



ผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกขี้หนูสวน (*Capsicum frutescens* L.) ให้ทนเค็มด้วยสารเคมีต่างชนิดและระยะเวลาการแช่ที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการ และปริมาณสารสำคัญ

Effect of Thai Chili (*Capsicum frutescens* L.) Seed Priming for Salinity Tolerance with Different Chemical Solutions and Different Soaking Times on Growth, Yield, Some Physiological Characteristics and Secondary Compounds Contents

ธนกร วังสว่าง และ สุมนา วังสว่าง

Thanakorn Wangsawang and Sumana Wangsawang

สำนักวิชาการ วิทยาลัยโพธิวิชชาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประเทศไทย

Office of Academic Affairs, College of Creative Agriculture for Society, Srinakharinwirot University, Thailand

Received : 11 March 2024, Received in revised form : 16 September 2024, Accepted : 26 September 2024

Available online : 7 October 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : ดินเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งพริกขี้หนูสวน (*Capsicum frutescens* L.) ที่จัดเป็นพืชกลุ่มไกลโคไฟต์ซึ่งไม่สามารถเจริญเติบโตได้ภายใต้ความเค็มสูง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกขี้หนูสวนด้วยการใช้สารเคมีและระยะเวลาการแช่ที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการ และปริมาณสารสำคัญของพริกขี้หนูสวนภายใต้ความเครียดจากความเค็ม

วิธีดำเนินการวิจัย : วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ การทดลองที่ 1 มีจำนวน 32 ทรีทเมนต์ ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด โดยนำเมล็ดพริกขี้หนูสวนมาเตรียมความพร้อมด้วยการแช่ใน RO water, NaCl เข้มข้น 20 mM, CaCl₂ เข้มข้น 10 mM, Acetylsalicylic acid (ASA) เข้มข้น 0.2 mM และ Glycine betaine (GB) เข้มข้น 25 mM นาน 12-48 ชั่วโมง หรือไม่ได้ผ่านกระบวนการเตรียมเมล็ดพันธุ์ จากนั้นนำเมล็ดเหล่านี้ไปปลูกในสภาวะปกติหรือสภาวะที่มีความเครียดจากความเค็ม (50 mM NaCl) เพื่อทดสอบเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดและเวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ด การทดลองที่ 2 และ 3 มีจำนวน 5 ทรีทเมนต์ ๆ ละ 4 ซ้ำ โดยนำเมล็ดพริกขี้หนูสวนมาเตรียมความพร้อมด้วยการแช่ในสารเคมี ตลอดจนปลูกเมล็ดพริกขี้หนูสวนในสภาวะเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ผลการวิจัย : การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกขี้หนูสวนด้วย NaCl เข้มข้น 20 mM เป็นเวลา 12 ชั่วโมง, CaCl₂ เข้มข้น 10 mM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง, ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และ GB เข้มข้น 25 mM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ช่วยเพิ่มการงอกของเมล็ด ทั้งยังทำให้เมล็ดที่ปลูกในสภาวะที่มีความเครียดจากความเค็มยังคงอัตราการงอกที่สูง และมีเวลาเฉลี่ยในการงอกที่ใกล้เคียงกับการปลูกในสภาวะที่ไม่มีสารละลายเกลือ สำหรับการศึกษาที่ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ และระยะการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ พบว่าต้นพริกขี้หนูสวนที่เจริญมาจากเมล็ดซึ่งแช่

ด้วย ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง มีการเจริญเติบโต องค์ประกอบของผลผลิตและผลผลิต ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการ และปริมาณสารสำคัญของต้นที่เจริญในสภาวะปกติหรือสภาวะที่มีความเค็มสูงที่ใกล้เคียงกัน

สรุปผลการวิจัย : การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกขี้หนูสวนให้ทนเค็มด้วย ASA ความเข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษานี้เนื่องจากทำให้การเจริญเติบโต องค์ประกอบของผลผลิตและผลผลิต ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการ และปริมาณสารสำคัญ ที่ระยะการงอก ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ และระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ของต้นพืชที่โตภายใต้สภาวะความเค็มสูงมีค่าที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับต้นพืชที่โตในสภาวะปกติ

คำสำคัญ : การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ ; พริก ; ทนเค็ม ; Acetylsalicylic acid

Abstract

Background and Objectives : Soil salinity affects the growth and yield of plants. In particular, Thai Chili (*Capsicum frutescens* L.) is classified as a glycophyte genotype, which is unable to grow under high salinity. This research aimed to study the effects of seed priming with different chemical solutions and soaking times on the growth, yield, physiological characteristics, and secondary compound contents of Thai Chili under salt stress conditions

Methodology : The experiment was conducted using a completely randomized design. The first experiment consisted of 32 treatments (4 replications/treatment, 50 seeds/replication). Thai Chili seeds were primed by soaking in RO water, 20 mM NaCl, 10 mM CaCl₂, 0.2 mM ASA, and 25 mM GB for 12-48 h, along with a non-primed seed group. These seeds were then planted under normal or saline stress conditions (50 mM NaCl) to determine the percentage of seed germination and the mean germination time. The second and third experiments had 5 treatments with 4 replications each. Thai Chili seeds were primed by soaking in chemicals and subsequently grown under the same conditions as in the first experiment.

Main Results : Priming Thai Chili seeds with 20 mM NaCl for 12 h, 10 mM CaCl₂ for 24 h, 0.2 mM ASA for 48 h, and 25 mM GB for 24 h increased seed germination and allowed growth under salinity stress. Primed seeds grown under salt stress conditions maintained a high germination rate and exhibited a mean germination time similar to those grown under non-salt stress conditions. The outcomes at the vegetative and reproductive stages revealed that Thai Chili plants grown from seeds soaked in 0.2 mM ASA for 48 h showed similar results in growth, yield components, yield, certain physiological characteristics, and amounts of secondary compounds under both normal and saline stress conditions.

Conclusions : The suitable treatment for increasing seed tolerance to saline stress in this study was seed priming with 0.2 mM ASA for 48 h. Seeds primed with this treatment exhibited no statistically significant differences in growth, yield components, yield, some physiological characteristics, and secondary compound

contents at the germination, vegetative, and reproductive stages of plants grown under both normal and saline stress conditions.

Keywords : seed priming ; chili ; salinity tolerance ; Acetylsalicylic acid

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

บทนำ

ปัญหาปริมาณน้ำไม่เพียงพอจนส่งผลให้เกิดการขาดแคลนน้ำในประเทศไทย เป็นปัญหาหลักที่เกิดจากภัยแล้งอย่างหนักในรอบหลายปีที่ผ่านมา (Hydro-Informatics Institute, 2017) โดยเฉพาะน้ำในแม่น้ำสายหลักที่สำคัญของภาคกลาง คือ แม่น้ำเจ้าพระยา ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของประชาชนโดยรอบทั้งด้านการอุปโภค การบริโภค และการเกษตร ดังนั้นการจัดสรรปริมาณน้ำจากเขื่อนตอนบนเพื่อปล่อยน้ำลงมาทางด้านล่างจึงอาจเป็นการบรรเทาปัญหาที่เกิดขึ้นข้างต้นได้ อย่างไรก็ตาม มวลน้ำที่ปล่อยออกมาไม่ไปถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยา เพราะมีการสูบน้ำไปใช้เพื่อการอุปโภค การบริโภค และการเกษตรระหว่างทาง (Royal Irrigation Department, 2016) อีกทั้งเมื่อเกิดเหตุการณ์น้ำทะเลหนุนจะทำให้มวลน้ำจืดไม่สามารถผลักดันน้ำเค็มออกสู่อ่าวไทยได้ เนื่องจากน้ำจืดไม่สามารถไปถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยาได้ ส่งผลให้เกิดการรุกคืบของน้ำทะเลเข้าสู่แหล่งน้ำจืดตามธรรมชาติและแหล่งน้ำชลประทาน ซึ่งหากเกษตรกรผันน้ำที่มีน้ำเค็มเหล่านี้ผสมอยู่เข้าสู่พื้นที่การเกษตร จะส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรให้ลดลงหรืออาจไม่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ (Sonsri *et al.*, 2020) ซึ่งสารละลายเกลือที่เข้ามากับน้ำเค็มเหล่านี้ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในบางช่วงเวลาลงต่ำกว่าค่ามาตรฐานตามเกณฑ์ของ U.S. Salinity Laboratory Staff (1954) คือ 0.75 dS/m หรือประมาณ 7.5 mM ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีจังหวัดปทุมธานี พบความเค็มของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา ที่มีแนวโน้มค่าความเค็มสูงขึ้นจนเกินค่ามาตรฐาน จากจุดเก็บข้อมูลค่าความเค็มที่วัดไม่ล้นอม อำเภอสสามโคก และ ที่จุดสำแล อำเภอมะนัง ในช่วงเดือนเมษายน ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559 (Metropolitan Waterworks Authority, 2019) จึงทำให้เกษตรกรผู้เพาะปลูกพืชในพื้นที่ดังกล่าวได้รับผลกระทบอย่างยิ่ง

พริกขี้หนูสวน (*Capsicum frutescens* L.) อยู่ในวงศ์ Solanaceae มีคุณค่าทางอาหารสูงโดยเฉพาะวิตามินเอ และวิตามินซี (Kameswari & Manohar, 2005) พริกขี้หนูสวนจัดเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งในรูปแบบผลสดหรือแปรรูปเป็นอาหารชนิดอื่น อีกทั้งยังใช้เป็นส่วนประกอบในการเพิ่มรสชาติของอาหาร นำไปใช้ในอุตสาหกรรมยาและอาหารเสริมเป็นต้น (Techawongstien, 2007) พริกจัดเป็นพืชกลุ่มไกลโคไฟต์ (Glycophyte) คือ ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ภายใต้ความเครียดจากความเค็มสูง ส่งผลให้เมล็ดไม่สามารถงอกได้ภายใต้สภาวะดังกล่าว หรือถ้างอกเป็นต้นกล้าได้ก็จะทำให้การเจริญเติบโตไม่ดีและมีผลผลิตลดลง (Ayaz *et al.*, 2000) ดังนั้นความเค็มจึงเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญที่ชะลอการงอกของเมล็ด และจำกัดการเจริญเติบโต (Hadas, 1977) ซึ่งอาจมีความรุนแรงทำให้พืชตายได้ เนื่องจากความเค็มทำให้ต้นพืชเกิดการขาดน้ำ เพราะรากไม่สามารถดูดน้ำจากดินขึ้นมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังก่อให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารเนื่องจากมีการสะสมไอออนของธาตุบางชนิดมากเกินไป (เช่น Na^+ , Cl^- เป็นต้น) ทำให้ส่งผลเป็นพิษต่อต้นพืช (Arunin, 1996) ดังนั้นการเพาะปลูกพริกใน

บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งเป็นแหล่งเกษตรกรรมที่สำคัญของประเทศไทย หากแต่ประสบกับภาวะน้ำทะเลหนุน จึงควรต้องมีการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์พืชเพื่อให้สามารถปลูกและเก็บเกี่ยวผลผลิตในสภาวะดังกล่าวได้

การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ (Seed priming) คือ เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ทางสรีรวิทยา โดยอาศัยหลักการเตรียมเมล็ดให้ดูดน้ำเพียงพอที่จะกระตุ้นการงอกทางสรีรวิทยา หากแต่ความชื้นนั้น เป็นระดับที่ยังไม่ทำให้เกิดการแทงรากออกมา ซึ่งจะทำให้เมล็ดมีการพัฒนาการงอกให้อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน (Heydecker & Coolbear, 1977) จากนั้นกระบวนการงอกจะถูกหยุดด้วยการลดความชื้นภายในเมล็ดให้มีระดับที่ใกล้เคียงกับความชื้นเริ่มต้น ทำให้สามารถเก็บรักษาเมล็ดได้เป็นระยะเวลาสั้น ๆ (Copeland & McDonald, 1995) เมื่อนำเมล็ดที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ไปปลูกอีกครั้ง เมล็ดจะสามารถงอกได้อย่างรวดเร็วกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการ (Bewley & Black, 1978) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มีหลายวิธี เช่น การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยน้ำ (Hydro priming) และการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยสารควบคุมแรงดันออสโมซิส (Osmo priming) เป็นต้น (Bradford, 1986) เมล็ดที่ผ่านการบวนการเตรียมความพร้อมจะมีความแข็งแรงและคุณภาพที่สูงขึ้นอันเนื่องจากการเพิ่มและการสะสมของสารชีวเคมีบางอย่างภายในเมล็ด ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเตรียมต้นพืชเพื่อนำไปปลูกในพื้นที่ที่มีค่าความเค็มสูงได้ โดย Aloui *et al.* (2014) ได้รายงานไว้ว่า เมื่อเตรียมความพร้อมของเมล็ดพันธุ์ *Capsicum annuum* L. ให้ทนต่อความเครียดจากความเค็มด้วยสารละลาย NaCl เข้มข้น 10-500 mM นาน 12 ชั่วโมง หรือสารละลาย CaCl_2 เข้มข้น 10-500 mM เป็นเวลา 12-36 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณการสะสมคลอโรฟิลล์และโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ Khan *et al.* (2009) พบว่าการแช่เมล็ด *C. annuum* ด้วยสารละลาย NaCl เข้มข้น 1 mM นาน 24 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดมีอัตราการงอกสูงขึ้นและส่งเสริมให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตในด้านความยาวของยอดและรากเพิ่มมากขึ้น งานวิจัยนี้ยังพบว่าการนำเมล็ด *C. annuum* มาแช่ใน Acetylsalicylic acid (ASA) เข้มข้น 0.2 mM นาน 40 ชั่วโมง ส่งผลให้ผลผลิตชีวมวล น้ำหนักผลผลิต อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ และประสิทธิภาพการตรึง CO_2 เพิ่มมากขึ้นเมื่อต้นกล้าของ *C. annuum* อยู่ภายใต้ความเครียดจากความเค็ม Korkmaz *et al.* (2012) ศึกษาผลของการใช้ Glycine betaine (GB) โดยนำเมล็ดของ *C. annuum* ไปแช่ในสารละลาย GB เข้มข้น 0-25 mM นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำเมล็ดไปปลูกในสภาวะที่มีความเครียดจากความเค็ม เมล็ดที่ผ่านการแช่ด้วย GB พบว่าการงอกของเมล็ดเพิ่มมากขึ้น ทั้งยังทำให้ปริมาณโปรตีนและเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) เพิ่มสูงขึ้น ซึ่ง SOD นี้มีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเพื่อทำลายอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (O_2^-) เป็นการป้องกันไม่ให้เซลล์เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น lipid peroxidation เป็นต้น

ดังจะเห็นข้างต้นว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พืชสามารถช่วยปรับปรุงให้เมล็ดมีความทนทานต่อความเค็มได้สูงมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม การศึกษาดังกล่าวในพริกชี้หูสวนยังมีการศึกษาที่จำกัด อีกทั้งการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ให้ประสบผลสำเร็จได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการนั้นก็มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากเมล็ดพันธุ์พืชต่างชนิดจะตอบสนองกับชนิดของสารเคมี รวมถึงระยะเวลาการแช่ที่แตกต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ ภายใต้ระยะเวลาการแช่ที่แตกต่างกัน โดยศึกษาการเจริญเติบโต ผลผลิต ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการ และปริมาณสารสำคัญของพริกชี้หูสวนภายใต้ความเครียดจากความเค็ม ผลที่ได้จากการศึกษานี้ จะช่วยเป็นข้อมูลและวิธีแก้ไขปัญหาอีกวิธีหนึ่งให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกพริกชี้หูสวนในพื้นที่ที่มีปัญหาดินเค็มได้ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองที่ 1 มีจำนวน 32 ทรีทเมนต์ ๆ ละ 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด การทดลองที่ 2 และ 3 มีจำนวน 5 ทรีทเมนต์ ๆ ละ 4 ซ้ำ ดำเนินการทดลองระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 ถึงมกราคม พ.ศ. 2567 ณ โรงเรือนปลูกพืชทดลอง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ฯ และห้องปฏิบัติการวิจัย วิทยาลัยโพรวิซาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จังหวัดนครนายก โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 : การศึกษาการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนที่ระยะการงอก

นำเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนมาแช่ในสารละลายที่แตกต่างกัน คือ RO water, NaCl 20 mM, CaCl₂ 10 mM, ASA 0.2 mM และ GB 25 mM และระยะเวลาการแช่ที่แตกต่างกัน คือ 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ทั้งทรีทเมนต์ที่อยู่ในสภาวะปกติ (0 mM NaCl) และทรีทเมนต์ที่อยู่ภายใต้ความเคียดเค็ม (50 mM NaCl) ดังแสดงไว้ใน Table 1 จากนั้นนำเมล็ดมาลดความชื้นลงให้เท่ากับความชื้นก่อนการแช่

Table 1 Seed priming of chili with different chemical solutions and different soaking times

Chemical solutions	Timing (h)					
	0 mM NaCl			50 mM NaCl		
	12	24	48	12	24	48
Non-priming	-	-	-	-	-	-
RO water (Hydro priming)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
NaCl 20 mM (Halo priming)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CaCl ₂ 10 mM (Osmo priming)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ASA 0.2 mM (Hormonal priming)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
GB 25 mM (Chemical priming)	✓	✓	✓	✓	✓	✓

เมล็ดพริกชี้หูสวนที่ผ่านการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์จากแต่ละกรรมวิธี มาทดสอบความงอกมาตรฐาน (Standard germination test) ด้วยวิธีการเพาะเมล็ดแบบวางบนกระดาษเพาะ (Top of paper: TP) ทดลอง 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด โดยนำเมล็ดวางไว้ในจานเลี้ยงเชื้อ (Petri dish) ขนาด 9 cm จำนวน 25 เมล็ดต่อจาน (2 จาน/ซ้ำ) ให้ความชื้นโดยเติมน้ำกลั่นปริมาณ 10 mL ต่อจานในทรีทเมนต์สภาวะปกติ หรือเติมสารละลาย NaCl 50 mM ปริมาณ 10 mL ต่อจาน เพื่อใช้เป็นชุดทดลองสภาวะความเคียดจากความเค็ม นำจานเลี้ยงเชื้อไว้ในตู้เพาะเมล็ดที่ตั้งอุณหภูมิกลับ 20-30 °C เมื่อเพาะเมล็ดจนครบ 7 และ 14 วัน ดำเนินการนับต้นอ่อนครั้งแรกและครั้งสุดท้าย ตามลำดับ ตามหลักการประเมินความงอกของ International Seed Testing Association (2014) โดยนับจำนวนต้นอ่อนปกติ ต้นอ่อนผิดปกติ เมล็ดสดไม่งอก และเมล็ดตาย จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์จากสมการของ ISTA (1996) ที่แสดงด้านล่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ด} = (\text{จำนวนต้นอ่อนปกติ} / \text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}) \times 100$$

สำหรับเวลาเฉลี่ยในการงอก (Mean germination time; MGT) ทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีการทดสอบความงอกมาตรฐาน แต่นับจำนวนต้นอ่อนปกติติดต่อกันทุกวัน เป็นเวลา 14 วัน จากนั้นคำนวณเวลาเฉลี่ยในการงอกจากสูตรของ Ellis & Roberts (1980) ดังนี้

$$\text{เวลาเฉลี่ยในการงอก (วัน)} = \sum nd / \sum n$$

โดย n = จำนวนต้นอ่อนปกติ, d = จำนวนวันหลังเพาะเมล็ด

การทดลองที่ 2 : การศึกษาการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกขี้หนูสวนที่ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ

นำดินจากแปลงปลูกพืชทดลอง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ที่เป็นดินทราย (Sand) ประกอบไปด้วยทราย 95.20% และทรายแป้ง 4.80% มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.14 ค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ 0.19 dS/m ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเท่ากับ 0.32% ไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 8.71% ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 1.53 ppm และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์เท่ากับ 16.97 ppm โดยดินที่ใช้ในการศึกษานี้มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก มีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง หากแต่ไม่เป็นดินเค็ม (Table 2) ตามวิธีการวิเคราะห์ของ Kunlanit (2018)

Table 2 Soil properties obtaining from planting experiment field of Faculty of Agricultural Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University

Parameters	Value	Criteria
Sand (%)	95.20	-
Silt (%)	4.80	-
Clay (%)	0.00	-
Soil texture	Sand	-
pH	7.14	Neutral ^{1/}
Electrical conductivity (dS/m)	0.19	Non-saline ^{2/}
Organic matter (%)	0.32	Very low ^{3/}
Total nitrogen (%)	8.71	Very low ^{4/}
Available phosphorus (ppm)	1.53	Very low ^{3/}
Available Potassium (ppm)	16.97	Very low ^{5/}

^{1/} Land Classification Division and FAO Project Staff (1973) ; Soil Survey Division Staff (1993)

^{2/} Land Development Department (2010) ^{3/} Duangpatra (1995) ^{4/} Landon (1991) ^{5/} Im-erb (1999)

นำต้นกล้าของต้นพริกขี้หนูสวนจากการทดลองที่ 1 ซึ่งได้จากการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธี Non-priming และการใช้สารเคมีร่วมกับระยะเวลาการแช่สารที่เหมาะสมที่ทำให้เมล็ดที่ปลูกในสภาวะที่มี NaCl เข้มข้น 50 mM สามารถมีอัตราการงอกที่ใกล้เคียงกับการปลูกในสภาวะ NaCl เข้มข้น 0 mM มาใช้ศึกษาต่อ โดยนำต้นกล้าอายุ 15 วันเหล่านี้ (ต้นกล้าจากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 รวม 4 ซ้ำ) มาปลูกในกระถางขนาด 10 นิ้ว ที่มีทรายเป็นวัสดุปลูกอยู่

เมื่อต้นต้นกล้าพริกอายุครบ 16 วัน (หลังจากย้ายปลูกลงในชุดปลูก 1 วัน) จึงดำเนินการทดลอง โดยแบ่งต้นพืช ออกปลูกในสองสภาวะคือ สภาวะปกติ (ไม่มี NaCl) และสภาวะที่มีความเค็มสูง (NaCl เข้มข้น 50 mM) ต้นพืชทั้งสอง สภาวะได้รับการรดด้วยสารละลายธาตุอาหาร 250 mL/ต้น ในเวลาเช้าและเย็นของแต่ละวัน เป็นเวลา 14 วัน โดยสารละลายธาตุอาหารนี้มาจากการผสมของสารละลายธาตุอาหาร A (ประกอบด้วย 0.18 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ และ 20 μM Fe-EDTA) และสารละลายธาตุอาหาร B (ประกอบด้วย 0.09 mM KNO_3 , 0.09 mM $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, 0.27 mM $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 48 μM H_3BO_3 , 9 μM $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0.7 μM $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.3 μM $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ 9 μM $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ความเข้มข้น 0.25 เท่า ในอัตราส่วนสารละลายธาตุอาหาร 250 mL ต่อน้ำ 50 L ทั้งนี้ ต้นพืชที่ปลูก ในสภาวะที่มีความเค็มสูงนั้น ได้มีการเติม NaCl เข้มข้น 50 mM ลงในสารละลายธาตุอาหาร

เมื่อการทดลองเสร็จสิ้น (รดต้นพืชด้วยสารละลายธาตุอาหารนาน 14 วัน รวมต้นกล้าพริกมีอายุเท่ากับ 30 วัน) จึงเก็บข้อมูลความสูงต้น (Plant height: PH) ความกว้างทรงพุ่ม (Plant width: PW) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ลำต้น (Stem diameter: SD) ชั่งน้ำหนักสดแผ่นใบหลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ภายในตู้อบ ลมร้อน (Memmert, Model 500, Germany) แล้วนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง นำแผ่นใบมาหาปริมาณน้ำในใบ (Water content: WC) ในสมการ $\text{WC} (\%) = (\text{FW} - \text{DW}) / \text{FW}$ ตามวิธีการ ของ Chuamnakhong *et al.* (2019) การรั่วไหลของสาร อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte leakage ratio: ELR) วัดโดยตัดชิ้นส่วนใบให้มีความยาวประมาณ 5 mm นำชิ้นส่วนของใบแช่ ลงในน้ำกลั่น 30 mL ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 20 นาที และนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC1) หลังจากนั้นนำชิ้นส่วนของ ใบที่แช่ในน้ำกลั่นไปต้มที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC2) หลังจากนั้น นำค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ไปแทนค่าในสมการ $\text{ELR} (\%) = (\text{EC1} / \text{EC2}) \times 100$ ตามวิธีการของ Elsayy *et al.* (2018) คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll : Chl) เอ (Chl a) และ บี (Chl b) วัดโดยตัดชิ้นส่วนใบให้ละเอียด เติมน้ำละลาย N, N-dimethylformamide (Tokyo Chemical Industry, Japan) ปริมาตร 10 mL และนำไปเก็บไว้ในที่มืด ณ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นตรวจวัดปริมาณรงควัตถุภายในใบ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยยูวี-สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-1850, Hitachi, Japan) ที่ความยาวคลื่น 663.8 และ 646.8 nm และคำนวณหาปริมาณรงควัตถุตามวิธีการของ Porra *et al.* (1989)

การทดลองที่ 3 : การศึกษาการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกขึ้นสู่ส่วนที่ระยะการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์

พริกขึ้นสู่ส่วนมีอายุครบ 35 วัน จึงดำเนินการทดลองต่อ โดยวิธีการทดลองคล้ายคลึงกับในการทดลองที่ 2 คือ ต้นพืชจากแต่ละสภาวะได้รับการรดด้วยสารละลายธาตุอาหารนาน 14 วัน (รดตอนเช้าและตอนเย็น) โดยกลุ่มที่ปลูก ในสภาวะที่มีความเครียดจากความเค็มมีการเติม NaCl เข้มข้น 50 mM ลงในสารละลายธาตุอาหารร่วมด้วย จากนั้น จึงเก็บข้อมูลวันออกดอก 50% (Day to 50% flowering: DF), วันเก็บเกี่ยว (Day to harvest: DH), ความสูงต้น (PH), ความกว้างทรงพุ่ม (PW), ความยาวผล (Fruit length: FL), ความกว้างผล (Fruit width: FW), ความหนาเนื้อ (Pericarp thickness: PT) และน้ำหนักผลต่อต้น (Fruit weight/plant: FW/P) นำแผ่นใบมาหาปริมาณน้ำในใบ (WC), การรั่วไหล ของสารอิเล็กโทรไลต์ (ELR) และคลอโรฟิลล์ เอ (Chl a) และ บี (Chl b) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญต่าง ๆ ภายในผล ดำเนินการโดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer วิเคราะห์ปริมาณ Capsaicin ที่ค่าการดูดกลืนแสงความ ยาวคลื่น 280 nm โดยใช้ Capsaicin เป็นสารละลายมาตรฐาน ดัดแปลงตามวิธีการของ Collin *et al.* (1995) วิเคราะห์ ปริมาณ Total phenolic ที่ค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 760 nm โดยใช้ Gallic acid เป็นสารเทียบมาตรฐาน

ดัดแปลงตามวิธีการของ Baskar *et al.* (2011) วิเคราะห์ปริมาณ Total flavonoids ที่ค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 415 nm โดยวิธี Aluminium chloride colorimetric method โดยใช้ Quercetin เป็นสารเทียบมาตรฐาน ดัดแปลงตามวิธีการของ Baskar *et al.* (2011) และปริมาณ Anthocyanin ที่ค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 535 nm ดัดแปลงตามวิธีการของ Fuleki & Francis (1968)

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การศึกษานี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) โดยทำซ้ำจำนวน 4 ซ้ำ หลังจากดำเนินการเก็บข้อมูลแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยวิเคราะห์หาความแปรปรวนทางเดียว (One-way analysis of variance) ด้วยการทดสอบเอฟ (F-test) และนำค่าเฉลี่ยไปเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เมื่อมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ Statistical Tool for Agricultural Research (STAR) เวอร์ชัน 2.0.1

ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 : ผลการศึกษาการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนที่ระยะการงอก

เมื่อนำเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วยชนิดของสารละลายและระยะเวลาการแช่ในสารละลายที่แตกต่างกันมาทดสอบความงอกมาตรฐานภายใต้สภาวะปกติ (ไม่มีเกลือ) และภายใต้ความเครียดจากความเค็ม (50 mM NaCl) พบว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย NaCl เข้มข้น 20 mM เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (80.20%), CaCl_2 เข้มข้น 10 mM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (78.53%), ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (79.90%) และ GB เข้มข้น 25 mM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (82.68%) ให้อัตราการงอกของเมล็ดที่สูงถึงแม้เมล็ดถูกปลูกภายใต้สภาวะที่มีความเครียดจากความเค็ม ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แตกต่างทางสถิติกับสภาวะปกติที่ไม่มีเกลือ ที่มีอัตราการงอกของเมล็ดเท่ากับ 80.53, 78.70, 80.10 และ 82.83% ตามลำดับ นอกจากนี้ เวลาเฉลี่ยในการงอกของเมล็ดพันธุ์ซึ่งปลูกภายใต้สภาวะที่มี NaCl เข้มข้น 50 mM หลังจากผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์จากกรรมวิธีที่กล่าวมาข้างต้น คือ NaCl เข้มข้น 20 mM เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (9.64 วัน), CaCl_2 เข้มข้น 10 mM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (9.80 วัน), ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (9.49 วัน) และ GB เข้มข้น 25 mM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (9.24 วัน) ให้ผลทดสอบความงอกมาตรฐานที่ใกล้เคียงกับชุดควบคุม ซึ่งมีเวลาเฉลี่ยในการงอกเท่ากับ 9.53, 9.63, 9.48 และ 9.20 วัน ตามลำดับ ทั้งนี้เมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมพร้อม (Non-priming) หรือเมล็ดที่แช่ใน RO water นาน 12-24 ชั่วโมง เมื่อนำเมล็ดไปปลูกในสภาวะที่ไม่มี NaCl หรือมี NaCl เข้มข้น 50 mM พบว่าอัตราการงอกของเมล็ดและระยะเวลาที่ใช้ในการงอกโดยเฉลี่ยจากชุดทดลองเหล่านี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่น การแช่เมล็ดใน RO water พบการงอก 81.70% ในระยะเวลา 9.84 วัน เมื่อปลูกในสภาวะที่ไม่มี NaCl ขณะที่การปลูกในสภาวะที่มี NaCl เข้มข้น 50 mM พบการงอกเพียง 17.58% และใช้เวลาในการงอกนาน 12.85 วัน เป็นต้น (Table 3)



