

ผลของวิธีการให้สารและความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเติบโตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน

Effects of the Application Methods and Concentrations of NaCl on Growth and Antioxidant Activity in Sunflower Sprouts

อินทิรา ขุดแก้ว^{1*} และ เบญจมาศ ทุงเกษม¹

Intira Koodkaew^{1*} and Benjamart Tungkasem¹

บทคัดย่อ: สภาวะเครียดจากความเค็มสามารถเพิ่มปริมาณสารพฤกษเคมีที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพในพืชได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการให้สารและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่อการเติบโตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน การเปรียบเทียบวิธีการฉีดพ่นและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ผลการศึกษาพบว่า การฉีดพ่นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 5, 50, และ 100 มิลลิโมลาร์ ทุกวันวันละ 20 มล. และ 50 มล. ส่งผลให้ต้นอ่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น และไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน ส่วนการเปรียบเทียบระยะเวลาแช่เมล็ดงอกและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ผลการศึกษาพบว่า การแช่เมล็ดงอกในสารละลายความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิโมลาร์ นาน 5 นาที และ 50 มิลลิโมลาร์ นาน 10 นาที ทำให้น้ำหนักสดมีแนวโน้มสูงขึ้นจากชุดควบคุม แต่การแช่เมล็ดงอกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการให้สารละลายโซเดียมคลอไรด์โดยวิธีการฉีดพ่นมีศักยภาพในการเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวันได้ และวิธีการแช่เมล็ดงอกช่วยเพิ่มผลผลิตได้ โดยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นไม่เกิน 100 มิลลิโมลาร์ จัดเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม

คำสำคัญ: ต้นอ่อนงอก, ความเครียดจากความเค็ม, สารประกอบที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ, ผลผลิต

ABSTRACT: Salt stress can improve health-promoting phytochemicals in plants. The objective of this study is to determine the application methods and concentrations of NaCl solution on growth and antioxidant activity in sunflower sprout. Comparison of methods of spraying and concentrations of NaCl solution were investigated. The results showed that spraying NaCl with 20 mL and 50 mL daily at 5, 50 and 100 mM enhanced the antioxidant activity in the sprout without adverse effect on sunflower sprout growth. The comparison of germinated-seed soaking time and the concentration of NaCl solution were also determined. The results showed that germinated-seed soaking in 50 and 100 mM NaCl for 5 and 50 mM for 10 min tended to increase the sprout fresh weight. But soaking in NaCl significantly reduced the antioxidant activity in the sprout. This study indicated that spraying method had potential to increase antioxidant activity and soaking method can improve yield of sunflower sprout. The concentration of NaCl up to 100 mM could be a proper level.

Keywords: sprouts, salt stress, health-promoting compounds, yield

Received August 30, 2018

Accepted November 22, 2018

¹ โครงการจัดตั้งภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

Department of Botany, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng-Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

* Corresponding author: faasirk@ku.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันความนิยมในการบริโภคพืชผักเพื่อสุขภาพมีมากขึ้น เนื่องจากในพืชมีการสร้างสารประกอบทุติยภูมิ (secondary metabolites) หลายชนิด เช่น สารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ วิตามินซี และสารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพ พืชจะมีการสร้างสารประกอบทุติยภูมิเพิ่มขึ้น เมื่อต้องเผชิญกับสภาวะแวดล้อมเครียด (stress) ต่างๆ เพื่อใช้ในการปรับตัวให้ทนต่อสภาวะแวดล้อมเครียดเหล่านั้น (Ramakrishna and Ravishankar, 2011) สภาวะเครียดจากความเค็ม เช่นจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ เป็นสภาวะเครียดหนึ่งที่ส่งผลให้พืชมีการสร้างสารประกอบทุติยภูมิเพิ่มขึ้น (Rouphael et al., 2018) เช่น การเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอล และแคโรทีนอยด์ในต้นอ่อนบักวีต (Lim et al., 2012) การเพิ่มขึ้นของสารประกอบฟีนอล กลูโคซิโนเลต และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนแรดิช (Yuan et al., 2010) และต้นอ่อนบลิคเคอรี่ (Guo et al., 2014) ถึงแม้ว่า โซเดียมคลอไรด์จะสามารถช่วยเพิ่มปริมาณสารประกอบทุติยภูมิในพืชได้ แต่หากใช้ในความเข้มข้นที่ไม่เหมาะสม หรือมากเกินไป จะส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชนั้น เช่น โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 160 มิลลิโมลาร์ ส่งผลให้ความยาวของต้นอ่อนบลิคเคอรี่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Guo et al., 2014) และโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นมากกว่า 50 มิลลิโมลาร์ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของต้นอ่อนบักวีตลดลง (Lim et al., 2012)

