

## การเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาของอ้อย 4 พันธุ์ ภายใต้สภาพเครียดจากความเค็ม

### Growth and physiological responses of four sugarcane varieties under salt stress condition

คัทธียา จัตุรเที่ยง<sup>1,2\*</sup>, ประกายมาส รุ่งประพันธ์<sup>1</sup>, สุรีพร นันทดี<sup>1</sup> และ สอนิชชัย จันทร์เปรม<sup>1,2</sup>

Cattleya Chutteang<sup>1,2\*</sup>, Prakaimas Runprapan<sup>1</sup>, Sureporn Nandee<sup>2</sup>  
and Sontichai Chanprame<sup>1,2</sup>

**บทคัดย่อ:** การตอบสนองของพืชต่อสภาพเครียดจากความเค็มขึ้นกับระดับของความเค็ม ระยะเวลาที่พืชได้รับสภาพเครียดจากความเค็ม และพันธุกรรมของพืช งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสภาพเครียดจากความเค็มต่อการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของอ้อย 4 พันธุ์ วางแผนการทดลองแบบสปริตพล็อตสุ่มสมบูรณ์ (split plot in completely randomized design) ปัจจัยหลักคือ ระดับความเค็ม 3 ระดับ ได้แก่ 0 100 และ 200 mM NaCl ส่วนปัจจัยรองคือ พันธุ์อ้อยจำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ อ้อยพันธุ์ป่า (*Saccharum spontaneum*) อ้อยอาหารสัตว์พันธุ์ไบโอเทค2 (BT2) และอ้อยปลูกพันธุ์ขอนแก่น3 (KK3) และสุพรรณบุรี72 (SP72) ปลูกอ้อยในระบบไฮโดรโปนิกส์ บันทึกการเจริญเติบโต พื้นที่ใบ และน้ำหนักแห้ง วัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สในใบ คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม พลังงานศักย์ของน้ำในใบ และการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ในระหว่างที่อ้อยได้รับสภาพเครียดและในช่วงฟื้นตัว จากการศึกษาพบว่า การเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาและชีวมวลของอ้อยขึ้นกับระดับของความเข้มข้นของเกลือ ที่ระดับความเค็ม 200 mM NaCl เป็นสภาพเค็มมากทำให้อ้อยทั้ง 4 พันธุ์ชะงักการเจริญเติบโต มีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์สูง ปริมาณคลอโรฟิลล์รวม ประสิทธิภาพการใช้แสง อัตราสังเคราะห์แสง และประสิทธิภาพการคายระเหยลดลงมาก อ้อยพันธุ์ป่า และขอนแก่น3 มีการลดลงของน้ำหนักแห้งน้อยกว่าไบโอเทค2 และสุพรรณบุรี72 ทั้งนี้เนื่องจากสามารถควบคุมการเปิดปากใบและรักษาค่าศักย์ของน้ำในใบได้ดี มีประสิทธิภาพการคายระเหย ประสิทธิภาพการใช้แสง อัตราสังเคราะห์แสงสุทธิสูง และสามารถฟื้นตัวได้ดีหลังได้รับสภาพเครียดจากความเค็มทั้ง 2 ระดับ

**คำสำคัญ:** ความทนเค็ม, อัตราสังเคราะห์แสง, คลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์, ประสิทธิภาพการคายระเหย, อ้อยป่า

**ABSTRACT:** Plant responses to salinity stress depend on the level of salinity, stress duration and plant genotype. Therefore the aims of this study were to determine growth and physiological responses of four sugarcane varieties under salt stress. A hydroponic experiment was conducted using split plot in completely randomized design with three levels of salinity; 0, 100, 200 mM NaCl and four sugarcane varieties; wild sugarcane (*Saccharum spontaneum*), forage-cane

Received June 12, 2018

Accepted September 17, 2018

<sup>1</sup> ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140

<sup>2</sup> ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นครปฐม 73140

Center for Agricultural Biotechnology, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140

\* Corresponding author: agrcyc@ku.ac.th

(Biotech2 (BT2)), and two cultivated cultivars (Khonkaen3 (KK3) and Suphanburi72 (SP72)). Growth and, phenotypic and physiological parameters including plant height, biomass, leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, total chlorophyll content, leaf water potential and electrolyte leakage were measured during stress and recovery period. Several damages and the most reduction in growth and biomass of four sugarcane varieties were found in 200 mM NaCl with high level of electrolyte leakage and high reduction in total chlorophyll content, quantum yield (Fv/Fm), net photosynthetic rate (Pn) and transpiration efficiency (TE). *Saccharum spontaneum* and KK3 were less reduction in total dry weight than that of BT2 and SP72 due to well stomata regulation and high performance of TE, Fv/Fm, Pn and leaf water potential, and well recovery under both salt stress conditions.

**Keywords:** salt tolerance, net photosynthetic rate, chlorophyll fluorescence, transpiration efficiency, wild sugarcane

## บทนำ

สภาพเค็มจากความเค็มของพื้นที่ดินเค็มเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย การปลูกอ้อยในพื้นที่ดินเค็มทำให้ผลผลิตอ้อยลดลงประมาณ 50% (Wiedenfeld, 2008) ความเสียหายของผลผลิตอ้อยขึ้นกับระดับความเค็มของพื้นที่ปลูกและพันธุกรรมของอ้อย พื้นที่ปลูกอ้อยในประเทศไทยปีเพาะปลูก 2559/60 มีประมาณ 10.99 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ปลูกเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 4.75 ล้านไร่ คิดเป็น 43.22% ของพื้นที่ปลูกทั้งหมด ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ประมาณ 9.31 ตันต่อไร่ ต่ำกว่าผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ของทั้งประเทศที่เท่ากับ 9.43 ตันต่อไร่ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2560) สาเหตุหลักที่ทำให้ผลผลิตอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและบางพื้นที่ในประเทศไทยต่ำมาก เนื่องจากการขาดน้ำและพื้นที่ปลูกเป็นดินเค็ม ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ดินเค็มประมาณหนึ่งในสามของพื้นที่ทั้งภาค คือ 17.8 ล้านไร่ และพื้นที่มีศักยภาพในการแพร่เกลืออีก 19.4 ล้านไร่ (สมศรี, 2539) โดยดินเค็มที่พบส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเค็มของ NaCl ส่งผลต่อกระบวนการที่สำคัญภายในพืช เช่น การสังเคราะห์แสง การเคลื่อนย้ายน้ำ สารอาหาร และธาตุอาหารต่างๆ รวมถึงกระบวนการทางชีวเคมีและโมเลกุลอื่นๆ ทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโต ได้รับความเสียหายหรือตายได้ (Zhu, 2007; Murad et al., 2014) ความเข้มข้นของ NaCl ที่สูงในดิน

ทำให้แรงดันออสโมติกลดลง ส่งผลให้รากพืชดูดน้ำได้น้อยลง พืชจึงเผชิญกับสภาวะขาดน้ำในขณะที่ยังอยู่ในสภาพดินเค็ม การตอบสนองของพืชบางชนิดต่อสภาพเค็มจากความเค็มจึงคล้ายกับสภาพแล้ง เช่น การปรับแรงดันออสโมติกในเซลล์เพื่อให้สามารถดึงน้ำมาใช้ได้มากขึ้น การสะสมเกลือในปริมาณที่มากเกินไปทำให้พืชแสดงอาการผิดปกติ เช่น ใบเหี่ยวแห้งหรือขอบใบไหม้ ลำต้นแคระแกรน ในกรณีของอ้อยความเครียดจากความเค็มทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิและประสิทธิภาพการใช้น้ำและแสงลดลง ส่งผลให้ชีวมวลและคุณภาพของอ้อยต่ำ (Cha-Um et al., 2013) นอกจากนี้การดูดหรือสะสมไอออนของโซเดียมและคลอไรด์มากเกินไป จะขัดขวางการดูดซึมธาตุอาหารอื่นที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เสื่อมสภาพ ส่งผลต่อการรักษาสมดุลของไอออนในเซลล์พืช (Murad et al., 2014) อย่างไรก็ตามความสามารถในการทนทานต่อสภาพเค็มจากความเค็มของอ้อยขึ้นกับพันธุกรรมของอ้อย (Cha-Um et al., 2013) แนวทางหนึ่งในการเพิ่มศักยภาพการผลิตอ้อยในพื้นที่ดินเค็มคือการเลือกใช้พันธุ์อ้อยที่ทนเค็ม และพัฒนาพันธุ์อ้อยให้ทนทานต่อความเค็มมากขึ้น ข้อมูลของเชื้อพันธุกรรมและกลไกการตอบสนองของพันธุ์อ้อยต่อสภาพเค็มจากความเค็มมีความสำคัญมากต่อการปรับปรุงพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์อ้อยให้มีลักษณะทนเค็มและให้ผลผลิตสูง จากการศึกษาของ Silva et al. (2018) พบว่าอ้อยป่า *S. spontaneum* มีความสามารถในการทนเค็มและให้ผลผลิตมวลชีวภาพสูง ส่วนอ้อยอาหารสัตว์พันธุ์โบโฮเทค2 เป็นลูกผสมระหว่างอ้อยปลูกพันธุ์

