วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 1) มกราคม – เมษายน พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.1) January – April 2023 บทความวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพทนเค็มในข้าวด้วยการทำให้ชินกับเกลือที่ระยะต้นกล้า

Enhancement of Salt Tolerance in Rice by Salt Acclimation at Seedling Stage

ธนกร วังสว่าง[1] และ สุมนา วังสว่าง[2*]

Thanakorn Wangsawang[1] and Sumana Wangsawang[2*]

[1] *คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*

[2] *วิทยาลัยโพธิวิชชาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*

[1] *Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage*

[2] *Bodhivijjalaya College, Srinakharinwirot University*

Received : 13 June 2022

Revised : 1 October 2022

Accepted : 12 October 2022

บทคัดย่อ

ดินเค็มเป็นปัญหาสำคัญต่อการผลิตข้าวในหลายพื้นที่ของประเทศไทย อีกทั้งพื้นที่ดินเค็มยังมีระดับความเค็มที่แตกต่างกันส่งผลให้ข้าวไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ดังกล่าว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวที่ระยะต้นกล้าโดยใช้วิธีการทำให้ชินกับเกลือ NaCl ด้วยความเข้มข้นที่แตกต่างกัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์มี 4 ทรีทเมนต์ คือ ทรีทเมนต์ที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ได้รับความเค็ม) ทรีทเมนต์ที่ 2 ไม่มีการทำให้ชินกับเกลือ ทรีทเมนต์ที่ 3 ทำให้ชินกับเกลือ NaCl เข้มข้น 5 mM และทรีทเมนต์ที่ 4 ทำให้ชินกับเกลือ NaCl เข้มข้น 10 mM ทรีทเมนต์ละ 4 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่าการทำให้ชินกับเกลือ NaCl เข้มข้น 10 mM ในข้าวสายพันธุ์ทนเค็ม M-1 และ M-3 ที่จากเดิมมีศักยภาพการทนเค็มอยู่ที่ 80 mM NaCl สามารถเพิ่มประสิทธิภาพความทนเค็มได้สูงขึ้นที่ 100 mM NaCl โดยการเจริญเติบโต เช่น ความยาวต้นและราก น้ำหนักแห้งส่วนต้นและส่วนราก และการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวภายใต้ความเครียดเค็ม เช่น การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ ปริมาณน้ำในใบ คลอโรฟิลล์ *เอ* และ *บี* ปริมาณโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ในขณะที่ข้าวอ่อนแอต่อความเค็มมากพันธุ์ปทุมธานี 1 เมื่อมีการทำให้ชินกับเกลือสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทนเค็มที่ระยะต้นกล้าได้ระดับหนึ่ง ดังนั้นการส่งเสริมให้กับเกษตรกรผู้ปลูกข้าวนาดำด้วยการทำให้ชินกับเกลือ NaCl เข้มข้น 10 mM เป็นเวลา 14 วันนี้ จึงเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนการปลูกข้าว อีกทั้งการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวภายใต้ความเครียดเค็มสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกความทนทานต่อสภาวะเครียดเค็มของข้าวในระยะการเจริญเติบโตทางลำต้นได้

คำสำคัญ : การทำให้ชินกับเกลือ ; ทนเค็ม ; การเจริญเติบโต ; ข้าว ; ระยะต้นกล้า

Abstract

Saline soil is a major problem for rice cultivation in many areas of Thailand. In addition, the saline soil areas have different levels of salinity, resulting in rice being unable to grow in such areas. Therefore, this research aims to study the growth and some physiological characteristics of rice at the seedling stage with different concentrations of NaCl acclimation. The experiment was conducted by Completely Randomized Design with 4 treatments: treatment 1 was control (non salt stress), treatment 2 was no NaCl acclimation, treatment 3 was acclimation with 5 mM NaCl and treatment 4 was acclimation with 10 mM NaCl, each treatment had 4 replications. The results showed that, the salt-tolerant lines, M-1 and M-3, which had a previous salinity tolerant potential at 80 mM NaCl, after NaCl acclimation with 10 mM, their salinity tolerance efficiency could be achieved at 100 mM NaCl. Growth such as shoot and root length, shoot and root dry weight and some physiological responses of rice under saline stress, such as electrolyte leakage ratio, the water content in leaves, chlorophyll *a* and *b*, Na^+ and K^+ concentration, and Na^+:K^+ ratio were not statistically different with the control. While Pathumthani 1, highly sensitive to salinity, acclimation to the NaCl process was able to enhance salinity tolerance at the seedling stage to some extent. Therefore, the promotion for transplanted rice farmers to acclimate with 10 mM NaCl for 14 days is a useful baseline for rice cultivation planning. Moreover, the growth and some physiological responses of rice under salinity stress can be used as the basic for characterizing the salinity stress tolerance of rice at the vegetative stage.

Keywords : salt acclimation ; salt-tolerance ; growth ; rice ; seedling stage

***Corresponding author. E-mail :** sumanac@g.swu.ac.th

บทนำ

ดินเค็ม คือ ดินที่มีปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้มากเกินไป มีผลต่อการเจริญเติบโต คุณภาพ และปริมาณของผลผลิตพืช ซึ่งอาจมีความรุนแรงทำให้พืชตายได้ เนื่องจากพืชเกิดการขาดน้ำ รากไม่สามารถดูดน้ำจากดินขึ้นไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความไม่สมดุลของธาตุอาหารพืช และมีการสะสมไอออนเป็นพิษในพืชมากเกินไป ทำให้พืชเกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหาร (Arunin, 1996) พื้นที่ดินเค็มในประเทศไทยพบบริเวณภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ดินเค็มประมาณ 18 ล้านไร่ คิดเป็นพื้นที่ 17 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งภาค พื้นที่ดินเค็มมักเกิดในที่ลุ่มที่มีน้ำท่วมในฤดูฝน ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกข้าว จะพบคราบเกลืออยู่บนผิวดินไม่สม่ำเสมอกันทั้งพื้นที่ และระดับความเค็มก็แตกต่างกันขึ้นกับฤดูกาล (Land Develop Department, 2015) โดยทั่วไปดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าความเค็มอยู่ระหว่าง 2–16 dS/m (Yuvaniyama, 2001)

ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชที่สามารถปลูกได้ในหลายสภาพแวดล้อม และสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพแวดล้อมที่มีปัญหา เช่น ดินเปรี้ยว และดินเค็ม เป็นต้น โดยข้าวสามารถปลูกในสภาพดินเค็มตั้งแต่ 0-8 dS/m ขึ้นอยู่กับศักยภาพความทนเค็มของข้าวแต่ละพันธุ์ (Maas *et al.,* 1986) การตอบสนองของข้าวต่อดินเค็มขึ้นกับระดับความเข้มข้นของเกลือ พันธุกรรม และระยะการเจริญเติบโต ปกติข้าวจะอ่อนแอต่อความเค็มในระยะต้นกล้า และระยะออกดอก (Lutts *et al.,* 1995; Anbumalarmathi & Mehta, 2013) การแก้ไขปัญหาพื้นที่ดินเค็มสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การปรับปรุงโครงสร้างดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยพืชสด และอินทรียวัตถุ หรือการชะล้างความเค็มของดินโดยการระบายน้ำเข้าออกอยู่เสมอ ซึ่งวิธีเหล่านี้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง ไม่สะดวก และใช้เวลานานในการปฏิบัติสำหรับเกษตรกร (Zahir *et al.,* 2008) การใช้พันธุ์ข้าวทนเค็มที่ผ่านการปรับปรุงพันธุ์ให้ทนเค็มจึงเป็นวิธีที่ลงทุนน้อย เพิ่มผลผลิต และลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรได้ในระยะยาว อย่างไรก็ตามพื้นที่ดินเค็มมีระดับความเค็มที่แตกต่างกันส่งผลให้ข้าวที่มีศักยภาพทนเค็มหรือข้าวพันธุ์ปรับปรุงให้ทนเค็มไม่สามารถทนเค็มได้ในพื้นที่ที่มีปัญหาดังกล่าว Djanaguiraman *et al.* (2006); Zahir *et al.* (2008); Kamanga *et al.* (2020) รายงานว่าการปรับตัวให้ชินกับเกลือ (salt acclimation) โดยการปรับสภาพพืชด้วยความเค็มต่ำ ๆ เป็นระยะเวลาหนึ่ง สามารถเพิ่มศักยภาพการทนเค็มในสภาวะที่มีความเค็มที่เพิ่มขึ้นในภายหลังได้

