1-44						
Field capacity (FC)	13	6,246	97,736 a	427,080	739,980 b	6
Water withholding (WW)	10	5,477	59,339 b	416,430	514,800 a	8.5
F-test	ns	ns	**	ns	**	ns
DTI	0.75	0.88	0.61	0.98 a	0.7 b	1.42
BC1-50						
Field capacity (FC)	11	5,027	76,086 a	521,700	9,916,500 a	5
Water withholding (WW)	12	6,078	64,499 b	487,680	7,759,000 b	6
F-test	ns	ns	*	ns	**	ns
DTI	1.09	1.21	0.85	0.96 a	0.78 a	1.22
BC1-63						
Field capacity (FC)	11	5,895 a	99,252 a	636,200 a	9,145,800 b	7 a
Water withholding (WW)	11	4,621 b	66,564 b	320,700 b	12,527,000 a	2.5 b
F-test	ns	**	**	**	**	**
DTI	1	0.78	0.67	0.5 a	1.37 b	0.36

ns indicates non-significance; *, ** indicate significance at the 0.01 and 0.05 levels of probability, respectively. Means in the same column with the same letters are not significantly different according to the least significant difference (LSD) test at $P < 0.05$. Drought tolerant index (DTI) of four sugarcane cultivars calculated based on field capacity (FC) and water-withholding (WW)

สรุป

จากการศึกษาศักยภาพของอ้อย BC1 จำนวน 4 โคลนพันธุ์ ได้แก่ BC1-21 และ BC1-44 ที่จัดอยู่ในกลุ่มทนแล้ง เปรียบเทียบกับ BC1-50 และ BC1-63 ที่จัดอยู่ในกลุ่มอ่อนแอภายใต้สภาวะแห้งแล้ง พบว่า BC1-44 มีความสามารถในการรักษาการเจริญเติบโตและสรีรวิทยาได้ดีกว่าโคลนพันธุ์อื่น โดยแสดงค่าดัชนีความทนแล้งสูงทั้งในลักษณะจำนวนหน่อ อัตราการสังเคราะห์แสง ความเขียวใบ และการคายน้ำ ขณะที่โคลนพันธุ์อ่อนแออย่าง BC1-63 เมื่ออยู่ในสภาพขาดน้ำมีค่าทางสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาลดลงอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาในลักษณะของราก พบว่า อ้อยพันธุ์ทนแล้งโดยเฉพาะ BC1-44 มีความยาวราก พื้นที่ผิวสัมผัส และปริมาตรของรากสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ รวมทั้งโคลนดังกล่าวมีลักษณะกายวิภาคของรากที่เอื้อต่อการลำเลียงน้ำ เช่น จำนวนท่อไซเล็มมาก ขนาดของมัดท่อลำเลียงที่เหมาะสม และความสม่ำเสมอของโครงสร้างรากทั้งในบริเวณโคนรากและปลายราก ในทางตรงกันข้าม โคลนพันธุ์อ่อนแออย่าง BC1-63 มีจำนวนท่อไซเล็มต่ำและขนาดท่อไซเล็มที่ใหญ่ และมีค่า DTI ต่ำในบางลักษณะ ลักษณะของโคลนพันธุ์ที่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาให้เป็นพันธุ์ทนแล้ง ควรมีลักษณะของรากที่มีจำนวนท่อไซเล็มมาก มีขนาดท่อเล็กไซเล็ม มีระบบรากหยั่งลึก พื้นที่ผิวสัมผัส และปริมาตรของรากสูง ลักษณะเหล่านี้จะช่วยสนับสนุนการปรับปรุงพันธุ์อ้อยลูกผสมข้ามให้ทนทานต่อความแห้งแล้งในช่วยต้นของการเจริญเติบโตในระบบการผลิตอ้อยช่วงต้นฤดูฝนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