ชัยนาท1 และอ้อยป่า *S. spontaneum* จึงมีพื้นฐานทางพันธุกรรมของอ้อยป่า โดยอ้อยอาหารสัตว์มีลักษณะเด่น คือ ให้ผลผลิตชีวมวลสดสูง และทนทานต่อสภาวะแห้งแล้งได้ดี (ประเสริฐ, 2552) อ้อยปลูกพันธุ์ขอนแก่น3 (KK3) เป็นพันธุ์อ้อยที่จัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์อ้อยที่มีลักษณะทนเค็ม (Cha-Um et al., 2013) ส่วนอ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี72 เป็นอ้อยคั้นน้ำ ลำต้นอ่อนนุ่ม เจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงในพื้นที่ที่มีชลประทานดี และอ่อนแอต่อสภาพขาดน้ำ (วันทนาและคณะ, 2550; นิรญาและคณะ, 2559) ในปัจจุบันการศึกษากลไกการตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวมวลของอ้อยทั้ง 4 พันธุ์ต่อสภาพเครียดจากความเค็มยังมีน้อยมาก ดังนั้นการวิจัยนี้จึงศึกษาผลของสภาพเครียดจากความเค็มของ NaCl ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานและสรีรวิทยา การเจริญเติบโต และมวลชีวภาพของอ้อย 4 พันธุ์ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญที่จะช่วยให้เข้าใจกลไกการตอบสนองของอ้อยต่อสภาพเครียดจากความเค็มได้ดียิ่งขึ้น เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการคัดเลือกและพัฒนาพันธุ์อ้อยทนเค็มต่อไป

### อุปกรณ์และวิธีการ

#### พืชทดสอบและการจำลองสภาพเครียดจากความเค็ม

วางแผนการทดลองแบบสปรินทพลทสมบูรณ (split plot in completely randomized design, CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยหลักคือ ระดับความเค็ม 3 ระดับในสารละลายธาตุอาหารที่มี NaCl เข้มข้น 0 100 และ 200 mM ทำให้สารละลายธาตุอาหารมีค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) เฉลี่ยเท่ากับ 0.48 10.64 และ 20 dS m<sup>-1</sup> จัดเป็นสภาพควบคุม เค็มปานกลาง และเค็มมาก ตามลำดับ ส่วนปัจจัยรองคือ พันธุ์อ้อย 4 พันธุ์ ได้แก่ อ้อยพันธุ์ป่า (*S. spontaneum* L.) อ้อยอาหารสัตว์ พันธุ์ใบโศก2 (BT2) และอ้อยปลูก พันธุ์การค้า 2 พันธุ์ ได้แก่ ขอนแก่น3 (KK3) และสุพรรณบุรี72 (SP72) นำท่อนพันธุ์อ้อยทั้ง 4 พันธุ์มาตัดเป็นท่อนขนาดความยาว 2 นิ้ว แยกป้องกันกำจัดเชื้อราเพาะในวัสดุปลูกทรายและขุยมะพร้าวในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เมื่ออ้อยอายุ 5 สัปดาห์ ย้ายต้นกล้าอ้อยลงในสารละลายธาตุอาหารสูตร

Hoagland อัตราส่วน 1:10 pH 5.8 และเติมอากาศตลอดเวลาให้อ้อยอยู่ในระบบดังกล่าวนาน 1 สัปดาห์เพื่อให้ปรับตัวในสภาพการปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ จากนั้นย้ายอ้อยทั้ง 4 พันธุ์ลงสู่ชุดการทดลองที่กำหนดนาน 14 วัน มีการควบคุมสภาพเครียดจากเกลือให้สม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยการเติมน้ำเพื่อปรับให้ปริมาตรสารละลายเท่าเดิม วัดค่า EC และปรับค่า pH ให้เท่ากับ 5.8 ทุกวัน เปลี่ยนสารละลายธาตุอาหารทุก 7 วัน จากนั้นย้ายอ้อยทั้งหมดลงในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมเกลือและให้อยู่ในระบบดังกล่าวนาน 7 วันเพื่อประเมินการฟื้นตัวของอ้อยหลังเผชิญสภาพเครียดจากความเค็ม ดำเนินการทดลองในโรงเรือนที่ป้องกันฝนได้

#### การจัดการเจริญเติบโตและมวลชีวภาพ

วัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นและความสูงทุก 7 วัน เก็บตัวอย่างอ้อยทั้งต้นเพื่อหามวลชีวภาพที่ 14 วันหลังได้รับเกลือ NaCl และ 7 วันหลังย้ายต้นกล้าอ้อยกลับลงในสารละลายธาตุอาหารไม่เติมเกลือ แยกส่วนต้น ราก และใบ และนำไปชั่งน้ำหนักสด นำใบไปวัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบรุ่น LI-3100 (บริษัท LI-COR, ประเทศสหรัฐอเมริกา) จากนั้นนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส นาน 3 วันและนำไปชั่งน้ำหนักแห้ง

#### การประเมินการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ทุก 7 วันหลังได้รับ NaCl นับและบันทึกจำนวนใบสีเขียว และประเมินระดับคะแนนใบแห้งของทั้งต้นโดยใช้เกณฑ์ดังนี้ 0 % คือไม่พบใบสีน้ำตาล 100 % คือพื้นที่ใบทั้งต้นเป็นสีน้ำตาล และประเมินระดับคะแนนการฟื้นตัวหลังจากย้ายไปสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมเกลือนาน 7 วัน โดย 1 คือฟื้นตัว 90-100 % 3 คือฟื้นตัว 70-89 % 5 คือฟื้นตัว 40-69 % 7 คือฟื้นตัว 20-39 % และ 9 คือฟื้นตัว 0-19%

#### การจัดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการ

ติดตามการเปลี่ยนแปลงด้านอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สในใบ ได้แก่ อัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ (Pn) อัตราคายน้ำ (E) ค่าน้ำไหลปากใบ (gs) และ