ต้นอ่อนทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) ได้รับความนิยมในการบริโภคมากขึ้น เนื่องจากอุดมไปด้วยสารประกอบที่เป็นประโยชน์ อาทิ สารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระ (Pajak et al., 2014) การหาวิธีเพื่อช่วยเพิ่มสารประกอบทุติยภูมิในต้นอ่อนทานตะวัน จะเป็นการช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและมูลค่าของต้นอ่อนทานตะวัน ซึ่งการให้สภาวะเครียดจากโซเดียมคลอไรด์จัดเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากและต้นทุนไม่สูงมาก อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับผลของโซเดียมคลอไรด์ต่อการเติบโตและผลผลิตของต้นอ่อน

ทานตะวัน งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อหาวิธีการให้สารละลายโซเดียมคลอไรด์และความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน รวมถึงผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวัน

วิธีการศึกษา

การวางแผนการทดลอง

การศึกษาแบ่งเป็น 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบผลของวิธีการฉีดพ่นและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่อการเติบโตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน และการทดลองที่ 2 เปรียบเทียบผลของระยะเวลาแช่เมล็ดงอกและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่อการเติบโตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน จัดสิ่งทดลองแบบ 3×5 factorial ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย จำนวน 3 ข้ำ การทดลองที่ 1 ปัจจัย A คือ วิธีการฉีดพ่นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3 วิธี ได้แก่ 1) ฉีดพ่นทุกวัน วันละ 20 มล. 2) ฉีดพ่นทุกวัน วันละ 50 มล. และ 3) ฉีดพ่นครั้งเดียววันที่ 6 ปริมาตร 100 มล. ปัจจัย B คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5 ความเข้มข้น ได้แก่ 0 (ใช้น้ำกลั่นเป็นชุดควบคุม), 5, 50, 100 และ 150 มิลลิโมลาร์ การทดลองที่ 2 ปัจจัย A คือ ระยะเวลาการแช่เมล็ดงอกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3 ระยะเวลา ได้แก่ 5, 10 และ 15 นาที ปัจจัย B คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 5 ความเข้มข้น ได้แก่ 0, 5, 50, 100 และ 150 มิลลิโมลาร์

การเตรียมเมล็ดทานตะวันและวัสดุปลูก

นำเมล็ดทานตะวันมาล้างน้ำเพื่อทำความสะอาด และแช่ในน้ำอุ่น (น้ำร้อน 1 ส่วนผสมกับน้ำเย็น 2 ส่วน) เป็นเวลา 8 ชั่วโมง บ่มเมล็ดโดยการห่อด้วยผ้าขาวบางชุบน้ำ 2 ชั้น ใส่ไว้ในภาชนะปิดสนิทเป็นเวลา 12 ชั่วโมง รากจะเริ่มงอกออกจากเมล็ด เตรียมตะกร้าพลาสติกสำหรับเพาะต้นอ่อนทานตะวัน ขนาด 19.5×21.0×6.0 ซม. ใส่วัสดุปลูก (ดินสำเร็จรูปผสมขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1) หนาประมาณ 2.5–3.0 ซม.