พืชแต่ละชนิดมีกลไกการทำให้ชินกับเกลือและความสามารถในการทนเค็มที่แตกต่างกัน การทำให้ชินกับเกลือส่งผลให้มีการสะสม Na^+ ในเนื้อเยื่อใบลดลงและทำให้อัตราการมีชีวิตรอดเพิ่มขึ้นในถั่วเหลืองหลังจากเจอเกลือที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (Umezawa *et al.,* 2000) อย่างไรก็ตามผลการศึกษาของ Pandolfi *et al.* (2017) พบว่าการปรับตัวทางสรีรวิทยาของมะกอกโอลีฟ (Olive, *Olea europaea*) ต่อการทำให้ชินกับเกลือมีการสะสม Na^+ ในเนื้อเยื่อใบเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับการศึกษาของ Janda *et al.* (2016) ที่อธิบายว่าการทำให้ชินกับเกลือในระยะต้นกล้าของข้าวสาลีไม่มีการสะสม Na^+ ในเนื้อเยื่อใบ Sriskantharajah *et al.* (2021) ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อการทำให้ชินกับเกลือ (5 และ 10 mM NaCl) ในข้าวพันธุ์ Deejiaohualuo และ Vandaran เมื่อมีอายุ 21 วัน ที่ระดับความเข้มข้น 0, 50 และ75 mM NaCl พบว่าการทำให้ชินกับเกลือในข้าวที่ระยะต้นกล้าส่งผลให้มีการสะสม K^+ เพิ่มขึ้น ลดการสะสม Na^+ และมีอัตราส่วนระหว่าง Na^+/K^+, Na^+/Ca^{2+} และ Na^+/Mg^{2+} ต่ำในเนื้อเยื่อใบเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ทำให้ชินกับเกลือ การทำให้ชินกับเกลือในข้าวทำให้เกิดการรักษาสมดุลของไอออนภายในเซลล์ ไอออนที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษลดลง และข้าวสามารถดูดน้ำจากดินขึ้นไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง (Djanaguiraman *et al.,* 2006) การศึกษาการเจริญเติบโตและกลไกทางสรีรวิทยาของการทำให้ชินกับเกลือในข้าวยังไม่เป็นที่เข้าใจกันมากนัก เนื่องจากผลการวิจัยต่าง ๆ มีความ

แตกต่างกัน เพราะข้าวแต่ละพันธุ์มีกลไกการทำให้ชินกับเกลือแตกต่างกัน ระดับความเข้มข้นของเกลือในการทำให้ชินกับเกลือที่แตกต่างกัน และความแตกต่างของระดับความเค็มที่ใช้ในการทดสอบ นอกจากนี้ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับการทำให้ชินกับเกลือในข้าวสายพันธุ์ปรับปรุงให้ทนเค็มที่ระยะต้นกล้าโดยใช้เกลือ NaCl เป็นตัวกระตุ้นความเครียดให้ชินกับเกลือ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต และลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวสายพันธุ์พัฒนาทนเค็มที่ระยะต้นกล้า ภายใต้สภาวะปกติและสภาวะความเครียดเค็มหลังจากทำให้ชินกับเกลือ NaCl ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

พืชทดสอบ

ข้าวสายพันธุ์กลายทนเค็ม M-1 และ M-3 (ข้าวอินดิกา; Indica) ที่มีศักยภาพการทนเค็มที่ 80 mM NaCl ได้จากการนำเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ด้วยรังสีแกมมาแบบเฉียบพลัน ความเข้มข้น 220 เกรย์ ทำการคัดเลือกต้นที่มีศักยภาพทนเค็มชั่วที่ M_1 ถึงชั่วที่ M_5 ด้วยเกลือ NaCl ความเข้มข้น 80 mM (Wangsawang *et al*., 2021) และพันธุ์ข้าวทดสอบ 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ Pokkali (ทนเค็ม) และพันธุ์ปทุมธานี 1 (Pathum Thani 1; PTT1) (อ่อนแอต่อความเค็มมาก)

การเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวและการทดสอบความเค็ม

สถานที่ทดลอง คือ โรงเรือนคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ (อุณหภูมิเฉลี่ย 29.63 °C และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 63.75%) ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ Laboratory of Plant Nutritional Physiology, Department of Environmental Dynamics and Management, Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University ประเทศญี่ปุ่น วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มี 4 ทรีทเมนต์ ๆ ละ 4 ซ้ำ

นำเมล็ดข้าวทั้ง 4 พันธุ์/สายพันธุ์มาอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมงเพื่อหยุดการพักตัว ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง แช่เมล็ดข้าวในน้ำประปาโดยเลือกเฉพาะเมล็ดที่จมน้ำมาฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยการแช่ในสารละลาย 5% NaOCl นาน 30 นาที จากนั้นแช่ในน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 24 ชั่วโมง นำเมล็ดข้าวย้ายไปเลี้ยงในตาข่ายไนลอนที่ลอยอยู่ในถังพลาสติกมีน้ำประปา 20 ลิตร จนต้นกล้ามีอายุครบ 4 วัน จึงเปลี่ยนเป็นสารละลาย 1/2 Kimura B (Mekawy *et al.,* 2018) 20 ลิตร เมื่อต้นกล้าอายุ 10 วัน ย้ายปลูกไปยังท่อพีวีซีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และลึก 5 เซนติเมตร (ต้นกล้า 1 ต้นต่อท่อพีวีซี) ในถังพลาสติกที่มีสารละลาย 1/2 Kimura B 170 ลิตร

เมื่อข้าวอายุ 14 วัน แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ทรีทเมนต์ คือ

1. ทรีทเมนต์ที่ 1 ชุดควบคุม (0 mM NaCl): ปลูกในสารละลาย 1/2 Kimura B เป็นเวลา 28 วัน

2. ทรีทเมนต์ที่ 2 ไม่มีการทำให้ชินกับเกลือ: ปลูกในสารละลาย 1/2 Kimura B เป็นเวลา 14 วัน หลังจากนั้นทดสอบด้วย NaCl เข้มข้น 100 mM; EC ≈ 10 dS/m ในสารละลาย 1/2 Kimura B เป็นเวลา 14 วัน

3. ทรีทเมนต์ที่ 3 มีการทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl; EC ≈ 0.5 dS/m: ทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl ในสารละลาย 1/2 Kimura B เป็นเวลา 14 วัน หลังจากนั้นทดสอบด้วย NaCl เข้มข้น 100 mM ในสารละลาย 1/2 Kimura B เป็นเวลา 14 วัน

4. ทรีทเมนต์ที่ 4 มีการทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl; EC ≈ 1 dS/m: ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ในสารละลาย 1/2 Kimura B เป็นเวลา 14 วัน หลังจากนั้นทดสอบด้วย NaCl เข้มข้น 100 mM ในสารละลาย 1/2 Kimura B เป็นเวลา 14 วัน

ตรวจสอบและปรับระดับความเป็นกรดด่างทุกวันโดยใช้ 2 N HCl หรือ 2 N KOH ให้สารละลายมีความเป็นกรดด่างที่ 5.0 ถึง 5.5 น้ำที่สูญเสียจากการคายระเหยถูกเติมด้วยน้ำประปาทุกวันและเปลี่ยนสารละลายใหม่ทุก ๆ 3 วัน เมื่อต้นข้าวอายุ 42 วัน บันทึกพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการ และประเมินความทนเค็มของข้าวตามระบบของ Standard Evaluation System for Rice (SES) (IRRI,1996) (ตารางที่ 1)

Table 1 Standard Evaluation System for scoring of visual salt injury at seedling stages in rice.