ประสิทธิภาพการคายระเหย (TE) ในใบย่อยหลังได้รับเกลือ NaCl นาน 1 3 5 7 และ 14 วัน และหลังย้ายย่อยกลับลงในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมเกลือ NaCl นาน 7 วัน โดยวัดด้วยเครื่องวัดอัตราสังเคราะห์แสงระบบเปิด (รุ่น LI6400 บริษัท LICOR ประเทศสหรัฐอเมริกา) ที่มีอุปกรณ์เสริมให้แสงและวัดค่าฟลูออเรสเซนซ์ (leaf chamber fluorometer) โดยกำหนดความเข้มแสง  $2,000 \mu\text{molPPF m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ปรับอุณหภูมิของกล่องบรรจุใบให้คงที่ที่  $28^{\circ}\text{C}$  ความชื้นสัมพัทธ์ 70-75% ควบคุมความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผ่านใบให้อยู่ที่ระดับ  $400 \mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1}$  โดยให้ใบปรับตัวในกล่องบรรจุใบนาน 4 นาที และรอจนค่าอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิคงที่จึงบันทึกค่าสำหรับค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด ( $F_v/F_m$ ) วัดในสภาพมืดในช่วง 4.00-6.00 น. เก็บตัวอย่างใบมาสกัดคลอโรฟิลล์ด้วย N-N dimethylformamide วัดค่าดูดกลืนแสงและคำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์รวมตามวิธีการของ Moran (1982) วัดค่าพลังงานศักย์รวมของน้ำในใบย่อย ( $\Psi_t$ ) ที่ 2 ช่วงเวลาคือก่อนพระอาทิตย์ขึ้น ( $\Psi_t^{\text{predawn}}$ ) และช่วงกลางวันตั้งแต่ 11.00-13.00 น. ( $\Psi_t^{\text{midday}}$ ) ด้วยเครื่องวัดความดัน (Pressure Chamber, บริษัท Soil Moisture Equipment, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ในใบที่พัฒนาเต็มที่หรือใบที่ 3 นับจากปลายยอด หลังย่อยได้รับ NaCl นาน 7 และ 14 วัน และหลังย้ายต้นกล้าย่อยกลับลงในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่เติมเกลือ NaCl นาน 7 วัน เก็บตัวอย่างใบและรากที่ระยะ 7 และ 14 วันหลังได้รับ NaCl เพื่อนำมาวัดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Leakage; EL) โดยชั่งน้ำหนักสดราก 0.2 กรัม และเจาะแผ่นใบพื้นที่  $0.283 \text{ ตร.ซม.}$  จำนวน 20 ชิ้น ล้างรากและแผ่นใบด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจากนั้นนำตัวอย่างใส่ในน้ำกลั่นปราศจากไอออนปริมาตร 10 มิลลิลิตร บ่มในอ่างควบคุมความร้อนอุณหภูมิ  $45^{\circ}\text{C}$  นาน 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง จากนั้นวัดค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity; C1) ของสารละลายด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า (COND Laqua twin, บริษัท Horiba ประเทศญี่ปุ่น) จากนั้นนำตัวอย่างไปต้มที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  นาน 20 นาที ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้ววัดค่าการนำไฟฟ้าอีกครั้ง (electrical conductivity; C2) และคำนวณค่า Electrolyte leakage =  $(C1 \times 100) / C2$

## การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแบบจำแนกสองทาง (two-way ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม R-stat version 3.4.3

## ผลการทดลองและวิจารณ์

### การเจริญเติบโตและมวลชีวภาพของอ้อยภายใต้สภาพเครียดจากความเค็ม

การทดลองพบว่าอัตราการเจริญเติบโตด้านความสูงและการขยายขนาดของลำต้นของอ้อยทั้ง 4 พันธุ์ลดลงมากขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของ NaCl สูงขึ้น ใน 200 mM NaCl อ้อยทั้ง 4 พันธุ์มีความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นคงที่ไม่แตกต่างจากวันที่เริ่มได้รับสภาพเครียดจากความเค็ม (Figure 1a และ 1b) ในขณะที่ในระดับความเข้มข้น 100 mM NaCl อ้อยทั้ง 4 พันธุ์มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ อ้อยพันธุ์ใบโอเทค2 มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของความสูงมากที่สุด รองมาคือสุพรรณบุรี72 อ้อยป่า และขอนแก่น3 ตามลำดับ สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นพันธุ์สุพรรณบุรี72 และใบโอเทค2 มีเปอร์เซ็นต์การลดลงมากที่สุดประมาณ 28 % ขอนแก่น3 และอ้อยป่าลดลง 22 และ 7 % ตามลำดับ (Figure 1b) แสดงว่าในสภาพเค็มมากทำให้อ้อยทั้ง 4 พันธุ์ชะงักการเจริญเติบโตทั้งด้านความสูงและการขยายขนาดของลำต้น แต่ในสภาพเค็มปานกลางอ้อยทั้ง 4 พันธุ์ยังสามารถที่จะขยายขนาดของลำต้นและสูงขึ้นได้ แต่ช้ากว่าในสภาพไม่เค็ม NaCl จากรายงานของ Zhu (2007) ความเข้มข้นของเกลือที่ระดับ 100-200 mmol NaCl  $\text{L}^{-1}$  จะยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชกลุ่ม glycophyte และทำให้ตายได้ ในขณะที่พืชกลุ่ม halophyte สามารถทนอยู่ได้ในสภาพที่มีเกลือสูงมาก

สำหรับมวลชีวภาพของอ้อยทั้ง 4 พันธุ์หลังได้รับสภาพเครียดจากความเค็มนาน 14 วัน และฟื้นต้นนาน 7 วัน แสดงดัง Table 1 พบว่าพื้นที่ใบสีเขียว น้ำหนักแห้งของราก น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดิน และน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นของอ้อยทั้ง 4 พันธุ์ที่ปลูกในสารละลาย 200 mM NaCl มีค่าต่ำกว่าที่ปลูกในสารละลาย 100 mM NaCl และไม่เค็ม NaCl ตามลำดับ

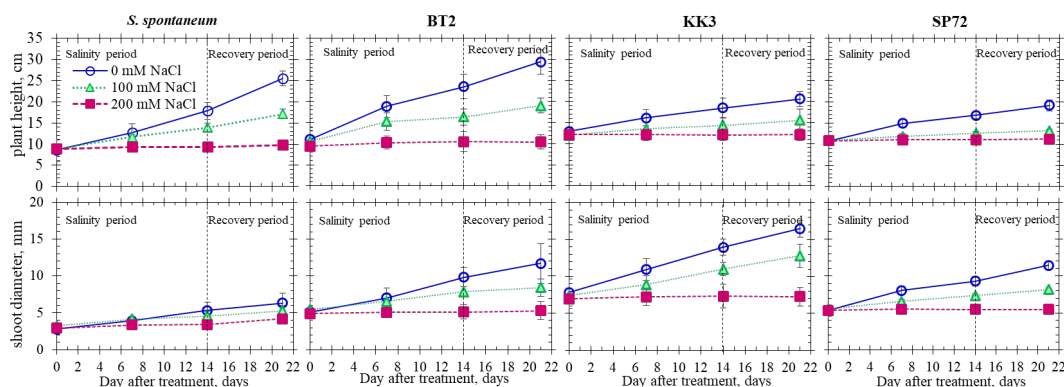


Figure 1 Change in plant height (a) and shoot diameter (b) of four sugarcane varieties under salinity stress and recovery

สภาพเครียดจากความเค็มส่งผลให้ใบช้อยแห้ง และ ไม่มีการสร้างใบใหม่ทำให้มีพื้นที่ใบที่สีเขียวลดลง และน้อยกว่าสภาพไม่มี NaCl มาก โดยเฉพาะใน สารละลาย 200 mM NaCl มีเพียงช้อยพันธุ์ ขอนแก่น3 ที่ยังมีส่วนของพื้นที่ใบสีเขียวอยู่ ส่วนช้อย อีก 3 พันธุ์ใบแห้งเกือบทั้งต้น สำหรับชีวมวลหรือน้ำหนักแห้งของช้อยพบว่าในสารละลาย 100 mM NaCl ช้อยพันธุ์ขอนแก่น3 และช้อยปามีน้ำหนักแห้งราก มากกว่าในสภาพปกติ 27 และ 13 % แต่ใบโศก2 และสุพรรณบุรี72 มีน้ำหนักแห้งรากลดลง 49 และ 70% ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินพบว่าช้อยพันธุ์สุพรรณบุรี72 มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินมากที่สุด รองมาคือ ใบโศก2 ขอนแก่น3 และช้อยป่า เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นพบว่า ช้อยป่าและขอนแก่น3 มีน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นไม่แตกต่างจากสภาพควบคุม แต่ช้อยพันธุ์ใบโศก2 และสุพรรณบุรี72 มีน้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นลดลงมากกว่า 50% หลังอยู่ใน 100 mM NaCl นาน 14 วัน จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าช้อยป่าและช้อยปลูกพันธุ์ขอนแก่น3 มีความทนเค็มและปรับตัวในสภาพเค็มได้ดีกว่าช้อยอาหารสัตว์ใบโศก2 และสุพรรณบุรี72 สอดคล้องกับรายงานของ Cha-Um et al. (2013) ที่ศึกษาความทนเค็มในช้อยในสภาพแปลงและจัดกลุ่มพบว่าช้อยพันธุ์ขอนแก่น3 อยู่ในกลุ่มช้อยที่ทนเค็ม และ Silva et al. (2018) พบว่าช้อยปามีลักษณะของความทนเค็มอยู่ นอกจากนี้ยังพบว่าช้อยพันธุ์ขอนแก่น3 และช้อยป่าที่ปลูกใน 100 mM NaCl มีน้ำหนักแห้งราก