การปลูกต้นอ่อนทานตะวันและการให้สารละลายโซเดียมคลอไรด์

การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบวิธีการฉีดพ่นและความเข้มข้น นำเมล็ดทานตะวันที่เตรียมไว้มา 40 กรัม (ประมาณ 300 เมล็ด) ต่อ 1 ซ้ำการทดลอง โรยบนตะแกรงเพาะที่เตรียมไว้ให้สม่ำเสมอ โรยวัสดุปลูกปิดทับเมล็ดให้หนาประมาณ 0.5–1.0 ซม. กำหนดให้ 1 ตะแกรงเท่ากับ 1 ซ้ำการทดลอง รดน้ำโดยใช้กระบอกฉีดน้ำแบบสเปรย์ให้ทั่วตะแกรง หุ้มด้วยพลาสติกสีดำ เป็นเวลา 3 วัน จากนั้น นำต้นอ่อนทานตะวันไปวางไว้ใต้แสงไฟจากหลอดไฟ fluorescent เป็นเวลา 4 วัน รดน้ำทุกวัน วันละ 100 มล. เมื่อต้นอ่อนทานตะวันอายุ 1 วัน ฉีดพ่นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตามวิธีการฉีดพ่นที่ 1) และ 2) คือ ฉีดพ่นทุกวัน ในช่วงเช้า วันละ 20 และ 50 มล. ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 5 วัน วิธีการที่ 3) เมื่อต้นอ่อนอายุ 6 วัน ฉีดพ่นชุดทดลองปริมาณ 100 มล. ในช่วงเช้า หลังจากฉีดพ่นสารละลายในครั้งสุดท้าย 24 ชั่วโมง ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต

การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบระยะเวลาการแช่เมล็ดงอกและความเข้มข้น นำเมล็ดทานตะวันที่เตรียมไว้ไปแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที เมื่อครบกำหนดเวลา นำเมล็ดทานตะวัน 40 กรัม ต่อ 1 ซ้ำการทดลอง โรยบนตะแกรงเพาะที่เตรียมไว้ให้สม่ำเสมอ โรยวัสดุปลูกปิดทับเมล็ดให้หนาประมาณ 0.5–1.0 ซม. กำหนดให้ 1 ตะแกรงเท่ากับ 1 ซ้ำการทดลอง รดน้ำโดยใช้กระบอกฉีดน้ำแบบสเปรย์ให้ทั่วตะแกรง หุ้มด้วยพลาสติกสีดำ เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำต้นอ่อนทานตะวันไปวางไว้ใต้แสงไฟจากหลอดไฟ fluorescent เป็นเวลา 4 วัน รดน้ำทุกวันปริมาณวันละ 150 มล. เมื่อต้นอ่อนอายุ 7 วัน ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต

การวัดการเติบโตและผลผลิต

สุ่มต้นอ่อน 30 ต้น ต่อ 1 ซ้ำการทดลอง มาวัดความยาวของต้น โดยใช้ไม้บรรทัด และสุ่มต้นอ่อน 100 ต้น ต่อ 1 ซ้ำการทดลอง มาชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง โดยใช้เครื่องชั่ง

การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) scavenging

ดัดแปลงจากวิธีการของ Brand-Williams et al. (1995) ต้นอ่อนทานตะวัน 1 กรัม สกัดด้วยเมทานอลความเข้มข้น 80 % ปริมาตร 10 มล. และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที นำสารละลายใส่ส่วนบนปริมาตร 200 ไมโครลิตร เติมนเมทานอล 1.3 มล. และสารละลาย DPPH ความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 500 ไมโครลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรด้วยเครื่อง spectrophotometer (UV1800, Shimadzu, Japan) นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระ จากสมการ radical scavenging (%) = $[(A_0 - A_1)/A_0] \times 100$ เมื่อ A_0 คือค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของชุดควบคุม และ A_1 คือค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารละลายตัวอย่าง ผสมกับ DPPH

การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองด้วยวิธี Analysis of variance ตามแผนการทดลอง และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของชุดทดลองด้วยวิธี Least significant difference ที่ระดับ $P < 0.05$ ด้วยโปรแกรม R-stat เวอร์ชัน 3.3.3

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลของวิธีการฉีดพ่นและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่อการเติบโตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน

การศึกษาวิธีการฉีดพ่นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 50, 100 และ 150 มิลลิโมลาร์ 3 วิธี ได้แก่ 1) ฉีดพ่นทุกวัน วันละ 20 มล. 2) ฉีดพ่นทุกวัน วันละ 50 มล. และ 3) ฉีดพ่นวันที่ 6 ปริมาตร 100 มล. พบว่าวิธีการฉีดพ่นและความเข้มข้นมีผลต่อการเติบโตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน (Table 1) การฉีดพ่นวิธีที่ 3) ส่งผลให้ความยาวต้นและน้ำหนักสดของต้นอ่อนทานตะวันมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือวิธีที่ 1) และ 2) ตามลำดับ ในทางกลับกัน การฉีดพ่นวิธีที่ 2) ส่งผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวันสูงที่สุด รองลงมาคือวิธีที่ 1) และ 3) ตามลำดับ (Table 2) ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์

พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ทำให้ความยาวต้นและน้ำหนักสดลดลง โดยความเข้มข้น 100–150 มิลลิโมลาร์ และ 50–150 มิลลิโมลาร์ ส่งผลให้ความยาวต้นและน้ำหนักสดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นส่งผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีการฉีดพ่นและความเข้มข้น พบว่าการฉีดพ่นทุก

วัน วันละ 20 และ 50 มล. ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ ส่งผลให้ความยาวต้น และน้ำหนักสดน้อยกว่าชุดการทดลองอื่นๆ แต่การฉีดพ่นหนึ่งครั้งทุกความเข้มข้นทำให้น้ำหนักสดไม่แตกต่างจากชุดควบคุม การฉีดพ่นทั้ง 3 วิธี เมื่อเพิ่มความเข้มข้น ส่งผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงในชุดทดลองที่ฉีดพ่นทุกวัน 20 มล. ความเข้มข้น 100–150 มิลลิโมลาร์ และชุดทดลองที่ฉีดพ่นทุกวัน 50 มล. ความเข้มข้น 5–150 มิลลิโมลาร์ (Table 4)

Table 1 Analysis of variance and mean square values for stem length, fresh weight, dry weight and antioxidant activity of sunflower sprout exposed to different application methods and concentrations of NaCl solution

Source of variation	df	Stem length	Fresh weight	Dry weight	Antioxidant activity
Method (M)	2	17.832***	180.47***	0.040	2029.2***
Concentration (C)	4	2.777**	83.48**	0.007	504.1***
M × C	8	3.533**	26.94*	0.022*	78.4**
Error	30	0.888	20.33	0.030	28.2
CV (%)		7.76	7.06	4.39	6.70

*, **, *** significant difference at $P < 0.05$, 0.01 , 0.001 respectively.

Table 2 Effects of application methods of NaCl by spraying on sunflower sprout growth and antioxidant activity

Method	Stem length (cm)	Fresh weight (g/100 plants)	Dry weight (g/100 plants)	Antioxidant activity (%)
20 mL Daily	11.93±0.31 ^b	63.85±1.52 ^b	3.96±0.04	83.25±2.15 ^b
50 mL Daily	11.16±0.26 ^c	60.38±1.44 ^c	3.95±0.05	88.40±2.06 ^a
100 mL Day 6	13.31±0.39 ^a	67.32±1.07 ^a	3.87±0.04	65.84±2.79 ^c

Data are expressed as mean ± SE (n = 15) and the different superscript letters in the same column are significantly different, $P < 0.05$.