Score	Observation	Tolerance level
1	Normal growth	Highly tolerant (HT)
3	Nearly normal growth; leaf tips or few leaves whitish and rolled	Tolerant (T)
5	Growth severely retarded; most leaves rolled; only a few are elongating	Moderately tolerant (MT)
7	Complete cessation of growth; most leaves dry; some plants dying	Susceptible (S)
9	Almost all plant dead or dying	Highly susceptible (HS)

การบันทึกผลการเจริญเติบโตของต้นข้าว

ข้อมูลการเจริญเติบโตประกอบด้วย ความยาวต้น ความยาวราก น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งส่วนแผ่นใบ (leaves) กาบใบ (sheaths) และราก (roots) โดยชั่งน้ำหนักสดส่วนแผ่นใบ กาบใบ และรากของข้าว หลังจากนั้นนำส่วนแผ่นใบ กาบใบ และรากของข้าวไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ภายในตู้อบลมร้อน (Memmert, Model 500, Germany) แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง นำแผ่นใบมาหาปริมาณน้ำในใบ (water content: WC) ในสมการ WC (%) = (FW-DW)/FW ตามวิธีการของ Chuamnakthong *et al.* (2019)

การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte leakage ratio: ELR)

ตัดชิ้นส่วนใบที่ 2 จากด้านบนของต้นข้าวให้มีความยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร นำชิ้นส่วนของใบแช่ลงในน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC1) หลังจากนั้นนำชิ้นส่วนของใบที่แช่ในน้ำกลั่นไปต้มที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC2) หลังจากนั้นนำค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ไปแทนค่าในสมการ ELR (%) = (EC1/EC2) × 100 ตามวิธีการของ Elsawy *et al.* (2018)

ปริมาณรงควัตถุ (chlorophyll content)

ตัดชิ้นส่วนใบที่ 3 จากด้านบนของต้นข้าวให้ละเอียด เติมสารละลาย *N, N*-dimethylformamide ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และนำไปเก็บไว้ในที่มืด ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นตรวจวัดปริมาณรงควัตถุภายในใบประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ *เอ* (Chl *a*) และคลอโรฟิลล์ *บี* (Chl *b*) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยยูวี-สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-1850, Hitachi, Japan) ที่ความยาวคลื่น 663.8 และ 646.8 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณรงควัตถุตามวิธีการของ Porra *et al.* (1989)

ปริมาณโซเดียมไอออน (Na^+) และปริมาณโพแทสเซียมไอออน (K^+)

สกัดตัวอย่างแห้งแผ่นใบ กาบใบ และรากของข้าวด้วย 1 N HCl ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ตามวิธีการของ Wangsawang *et al.* (2018) และนำไปตรวจวัดปริมาณ Na^+ และ K^+ ด้วยเครื่อง flame photometer (ANA135; Tokyo Photoelectric, Tokyo, Japan) คำนวณปริมาณการสะสม Na^+ ที่อยู่บริเวณส่วนต่าง ๆ ของต้นกล้าข้าวตามวิธีการของ Wangsawang *et al.* (2018) หลังจากนั้นหาค่าอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน (Na^+: K^+ ratio)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชั่น 21 (IBM Inc., USA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสิ่งทดลองโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าเมื่อข้าว 4 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้รับความเครียดเค็มจากสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 100 mM เป็นเวลา 14 วัน ประเมินความทนเค็มและแบ่งระดับความทนเค็ม (degree of salt tolerance) ตามระบบของ Standard Evaluation System for Rice ได้ 5 ระดับ (ตารางที่ 2) ข้าวพันธุ์ Pokkali (พันธุ์ทดสอบทนเค็ม) ที่ไม่ทำให้ชินกับเกลือมีค่า SES เท่ากับ 5.5 (ค่อนข้างทนเค็ม) ในขณะที่การทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ค่า SES เท่ากับ 2.0 (ทนเค็มมาก) ซึ่งจัดอยู่ในระดับความทนเค็มเดียวกับข้าวสายพันธุ์ M-1 และ M-3 ที่มีการทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl มีค่า SES เท่ากับ 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ โดยต้นข้าวมีการเจริญเติบโตปกติและไม่มีอาการแสดงออกจากความเค็มบริเวณใบ ในทางตรงกันข้ามข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (พันธุ์ทดสอบอ่อนแอต่อความเค็มมาก) ที่ไม่ทำให้ชินกับเกลือและทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl มีค่า SES เท่ากับ 9 (อ่อนแอต่อความเค็มมาก) ซึ่งต้นข้าวเกือบทั้งหมดแห้งและตาย ในขณะที่การทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ค่า SES เท่ากับ 7.5 (อ่อนแอต่อความเค็ม)

Table 2 Salt tolerant rating of the four rice varieties/lines at the seedling stage under the 100 mM NaCl for 14 days.

Varieties/lines	Non-acclimated		Acclimated (5 mM NaCl)		Acclimated (10 mM NaCl)	
	SES	DST	SES	DST	SES	DST
Pokkali	5.5 ± 0.50 de	MT	4.0 ± 0.58 cd	T	2.0 ± 0.58 ab	HT
PTT1	9.0 ± 0.00 g	HS	9.0 ± 0.00 g	HS	7.5 ± 0.50 f	S
M-1	5.0 ± 0.82 cde	MT	3.5 ± 0.50 bc	T	1.5 ± 0.50 a	HT
M-3	6.0 ± 0.58 ef	MT	4.0 ± 0.58 cd	T	2.0 ± 0.58 ab	HT

Values are the mean of four replicates ± standard error followed by different alphabets are statistically significant ($P \leq 0.05$).

DST = Degree of salt tolerance; HT = Highly tolerant; T = Tolerant; MT = Moderately tolerant; S = Susceptible and HS = Highly sensitive

ผลของการทำให้ชินกับเกลือต่อการเจริญเติบโตของข้าวที่ระยะต้นกล้าและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการ

ความเครียดเค็มจากสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 100 mM ส่งผลต่อการเจริญเติบโต และลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าว ความยาวต้นในทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ของข้าวพันธุ์ Pokkali สายพันธุ์ M-1 และ M-3 ลดลง 2.56%, 2.40% และ 3.03% ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีความยาวต้นลดลงทุกทรีทเมนต์ (ภาพที่ 1a) เมื่อข้าวทั้ง 4 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้รับความเครียดเค็มจากสารละลาย NaCl พบว่ามีความยาวรากเพิ่มขึ้น ข้าวพันธุ์ Pokkali และสายพันธุ์ M-1 ทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ความยาวรากไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ข้าวสายพันธุ์ M-3 ทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 5 และ 10 mM NaCl ความยาวรากไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีความยาวรากเพิ่มขึ้น 15.00% (ไม่ทำให้ชินกับเกลือ), 20.00% (ทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl) และ 18.33% (ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl) (ภาพที่ 1b) น้ำหนักแห้งส่วนต้นของข้าวสายพันธุ์ M-1 และ M-3 ทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม แต่ในข้าวพันธุ์ Pokkali ทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl มีน้ำหนักแห้งส่วนต้น 0.72 กรัม ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีน้ำหนักแห้งส่วนต้นลดลงทุกทรีทเมนต์ (ภาพที่ 1c) และน้ำหนักแห้งส่วนรากของข้าวสายพันธุ์ M-3 ทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 5 และ 10 mM NaCl และในข้าวพันธุ์ Pokkali และสายพันธุ์ M-1 ทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีน้ำหนักแห้งส่วนรากลดลงทุกทรีทเมนต์ (ภาพที่ 1d)