เพิ่มขึ้นทำให้น้ำหนักแห้งรวมทั้งต้นใกล้เคียงกับในสภาพควบคุม เนื่องจากช้อยทั้ง 2 พันธุ์มีลักษณะทนเค็ม ความเข้มข้นของเกลือที่ระดับปานกลางอาจไปกระตุ้นให้เกิดการสร้างรากให้มากขึ้น เพื่อให้สามารถดูดน้ำและธาตุอาหารไปใช้ได้มากขึ้น ในขณะที่ใบโศก2 และสุพรรณบุรี72 มีน้ำหนักแห้งรากและส่วนเหนือดินลดลงมาก จึงอาจกล่าวได้ว่าลักษณะของรากและการสร้างรากมีความสัมพันธ์กับความทนเค็มในช้อย

### การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานของช้อยภายใต้สภาพเครียดจากความเค็ม

สภาพที่มี 200 mM NaCl หรือเค็มมาก ส่งผลกระทบต่อลักษณะสัณฐานมากกว่าใน 100 mM NaCl หรือเค็มปานกลางโดยส่งผลให้ใบแห้งจากขอบใบเนื่องจากการขาดน้ำจากความเครียดแรงดันออสโมติก ร่วมกับความเป็นพิษของไอออนของ NaCl ที่ทำให้เซลล์เสื่อมสภาพ ทำให้พื้นที่ใบสีเขียวลดลง ส่งผลต่อพื้นที่ใบรวมของช้อยที่จะสามารถดำเนินกิจกรรมต่างๆ เช่น การสังเคราะห์แสงและสร้างอาหารได้น้อยลง โดยพบว่าช้อยพันธุ์ขอนแก่น3 และช้อยปามีเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนใบสีเขียวน้อยกว่าใบโศก2 และสุพรรณบุรี72 โดยช้อยสุพรรณบุรี72 ได้รับความเสียหายที่ใบมากกว่า 50 % ตั้งแต่ 7 วันหลังได้รับสภาพเครียดจากความเค็ม (Figure 2) ช้อยพันธุ์สุพรรณบุรี72 เป็นช้อยสำหรับบริโภคสดหรือคั้นน้ำ ลำต้นมีความอ่อนนุ่ม เจริญเติบโตดี และให้ผลผลิตสูงในพื้นที่ชลประทานดี ไม่ทนทาน

**Table 1** Leaf area and biomass of four sugarcane varieties on 14 days after NaCl-stress and 7 days after recovery

| Variety              | 14 days after stress |                |        |        | 7 days after recovery        |                |        |        |
|----------------------|----------------------|----------------|--------|--------|------------------------------|----------------|--------|--------|
|                      | Leaf area            | dry weight (g) |        |        | Leaf area (cm <sup>2</sup> ) | dry weight (g) |        |        |
|                      |                      | root           | shoot  | total  |                              | root           | shoot  | total  |
| 0 mM NaCl            |                      |                |        |        |                              |                |        |        |
| <i>S. spontaneum</i> | 75                   | 0.053          | 0.593  | 0.647  | 110                          | 0.140          | 1.470  | 1.610  |
| BT2                  | 309                  | 0.500          | 2.527  | 3.027  | 491                          | 0.893          | 4.540  | 5.433  |
| KK3                  | 209                  | 0.543          | 2.190  | 2.733  | 473                          | 1.543          | 6.553  | 8.097  |
| SP72                 | 230                  | 0.440          | 3.023  | 3.463  | 370                          | 0.603          | 4.423  | 5.027  |
| Mean                 | 206                  | 0.384          | 2.083  | 2.468  | 361                          | 0.795          | 4.247  | 5.042  |
| 100 mM NaCl          |                      |                |        |        |                              |                |        |        |
| <i>S. spontaneum</i> | 53                   | 0.060          | 0.603  | 0.663  | 75                           | 0.117          | 0.867  | 0.983  |
| BT2                  | 57                   | 0.253          | 1.137  | 1.390  | 248                          | 0.870          | 2.890  | 3.760  |
| KK3                  | 152                  | 0.687          | 1.960  | 2.647  | 456                          | 2.023          | 5.880  | 7.903  |
| SP72                 | 54                   | 0.130          | 1.280  | 1.410  | 183                          | 0.363          | 2.437  | 2.800  |
| Mean                 | 79                   | 0.283          | 1.245  | 1.528  | 241                          | 0.843          | 3.019  | 3.862  |
| 200 mM NaCl          |                      |                |        |        |                              |                |        |        |
| <i>S. spontaneum</i> | 0                    | 0.023          | 0.410  | 0.433  | 5                            | 0.050          | 0.370  | 0.420  |
| BT2                  | 0                    | 0.153          | 0.747  | 0.883  | 44                           | 0.357          | 0.753  | 1.110  |
| KK3                  | 49                   | 0.267          | 1.593  | 1.860  | 82                           | 0.373          | 1.790  | 2.163  |
| SP72                 | 0                    | 0.137          | 0.890  | 1.027  | 6                            | 0.133          | 0.893  | 1.027  |
| Mean                 | 12                   | 0.145          | 0.910  | 1.051  | 34                           | 0.228          | 0.952  | 1.180  |
| LSD <sub>0.05</sub>  |                      |                |        |        |                              |                |        |        |
| Salinity (S)         | 26*                  | 0.069*         | 0.255* | 0.309* | 48*                          | 0.144*         | 0.574* | 0.607* |
| Variety (V)          | 19*                  | 0.079*         | 0.215* | 0.267* | 32*                          | 0.173*         | 0.450* | 0.443* |
| SxV                  | 33*                  | 0.136*         | 0.372* | 0.463* | 56*                          | 0.300*         | 0.780* | 0.767* |
| CV                   | 19.5                 | 29.3           | 15.3   | 16.1   | 15.3                         | 28.1           | 16.6   | 13.3   |

ต่อสภาพแห้งแล้ง (นิธญา และคณะ, 2559) การที่มีเกลือในสารละลายลดความสามารถในการดูดน้ำของอ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี72 ทำให้ได้รับความเสียหายมากหลังได้รับสภาพเครียดจากความเค็ม สำหรับเปอร์เซ็นต์ความแห้งของใบใน Table 2 แสดงผลเช่นเดียวกับการคงอยู่ของใบสีเขียว ส่วนการฟื้นตัวของอ้อยทั้ง 4 พันธุ์ พบว่าอ้อยพันธุ์ขอนแก่น3 มีการฟื้นตัวได้ดีที่สุด รองมาคืออ้อยป่า และใบโศก และฟื้นตัวได้น้อยที่สุดคือพันธุ์สุพรรณบุรี72 ทั้งนี้

ลักษณะการคงอยู่ของใบที่มีสีเขียวนี้อาจใช้เป็นตัวชี้หนึ่งในการประเมินความทนทานต่อสภาพเครียดจากความเค็มในอ้อยได้

#### ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของอ้อยที่ตอบสนองต่อสภาพเครียดจากความเค็ม

จากการวัดอัตราแลกเปลี่ยนแก๊สในสภาพควบคุมกล่องบรรจุใบเพื่อเชื้อให้ใบอ้อยเปิดปากใบเต็มที่พบว่าผลของ NaCl ความเข้มข้น 100 และ

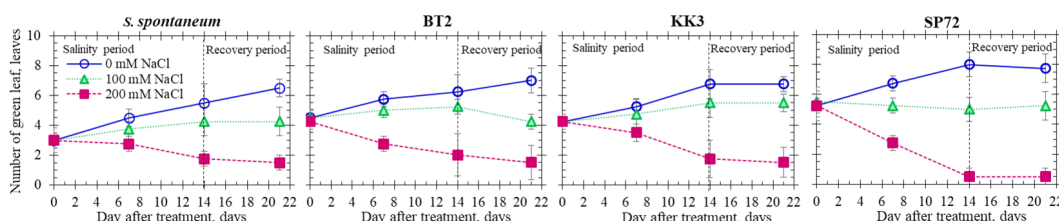


Figure 2 Changes in number of green leaf of four sugarcane varieties under salinity stress and recovery period