Table 3 Effects of concentrations of NaCl by spraying on sunflower sprout growth and antioxidant activity

Concentration (mM)	Stem length (cm)	Fresh weight (g/100 plants)	Dry weight (g/100 plants)	Antioxidant activity (%)
0	12.86±0.51 ^a	67.98±1.84 ^a	3.97±0.07	68.81±3.93 ^c
5	12.50±0.17 ^{ab}	66.05±1.21 ^{ab}	3.90±0.06	76.42±4.36 ^b
50	12.08±0.86 ^{a-c}	62.64±1.63 ^{bc}	3.94±0.02	77.98±4.95 ^b
100	11.72±0.33 ^{bc}	61.83±1.85 ^{bc}	3.92±0.04	84.58±4.04 ^a
150	11.50±0.35 ^c	60.74±2.36 ^c	3.93±0.07	88.03±1.88 ^a

Data are expressed as mean ± SE (n = 9) and the different superscript letters in the same column are significantly different, $P < 0.05$.

Table 4 Effects of NaCl in different application methods and concentrations by spraying on sunflower sprout growth and antioxidant activity

Method	Concentration (mM)	Stem length (cm)	Fresh weight (g/100 plants)	Dry weight (g/100 plants)	Antioxidant activity (%)
20 mL Daily	0	12.56±0.38 ^{bc}	71.76±2.42 ^a	4.14±0.08 ^a	76.99±0.58 ^{de}
	5	12.69±0.32 ^{bc}	65.16±0.85 ^{a-c}	4.00±0.09 ^{ab}	77.47±3.49 ^{de}
	50	11.57±0.26 ^{cd}	64.62±0.08 ^{a-c}	3.91±0.10 ^{ab}	80.46±6.84 ^{cd}
	100	12.11±0.34 ^{cd}	60.88±2.29 ^{b-d}	3.91±0.11 ^{ab}	92.40±0.73 ^a
	150	10.74±0.30 ^{de}	56.84±2.78 ^d	3.86±0.03 ^{ab}	88.94±1.79 ^{a-c}
50 mL Daily	0	11.91±0.32 ^{cd}	61.53±1.35 ^{b-d}	3.92±0.15 ^{ab}	74.74±5.00 ^{de}
	5	12.18±0.41 ^{cd}	65.20±3.10 ^{a-c}	3.94±0.12 ^{ab}	89.89±1.90 ^{ab}
	50	11.25±0.42 ^{cd}	59.93±1.87 ^{cd}	3.95±0.04 ^{ab}	92.28±0.19 ^a
	100	10.89±0.26 ^{de}	57.07±2.06 ^d	3.96±0.02 ^{ab}	92.38±0.18 ^a
	150	9.56±0.35 ^e	58.17±5.72 ^{cd}	3.97±0.19 ^{ab}	92.71±0.25 ^a
100 mL Day 6	0	14.11±1.13 ^{ab}	70.65±1.14 ^a	3.85±0.11 ^b	54.70±2.99 ^g
	5	12.63±0.25 ^{bc}	67.78±2.24 ^{ab}	3.77±0.05 ^b	61.89±3.97 ^{fg}
	50	15.12±1.47 ^a	65.15±4.35 ^{a-c}	3.93±0.12 ^{ab}	61.18±0.51 ^{fg}
	100	12.17±0.26 ^{cd}	67.55±1.82 ^{ab}	3.89±0.09 ^{ab}	68.97±3.46 ^{ef}
	150	12.51±0.29 ^c	65.45±1.26 ^{a-c}	3.90±0.05 ^{ab}	82.43±3.49 ^{b-d}

Data are expressed as mean ± SE (n = 3) and the different superscript letters in the same column are significantly different, P < 0.05.