Table 3 Effect of different seed priming on seed germination of Thai chili (*C. frutescens*)

Chemical solutions	Timing (h)	NaCl concentrations (mM)	Germination (%)		Mean germination time (day)	
Non-priming		0	42.35±1.38	f	12.53±0.21	cd
		50	3.60±0.27	j	13.86±0.03	a
RO water	12	0	81.70±0.37	a	9.84±0.02	i
		50	17.58±0.36	g	12.57±0.03	c
	24	0	68.75±0.38	bc	10.91±0.02	fg
		50	13.65±0.61	h	12.85±0.03	c
	48	0	58.53±0.49	cd	11.33±0.03	f
		50	9.00±0.21	i	13.25±0.03	ab
NaCl 20 mM	12	0	80.53±0.30	a	9.53±0.02	ij
		50	80.20±0.32	a	9.64±0.02	ij
	24	0	71.78±0.49	b	10.27±0.04	h
		50	63.95±0.22	c	11.37±0.05	f
	48	0	59.65±0.52	cd	10.55±0.03	gh
		50	53.58±0.50	e	11.55±0.03	e
CaCl ₂ 10 mM	12	0	71.18±0.47	b	10.20±0.05	ghi
		50	60.00±0.46	c	11.91±0.03	de
	24	0	78.70±0.18	a	9.63±0.02	ij
		50	78.53±0.17	a	9.80±0.03	i
	48	0	67.70±0.81	bc	10.42±0.04	h
		50	58.25±0.55	cd	12.35±0.06	d
ASA 0.2 mM	12	0	70.83±0.48	b	10.60±0.02	gh
		50	57.45±0.27	cd	13.06±0.04	b
	24	0	76.58±1.38	ab	9.89±0.04	hi
		50	61.00±0.46	c	12.60±0.04	c
	48	0	80.10±0.29	a	9.48±0.05	j
		50	79.90±0.15	a	9.49±0.03	j
GB 25 mM	12	0	75.68±0.32	ab	10.58±0.02	h
		50	58.53±0.51	cd	10.84±0.02	g

Chemical solutions	Timing (h)	NaCl concentrations (mM)	Germination (%)		Mean germination time (day)	
	24	0	82.83±0.80	a	9.20±0.02	j
		50	82.68±0.65	a	9.24±0.01	j
	48	0	66.60±0.59	bc	10.66±0.03	g
		50	56.20±.17	d	10.89±0.03	f
F-test			**		**	
C.V. (%)			11.76		10.89	

Data presented mean ± standard error (S.E.). Different alphabets within each column indicated statistically significance according to DMRT. ** indicated significant different at $P \leq 0.01$.

การทดลองที่ 2 : ผลการศึกษาการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนที่ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ

การเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบของเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนจากการใช้สารเคมีและระยะเวลาการแช่ที่แตกต่างกัน พบว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย ASA ความเข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพริกชี้หูสวนระหว่างต้นที่ปลูกในสภาวะปกติกับต้นที่ปลูกภายใต้ความเครียดจากความเค็ม มีการเจริญเติบโตทางด้าน PH (50.51 cm และ 50.09 cm), PW (45.29 cm และ 44.92 cm) และ SD (1.44 cm และ 1.37 cm) ที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ชุดทดลองที่ไม่มีการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ให้การเจริญเติบโตของต้นพริกชี้หูสวนในด้าน PH, PW และ SD ที่น้อยกว่าชุดทดลองอื่นทั้งในสภาวะปกติและในสภาวะที่มีความเครียดจากความเค็ม ผลการทดลองยังได้บ่งชี้ว่าการปลูกต้นพริกชี้หูสวนที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ในสภาวะที่มีความเครียดจากความเค็ม ให้การเจริญเติบโตของต้นที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่น (Table 4)

ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของพริกเมื่อมีอายุ 30 วันหลังจากย้ายปลูก พบว่าชุดทดลองที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย NaCl เข้มข้น 20 mM เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และ ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง มีค่า WC จากการปลูกในสภาวะปกติและในสภาวะที่มีความเครียดจากความเค็มที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ชุดทดลองที่ไม่มีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พบว่าปริมาณน้ำในใบระหว่างสภาวะปกติกับสภาวะที่มี NaCl เข้มข้น 50 mM มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การศึกษาการร่วไหลของสารอิเล็กโทรไลต์พบว่าทุกชุดการทดลองนั้น มีค่า ELR เพิ่มขึ้นเมื่อนำต้นพืชมาปลูกในสภาวะที่มีความเครียดจากความเค็ม หากแต่การใช้ ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบค่า ELR เพียง 18.89% จากการปลูกต้นพืชในสภาวะที่มี NaCl เข้มข้น 50 mM ขณะที่ชุดการทดลองอื่นนั้นพบค่า ELR ที่ 20.82-84.97% โดยค่า ELR สูงสุด (84.97%) พบจากชุดทดลองที่ไม่มีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ สำหรับการศึกษาระดับ Chl a และ Chl b พบว่าต้นพืชที่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย NaCl เข้มข้น 20 mM เป็นเวลา 12 ชั่วโมง, CaCl_2 เข้มข้น 10 mM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง มีปริมาณของ Chl a และ Chl b ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่มีความเครียดจากความเค็มที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามการนำต้นพริกชี้หูสวนที่ไม่ได้ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มาปลูกในสภาวะที่มี NaCl เข้มข้น 50 mM

ส่งผลให้ปริมาณของ Chl *a* (0.0342 µg/mg FW) และ Chl *b* (0.0320 µg/mg FW) ลดลงอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การปลูกในสภาวะปกติ (Chl *a* เท่ากับ 0.1161 µg/mg FW, Chl *b* เท่ากับ 0.1391 µg/mg FW) (Table 5)

Table 4 Effect of different seed priming on plant growth during vegetative stage of Thai chili (*C. frutescens*)

Treatments	NaCl concentrations (mM)	PH (cm)	PW (cm)	SD (cm)
Non-priming	0	36.64±0.51 d	36.27±0.49 e	0.93±0.02 e
	50	17.66±0.69 e	15.92±0.37 f	0.54±0.02 f
NaCl 20 mM, 12 h	0	48.59±0.39 b	44.14±0.47 ab	1.42±0.01 ab
	50	45.36±0.37 c	40.09±0.52 c	1.34±0.02 bc
CaCl ₂ 10 mM, 24 h	0	47.59±0.11 b	43.14±0.36 b	1.42±0.01 ab
	50	44.39±0.38 c	38.77±0.36 d	1.31±0.02 cd
ASA 0.2 mM, 48 h	0	50.51±0.30 a	45.29±0.26 a	1.44±0.01 a
	50	50.09±0.28 a	44.92±0.20 a	1.37±0.03 abc
GB 25 mM, 24 h	0	48.51±0.27 b	44.62±0.34 a	1.39±0.01 abc
	50	45.06±0.27 c	39.37±0.27 cd	1.25±0.01 d
F-test		**	**	**
C.V. (%)		9.78	11.92	7.58

Data presented mean ± S.E. Different alphabets within each column indicated statistically significance according to DMRT. ** indicated significant different at $P \leq 0.01$.

Table 5 Effect of different seed priming on some physiological characteristics at vegetative stage of Thai chili (*C. frutescens*)

Treatments	NaCl concentrations (mM)	WC (%)	ELR (%)	Chl <i>a</i> (µg/mg FW)	Chl <i>b</i> (µg/mg FW)
Non-priming	0	0.48±0.01 cde	12.30±1.29 d	0.1161±0.00 b	0.1391±0.01 c
	50	0.16±0.03 f	84.97±2.52 a	0.0342±0.01 c	0.0320±0.01 d
NaCl 20 mM, 12 h	0	0.51±0.01 abc	11.64±1.04 d	0.1361±0.00 a	0.2317±0.00 a
	50	0.49±0.00 cd	20.82±1.90 bc	0.1361±0.00 a	0.2291±0.00 a
CaCl ₂ 10 mM, 24 h	0	0.50±0.01 bc	11.96±0.57 d	0.1338±0.01 a	0.2478±0.01 a
	50	0.47±0.00 de	23.86±0.31 b	0.1347±0.00 a	0.2391±0.00 a
ASA 0.2 mM, 48 h	0	0.54±0.01 a	8.80±0.91 d	0.1136±0.00 b	0.2403±0.01 a
	50	0.53±0.01 ab	18.89±1.18 c	0.1167±0.00 b	0.2353±0.01 a
GB 25 mM, 24 h	0	0.50±0.01 cd	11.94±0.62 d	0.1352±0.00 a	0.2255±0.01 a
	50	0.45±0.01 e	23.20±0.95 b	0.1106±0.01 b	0.1863±0.01 b
F-test		**	**	**	**
C.V. (%)		10.62	15.29	8.50	7.33

Data presented mean ± S.E. Different alphabets within each column indicated statistically significance according to DMRT.