200 mM ทำให้อัตราสังเคราะห์แสงสุทธิ (Pn) ของอ้อยลดลงตั้งแต่ 24 ชั่วโมงหลังได้รับภาพเครียดจากความเค็ม โดยเฉพาะที่ 200 mM NaCl ค่า Pn ลดลงมากกว่า 60% ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์การลดลงของอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิมีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ โดยอ้อยพันธุ์ขอนแก่น3 ลดลงมากที่สุดในช่วง 3 วันแรกทั้งใน 100 และ 200 mM NaCl รองลงมาคือ สุพรรณบุรี72 ใบโอเทค2 และอ้อยป่า (Figure 3a) ค่า Pn ที่ลดลงเกิดจากค่าน้ำไหลปากใบ (gs) ลดลง (Figure 3c) อ้อยพันธุ์ขอนแก่น3 มีค่า gs เกือบเป็น 0 หลังอยู่ในสภาพเครียดจากเกลือ NaCl 200 mM นาน 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกับสุพรรณบุรี72 แต่ขอนแก่น3 มีค่าน้ำไหลปากใบสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 5 และ 7 และสามารถรักษาระดับ

การเปิดของปากใบได้ในวันที่ 14 วันหลังได้รับ NaCl ทำให้ค่า Pn ของขอนแก่น3 มีค่าสูงขึ้น ส่วนสุพรรณบุรี72 ค่าน้ำไหลปากใบในสภาพที่มีเกลือ NaCl 200 mM ไม่เพิ่มขึ้นซึ่งหมายความว่าปากใบปิดแคบตลอดตั้งแต่วันที่ 1 หลังได้รับสภาพเครียดจากความเค็ม และไม่สามารถรักษาระดับของค่าน้ำไหลปากใบในสภาพที่มีเกลือ NaCl 100 mM ให้สูงได้ ทำให้ค่า Pn ต่ำมาก สร้างอาหารได้น้อยทั้งในสภาพเค็มปานกลางและเค็มมาก สำหรับใบโอเทค2 มีการตอบสนองของปากใบคล้ายกับสุพรรณบุรี72 แต่สามารถรักษาระดับค่าน้ำไหลปากใบในสภาพเค็มจัดมากได้มากกว่าสุพรรณบุรี72 ในขณะที่อ้อยป่ามีการตอบสนองการเปิดปากใบคล้ายกับพันธุ์ขอนแก่น3 แต่มีการเปิดปากใบหรือมีค่าน้ำไหลปากใบ

Table 2 Percent of leaf dryness under salinity stress period and recovery score on seven days after recovery of four sugarcane varieties

| Variety              | NaCl concentration (mM) | Leaf drying (%) |       |        | Recovery level |  |
|----------------------|-------------------------|-----------------|-------|--------|----------------|--|
|                      |                         | 0 DAT           | 7 DAT | 14 DAT | 21 DAT         |  |
| <i>S. spontaneum</i> | 0                       | 0               | 0     | 0      | -              |  |
|                      | 100                     | 0               | 1.3   | 7.5    | 1              |  |
|                      | 200                     | 0               | 26.3  | 72.5   | 7              |  |
| BT2                  | 0                       | 0               | 0     | 0      | -              |  |
|                      | 100                     | 0               | 12.5  | 32.5   | 3              |  |
|                      | 200                     | 0               | 45.0  | 75.0   | 7              |  |
| KK3                  | 0                       | 0               | 0     | 0      | -              |  |
|                      | 100                     | 0               | 8.8   | 8.8    | 1              |  |
|                      | 200                     | 0               | 25.0  | 67.5   | 6              |  |
| SP72                 | 0                       | 0               | 0     | 0      | -              |  |
|                      | 100                     | 0               | 13.8  | 26.3   | 3              |  |
|                      | 200                     | 0               | 66.3  | 100.0  | 9              |  |

สูงกว่าพันธุ์ขอนแก่น3 ทั้งในสภาพที่มีเกลือเข้มข้น 100 และ 200 mM ส่วนอัตราคายน้ำมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิและค่าน้ำไหลปากใบ (Figure 3b) ในสภาพเครียดจากความเค็มของเกลือ NaCl ทำให้พืชต้องเผชิญกับสภาพเครียดจาก 2 ปัจจัยคือ การขาดน้ำหรือ osmotic stress และความเป็นพิษของไอออนจาก NaCl หรือ chemical stress โดยทั่วไปกลไกการปรับตัวของพืชต่อสภาพเครียดจาก osmotic stress มีได้หลายแบบพืชบางชนิดสามารถปรับตัวได้จากการรักษาพลังงานศักย์ของน้ำในใบพืชโดยการสร้างหรือสะสมสารออสโมไลต์ เพื่อรักษาแรงตึงและพลังงานความเข้มข้นของน้ำในใบ (osmotic adjustment) ในขณะที่พืชบางชนิดอาจใช้กลไกการควบคุมการเปิดปากใบเพื่อรักษาระดับน้ำในต้นโดยปิดปากใบให้แคบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ และเปิดกว้างขึ้นเมื่อสามารถรักษาตุลการใช้ได้เพื่อดำเนินกิจกรรมการสังเคราะห์แสงและอื่นๆได้ (นอร์ตัน, 2558) อ้อยพันธุ์ขอนแก่น3 และอ้อยป่าเป็นอ้อยที่มีลักษณะทนแล้ง (Cheavegatti-Gianotto et al., 2011 ; Jangpromma et al., 2012) อาจมีการปรับตัวต่อสภาพเครียดจากความเค็มโดยการควบคุมการปิดปากใบให้แคบเพื่อลดการสูญเสียน้ำในช่วงแรก และเปิดกว้างขึ้นเมื่อปรับตัวได้ สำหรับประสิทธิภาพการคายระเหย (TE) อ้อยทั้ง 4 พันธุ์มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงหลังได้รับสภาพเครียดจากความเค็มที่ต่างกัน โดยในช่วง 7 วันหลังได้รับสภาพเครียด อ้อยป่ามีค่า TE ไม่แตกต่างกันระหว่างความเข้มข้นของ NaCl มีค่าอยู่ในช่วง 5.8-7.5  $\mu\text{molCO}_2 \text{ mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$  ส่วนใบโศก2 คล้ายกับอ้อยป่าแต่ในวันที่ 7 ในสภาพที่มี NaCl 200 mM มีค่า TE ลดลงมากกว่า 2 เท่าและลดลงมากในวันที่ 14 สำหรับขอนแก่น3 ในสภาพดินเค็มจัดมาก ประสิทธิภาพการใช้น้ำลดลงมากในวันที่ 1 และ 3 ตามค่า Pn แต่มีค่าสูงขึ้นในวันที่ 5 โดยมีค่า TE อยู่ที่ 5  $\mu\text{molCO}_2 \text{ mmol}^{-1}\text{H}_2\text{O}$  และรักษาระดับได้ดีกว่าอีก 3 พันธุ์ในวันที่ 7 และ 14 หลังได้รับ NaCl ส่วนสุพรรณบุรี72 ประสิทธิภาพการคายระเหยของสภาพปกติและในเกลือ NaCl 100 mM ไม่แตกต่างกัน แต่ในสภาพที่มี NaCl 200 mM ค่า TE จะลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าต่ำมากในวันที่ 14 หลังได้รับสภาพเครียดจากความเค็ม (Figure 3d) ทั้งนี้จะเห็นว่าอ้อยป่าและขอนแก่น3 มีการรักษาประสิทธิภาพการคายระเหย