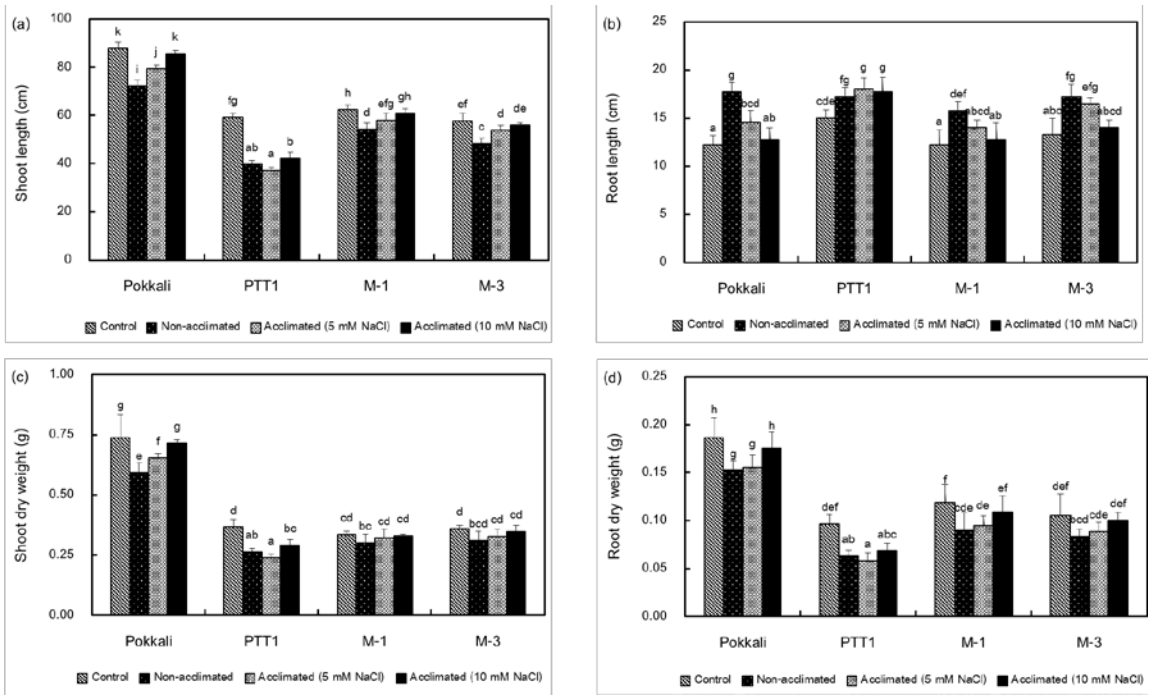

Figure 1 Shoot length (a) root length (b) shoot dry weight (c) and root dry weight (d) of the four rice varieties/lines under the control and the 100 mM NaCl for 14 days. Error bars with standard error.

การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ของข้าวสายพันธุ์ M-1 ทั้ง 3 ทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม แต่ในข้าวพันธุ์ Pokkali และสายพันธุ์ M-3 พบว่าทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl มีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 22.43% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ในข้าวพันธุ์อ่อนแอต่อความเค็ม ปทุมธานี 1 พบว่ามีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น 385.10% (ไม่ทำให้ชินกับเกลือ), 388.48% (ทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl) และ 344.06% (ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl) (ภาพที่ 2a) ปริมาณน้ำในใบของข้าวสายพันธุ์ M-1 ทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม แต่พบปริมาณน้ำในใบของข้าวพันธุ์ Pokkali ทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 5 และ 10 mM NaCl เท่ากับ 0.76 และ 0.79% ตามลำดับ และข้าวสายพันธุ์ M-3 ทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl เท่ากับ 0.76% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีปริมาณน้ำในใบลดลง 30.67% (ไม่ทำให้ชินกับเกลือ), 33.33% (ทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl) และ 24.00% (ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl) (ภาพที่ 2b)

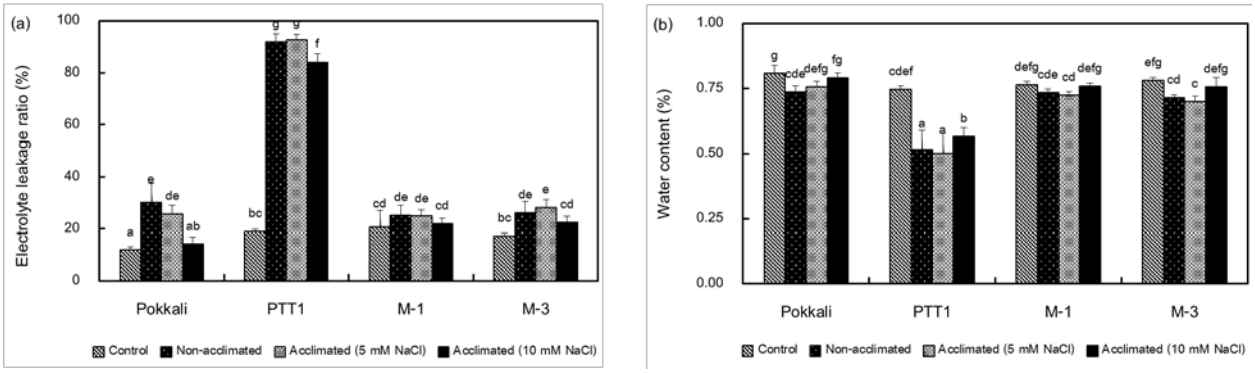

Figure 2 Electrolyte leakage ratio (a) and water content (b) of the four rice varieties/lines under the control and the 100 mM NaCl for 14 days. Error bars with standard error.

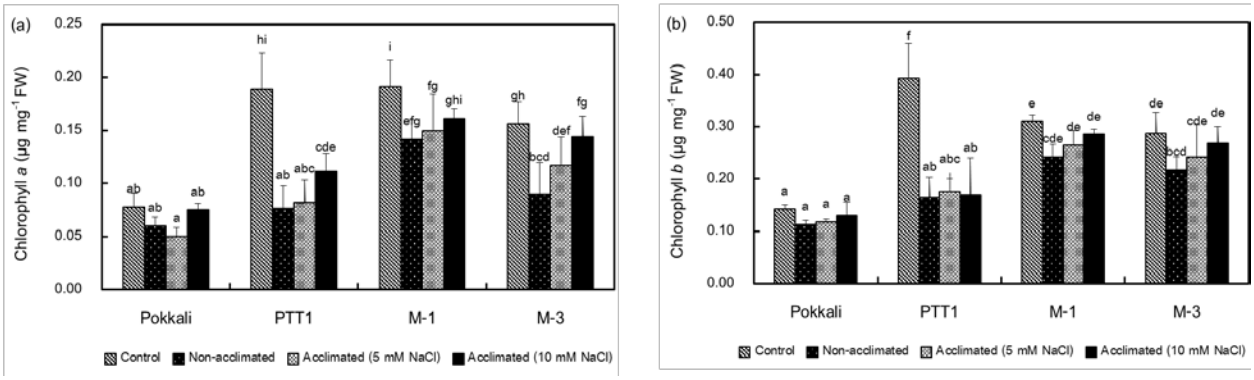

Figure 3 Chlorophyll *a* (a) and chlorophyll *b* (b) of the four rice varieties/lines under the control and the 100 mM NaCl for 14 days. Error bars with standard error.

ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* ของข้าวพันธุ์ Pokkali ทั้ง 3 ทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม แต่ในข้าวสายพันธุ์ M-1 และ M-3 พบว่าทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl มีปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* เท่ากับ 0.16 และ 0.13 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* ลดลง 57.89% (ไม่ทำให้ชินกับเกลือ), 52.63% (ทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl) และ 42.11% (ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl) (ภาพที่ 3a) ปริมาณคลอโรฟิลล์ *บี* ของข้าวพันธุ์ Pokkali สายพันธุ์ M-1 และ M-3 ทั้ง 3 ทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ *บี* ลดลง 56.41% (ไม่ทำให้ชินกับเกลือ), 53.85% (ทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl) และ 56.41% (ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl) (ภาพที่ 3b)

ผลของการทำให้ชินกับเกลือต่อการสะสมของ Na^+ และ K^+ ในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของข้าวที่ระยะต้นกล้า

เมื่อข้าวได้รับความเครียดเค็มจากสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 100 mM เป็นเวลา 14 วัน พบว่าปริมาณโซเดียมไอออนภายในแผ่นใบของข้าว 4 พันธุ์/สายพันธุ์ทุกทรีทเมนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีปริมาณโซเดียมไอออนในทรีทเมนต์ไม่ทำให้ชินกับเกลือ, ทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl และทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl สูงกว่าข้าวพันธุ์/สายพันธุ์อื่น คือ 90.38, 92.80 และ 88.69 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ภาพที่ 4a) ปริมาณโซเดียมไอออนภายในกาบใบของข้าว 4 พันธุ์/สายพันธุ์ทั้ง 3 ทรีทเมนต์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีปริมาณโซเดียมไอออนในทรีทเมนต์ไม่ทำให้ชินกับเกลือ, ทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl และทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl สูงกว่าข้าวพันธุ์/สายพันธุ์อื่น คือ 80.20, 82.69 และ 77.85 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ภาพที่ 4b) แต่ภายในรากของข้าวสายพันธุ์ M-1 และ M-3 ทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl มีปริมาณโซเดียมไอออน เท่ากับ 3.97 และ 3.55 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม (ภาพที่ 4c)

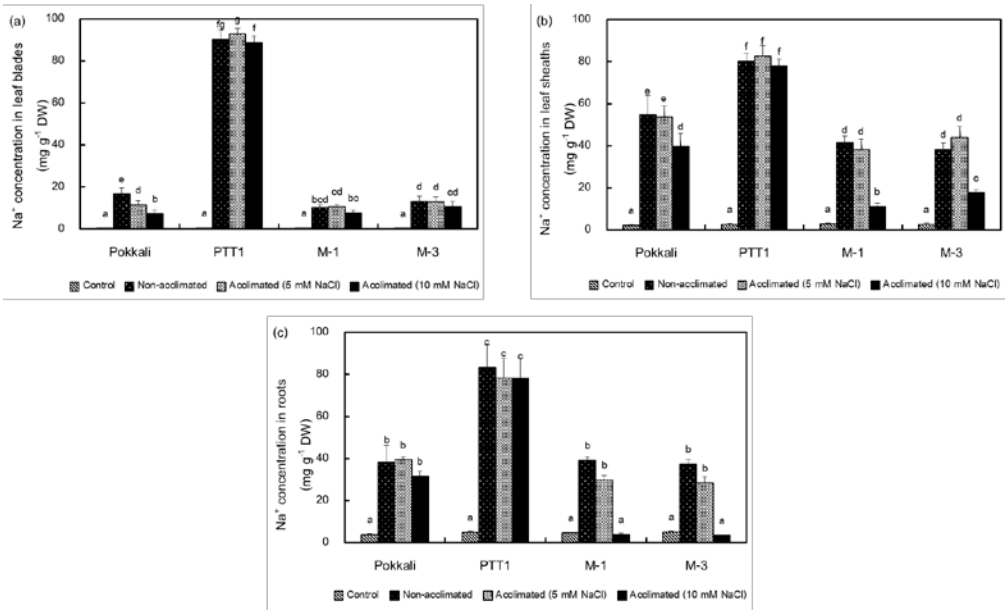

Figure 4 Na^+ concentrations in the leaf blades (a) leaf sheaths (b) and roots (c) of the four rice varieties/lines under the control and the 100 mM NaCl for 14 days. Error bars with standard error.

ปริมาณโพแทสเซียมไอออนภายในแผ่นใบ (ภาพที่ 5a) กาบใบ (ภาพที่ 5b) และราก (ภาพที่ 5c) ของข้าว 4 พันธุ์/สายพันธุ์ทั้ง 3 ทรีทเมนต์ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทรีทเมนต์ไม่ทำให้ชินกับเกลือ, ทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl และทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ในข้าวพันธุ์ Pokkali สายพันธุ์ M-1 และ M-3 พบว่าปริมาณโพแทสเซียมไอออนภายในแผ่นใบ กาบใบ และราก ของทรีทเมนต์ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ในข้าวทั้ง 3 พันธุ์/สายพันธุ์ข้างต้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทรีทเมนต์ไม่ทำให้ชินกับเกลือ และทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl ยกเว้นปริมาณโพแทสเซียมไอออนภายในแผ่นใบของข้าวสายพันธุ์ M-3

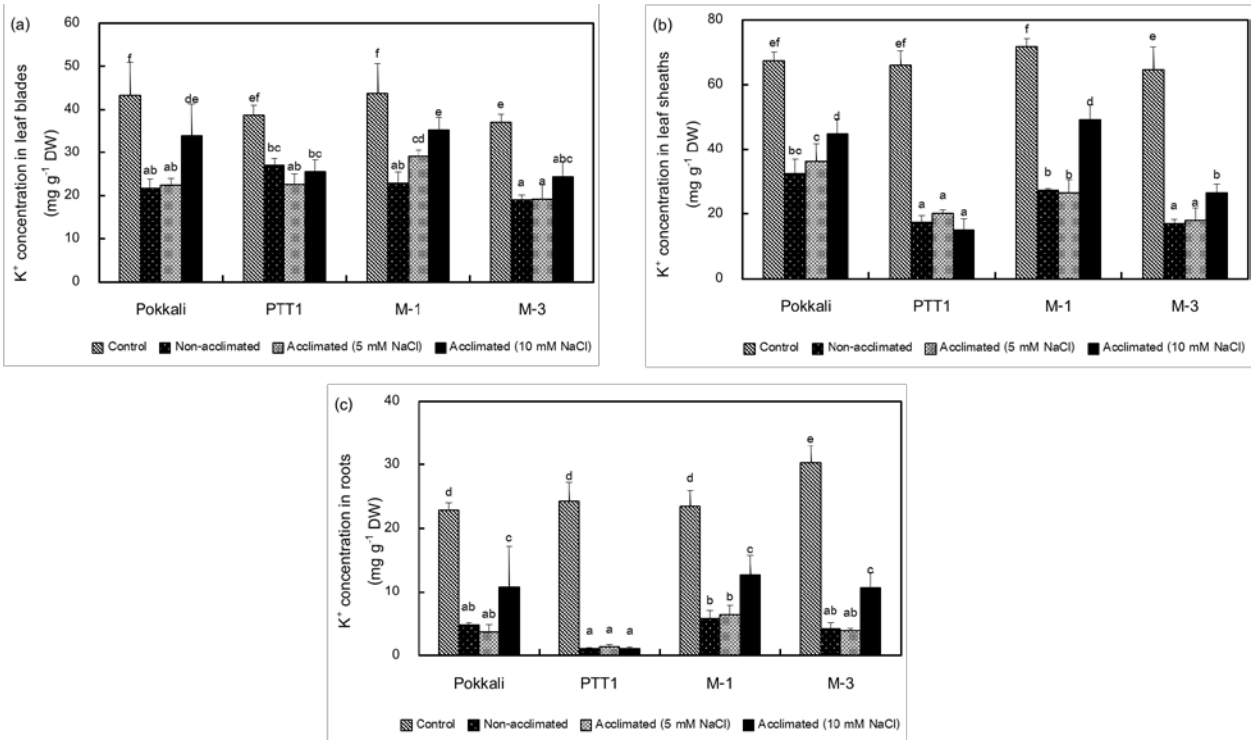

Figure 5 K^+ concentrations in the leaf blades (a) leaf sheaths (b) and roots (c) of the four rice varieties/lines under the control and the 100 mM NaCl for 14 days. Error bars with standard error.