ผลการทดลองจะเห็นว่าวิธีการฉีดพ่นทุกวัน ที่ความเข้มข้นสูง ส่งผลให้การเติบโตและผลผลิตของต้นอ่อนลดลงมากกว่าการฉีดพ่นครั้งเดียว การฉีดพ่นทุกวันและสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงอาจทำให้มีการสะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในวัสดุปลูกมากกว่าการฉีดพ่นครั้งเดียว จึงมีผลทำให้ค่า water potential ของน้ำในดินต่ำกว่าต้นพืช ทำให้พืชดูดน้ำและสารอาหารไปใช้ได้น้อยลง การเจริญเติบโตของพืชจึงลดลงตามไปด้วย (Zhu et al., 1997) นอกจากนี้ ความเค็มทำให้เกิดความไม่สมดุลของน้ำระหว่าง apoplast และ symplast ทำให้แรงดันเต่งลดลง ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง (Bohnert and Jensen, 1996) อย่างไรก็ตาม การฉีดพ่นทุกวันและความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สูงขึ้นส่งผลให้ต้นอ่อนทนทานต่อวันมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูง เนื่องจากเมื่อพืชได้รับสภาวะเครียดจากเกลือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีการสร้างสารประกอบที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการปรับตัวให้ทนต่อสภาวะเครียดนี้ (Soussi et al., 1998) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lim et al. (2012) ศึกษา

การให้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยการฉีดพ่นทุกวันวันละ 100 มล. แก่ต้นอ่อนบักวีต พบว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 10–100 มิลลิโมลาร์ ทำให้ฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงขึ้น แต่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นมากกว่า 50 มิลลิโมลาร์ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโตของต้นอ่อนบักวีตลดลง และการฉีดพ่นสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 160 มิลลิโมลาร์ทุก 12 ชั่วโมงนาน 4 วัน แก่ต้นอ่อนบักวีตเคอร์รี่ ส่งผลให้ความยาวของต้นอ่อนบักวีตเคอร์รี่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Guo et al., 2014)

การศึกษานี้จะเห็นว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนสูงขึ้น วิธีการฉีดพ่นทุกวัน วันละ 20 และ 50 มล. ที่ความเข้มข้น 5, 50 และ 100 มิลลิโมลาร์ จัดเป็นวิธีการและความเข้มข้นที่เหมาะสม เนื่องจากทำให้ต้นอ่อนมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูง และไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลของระยะเวลาแช่เมล็ดงอกและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่อการเติบโตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน

การศึกษาระยะเวลาแช่เมล็ดงอกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 5, 50, 100 และ 150 มิลลิโมลาร์ 3 ระยะเวลาดังกล่าว 5, 10 และ 15 นาที พบว่ามีผลต่อการเติบโตและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน (Table 5) การแช่เมล็ดนาน 5 นาที ส่งผลให้น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวันมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือระยะเวลาแช่เมล็ด 10 และ 15 นาที ตามลำดับ (Table 6) ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ พบว่าไม่มีผลต่อความยาวต้นและน้ำหนักแห้ง แต่ที่ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ ทำให้น้ำหนักสดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ขณะที่ความเข้มข้นอื่นไม่แตกต่างทางสถิติกับชุดควบคุม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลงในทุกความเข้มข้น เมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Table 7) การแช่เมล็ดงอกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ระยะเวลานาน และความเข้มข้นที่สูงขึ้น ทำให้น้ำหนักสดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง อาจเนื่องมาจากการแช่เมล็ดงอก

ในสารละลายเกลือเป็นระยะเวลานาน มีการสะสมของโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณสูง ส่งผลให้เกิดสภาวะเครียดจากความเค็ม ส่งผลต่อการดูดน้ำของเมล็ดที่จะใช้ในการงอก เกิดความไม่สมดุลของไอออนต่างๆ จนเป็นพิษต่อต้นอ่อน (Rasool et al., 2013) จึงส่งผลให้การเติบโตลดลง และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวันลดลงตามไปด้วย