** indicated significant different at $P \leq 0.01$.

การทดลองที่ 3 : ผลการศึกษาการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนที่ระยะการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์

ผลการศึกษาพบว่า การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำให้ต้นพริกที่ปลูกในสภาวะที่มีความเค็มสูงและสภาวะปกติมีค่า DF (39.00 และ 38.75 วัน), DH (79.00 และ 79.00 วัน), PH (64.48 และ 64.90 cm) และ PW (60.53 และ 60.90 cm) ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ ผลการทดลองพบว่า การนำต้นพริกชี้หูสวนที่ไม่มีการเตรียมเมล็ดพันธุ์ไปปลูกในสภาวะที่มีความเค็มสูง ส่งผลกระทบอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของพืช เนื่องจากต้องใช้เวลาการออกดอก (54.75 วัน) และการพัฒนาของผลให้พร้อมต่อการเก็บเกี่ยว (102.25 วัน) ที่นานขึ้น และพืชมีค่า PH (32.05 cm) และ PW (31.53 cm) ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองอื่น ๆ (Table 6)

Table 6 Effect of different seed priming on plant growth during reproductive stage of Thai chili (*C. frutescens*)

Treatments	NaCl concentrations (mM)	DF (days)	DH (days)	PH (cm)	PW (cm)
Non-priming	0	43.00±0.41 bc	85.00±0.41 b	51.03±0.51 d	51.88±0.49 e
	50	54.75±0.85 a	102.25±0.75 a	32.05±0.69 e	31.53±0.37 f
NaCl 20 mM, 12 h	0	41.00±0.41 d	81.00±1.08 c	62.98±0.39 b	59.75±0.47 ab
	50	42.75±0.48 bcd	85.75±0.48 b	59.75±0.37 c	55.70±0.52 c
CaCl ₂ 10 mM, 24 h	0	41.75±0.48 cd	80.50±0.48 c	61.98±0.37 b	58.75±0.52 b
	50	44.50±0.65 b	84.75±0.48 b	58.78±0.38 c	54.38±0.36 d
ASA 0.2 mM, 48 h	0	38.75±0.48 e	79.00±0.71 c	64.90±0.30 a	60.90±0.26 a
	50	39.00±0.41 e	79.00±0.41 c	64.48±0.28 a	60.53±0.20 a
GB 25 mM, 24 h	0	41.00±0.41 d	80.75±0.85 c	62.90±0.27 b	60.23±0.34 a
	50	44.00±1.08 b	84.75±0.95 b	59.45±0.27 c	54.98±0.27 cd
F-test		**	**	**	**
C.V. (%)		13.81	11.69	9.34	7.38

Data presented mean ± S. E. Different alphabets within each column indicated statistically significance according to DMRT. ** indicated significant different at $P \leq 0.01$.

การศึกษาในด้านผลและลักษณะของผลพบว่าต้นพริกชี้หูสวนที่ผ่านการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วย ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง มีการเจริญเติบโตของผลในสภาวะปกติและในสภาวะที่มี NaCl เข้มข้น 50 mM ที่คล้ายคลึงกัน เนื่องจากมีค่า FL (4.09 และ 4.09 cm), FW (0.75 และ 0.75 cm), PT (0.85 และ 0.84 mm) และ FW/P (1.53



และ 1.53 kg) ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ต้นพืชซึ่งไม่มีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์แล้วถูกนำมาปลูกในสภาวะที่มีความเค็มสูงนั้น ทำให้ได้ค่า FL, FW, PT และ FW/P ที่ต่ำที่สุด (Table 7)

Table 7 Effect of different seed priming on fruit growth during reproductive stage of Thai chili (*C. frutescens*)

Treatments	NaCl concentrations (mM)	FL (cm)	FW (cm)	PT (mm)	FW/P (kg)
Non-priming	0	3.30±0.07 d	0.41±0.01 d	0.53±0.02 d	0.82±0.04 d
	50	1.87±0.04 e	0.22±0.01 e	0.20±0.01 e	0.08±0.01 e
NaCl 20 mM, 12 h	0	4.00±0.05 ab	0.74±0.00 a	0.81±0.01 b	1.50±0.01 a
	50	3.54±0.03 c	0.67±0.01 b	0.73±0.01 c	1.29±0.01 bc
CaCl ₂ 10 mM, 24 h	0	3.93±0.03 b	0.73±0.01 a	0.84±0.01 ab	1.52±0.01 a
	50	3.63±0.08 c	0.63±0.01 c	0.74±0.01 c	1.27±0.02 c
ASA 0.2 mM, 48 h	0	4.09±0.02 a	0.75±0.00 a	0.85±0.00 a	1.53±0.01 a
	50	4.09±0.00 a	0.75±0.00 a	0.84±0.01 ab	1.53±0.01 a
GB 25 mM, 24 h	0	4.00±0.02 ab	0.73±0.01 a	0.84±0.01 ab	1.50±0.01 a
	50	3.60±0.02 c	0.64±0.02 c	0.75±0.00 c	1.32±0.01 b
F-test		**	**	**	**
C.V. (%)		8.26	5.94	4.77	7.68

Data presented mean ± S. E. Different alphabets within each column indicated statistically significance according to DMRT. ** indicated significant different at $P \leq 0.01$.

การศึกษาข้อมูลทางสรีระวิทยาบางประการของต้นพริกขี้หนูสวนขณะที่อยู่ในระยะการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ โดยภาพรวมพบว่าต้นพืชที่ผ่านการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยการแช่ใน ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำให้ต้นพืชที่ปลูกในสภาวะที่มีความเค็มสูงสามารถรักษาค่า WC (0.77%) และปริมาณของ Chl *a* (0.1561 µg/mg FW) และ Chl *b* (0.2889 µg/mg FW) ให้ใกล้เคียงกับการปลูกในสภาวะปกติ (ค่า WC เท่ากับ 0.72%, ค่า Chl *a* เท่ากับ 0.1592 µg/mg FW และ *b* เท่ากับ 0.2939 µg/mg FW) ชุดทดลองนี้ยังพบค่า ELR ที่ต่ำที่สุดอีกด้วย (13.19% ในสภาวะปกติ และ 23.28% ในสภาวะที่มี NaCl เข้มข้น 50 mM) ผลการศึกษายังบ่งชี้ว่าการนำต้นพริกขี้หนูสวนที่ไม่ผ่านการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มาปลูกในสภาวะที่มีความเค็มสูงส่งผลกระทบต่อลักษณะทางสรีระวิทยาอย่างยิ่ง เนื่องจากต้นพืชมีค่า WC (0.40%) และปริมาณของ Chl *a* (0.0767 µg/mg FW) และ Chl *b* (0.0856 µg/mg FW) ที่ต่ำที่สุด และมีค่า ELR สูงที่สุด (89.36%) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองอื่น ๆ (Table 8)

Table 8 Effect of different seed priming on some physiological characteristics at reproductive stage of Thai chili (*C. frutescens*)

Treatments	NaCl concentrations (mM)	WC (%)	ELR (%)	Chl a (µg/mg FW)	Chl b (µg/mg FW)
Non-priming	0	0.72±0.01 cde	16.69±1.29 d	0.1586±0.00 b	0.1927±0.01 c
	50	0.40±0.03 f	89.36±2.52 a	0.0767±0.01 c	0.0856±0.01 d
NaCl 20 mM, 12 h	0	0.75±0.01 abc	16.03±1.04 d	0.1786±0.00 a	0.2853±0.00 a
	50	0.73±0.00 cd	25.21±1.90 bc	0.1786±0.00 a	0.2827±0.00 a
CaCl ₂ 10 mM, 24 h	0	0.74±0.00 bc	16.35±1.90 d	0.1772±0.00 a	0.3014±0.00 a
	50	0.71±0.00 de	28.25±0.31 b	0.1763±0.00 a	0.2927±0.00 a
ASA 0.2 mM, 48 h	0	0.78±0.01 a	13.19±0.91 d	0.1592±0.00 b	0.2939±0.01 a
	50	0.77±0.01 ab	23.28±1.18 c	0.1561±0.00 b	0.2889±0.01 a
GB 25 mM, 24 h	0	0.74±0.01 cd	16.33±0.62 d	0.1777±0.00 a	0.2791±0.01 a
	50	0.69±0.01 e	27.59±0.95 b	0.1531±0.01 b	0.2399±0.01 b
F-test		**	**	**	**
C.V. (%)		6.06	15.47	11.23	10.80

Data presented mean ± S. E. Different alphabets within each column indicated statistically significance according to DMRT. ** indicated significant different at $P \leq 0.01$.

การวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญจากผลของพริกขี้หนูสวน ผลการศึกษาพบว่า โดยภาพรวมแล้วนั้น ต้นพริกที่ผ่านการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วย ASA เข้มข้น 0.20 mM นาน 48 ชั่วโมง เมื่อถูกปลูกในสภาวะปกติหรือสภาวะที่มีความเค็มสูง ต้นพริกสามารถผลิตหรือให้สารสำคัญในกลุ่ม Capsaisin (62.04 และ 61.93 mg/g DW), Total phenolic (17.98 และ 18.10 mg GAE/g DW), Total flavonoids (58.85 และ 58.90 (g QE/g DW) และ Anthocyanin (11.70 และ 11.73 mg/100g DW) ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ปริมาณสารสำคัญในผลที่ต่ำที่สุดในทุกชุดการทดลองพบจากการปลูกต้นพริกขี้หนูสวนที่ไม่มีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ภายใต้สภาวะ NaCl เข้มข้น 50 mM (Table 9)

วิจารณ์ผลการวิจัย

พริกขี้หนูสวนเป็นพืชกลุ่มไกลโคไฟต์ที่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ภายใต้ความเครียดจากความเค็มสูง ส่งผลให้เมล็ดไม่สามารถงอกได้ภายใต้สภาวะดังกล่าว หรือถ้างอกเป็นต้นกล้าได้ก็จะทำให้การเจริญเติบโตไม่ดี การติดดอกน้อย และมีผลผลิตลดลงด้วยเช่นกัน (Ayaz *et al.*, 2000) ดังนั้นการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พืชก่อนปลูกเป็นวิธีหนึ่งที่กระตุ้นและเร่งให้เมล็ดงอกได้เร็ว ต้นกล้ามีความสม่ำเสมอ มีความแข็งแรงสูง และทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พืชจะย่นระยะเวลาในการดูแลของเมล็ดให้ยาวนานออกไป ส่งผลให้เมล็ดมีเวลาเพียงพอในการ

จัดการ ซ่อมแซม และจัดเรียงตัวของเซลล์ไมโทคอนเดรียหรือการแทนที่ของสารต่าง ๆ ภายในเมล็ดเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการงอก (Chanprasert, 1995) ด้วยเหตุนี้ การศึกษาการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนที่ระยะการงอกภายใต้ความเครียดจากความเค็ม เพื่อให้ทราบว่าสารเคมีชนิดใดและระยะเวลาการแช่นานเท่าใดที่เหมาะสมต่อการทำให้เมล็ดยังคงความสามารถในการงอกได้อย่างปกติจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากพืชส่วนใหญ่อ่อนแอต่อความเค็มในช่วงระหว่างการงอกมากกว่าระยะอื่น ๆ เพราะเกลือหรือความเค็มที่ความเข้มข้นสูงจะลดอัตราการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ด อีกทั้งยังเป็นการทำให้ดินมีไอออนจากสารละลายเกลือสูง ซึ่งส่งผลเป็นพิษต่อการงอกได้ ดังนั้นอัตราการงอกจึงลดลงหรืออาจจะใช้ระยะเวลาในการงอกนานขึ้น นอกจากนี้การเจริญเติบโตของรากและการยืดของลำต้นจะเกิดได้ล่าช้าขึ้น ทั้งยังทำให้การใช้อาหารสะสมในเมล็ดเพื่อการเจริญเติบโตของลำต้นลดลงอีกด้วย ความเค็มจึงไม่เพียงแต่ทำให้อัตราการงอกของเมล็ดน้อยลงแต่ยังทำให้ต้นกล้าของพืชไม่แข็งแรงอีกด้วย (Laloknam *et al.*, 2008a) ผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนที่ระยะการงอกด้วยการใช้ชนิดของสารละลายและระยะเวลาการแช่เมล็ดที่แตกต่างกันพบว่า การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย NaCl ความเข้มข้น 20 mM เป็นเวลา 12 ชั่วโมง, CaCl_2 ความเข้มข้น 10 mM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง, ASA ความเข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และ GB ความเข้มข้น 25 mM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีอัตราการงอกของเมล็ดเมื่ออยู่ภายใต้ความเครียดจากความเค็ม (50 mM NaCl) ที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดปลูกสภาวะปกติที่ไม่มีเกลือ (0 mM NaCl) นอกจากนี้ชุดทดลองข้างต้นยังให้เวลาเฉลี่ยในการงอกที่ใกล้เคียงกันแม้ปลูกในสภาวะที่ต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนด้วย GB ความเข้มข้น 25 mM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดมีอัตราการงอกสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองทุกชุด (82.83% ในสภาวะที่ไม่มีเกลือ, 82.81% ในสภาวะ NaCl ความเข้มข้น 50 mM) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Korkmaz *et al.* (2012) ที่พบว่าการใช้ GB ความเข้มข้น 25 mM นาน 24 ชั่วโมง ทำให้เมล็ดของ *C. annuum* มีการงอกของเมล็ดที่สูงแม้อยู่ภายใต้สภาวะความเครียดจากความเค็ม อีกทั้งยังพบว่า GB ยังทำให้ปริมาณโปรตีนและ SOD เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน การที่ GB ทำให้เมล็ดของพริกชี้หูสวนมีอัตราการงอกที่สูงขึ้น ทั้งยังคงความสามารถในการงอกอยู่ได้แม้อยู่ในสภาวะที่มีสารละลายเกลือสูงอาจเป็นเพราะ GB ช่วยลดการสะสมของ Na^+ และ Cl^- ที่มากเกินไปซึ่งส่งผลเป็นพิษต่อต้นพืชได้ ขณะเดียวกัน GB ยังช่วยป้องกันการรั่วไหลของ K^+ และรักษาสมดุลของอัตราส่วนระหว่าง Na^+/K^+ ให้ต่ำลง (Ahmet *et al.*, 2012)

การศึกษาผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกชี้หูสวนที่ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ พบว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย ASA ความเข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่งผลให้การเจริญเติบโตของความสูงต้น, ความกว้างทรงพุ่ม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ระหว่างต้นพืชที่ปลูกในสภาวะปกติกับสภาวะที่มีความเครียดจากความเค็ม มีการเจริญเติบโตในด้านข้างต้นที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khan *et al.* (2009) ที่พบว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ *C. annuum* ด้วย ASA ความเข้มข้น 0.2 mM ส่งผลให้ผลผลิตชีวมวล และน้ำหนักผลผลิตเพิ่มมากขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้ความเครียดเค็ม สำหรับการศึกษาทางด้านลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของพริกชี้หูสวนที่ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ พบว่าต้นพืชที่ผ่านการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย NaCl ความเข้มข้น 20 mM เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และ ASA ความเข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่งผลให้ต้นพืชที่ปลูกในสภาวะปกติและปลูกในสภาวะที่มี NaCl ความเข้มข้น 50 mM มีปริมาณน้ำภายในใบที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลวิจัยที่ได้นี้คล้ายคลึงกับการศึกษาของ Senaratna *et al.* (2000) ที่รายงานว่า ASA มีส่วนช่วยในการปกป้องพืชให้สามารถ

ทนเค็มได้เมื่ออยู่ภายใต้ความเครียดจากความเค็ม โดย ASA ทำหน้าที่ภายในเพิ่มอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณคลอโรฟิลล์ และปริมาณโปรตีนต้นกล้าให้สูงขึ้น ทั้งยังมีส่วนช่วยเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ SOD อีกด้วย การศึกษานี้พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และ บี ของทรีทเมนต์ที่มีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย NaCl ความเข้มข้น 20 mM เป็นเวลา 12 ชั่วโมง, CaCl_2 ความเข้มข้น 10 mM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ ASA ความเข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ภายใต้ความเครียดเค็ม มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และ บี ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับชุดสภาวะปกติที่ไม่มีเกลือ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khan *et al.* (2009) ที่รายงานว่าเมื่อเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ *C. annuum* ให้ทนต่อความเครียดเค็มด้วยสารละลาย NaCl ที่ระดับความเข้มข้น 20 mM เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะช่วยเพิ่มปริมาณการสะสมคลอโรฟิลล์และโปรตีนให้มากขึ้นกว่าปกติ อีกทั้งการใช้ NaCl ที่ระดับความเข้มข้น 1 mM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าอัตราการงอกสูงขึ้นและส่งเสริมให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะความยาวยอดและราก นอกจากนี้ยังมีรายงานการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศด้วย NaCl ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตและผลผลิตได้ดีเมื่ออยู่ภายใต้ความเครียดเค็มซึ่งไม่แตกต่างกับสภาวะปกติที่ไม่มีเกลือ (Cano *et al.*, 1991; Prapanoppasin, 1999) Rivas *et al.* (1984) พบว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย NaCl ส่งผลให้อัตราการรอดของเมล็ดพันธุ์พริกไทยเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเตรียมความพร้อม Sivaritepe & Dourado (1995) และ Farooq *et al.* (2005) กล่าวว่า การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย NaCl เป็นการเพิ่มคุณค่าของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ และโปรตีนที่เก็บสะสม และยังสามารถป้องกันสารพิษและการขาดธาตุอาหารของพืชได้ นอกจากนี้ Aloui *et al.* (2014) ได้ศึกษาผลของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ให้ทนต่อความเครียดเค็มด้วย CaCl_2 ที่ระดับความเข้มข้น 10 mM เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่ามีการกระตุ้นคลอโรฟิลล์และโปรตีนให้สูงมากขึ้น จากการศึกษาสรุปได้ว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกขี้หนูสวนด้วย ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำให้ต้นพริกขี้หนูสวนในการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ ที่ปลูกในสภาวะที่มีความเค็มสูง ยังคงมีการเจริญเติบโตทางด้านสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาให้คล้ายคลึงกับการปลูกภาวะปกติ โดยมีค่า ELR สูงขึ้นเพียงเล็กน้อยสาเหตุเหล่านี้เป็นผลมาจากกลไกการทำงานของสาร ASA เนื่องจาก ASA อันเป็นสารในกลุ่ม salicylic acid ซึ่งได้มีรายงานการวิจัยพบว่าสารกลุ่มนี้มีศักยภาพในการป้องกันและรักษาเสถียรภาพของเยื่อหุ้มเซลล์พืชด้วยการลดการสะสมของ Na^+ ที่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ และทดแทนด้วยการสะสม K^+ และ Ca^{2+} (Cachorro *et al.*, 1994) ASA ช่วยให้พืชรักษาแรงดันออสโมติกภายใต้สภาวะความเครียดเค็มได้โดยการเพิ่มระดับน้ำตาลภายในเซลล์ (Mir *et al.*, 2021) ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้ค่า WC จากการปลูกต้นพริกขี้หนูสวนในสภาวะปกติและในสภาวะที่มีความเครียดจากความเค็มที่ไม่แตกต่างกัน ต้นพืชจึงยังคงสามารถขนส่งน้ำไปยังส่วนอื่นได้ และสามารถใช้น้ำเพื่อดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกขี้หนูสวนด้วย ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง มีปริมาณของ Chl *a* และ Chl *b* ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่มีความเครียดจากความเค็มที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจาก ASA ทำให้มีการสะสม Mg^{2+} มากขึ้น ซึ่ง Mg^{2+} เป็นองค์ประกอบสำคัญของ Chl นอกจากนี้ ASA ยังเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ Ascorbate peroxidase (APX) ที่อยู่ในคลอโรพลาสต์ ทำให้ Chl ไม่ได้รับความเสียหายมากนักเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะความเครียดเค็ม (Xu *et al.*, 2022) สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงและเจริญเติบโตต่อไปได้

การศึกษาลงของการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกที่ระยะการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ พบว่าการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพริก ได้แก่

วันออกดอก 50%, วันเก็บเกี่ยว, ความสูงต้น และความกว้างทรงพุ่ม องค์ประกอบผลผลิตและผลผลิต ได้แก่ ความยาวผล, ความกว้างผล, ความหนาเนื้อ และน้ำหนักผลต่อต้น และลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการ ของต้นพืชที่ปลูกในสภาวะที่มี NaCl เข้มข้น 50 mM ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาวะปกติที่ไม่มีเกลือ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khan *et al.* (2009) ที่เตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 40 ชั่วโมง ส่งผลให้ผลผลิตชีวมวล น้ำหนักผลผลิต อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ และประสิทธิภาพการตรึง CO_2 เพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้ความเครียดเค็ม Djebbar *et al.* (2020) กล่าวว่า ASA เป็นสารประกอบฟีนอลิกที่ผลิตในพืชเกิดขึ้นตามปกติ มีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการทางสรีรวิทยาบางอย่างของพืชในช่วงที่พืชเกิดความเครียด โดยช่วยให้พืชเพิ่มการเจริญเติบโตและความสามารถในการสังเคราะห์แสงเมื่ออยู่ในสภาพเค็ม (Arfan *et al.*, 2007) Senaratna *et al.* 2000 รายงานว่าการใช้ ASA ยังมีส่วนช่วยในการควบคุมกระบวนการทางสรีรวิทยาในพืช เช่น การปิดปากใบ การดูดซึมไอออน การยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน และการคายน้ำ ภายใต้สภาวะความเครียดเค็ม นอกจากนี้ Salicylic acid, ASA และ Ascorbic Acid ยังพบว่ามีศักยภาพกระตุ้นให้พืชทนต่อความเครียดเค็มได้ด้วย (Senaratna *et al.*, 2000) ผลการทดลองการนำต้นพริกขี้หนูสวนที่ไม่มีการเตรียมความพร้อมเมล็ดไปปลูกในสภาวะที่มีความเครียดเค็มพบว่าผลการเจริญเติบโต องค์ประกอบผลผลิตและผลผลิต และลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของพริกให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับทรีทเมนต์อื่น ๆ เนื่องจากเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นการเจริญเติบโตของพืชจะลดลง ดังนั้นความเค็มจึงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม เช่น ทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงลดลง มีผลต่อกระบวนการหายใจทำให้การเจริญเติบโตของพืชถูกจำกัด และยังพบว่าความเค็มจะทำให้กระบวนการเมแทบอลิซึมเปลี่ยนแปลงไป เช่น ยับยั้งการดูดธาตุอาหารอื่น ๆ ซึ่งมีผลต่อสมดุลของประจุภายในเซลล์พืช (Laloknam *et al.*, 2008b) โดยทั่วไปการสร้างสารสำคัญในพืชเกิดขึ้นเมื่อเกิดความเครียด (stress) ทั้งจากสิ่งไม่มีชีวิต (abiotic stress) เช่น แสง อุณหภูมิ หรือสารเคมีต่าง ๆ เป็นต้น และสิ่งมีชีวิต (biotic stress) เช่น ความเค็ม จุลินทรีย์ต่าง ๆ รวมทั้งสารที่สร้างจากพืช (Saffan, 2008) จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญในพริก พบว่าทรีทเมนต์ที่มีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ด้วย ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ภายใต้ความเครียดเค็ม มีปริมาณ Capsaicin, Total phenolic, Total flavonoids และ Anthocyanin ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสภาวะปกติที่ไม่มีเกลือ ในขณะที่ทรีทเมนต์ที่ไม่มีการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์เมื่ออยู่ภายใต้ความเครียดเค็มจะมีปริมาณสารสำคัญลดลงมาก ซึ่งสอดคล้องกับ Falcinelli *et al.* (2017) ที่กล่าวว่าเมื่อพืชเติบโตอยู่ในระดับความเค็มปานกลางประมาณ 25-50 mM NaCl จะส่งผลให้มีปริมาณของ Total phenolic เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการสะสม Total phenolic ภายใต้ความเค็มจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืชอีกด้วย มีรายงานว่า Total flavonoids และ Anthocyanin เพิ่มขึ้นตามการตอบสนองของพืชต่อความเครียดจากเกลืออีกด้วย (Ali & Abbas, 2003 ; Mahajan & Tuteja, 2005) การเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์พริกขี้หนูสวนด้วย ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำให้ต้นพริกขี้หนูสวนมีการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ จากการปลูกในสภาวะที่มีความเค็มสูง ยังคงมีการเจริญเติบโตทางด้านสรีรวิทยาและสรีรวิทยา ทั้งยังทำให้ต้นพืชมีผลผลิต ตลอดจนคุณภาพของผลผลิต เช่น ปริมาณสารสำคัญภายในผล ให้ใกล้เคียงกับการปลูกในสภาวะปกติ อาจเป็นเพราะบทบาทและกลไกการทำงานของ ASA เนื่องจาก ASA ลดการสะสมการสะสม Na^+ ที่เป็นพิษ และมีการสะสม K^+ เพิ่มขึ้น ในปฏิกิริยาชีวเคมีภายในเซลล์ ส่งผลให้พืชยังคงศักยภาพการดูดซึมธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน แคลเซียม โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก และสังกะสี ไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(Ali & Abbas, 2003) ต้นพืชที่ปลูกในสภาวะที่มีความเค็มสูงสามารถยังคงมี WC และปริมาณของ Chl *a* และ Chl *b* ใกล้เคียงกับการปลูกในสภาวะปกติ อีกทั้งยังพบค่า ELR ที่ต่ำที่สุดอีกด้วยเมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่น ซึ่งเป็นผลจากกลไกการออกฤทธิ์ของ ASA ดังที่ได้อธิบายข้างต้น นอกจากนี้ต้นพืชที่ผ่านการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วย ASA เมื่อปลูกในสภาวะปกติหรือสภาวะที่มีความเค็มสูง ต้นพืชยังคงสามารถผลิตหรือให้สารสำคัญในกลุ่ม Capsaicin, Total phenolic, Total flavonoids และ Anthocyanin ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจาก ASA ยังคงทำให้ต้นพืชมีการสังเคราะห์ฮอร์โมนพืช เกิดการสังเคราะห์ด้วยแสง และปรับสมดุลออสโมติกโดยเพิ่มการสะสมตัวถูกละลายต่าง ๆ ให้สูงขึ้น นำมาสู่ปริมาณสารสำคัญของพริกขี้หนูสวนที่เพิ่มสูงขึ้น (Mahajan & Tuteja, 2005)

Table 9 Effect of different seed priming on the content of capsaicin, total phenolic, total flavonoids, and anthocyanin in Thai chili (*C. frutescens*) fruits

Treatments	NaCl concentrations (mM)	Capsaicin (mg/g DW)	Total phenolic (mg GAE/g DW)	Total flavonoids (g QE/g DW)	Anthocyanin (mg/100g DW)
Non-priming	0	54.06±0.37 d	16.72±0.13 e	35.60±0.18 g	8.87±0.03 e
	50	49.23±0.34 e	14.77±0.18 f	26.51±0.33 h	7.16±0.07 f
NaCl 20 mM, 12 h	0	61.45±0.30 a	17.96±0.04 ab	58.22±0.15 bc	11.65±0.02 ab
	50	58.81±0.31 b	17.69±0.05 bcd	56.64±0.28 e	11.58±0.01 bc
CaCl ₂ 10 mM, 24 h	0	61.72±0.31 a	17.89±0.05 abc	58.08±0.28 cd	11.70±0.01 a
	50	58.70±0.50 b	17.65±0.07 cd	56.27±0.22 e	11.53±0.02 c
ASA 0.2 mM, 48 h	0	62.04±0.07 a	17.98±0.05 ab	58.85±0.06 ab	11.70±0.01 a
	50	61.93±0.04 a	18.10±0.04 a	58.90±0.03 a	11.73±0.02 a
GB 25 mM, 24 h	0	61.46±0.38 a	17.61±0.11 cd	57.49±0.21 d	11.67±0.02 ab
	50	57.30±0.45 c	17.46±0.06 d	54.72±0.37 f	11.40±0.01 d
F-test		**	**	**	**
C.V. (%)		8.11	5.04	3.84	4.71

Data presented mean ± S. E. Different alphabets within each column indicated statistically significance according to DMRT. ** indicated significant different at $P \leq 0.01$.