เมื่อข้าวได้รับความเครียดเค็มจากสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 100 mM เป็นเวลา 14 วัน พบว่ามีผลทำให้อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนเพิ่มขึ้นทั้งในแผ่นใบ กาบใบ และราก จากตารางที่ 3 อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนในแผ่นใบของข้าวพันธุ์ Pokkali และสายพันธุ์ M-1 ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนมากที่สุดในทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl เท่ากับ 4.12 อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนในกาบใบของข้าวสายพันธุ์ M-1 ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl เท่ากับ 0.23 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนมากที่สุดใน

ทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl เท่ากับ 5.19 และอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนในรากของข้าวพันธุ์ Pokkali สายพันธุ์ M-1 และ M-3 ที่ทำให้ชินกับเกลือ 5 และ 10 mM NaCl และไม่ทำให้ชินกับเกลือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนมากที่สุดในทรีทเมนต์ที่ไม่ทำให้ชินกับเกลือ เท่ากับ 80.25

Table 3 Na^+ : K^+ ratio in the leaf blades, leaf sheaths, and roots of the four rice varieties/lines under the control and the 100 mM NaCl for 14 days.

Locations	Treatments	Varieties/lines			
		Pokkali	PTT1	M-1	M-3
Leaf blades	Control	0.01 ± 0.00 a	0.01 ± 0.00 a	0.01 ± 0.00 a	0.01 ± 0.00 a
	Non-acclimated	0.77 ± 0.10 d	3.34 ± 0.08 e	0.44 ± 0.04 bc	0.70 ± 0.06 cd
	Acclimated (5 mM NaCl)	0.51 ± 0.03 bcd	4.12 ± 0.28 f	0.37 ± 0.01 b	0.67 ± 0.03 cd
	Acclimated (10 mM NaCl)	0.21 ± 0.03 ab	3.47 ± 0.17 e	0.22 ± 0.02 ab	0.44 ± 0.04 bc
Leaf sheaths	Control	0.03 ± 0.00 a	0.04 ± 0.00 a	0.04 ± 0.00 a	0.04 ± 0.00 a
	Non-acclimated	1.69 ± 0.21 de	4.59 ± 0.34 h	1.52 ± 0.07 d	2.24 ± 0.17 ef
	Acclimated (5 mM NaCl)	1.49 ± 0.13 d	4.09 ± 0.08 g	1.44 ± 0.12 d	2.44 ± 0.23 f
	Acclimated (10 mM NaCl)	0.89 ± 0.06 c	5.19 ± 0.55 i	0.23 ± 0.03 ab	0.67 ± 0.05 bc
Roots	Control	0.17 ± 0.01 a	0.20 ± 0.00 a	0.20 ± 0.01 a	0.17 ± 0.01 a
	Non-acclimated	7.99 ± 1.12 a	80.25 ± 6.52 c	6.73 ± 0.86 a	8.99 ± 1.16 a
	Acclimated (5 mM NaCl)	10.60 ± 1.40 a	58.62 ± 14.23 b	4.63 ± 0.65 a	7.23 ± 0.44 a
	Acclimated (10 mM NaCl)	2.94 ± 1.02 a	73.65 ± 7.27 bc	0.31 ± 0.03 a	0.33 ± 0.03 a

Values are the mean of four replicates ± standard error followed by different alphabets are statistically significant ($P \leq 0.05$).

วิจารณ์ผลการวิจัย

ปัจจุบันมีรายงานเกี่ยวกับบทบาทและกลไกในพืชต่อการทำให้ชินกับสภาพแวดล้อมเครียดที่เกิดขึ้นอย่างเฉียบพลันภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม(Umezawa *et al.*, 2000; Djanaguiraman *et al.*, 2006) เมื่อพืชเจริญเติบโตภายใต้ความเครียดที่เกิดจากความเค็ม พืชจะปรับตัวให้ชินกับความเค็มในความเข้มข้นต่ำช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นเมื่อพืชได้รับความเค็มที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น พืชที่ผ่านการปรับตัวให้ชินกับเกลือมาก่อน จะเคยชินกับเกลือเกิดการกระตุ้นการตอบสนองลักษณะทางสรีรวิทยาเพื่อให้ทนต่อความเค็มมากขึ้น (Pandolfi *et al.*, 2012; Shaukat *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตามยังไม่มีการทดลองเกี่ยวกับการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อการทำให้ชินกับเกลือมากนัก โดยเฉพาะในข้าวพันธุ์ไทยและสายพันธุ์ปรับปรุงให้ทนเค็ม ในงานวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงผลของการทำให้ชินกับเกลือที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 5 และ 10 mM NaCl ภายใต้ความเครียดเค็ม 100 mM NaCl วิเคราะห์และเปรียบเทียบกันระหว่างพันธุ์ข้าวทดสอบ 2 พันธุ์ คือ พันธุ์

Pokkali (ทนเค็ม) และพันธุ์ปทุมธานี 1 (อ่อนแอต่อความเค็มมาก) และข้าวสายพันธุ์กลายทนเค็ม M-1 และ M-3 โดยข้าวสายพันธุ์ M-1 และ M-3 มีการแสดงออกของยีน *OsHKT1;5* บริเวณรากเพิ่มขึ้นทำให้ลดการสะสม Na^+ บริเวณราก ซึ่งส่งผลให้มีการสะสม Na^+ บริเวณต้นลดลงด้วยเช่นกัน นอกจากนี้บริเวณกาบใบและรากของข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์มีการแสดงออกของยีน *OsNHX1* เพิ่มขึ้น ทำให้มีการนำ Na^+ ที่เป็นพิษต่อข้าวไปเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอล (Wangsawang *et al*., 2021)

การเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวที่ระยะต้นกล้า

การศึกษานี้พบว่าข้าวพันธุ์ Pokkali สายพันธุ์ M-1 และ M-3 ทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl มีค่า SES อยู่ระหว่าง 1.5-2.0 ซึ่งสัมพันธ์กับระบบการให้คะแนนของ SES (IRRI,1996) ข้าวทนเค็มสูงจะมีคะแนนความทนเค็ม เท่ากับ 1 โดยข้าวทั้ง 3 พันธุ์/สายพันธุ์มีการเจริญเติบโตปกติและไม่มีอาการแสดงออกจากความเค็มบริเวณใบและต้น ขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl มีค่า SES เท่ากับ 7.5 (อ่อนแอต่อความเค็ม) เมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์ไม่ทำให้ชินกับเกลือและทำให้ชินกับเกลือ 5 mM NaCl มีค่า SES เท่ากับ 9 (อ่อนแอต่อความเค็มมาก) จะเห็นว่าเมื่อมีการทำให้ชินกับเกลือในข้าวพันธุ์อ่อนแอต่อความเค็มมากจะเปลี่ยนเป็นอ่อนแอต่อความเค็ม ดังนั้นการทดลองนี้จึงแสดงให้เห็นว่าการทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl สามารถเพิ่มประสิทธิภาพทนเค็มในข้าวที่ระยะต้นกล้าของข้าวพันธุ์อ่อนแอได้ระดับหนึ่ง

เมื่อข้าวทั้ง 4 พันธุ์/สายพันธุ์ ได้รับความเครียดเค็มจากสารละลาย NaCl มีความยาวต้นลดลง แต่ทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ข้าวพันธุ์ Pokkali สายพันธุ์ M-1 และ M-3 ความยาวต้นลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ในขณะที่ความยาวรากของข้าวทั้งหมดในการทดลองเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ยกเว้นทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ข้าวพันธุ์ Pokkali สายพันธุ์ M-1 และ M-3 มีความยาวรากเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม น้ำหนักแห้งส่วนต้นและส่วนรากของข้าวพันธุ์ Pokkali สายพันธุ์ M-1 และ M-3 ในทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ในขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีน้ำหนักแห้งส่วนต้นและส่วนรากลดลงทุกทรีทเมนต์ Hasanuzzaman & Fujita (2022) รายงานว่าเมื่อพืชอยู่ภายใต้ความเครียดเค็มจะมีผลต่อการเจริญเติบโต Sultana *et al.* (1999) พบว่าในสภาวะความเครียดเค็มพืชจะมีการตอบสนองโดยลดขนาดของใบรวมทั้งลดน้ำหนักแห้งส่วนต้น ในข้าวระยะต้นกล้ามีน้ำหนักแห้งส่วนยอดลดลงเมื่อได้รับเกลือ NaCl ความเข้มข้น 171 mM เมื่อข้าวเจริญเติบโตภายใต้ความเครียดเค็มจะทำให้ปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อพืชลดลงส่งผลให้เซลล์เกิดการหดตัวและผนังเซลล์คลายตัวทำให้ปริมาตรของเซลล์ลดลง (Nabil & Coudret, 1995) Sen & Kasera (2001) รายงานว่าพืชที่อยู่ในสภาวะความเค็มสูงจะส่งผลให้มีศักยภาพดูดน้ำผ่านทางรากได้น้อยลง เพราะมีการเปลี่ยนแปลงสมดุลของแรงดันออสโมติก และปริมาณของไอออนของเกลือที่มีมากเกินไปทำให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์พืชส่งผลให้การเติบโตของพืชลดลง