- Basnayake, J., Jackson, P. A., & Inman-Bamber, N. G. (2012). Phenotyping sugarcane for drought response. *Field Crops Research*, 134, 146–157.
- Budeguer, F., Enrique, R., Perera, M. F., Racedo, J., Castagnaro, A. P., Noguera, A. S., & Welin, J. (2021): Genetic transformation of sugarcane, current status and future prospects. *Frontiers in Plant Science*, 12, 768609 doi.org/10.3389/fpls.2021.768609
- FAO. (2020). *Soil testing methods global soil doctors programme a farmer-to-farmer training program*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a673cac1-636c-486b-b4c5-a39d522b659f/content>.
- Fonta, J. E., Giri, J., Vejchasarn, P., Lynch, J. P., & Brown, K. M. (2022). Spatiotemporal responses of rice root architecture and anatomy to drought. *Plant and Soil*, 479, 443–464.
- Khonghintaisong, J., Songsri, P., & Jongrunklang, N. (2023). Comparison of physiological, anatomical, and morphological traits between sugarcane hybrids and their parents with different stalk dry weights in the early growth stage under hydroponic conditions. *Agriculture*, 13(12), 2234.
- Meena, M.R., R. Kumar, K. Ramaiyan, M.L. Chhabra, A.K. Raja, M. Krishnasamy, N. Kulshreshtha, S.K. Pandey, and B. Ram. (2020). Biomass potential of novel interspecific and

- intergeneric hybrids of *Saccharum* grown in subtropical climates. *Scientific Reports*, 10, 21560
- Northeastern Meteorological Center. (2023). *Daily rainfall in the Northeastern region*. <http://www.khonkaen.tmd.go.th/Home.php>
- Office of the Cane and Sugar Board. (2020). Sustainable Sugarcane Farming Guide. <https://www.ocsb.go.th/wp-content/uploads/2023/03/144-7354.pdf>.
- Ouyang, W., Yin, X., Yang, J., & Struik, P. C. (2020). Comparisons with wheat reveal root anatomical and histochemical constraints of rice under water-deficit stress. *Plant Soil*, 452, 547–568.
- Ratnam, J., Anuradha, G., & Prasad, T. G. (2021). Screening of sugarcane clones for drought tolerance using physiological and morphological traits. *Sugar Tech*, 23(4), 512–521.
- Robertson, M. J., Muchow, R.C., Donalson, R.A., Inman-Bamber, N. G., & Wood, A.W. (1999). Estimating the risk associated with drying-off strategies for irrigated sugarcane before harvest. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 50, 65–77
- Siangliw, J. L., Thunnom, B., Natividad, M. A., Quintana, M. R., Chebotarov, D., McNally, K. L., Lynch, J. P., Brown, K. M., & Henry, A. (2022). Response of Southeast Asian rice root architecture and anatomy phenotypes to drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1008954.
- Silva, M. A., Jifon, J. L., Silva, J. A. G., & Sharma, V. (2018). Drought stress effects on sugarcane physiology and growth parameters. *Agricultural Water Management*, 203, 290–296.
- Tippa-art, M, Klomsa-ard, P, Songsri, P, & Jongrunklang, N. (2025). Effects of intermittent drought during tillering and stalk elongation stages on the physiological attributes of diverse sugarcane genotypes. *Stresses*, 5(1), 1
- Tippayawat, A., Jogloy, S., Vorasoot, N., Songsri, P., Kimbeng, C. A., Jifon, J. A., Janket, A., Thangthong, N., & Jongrunklang, N. (2023). Differential physiological responses to different drought durations among a diverse set of sugarcane genotypes. *Agronomy*, 13(10), 259
- Wiangwiset, K., Demail, A., Piwpuan, N., Songsri, P., & Jongrunklang, N. (2023). Diversity and heterosis of leaf anatomical traits in backcross 1 (BC1) derived from interspecific hybridization between commercial cane (*Saccharum* spp. hybrid) and wild type (*S. spontaneum*). *Agronomy*, 13, 2457

Wirojsirasak, W., Songsri, P., Jongrunklang, N., Tangphatsornruang, S., Klomsa-ard, P., & Ukoskit, K. (2024). Determination of morpho physiological traits for assessing drought tolerance in sugarcane. *Plants*, 13, 1072.