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้พบว่าการแช่เมล็ดพริกขี้หนูสวนในสารละลาย ASA เข้มข้น 0.2 mM เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เป็นวิธีที่เหมาะสมในการเตรียมพร้อมเมล็ดพันธุ์ให้ทนต่อความเค็ม เนื่องจากการศึกษาตั้งแต่ในช่วงระยะการงอกของเมล็ด ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบ ไปจนถึงระยะการเจริญเติบโตทางด้าน การสืบพันธุ์ พบว่าต้นพืชที่ผ่านการเตรียมเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีนี้ เมื่อนำไปปลูกในสภาวะความเครียดจากความเค็ม ต้นพืชมีการเจริญเติบโตและพัฒนาที่คล้ายคลึงกัน

กับต้นพืชที่ปลูกในสภาวะปกติ ผลที่ได้จากการศึกษานี้จึงเป็นอีกหนึ่งวิธีในการแก้ไขปัญหาสำหรับเกษตรกรผู้ปลูกพริกชี้หูสวนในพื้นที่ที่มีปัญหาดินเค็ม อย่างไรก็ตาม ผู้ที่จะนำผลจากงานวิจัยชิ้นนี้ไปต่อยอดหรือประยุกต์ใช้ควรคำนึงถึงสมบัติของดิน ระดับความเค็มของดิน ความบริสุทธิ์ของสารเคมีที่ใช้ สถานที่ปลูก ช่วงเดือนปลูก เพราะปัจจัยเหล่านี้อาจส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกชี้หูสวนมีความแตกต่างกันได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี สำหรับความอนุเคราะห์โรงเรียนปลูกพืชทดลอง และห้องปฏิบัติการสำหรับวิเคราะห์ผลการทดลอง และธนาคารเมล็ดพันธุ์ “รักษาร่วมใจ” อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก สำหรับความอนุเคราะห์เมล็ดพันธุ์พริกที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Ahmet, K., Rauf, S., Ferit, K., Özlem, D., & Ali, R.D. (2012). Alleviation of salt-induced adverse effects in pepper seedlings by seed application of glycine betaine. *Scientia Horticulturae*, 148, 197-205.
- Ali, R.M., & Abbas, H.M. (2003). Response of salt stressed barley seedlings to phenylurea. *Plant, Soil and Environment*, 49, 158-62.
- Aloui, H., Souguir, M., Latique, S., & Hannachi, C. (2014). Germination and growth in control and primed seeds of pepper as affected by salt stress. *Cercetari agronomice în Moldova*, 47(3), 83-95.
- Arfan, M., Habib, A., & Ashraf, M. (2007). Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 164(6), 685-694.
- Arunin, S. (1996). *Saline soil in Thailand*. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- Ayaz, F.A., Kadioglu, A., & Urgut, R.T. (2000). Water stress effects on the content of low molecular weight carbohydrates and phenolic acids in *Ctenanthe setosa*. *Canadian Journal of Plant Science*, 80, 373-378.
- Baskar, R., Shrisakthi, S., Sathyapriya, B., Sathyapriya, R., Nithya, R., & Poongodi, P. (2011). Antioxidant potential of peel extracts of banana varieties (*Musa sapientum*). *Food and Nutrition Sciences*, 2, 1128-1133.



- Bewley, J.D., & Black, M. (1978). *Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination*. Berlin: Springer Verlag.
- Bradford, K.J. (1986). Manipulation of seed water relation via osmotic priming to improve germination under stress condition. *HortScience*, 21, 1105-1112.
- Cachorro, P., Ortiz, A., & Cerda, A. (1994). Implications of Calcium Nutrition on the Response of *Phaseolus vulgaris* L. to Salinity. *Plant Soil*, 159, 205-212.
- Cano, E.A., Bolarin, M.C., Perez-Alfocea, F., & Caro, M. (1991). Effect of NaCl priming on increased salt tolerance in tomato. *Journal of Horticultural Science*, 66, 621-628.
- Chanprasert, W. (1995). Seed technology. Bangkok: Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University. (in Thai)
- Chuamnakthong, S., Nampei, M., & Ueda, A. (2019). Characterization of Na⁺ exclusion mechanism in rice under saline-alkaline stress conditions. *Plant Science*, 287, 110-117.
- Collin, M.D., Liode, M.W., & Paul, W.B. (1995). Improved method for quantifying capsaicinoids in capsicum using high-performance liquid chromatography. *HortScience*, 30(1), 137-139.
- Copeland, L.O., & McDonald, M.B. (1995). *Seed science and technology*. New York : Chapman & Hill.
- Djebar, A., Berrebbah, H., & Djebar, M.R. (2020). Exogenous acetyl salicylic acid (aspirin) effects on stress tolerance during seed germination of *Triticum durum* DESF. *Studia Universitatis Vasile Goldis Seria Stiintele Vietii (Life Sciences Series)*, 30(1), 6-12.
- Duangpatra, P. (1995). *Principles and methods for using chemical fertilizers*. Bangkok: Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University. (in Thai)
- Ellis, R.H., & E.H. Roberts. (1980). Improved equation for the prediction of seed longevity. *Annals of Botany*, 45, 13-30.
- 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.



- Falcinelli, B., Sileoni, V., Marconi, O., Perretti, G., Quinet, M., Lutts, S., & Benincasa, P. (2017). Germination under moderate salinity increases phenolic content and antioxidant activity in rapeseed (*Brassica napus* var *oleifera* Del.) sprouts. *Molecules*, 22, 1377.
- Farooq, M., Basra, S.M.A., Saleem, B.A., Nafees, M., & Chishti, S.A. (2005). Enhancement of tomato seed germination and seedling vigour by osmopriming. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 42(3-4), 36-41.
- Fuleki, T., & Francis, F.J. (1968). Quantitative methods for anthocyanins, extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *Journal of food science*, 33, 72.
- Hadas, A. (1977). Water uptake and germination of leguminous seeds in soils of changing matrix and osmotic water potential. *Journal of Experimental Botany*, 28, 977-985.
- Heydecker, W., & Coolbear, P. (1977). Seed treatments for improved performance-survey and attempted prognosis. *Seed Science and Technology*, 5, 353-425.
- Hydro-Informatics Institute. (2017). *Thailand water situation in 2017*. Bangkok: Hydro-Informatics Institute, Ministry of Science and Technology. (in Thai)
- International Seed Testing Association. (1996). *International rules for seed testing*. Switzerland: Bassersdorf.
- International Seed Testing Association. (2014). *International rules for seed testing*. Switzerland: Bassersdorf.
- Im-erb, A. (1999). Guidelines for improving the chemical quality of soil in Thailand. *Land Development Journal*, 36(372), 24-36. (in Thai)
- Kameswari, P.L., & Manohar, P.D. (2005). Evaluation of chili genotypes for salt tolerance. *Indian Journal of Horticulture*, 62(1), 46-48.
- Khan, H.A., Ayub, C.M., Pervez, M.A., Bilal, R.M., Shahid, M.A., & Ziaf, K. (2009). Effect of seed priming with NaCl on salinity tolerance of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) at seedling stage. *Soil Environment*, 28(1), 81-87.



- Korkmaz, A., Irikçi, S., Kocaçınar, R., Deger, F.O., & Demirkıran, A.R. (2012). Alleviation of salt-induced adverse effects in pepper seedlings by seed application of glycine betaine. *Scientia Horticulturae*, 148, 197-205.
- Kunlanit, B. (2018). *Laboratory manual for the subject of soil fertility and fertilizer*. Mahasarakham: Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University. (in Thai)
- Laloknam, S., Sirisopana, S., Limchoovong, S., Phornphisutthimas, S., Kosiarpa, T., Areeyadej, W., Puangkwan, P., & Nilapai, Y. (2008)a. Betaine, glycerol, and proline enhance seed germination and plant growth of mung bean (*Vigna radiate* L.) under high salinity. In *The 34th Congress on Science and Technology of Thailand*. Thailand: The Science Society of Thailand Under the Patronage of His Majesty the King.
- Laloknam, S., Suksanchananun, C., Phornphi-sutthimas, S., Sirisopana, S., Limchoo-wong, S., & Rai, V. (2008)b. Reduction of salt stress in onion root by glycerol, betaine and proline. In *The 4th Naresuan Research Conference*. Thailand: Naresuan University.
- Land Classification Division and FAO Project Staff. (1973). *Soil interpretation handbook for Thailand*. Bangkok: Department of Land Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- Land Development Department. (2010). *Manual for the process of chemical soil analysis: Methods for analyzing the cation exchange capacity of soil*. Bangkok: Land Development Department. (in Thai)
- Landon, J.R. (1991). *Booker tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. England: Harlow, Essex.
- Mahajan, S., & Tuteja, N. (2005). Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444, 139-58.
- Metropolitan Waterworks Authority. (2019). *Real time water quality monitoring system project*. Bangkok: Metropolitan Waterworks Authority. (in Thai)
- Mir, R.A., & Somasundaram, R. (2021). Salicylic acid and salt stress tolerance in plants: a review. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 17(3), 32-50.



- 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.
- Prapanoppasin, P. (1999). *Studies on Pepper Seed Priming by Hydropriming and Osmo-conditioning*. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Rivas, M., Sundstorm, F.J., & Edwards, R.L. (1984). Germination and crop development of hot pepper after seed priming. *HortScience*, 19, 279-281.
- Royal Irrigation Department. (2016). *Report on surveillance and monitoring of water quality regarding salinity No. 30/2016*. Bangkok: Royal Irrigation Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Saffan, S.E.S. (2008). Effect of salinity and osmotic stresses on some economic plants. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4(2), 159-166.
- Senaratna, T., Touchell, D., Bumm, E., & Sixon, K. (2000). Acetyl salicylic and salicylic acid induced multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regulation*, 30, 157-161.
- Siviritepe, H.O., & Dourado, A.M. (1995). The effect of priming treatments on the viability and accumulation of chromosomal damage in aged pea seeds. *Annual Botany*, 75, 165-171.
- Soil Survey Division Staff. (1993). *Key to soil survey manual*. Washington D.C.: U.S. Department of Agriculture, Printing Office.
- Sonsri, K., Phankamolsil, N., Karuna, S., Thaymuang, W., & Phankamolsil, Y. (2020). Sea level rise influence on soil salinity variability in agricultural areas, Pathum Thani Province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 48(5), 1028-1041. (in Thai)
- Techawongstien, S. (2007). *The potential of chili production for the Thai export industry at present and in the future*. Khon Kaen: Faculty of Agriculture Khon Kaen University. (in Thai)
- U.S. Salinity Laboratory Staff. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils: Handbook No. 60*. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, USA.



Xu, L., Chen, H., Zhang, T., Deng, Y., Yan, J., & Wang, L. (2022). Salicylic acid improves the salt tolerance capacity of *Saponaria officinalis* by modulating its photosynthetic rate, osmoprotectants, antioxidant levels, and ion homeostasis. *Agronomy*, 12(6), 1443.