ภายใต้ความเครียดจากเกลือ ในข้าวอ่อนแอต่อความเค็มพันธุ์ปทุมธานี 1 เกิดความเสียหายบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ทำให้การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์บริเวณแผ่นใบสูงขึ้นเมื่อเปรียบกับชุดควบคุมที่อยู่ในสภาวะปกติ ขณะที่ข้าวพันธุ์ Pokkali สายพันธุ์ M-1 และ M-3 เยื่อหุ้มเซลล์ไม่ได้รับความเสียหายจากความเค็มมากนักให้ ส่งผลให้การรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์บริเวณแผ่นใบไม่แตกต่างกับชุดควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lutts *et al.* (1996); Dionisio–Sese &

Tobita (1998) พบว่าการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้นเนื่องจากความเครียดจากเกลือ และมีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์สูงในข้าวพันธุ์ที่อ่อนแอต่อความเค็ม ข้าวที่อยู่ในสภาวะเค็มการดูดน้ำจากบริเวณรากถึงยอดเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ลดลง เนื่องจากความดันออสโมติกที่รากสัมผัสกับสารละลายเกลือความเข้มข้นสูง ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของค่าชลศักดิ์ (water potential) Bell & O'Leary (2003) รายงานว่าพืชที่ปลูกในสภาวะปกติจะมีปริมาณน้ำในใบมากกว่าพืชที่ปลูกภายใต้สภาวะเครียดเค็ม งานวิจัยครั้งนี้พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติของปริมาณน้ำในใบระหว่างชุดควบคุมกับทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ในข้าวพันธุ์ Pokkali สายพันธุ์ M-1 และ M-3 ขณะที่ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 พบว่ามีปริมาณน้ำในใบลดลง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเจริญเติบโตที่ลดลงในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 อาจเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพที่ลดลงของการเก็บรักษาปริมาณน้ำในใบ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* และ *บี* ของข้าวพันธุ์ Pokkali สายพันธุ์ M-1 และ M-3 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดควบคุมกับทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl อย่างไรก็ตามข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ *เอ* และ *บี* ลดลงเมื่อได้รับความเครียดเค็ม โดยข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีปริมาณโซเดียมไอออนสะสมบริเวณแผ่นใบ กาบใบ และรากสูง อาจมีผลต่อบทบาทการทำงานของคลอโรพลาสต์และรงควัตถุที่มีหน้าที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง จึงทำให้การเจริญเติบโตลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Seemann & Critchley (1985); Molazem *et al.* (2010) พบว่าปริมาณรงควัตถุภายในใบข้าวลดลงอาจเนื่องมาจากปริมาณโซเดียมไอออนในสภาวะความเครียดเค็มทำลายส่วนต่าง ๆ ภายในเซลล์พืช เช่น คลอโรพลาสต์และรงควัตถุที่มีหน้าที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง เช่น ข้าว (Sreenivasulu *et al.*, 2000)

เมื่อข้าวได้รับความเครียดเค็มจากสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 100 mM เป็นเวลา 14 วัน พบว่าปริมาณโซเดียมไอออนภายในแผ่นใบและกาบใบของข้าว 4 พันธุ์/สายพันธุ์เพิ่มขึ้นทุกทรีทเมนต์ ในทางกลับกันภายในรากของข้าวสายพันธุ์ M-1 และ M-3 ทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl ปริมาณโซเดียมไอออนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม ด้วยเหตุนี้อาจทำให้ข้าวสายพันธุ์ M-1 และ M-3 ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl มีศักยภาพทนเค็มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Laloknam *et al.* (2008) ที่กล่าวว่าพืชจะมีวิธีในการบรรเทาอาการเป็นพิษจากเกลือโดยการขับเกลือออกทางรากหรือเก็บสะสมไว้ในแวคิวโอล (vacuole) ในการทดลองนี้ยังพบอีกว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณโซเดียมไอออนทำให้ปริมาณโพแทสเซียมไอออนภายในส่วนต่าง ๆ ลดลง ปริมาณโซเดียมไอออนภายในแผ่นใบ กาบใบ และรากที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้อัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนภายในส่วนต่าง ๆ เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองของ Siringam *et al*. (2009) ยกเว้นทรีทเมนต์ที่ทำให้ชินกับเกลือ 10 mM NaCl มีอัตราส่วนระหว่างโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนบริเวณแผ่นใบ (ในข้าวพันธุ์ Pokkali และสายพันธุ์ M-1) กาบใบ (ในข้าวสายพันธุ์ M-1) และราก (ในข้าวพันธุ์ Pokkali สายพันธุ์ M-1 และ M-3) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับชุดควบคุม การสะสมโซเดียมไอออนบริเวณแผ่นใบซึ่งเป็นไอออนที่มีความเป็นพิษอาจทำลายองค์ประกอบภายในเซลล์ส่งผลให้เซลล์เสียสภาพจึงทำให้เกิดการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบ (Siringam *et al.*, 2009) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ในข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 พบว่ามีการสะสมโซเดียมไอออนบริเวณแผ่นใบสูงทำให้มีการรั่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์ภายในใบสูงเช่นเดียวกัน Gill & Tuteja (2010) รายงานว่าเมื่อพืชอยู่ภายใต้

สภาวะเครียดจากสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุทำให้พืชสร้างอนุมูลอิสระหรือ Reactive Oxygen Species (ROS) ภายในเซลล์มากกว่าปกติ ทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า Oxidative stress โดย ROS ที่เพิ่มขึ้นจะกลายเป็นพิษและสร้างความเสียหายต่อเซลล์พืชได้

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการทำให้ชินกับเกลือในข้าวระยะต้นกล้าด้วยความเข้มข้น 10 mM NaCl ส่งผลให้ข้าวสายพันธุ์กลายทนเค็ม M-1 และ M-3 ที่จากเดิมมีศักยภาพการทนเค็มอยู่ที่ 80 mM NaCl สามารถเพิ่มประสิทธิภาพความทนเค็มได้เพิ่มขึ้นที่ 100 mM NaCl โดยการทำให้ชินกับความเค็มในความเข้มข้นต่ำช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นเมื่อได้รับความเค็มที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นข้าวจะกระตุ้นการตอบสนองการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการเพื่อให้ทนต่อความเค็มที่สูงขึ้น ดังนั้นการแนะนำและส่งเสริมให้กับเกษตรกรผู้ปลูกข้าวนาดำได้ทราบวิธีการทำให้ชินกับเกลือจึงมีประโยชน์และสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการปลูกข้าวของเกษตรกรในพื้นที่ประสบปัญหาดินเค็มได้ โดยการตกกล้าในสภาพเปียกหรือการตกกล้าเทือกเป็นเวลา 14 วัน หลังจากนั้นใส่สารละลายเกลือ NaCl ความเข้มข้น 10 mM เพื่อทำให้ชินกับเกลือเป็นเวลา 14 วัน เมื่อต้นกล้ามีอายุครบ 28 วัน นับจากวันหว่านเมล็ด จึงถอนเอาไปปักดำในพื้นที่ที่มีปัญหาดินเค็ม ซึ่งการทำให้ชินกับเกลือในข้าวระยะต้นกล้าด้วยความเข้มข้น 10 mM NaCl นี้ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้ข้าวทนเค็มได้มากขึ้น อีกทั้งการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวภายใต้ความเครียดเค็มสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกความทนทานต่อสภาวะเครียดเค็มของข้าวในระยะต้นกล้าได้ ทั้งนี้ควรศึกษาการทำให้ชินกับเกลือในข้าวระยะต้นกล้าด้วยความเข้มข้นของเกลือ NaCl ที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกันและพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกันด้วย อีกทั้งควรศึกษาการเจริญเติบโตและการตอบสนองทางสรีรวิทยาในเชิงลึกให้มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ Laboratory of Plant Nutritional Physiology, Department of Environmental Dynamics and Management, Graduate School of Biosphere Science, Hiroshima University ประเทศญี่ปุ่น ที่สนับสนุนโรงเรือนสำหรับปลูกพืชทดสอบและห้องปฏิบัติการสำหรับวิเคราะห์ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของข้าวที่ระยะต้นกล้า

เอกสารอ้างอิง

Anbumalarmathi, J., & Mehta, P. (2013). Effect of salt stress on germination of indica rice varieties. *European Journal of Biological Sciences, 6*(1), 1-6.