สูงกว่าสุพรรณบุรี72 และใบโศก2 มาก การที่อ้อยพันธุ์ขอนแก่น3 และอ้อยป่าสามารถควบคุมการเปิดปากใบได้ดี รักษาระดับของอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิและประสิทธิภาพการคายระเหยได้สูง และมีใบที่มีสีเขียวมากกว่าใบโศก2 และ สุพรรณบุรี72 ส่งผลให้อ้อยทั้ง 2 พันธุ์สามารถเจริญเติบโตและมีการลดลงของน้ำหนักแห้งน้อยกว่าใบโศก2 และสุพรรณบุรี72 ผลที่ได้จากการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Cha-Um et al. (2013) ที่พบว่าพันธุ์อ้อยที่อยู่ในกลุ่มทนเค็มมีประสิทธิภาพการใช้น้ำหรือการคายระเหยสูงกว่าพันธุ์อ่อนแอ การที่พืชมีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงหรือสามารถรักษาระดับของ WUE และ TE ได้ดีในสภาพเครียดจากความเค็มช่วยให้พืชทนเค็มได้เนื่องจากมีแรงตึงน้ำและมีการเคลื่อนที่ของไอออนของเกลือเข้าสู่ต้นพืชได้น้อยกว่าพืชที่มี WUE ต่ำ (Bromhan and Bennett, 2014)

กระบวนการสังเคราะห์แสงในพืชปฏิกิริยาใช้แสงเป็นกระบวนการสำคัญในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานเคมี จากการวัดคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์ในช่วงเข้ามืดทำให้ทราบค่าประสิทธิภาพการใช้แสงสูงสุด (Fv/Fm) ของอ้อยทั้ง 4 พันธุ์ พบว่าที่ 7 วันหลังได้รับสภาพเครียดจากความเค็มมากไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Fv/Fm ในอ้อยป่า อ้อยพันธุ์ขอนแก่น3 และใบโศก2 แต่อ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี72 มีค่า Fv/Fm ลดลง 35% แสดงว่าระบบรับแสงของอ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี72 เสียหายตั้งแต่เผชิญกับสภาพเครียดจากความเค็มนาน 7 วัน สำหรับที่ 14 วันหลังได้รับสภาพเครียดจากความเค็ม อ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี72 และใบโศก2 มีค่า Fv/Fm ลดลงมากที่สุด รองมาคือขอนแก่น3 อ้อยป่ามีค่าต่ำกว่าสภาพปกติเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อย้ายอ้อยทั้งหมดลงปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่ไม่มีเกลือเพื่อตรวจสอบการฟื้นตัว พบว่าค่า Fv/Fm ของอ้อยใบโศก2 ขอนแก่น3 และสุพรรณบุรี72 มีค่า Fv/Fm ไม่แตกต่างทางสถิติกับที่ 14 วัน (Figure 4) แสดงว่าระบบรับแสงของอ้อยทั้ง 3 พันธุ์เสียหายและไม่สามารถฟื้นตัวได้ในสภาพเค็มมาก ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการทดลองของ Cha-Um et al. (2012) พบว่าความเค็มจากเกลือ NaCl ที่ความเข้มข้น 200 mM ทำให้ประสิทธิภาพการใช้แสงของอ้อยลดลงอย่างมาก โดยพันธุ์ที่มีค่า Fv/Fm และ  $\Phi\text{PSII}$

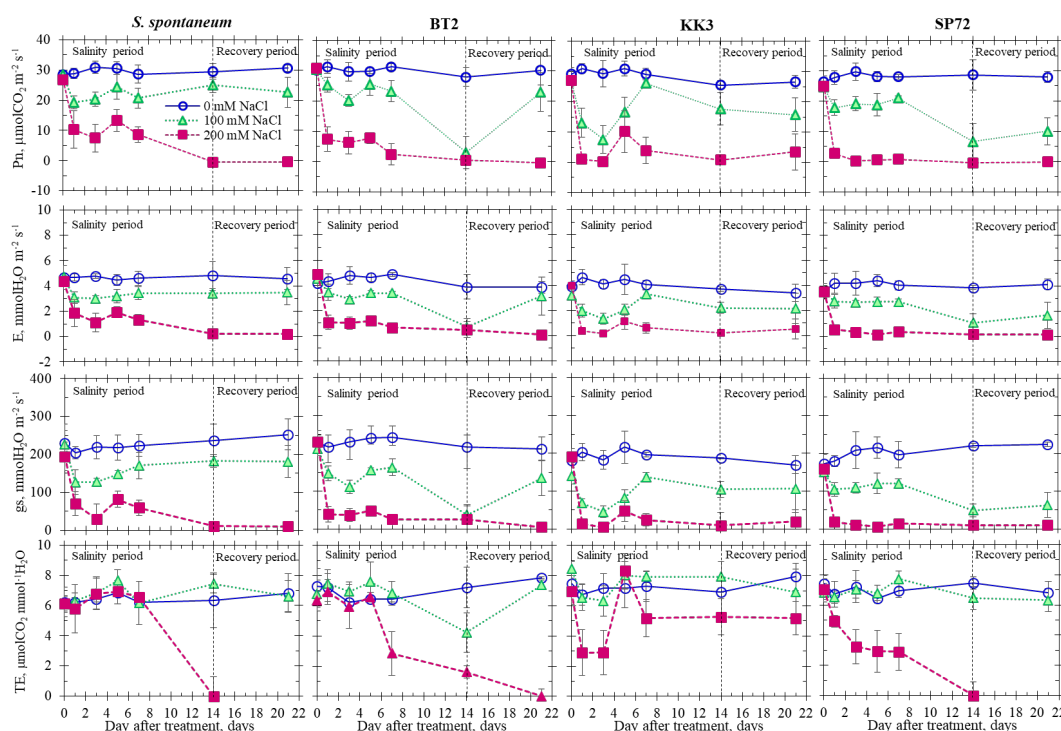


Figure 3 Changes in net photosynthetic rate, Pn (a), transpiration rate, E (b), stomatal conductance, gs (c), and transpiration efficiency, TE (d) of four sugarcane varieties under salinity stress and recovery period

ลดลงมากมีอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิและชีวมวลลดลงมากด้วยเช่นกัน สำหรับใน 100 mM NaCl พบว่าค่า  $F_v/F_m$  ของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น3 ใบโอบเตก2 และอ้อยป่ามีค่าไม่แตกต่างจากสภาพไม่มีเกลือทั้ง 3 ช่วง ในขณะที่สุพรรณบุรี72 มีค่า  $F_v/F_m$  ลดลงหลังได้รับสภาพเครียดจากความเค็มนาน 14 วัน แต่มีค่าใกล้เคียงกับในสภาพไม่มีเกลือในช่วงฟื้นตัวได้เนื่องจากกระบวนการปรับตัวสามารถซ่อมแซมตัวเองได้โดยการสร้างโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการใหม่ ระบบรับแสงของอ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี72 เสียหายไม่มากและสามารถซ่อมแซมกระบวนการรับแสงให้ทำงานปกติได้หลังอยู่ในระยะฟื้นตัวนาน 7 วัน

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่สำคัญต่อการสังเคราะห์แสงในพืช พบว่าความเค็มจาก NaCl ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมของอ้อยลดลงมากใน 200 mM NaCl อ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี72 ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมลดลงมากกว่า 50% ตั้งแต่ 7 วันหลังได้รับสภาพเครียด ในขณะที่ขอนแก่น3 และอ้อยป่ายัง

คงมีปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สูง สำหรับใน 100 mM NaCl นาน 14 วัน สุพรรณบุรี72 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง แต่ขอนแก่น3 อ้อยป่า และใบโอบเตก2 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มขึ้น 15.7 และ 3% ตามลำดับ (Figure 5a และ 5b) ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมหรือสร้างคลอโรฟิลล์ให้มากขึ้นเพื่อให้สามารถสังเคราะห์แสงได้ การที่อ้อยพันธุ์ใบโอบเตก2 มีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงขึ้นนั้นอาจเกิดการถ่ายทอดทางพันธุกรรมจากอ้อยป่าที่เป็นพันธุ์พ่อ ทั้งนี้การที่ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมลดลงมากส่งผลต่อระบบรับแสงของอ้อย ทำให้ค่าประสิทธิภาพการใช้แสง และอัตราสังเคราะห์แสงของอ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี72 ลดลงมาก

สำหรับค่าพลังงานศักย์รวมของน้ำในใบ (leaf water potential,  $\Psi_t$ ) เป็นค่าที่บอกถึงดุลของน้ำในใบว่าขณะนั้นพืชมีอัตราการนำน้ำเข้าทันอัตราการสูญเสียน้ำหรือไม่ อัตราน้ำเข้าสะท้อนสถานะน้ำในสารละลายและความสามารถในการ

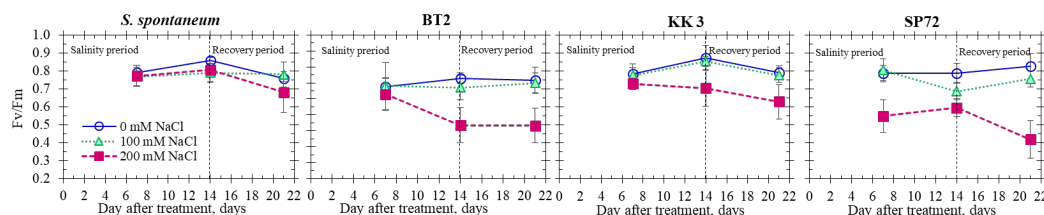


Figure 4 Changes in chlorophyll fluorescence as dark adapted maximum quantum yield, Fv/Fm of four sugarcane varieties under salinity stress and recovery period

ดูน้ำของราก ในขณะที่อัตราการสูญเสียน้ำหรืออัตราการคายน้ำสะท้อนการเปิดปิดปากใบและแรงดูดรับน้ำจากใบสู่อากาศ ค่าที่ต่ำแสดงถึงการสูญเสียน้ำมากกว่าได้รับน้ำเข้ามาทดแทน จากการทดลองพบว่าหลังได้รับสภาพเครียดจากความเค็มนาน 7 วัน ทำให้ค่า  $\Psi_t^{\text{predawn}}$  ของอ้อยทั้ง 4 พันธุ์มีค่าต่ำกว่าในสภาพไม่เค็มเกลือ NaCl แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์และความเข้มข้นของ NaCl (Figure 5c) แต่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์หลังได้รับสภาพเครียดนาน 14 วันโดยพบว่าอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 มีค่า  $\Psi_t^{\text{predawn}}$  ต่ำกว่าอ้อยป่าไผ่โอเค 2 และสุพรรณบุรี 72 (Figure 5d) แสดงว่าในอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 สามารถดูน้ำขึ้นมาชดเชยที่สูญเสียไปในช่วงกลางวันเข้าสู่ต้นได้มากกว่าอ้อยอีก 3 พันธุ์ สำหรับค่า  $\Psi_t^{\text{midday}}$  เป็นค่าสะท้อนดุล

ของน้ำในใบในช่วงเที่ยงวัน จาก Figure 5e หลังจากอ้อยทั้ง 4 พันธุ์ได้รับสภาพเครียดนาน 7 วัน อ้อยป่ามีค่า  $\Psi_t^{\text{midday}}$  ในสภาพเค็มจัดมากที่สุด และมีความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของ NaCl และพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ หมายความว่าอ้อยป่ามีการลดค่าพลังงานศักย์ของน้ำในต้นโดยมีการเปิดปากใบและอัตราการคายน้ำสูงเพื่อให้สามารถดึงน้ำเข้าสู่ต้นให้ได้มากขึ้นหรืออาจกล่าวได้ว่าอ้อยป่ามีกลไกการรักษาแรงดันออสโมติกในวันที่ 7 หลังได้รับสภาพเครียดจากความเค็มจัดมากซึ่งไม่พบลักษณะดังกล่าวในอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 สุพรรณบุรี 72 และป่าไผ่โอเค 2 ทั้งนี้ความทนเค็มของอ้อยป่ามีความสัมพันธ์กับดุลการใช้น้ำของอ้อย

สำหรับค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของเซลล์สะท้อนถึงความเสียหายของเซลล์

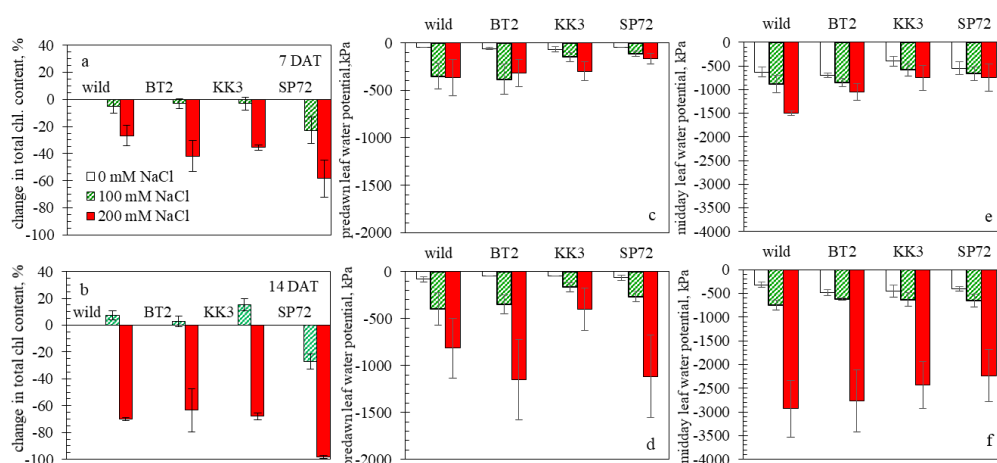


Figure 5 Total chlorophyll content compared with control or 0 mM NaCl at 7 days (a) and 14 days (b) and leaf water potential at predawn at 7 days (c), 14 days (d) and midday at 7 days (e) 14 days (f) of four sugarcane varieties after salinity stress

เมมเบรน พบว่าที่ 7 วันหลังอ้อยได้รับ NaCl เข้มข้น 200 mM อ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี 72 มีค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ในรากสูงกว่า 100 mM NaCl และไม่เต็มเกลือ (Figure 6a และ 6b) แสดงว่าอ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี 72 มีความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ที่รากมาก ซึ่งอ้อยอีก 3 พันธุ์ยังไม่พบความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ที่ราก สำหรับใบไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าเยื่อหุ้มเซลล์ของใบอ้อยทั้ง 4 พันธุ์ยังทำงานปกติแม้อยู่ในสภาพเครียดจากความเค็มนาน 7 วัน แต่หลังจากผ่านสภาพเครียดจากความเค็มมาต่อเนื่อง 14 วัน พบ

ว่าใบมีค่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นมากในสภาพ 200 mM NaCl โดยอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 มีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของเซลล์ที่ใบและรากน้อยกว่าอ้อยป่า ใบโอเทค 2 และสุพรรณบุรี 72 ตามลำดับ (Figure 6c และ 6d) สำหรับสุพรรณบุรี 72 ที่อ่อนแอต่อความเค็มแสดง ความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์ของรากตั้งแต่วันที่ 7 หลังได้รับเกลือ 200 mM ขณะที่ใบไม่มีความเสียหายของเยื่อหุ้มเซลล์มากทำให้การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์สูงในวันที่ 14 ซึ่งลักษณะนี้สามารถใช้ในการประเมินความอ่อนแอต่อความเค็มของอ้อยได้