Arunin, S. (1996). *Saline soil in Thailand*. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)

Bell, H.L., & O'Leary, J.W. (2003). Effects of salinity on growth and cation accumulation of *Sporobolus virginicus* (Poaceae). *American Journal of Botany, 90*(10), 1416-1424.

Chuamnakthong, S., Nampei, M., & Ueda, A. (2019). Characterization of Na^+ exclusion mechanism in rice under saline-alkaline stress conditions. *Plant Science, 287*, 110-117.

Dionisio–Sese, M.L., & Tobita, S. (1998). Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. *Plant Science, 135*(1), 1-9.

Djanaguiraman, M., Sheeba, J.A., Shankaer, A.K., Devi, D.D., & Bangarusamy, U. (2006). Rice can acclimate to lethal level of salinity by pretreatment with sublethal level of salinity through osmotic adjustment. *Plant and Soil, 284*, 363-373.

Elsawy, H.I.A., Mekawy, A.M.M., Elhity, M.A., Abdel-dayem, S.M., Abdelaziz, M.N., Assaha, D.V., Ueda, A., & Saneoka, H. (2018). Differential responses of two Egyptian barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars to salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry, 127*, 425-435.

Gill, S.S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(12), 909-930.

Hasanuzzaman, M., & Fujita, M. (2022). Plant responses and tolerance to salt stress: physiological and molecular interventions. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*, 4810.

IRRI. (1996). *Standard Evaluation System for Rice*. (4^{th} edition). Manila: International Rice Research Institute.

Janda, T., Darko, É., Shehata, S., Kovács, V., Pál, M., & Szalai, G. (2016). Salt acclimation processes in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry, 101*, 68-75.

Kamanga, R.M., Echigo, K., Yodoya, K., Mekawy, A.M.M., & Ueda, A. (2020). Salinity acclimation ameliorates salt stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings by triggering a cascade of physiological processes in the leaves. *Scientia Horticulturae, 270*, 109434.

Laloknam, S., Suksanchananun, C., Phornphi-sutthimas, S., Sirisopana, S., Limchoowong, S., & Rai, V. (2008). Reduction of salt stress in onion root by glycerol, betaine and proline. In *Proceeding The 4th Naresuan Research Conference*. Naresuan University.

Land Develop Department. (2015). *State of Soil and Land Resources of Thailand*. Bangkok: The Agricultural Co-operative Federation of Thailand., LTD. (in Thai)

Lutts, S., Kinet, J.M., & Bouharmont, J. (1995). Change in plant responses to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany, 46*, 1843-1852.

Lutts, S., Kinet, J.M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany, 78*(3), 389-398.

Maas, E.V., & Hoffman, G.J. (1986). Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Division, 103*, 115-134.

Mekawy, A.M.M., Assaha, D.V., Munehiro, R., Kohnishi, E., Nagaoka, T., Ueda, A., & Saneoka, H. (2018). Characterization of type 3 metallothionein-like gene (*OsMT-3a*) from rice, revealed its ability to confer tolerance to salinity and heavy metal stresses. *Environmental and Experimental Botany, 147*, 157-166.

Molazem, D., Qurbanov, E.M., & Dunyamaliyev, S.A. (2010). Role of proline, Na and chlorophyll content in salt tolerance of corn (*Zea mays* L.). *American–Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 9*(3), 319-324.

Nabil, M., & Coudret, A. (1995). Effects of sodium chloride on growth, tissue elasticity and solute adjustment in two *Acacia nilotica* subspecies. *Physiologia Plantarum, 93*(2), 217-224.

Pandolfi, C., Bazihizina, N., Giordano, C., Mancuso, S., & Azzarello, E. (2017). Salt acclimation process: a comparison between a sensitive and a tolerant *Olea europaea* cultivar. *Tree Physiology, 37*, 380-388.

Pandolfi, C., Mancuso, S., & Shabala, S. (2012). Physiology of acclimation to salinity stress in pea (*Pisum sativum*). *Environmental and Experimental Botany, 84*, 44-51.

Porra, R., Thompson, W., & Kriedemann, P. (1989). Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta, 975*, 384-394.

Seemann, J.R., & Critchley, C. (1985). Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species, *Phaseolus vulgaris* L. *Planta, 164*(2), 151-162.

Sen, D.N., & Kasera, P.K. (2001). Biology and physiology of saline plants. In: Handbook of *plant and crop physiology*, *Pessarakli*, M. (ed.). (pp. 563-581). Arizona: The university of Arizona.Tucson Arizona.

Shaukat, M., Wu, J., Fan, M., Hussain, S., Yao, J., & Serafim, M.E. (2019). Acclimation improves salinity tolerance capacity of pea by modulating potassium ions sequestration. *Scientia Horticulturae, 254*, 193-198.

Siringam, K., Juntawong, N., Cha-um, S. & Kirdmanee, C., (2009). Relationships between sodium ion accumulation and physiological characteristics in rice (*Oryza sativa* spp. indica) seedlings grown under iso-osmotic salinity stress, *Pakistan Journal of Botany, 41*, 1837-1850.

Sreenivasulu, N., Grimm, B., Wobus, U. & Weschke, W., (2000). Differential response of antioxidant compounds to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive seedlings of foxtail millet (*Setaria italica*). *Physiologia Plantarum, 109*, 435-442.

Sriskantharajah, K., Chuamnakthong, S., Osumi, S., Nampei, M., & Ueda, A. (2021). Varietal differences in salt acclimation ability of rice. *Cereal Research Communications,* 1-9.

Sultana, N., Ikeda, T., & Itoh, R. (1999). Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environmental and Experimental Botany, 42*, 211-220.

Umezawa, T., Shimizu, K., Kato, M., & Ueda, T. (2000). Enhancement of salt tolerance in soybean with NaCl pretreatment. *Physiologia Plantarum, 110*, 59-63.

Wangsawang, T., Chuamnakthong, S., Kohnishi, E., Sripichitt, P., Sreewongchai, T., & Ueda, A. (2018). A salinity tolerant japonica cultivar has Na^+ exclusion mechanism at leaf sheaths through the function of a Na^+ transporter OsHKT1;4 under salinity stress. *Journal of Agronomy and Crop Science, 204*, 274-284.

Wangsawang, T., Chuamnakthong, S., Ueda, A., & Sreewongchai, T. (2021). Na^+ exclusion mechanism in the roots through the function of *OsHKT1;5* confers improved tolerance to salt stress in the salt-tolerant developed rice lines. *ScienceAsia, 47*, 717-726.

Yuvaniyama, A. (2001). *Saline soil in the Northeast; Government official handbook on saline soil*. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)

Zahir, Z.A., Munir, A., Asghar, H.N., Shaharoona, B., & Arshad, M. (2008). Effectiveness of rhizobacteria containing ACC deaminase for growth promotion of peas (*Pisum sativum*) under drought conditions. *Journal of Microbiology and Biotechnology, 18*, 958-963.