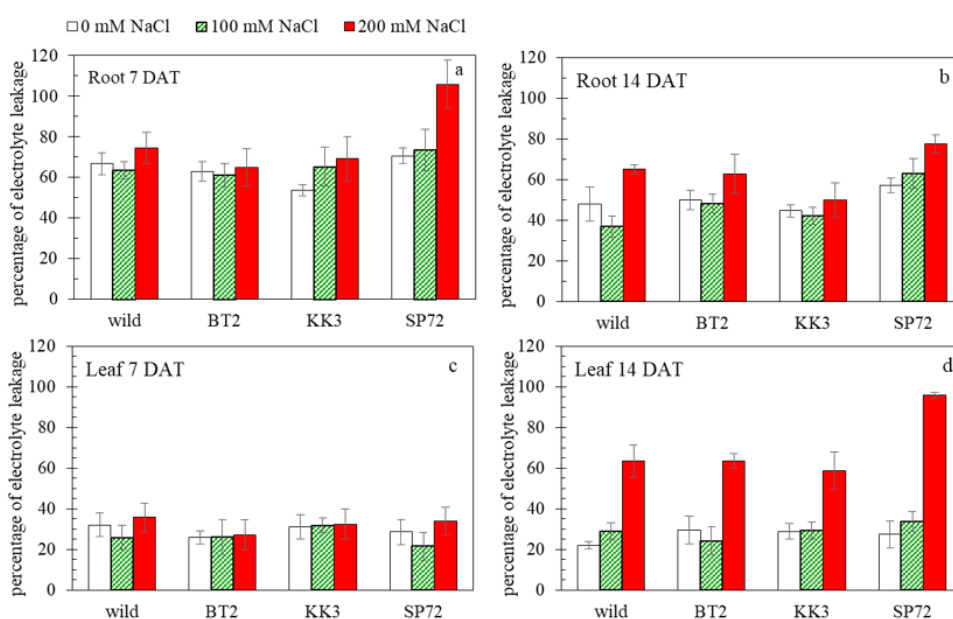


Figure 6 Percentage of electrolyte leakage in root at 7 days (a), 14 days (b) and leaf at 7 days (c), 14 days (d) of four sugarcane varieties after salinity stress

### สรุปผลการทดลอง

อ้อยป่า อ้อยอาหารสัตว์พันธุ์ใบโอเทค 2 อ้อยปลูกพันธุ์ขอนแก่น 3 และ สุพรรณบุรี 72 มีการตอบสนองทางสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตภายใต้สภาพเครียดจากความเค็มที่ต่างกัน โดยอ้อยป่าและขอนแก่น 3 สามารถเจริญเติบโตและสร้างมวลชีวภาพภายใต้สภาพเครียดจากความเค็มได้ดีกว่าใบโอเทค 2 และสุพรรณบุรี 72 เนื่องจากสามารถควบคุมการเปิดปากใบได้ดีหรือมีความไวต่อการตอบสนองของ

ปากใบต่อสภาพเครียดจากความเค็มและสามารถรักษาระดับการเปิดของปากใบให้สูงได้ มีประสิทธิภาพการใช้แสงและอัตราสังเคราะห์แสงสุทธิสูง รักษาอุณหภูมิของน้ำในใบได้ดี และมีการสร้างรากและปริมาณคลอโรฟิลล์รวมเพิ่มขึ้นในสภาพที่ได้รับ 100 mM NaCl อ้อยพันธุ์สุพรรณบุรี 72 เป็นอ้อยที่อ่อนแอต่อความเค็มจากเกลือ NaCl มาก เนื่องจากมีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ที่รากและใบมาก เยื่อหุ้มเซลล์ได้รับความเสียหายเร็ว คลอโรฟิลล์รวมและประสิทธิภาพการใช้แสงลดลงมาก ไม่สามารถรักษาคูลของน้ำในต้น

และควบคุมการเปิดปากใบได้ ทำให้อัตราสังเคราะห์แสง และคายน้ำลดลง ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และการสร้างชีวมวล ทำให้น้ำหนักแห้งรวมลดลง มากที่สุด ความเข้มข้นของเกลือ NaCl 200 mM เป็นสภาพเค็มมากทำให้อ้อยทั้ง 4 พันธุ์ มีใบแห้ง เยื่อหุ้มเซลล์ได้รับความเสียหายมาก ปริมาณคลอโรฟิลล์ คำนวณได้จากใบ ประสิทธิภาพการใช้แสง และ อัตราสังเคราะห์แสงลดลงมาก และไม่สามารถรักษา ค่าศักย์น้ำในต้นได้ ส่งผลให้ไม่สามารถพัฒนาถึงความสูงและขนาดลำต้นได้ แต่สามารถใช้สำหรับ ประเมินความทนเค็มของอ้อยได้

### คำขอบคุณ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัยโครงการ การพัฒนา gene targeted marker เพื่อใช้คัดเลือก อ้อยทนดินเค็มน้อยและปานกลาง (RDG5950095) ที่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก สกว. และโครงการ สนับสนุนและส่งเสริมการวิจัย จากภาควิชาชีพในภาคเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### เอกสารอ้างอิง

- นวรรตน์ อุดมประเสริฐ. 2558. สรีรวิทยาของพืชภายใต้ สภาวะเครียด. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- นิธญา เถนะสวัสดิ์, วัฒนชัย ล้นทม, มานิตย์ โสภิตตระกูล, ปิยะดา ธีระกุลพิศุทธิ์ และวิทยา ตรีไธเกศ. 2559. กิจกรรมของเอนไซม์ต้านออกซิเดชันและปริมาณ เปอรอกไซด์ไนโตรเจนในอ้อยที่ได้รับความเครียดแล้ง. ว. พฤกษศาสตร์ไทย. 8: 65-80.
- ประเสริฐ ชุตริวงษ์, โสภิต บุญเอก และกิตติมา รัก โสภิต. 2552 การเปรียบเทียบพันธุ์อ้อยอาหาร สัตว์. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัย พัฒนาและ วิจัยกรรม, สำนักบริหารจัดการคลังเตอร์, สำนักงาน พัฒนาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- สมศรี อรุณรัตน์. 2539. การปรับปรุงดินเค็ม. สมศรี อรุณรัตน์. หน้า 19-29. ใน: ดินเค็ม. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตร และสหกรณ์. กรุงเทพฯ
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2560. รายงานพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2559/60. Available: <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-9999.pdf> เมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2561
- Bromham, L. and T.H. Bennett. 2014. Salt tolerance evolves more frequently in C4 grass lineages. J. Evol. Biol. 27: 653-659.

- Cha-Um, S., S. Chantawong, C.M. Siriwatana, M. Ashraf, and C. Kirdmanee. 2013. Field screening of sugarcane (*Saccharum* spp.) mutant and commercial genotypes for salt tolerance. Not. Bot. Horti. Agrobi. 41: 286-293.
- Cha-Um, S., S. Chuencharoen, C. Mongkolsiriwatana, M. Ashraf, and C. Kirdmanee. 2012. Screening sugarcane (*Saccharum* sp.) genotypes for salt tolerance using multivariate cluster analysis. Plant Cell. Tiss. Organ. Cult. 110:23-33.
- Cheavegatti-Gianotto, A., H.M.C. Abreu, P. Arruda, J.C.B. Filho, W.L. Burnquist, S. Creste, L. Ciero, J.A. Ferro, A.V.O. Figueira, T.S. Figueiras, M.F. Grossi-de-Sa, F.C. Guzzo, H.P. Hoffmann, M.G.A. Landell, N. Macedo, S. Matsuoka, F.C. Reinach, E. Romano, W.J. Silva, M.C.S. Filho, and E.C. Ulian. 2011. Sugarcane (*Saccharum officinarum*): A reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. Tropical Plant Biol. 4: 62-89.
- Jangpromma, N., S. Thammasirak, P. Jaisil, and P. Songsri. 2012. Effects of drought and recovery from drought stress on above ground and root growth, and water use efficiency in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). Aust. J. Crop. Sci. 6:1298-1304.
- Moran, R. 1982. Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with N,N-dimethylformamide. Plant Physiol. 69:1376-1381.
- Murad, A.M., H.B.C. Molinari, B.S. Magalhaes, A.C. Franco, F.S.C. Takahashi, N.G. de Oliveira-Junior, O.L. Franco, and B.F. Quirino. 2014. Physiological and proteomic analyses of *Saccharum* spp. grown under salt stress. PLOS ONE. 4: 1-12.
- Silva, J.A.G., P.M.A. Costa, T.G. Marconi, E.J.S. Barreto, N.S. Gracia, J.W. Park, and N.C. Glynn. 2018. Agronomic and molecular characterization of wild germplasm *Saccharum spontaneum* for sugarcane and energycane breeding purposes. Sci. Agric. 75:329-338
- Wiedenfeld, B. 2008. Effects of irrigation water salinity and electrostatic water treatment for sugarcane production. Agric. Water Manage. 95: 85-88.
- Zhu, J.K. 2007. Plant salt stress. P1-3. In: Encyclopedia of life sciences. John Wiley and Sons Ltd., USA.