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาแช่เมล็ดและความเข้มข้น พบว่าการแช่เมล็ดนาน 5 นาที ความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิโมลาร์ และ 10 นาที ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ทำให้น้ำหนักสดมีแนวโน้มสูงขึ้นจากชุดควบคุม (เพิ่มขึ้น 6.72, 3.19 และ 8.51 % ตามลำดับ) และการแช่เมล็ดทั้ง 3 ระยะเวลาดังกล่าว ความเข้มข้น ส่งผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลง (Table 8) ซึ่งสอดคล้องกับ Yuan et al. (2010) ทำการทดลองโดยปลูกต้นอ่อนแรดิชในอาหารร่วนที่เติมโซเดียมคลอไรด์ พบว่าน้ำหนักสดของต้นอ่อนเพิ่มขึ้นในอาหารที่เติมโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10 และ 50 มิลลิโมลาร์ แต่ความเข้มข้นดังกล่าวส่งผลให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีแนวโน้มลดลงจากชุดควบคุม

Table 5 Analysis of variance and mean square values for stem length, fresh weight, dry weight and antioxidant activity of sunflower sprout exposed to different soaking times and concentrations of NaCl solution

Source of variation	df	Stem length	Fresh weight	Dry weight	Antioxidant activity
Time (T)	2	0.3013	105.65**	0.3951***	1967***
Concentration (C)	4	0.5662	96.76***	0.0515	80.6***
T × C	8	1.0198*	21.37*	0.0756*	32**
Error	30	0.6808	20.14	0.0497	11.5
CV (%)		4.92	5.76	5.96	22.4

*, **, *** significant difference at P < 0.05, 0.01, 0.001 respectively.

Table 6 Effects of soaking time on sunflower sprout growth and antioxidant activity.

Time (min)	Stem length (cm)	Fresh weight (g/100 plants)	Dry weight (g/100 plants)	Antioxidant activity (%)
5	16.88±0.19	79.42±1.28 ^a	3.91±0.08 ^a	25.30±1.50 ^a
10	16.80±0.24	79.41±1.44 ^a	3.72±0.04 ^b	17.96±1.24 ^b
15	16.56±0.20	74.82±1.35 ^b	3.59±0.05 ^b	2.71±0.79 ^c

Data are expressed as mean ± SE (n = 15) and the different superscript letters in the same column are significantly different, P < 0.05.

Table 7 Effects of NaCl concentrations by soaking on sunflower sprout growth and antioxidant activity

Concentration (mM)	Stem length (cm)	Fresh weight (g/100 plants)	Dry weight (g/100 plants)	Antioxidant activity (%)
0	16.96±0.20	78.85±1.17 ^{ab}	3.71±0.06	19.75±4.10 ^a
5	16.56±0.25	77.90±1.09 ^b	3.76±0.05	14.61±3.39 ^{bc}
50	16.55±0.13	82.38±2.23 ^a	3.73±0.12	14.34±3.59 ^{bc}
100	16.93±0.45	77.02±2.23 ^{bc}	3.86±0.13	15.29±3.24 ^b
150	16.75±0.26	73.29±1.09 ^c	3.66±0.06	11.45±3.36 ^c

Data are expressed as mean ± SE (n = 9) and the different superscript letters in the same column are significantly different, P < 0.05.

Table 8 Effects of NaCl in different soaking times and concentrations by soaking on sunflower sprout growth and antioxidant activity

Time (min)	Concentration (mM)	Stem length (cm)	Fresh weight (g/100 plants)	Dry weight (g/100 plants)	Antioxidant activity (%)
5	0	17.02±0.47 ^{ab}	79.42±3.41 ^{a-d}	3.72±0.15 ^{b-d}	33.51±5.01 ^a
	5	16.88±0.50 ^{ab}	78.07±1.49 ^{b-d}	3.87±0.11 ^{a-c}	24.91±0.77 ^b
	50	16.83±0.49 ^{ab}	84.76±1.59 ^{ab}	4.06±0.04 ^{ab}	24.76±0.31 ^b
	100	17.52±0.36 ^a	81.95±1.10 ^{a-c}	4.19±0.29 ^a	20.33±0.74 ^{b-d}
	150	16.34±0.42 ^{ab}	72.92±0.69 ^{de}	3.73±0.08 ^{b-d}	22.98±1.72 ^{bc}
10	0	17.50±0.44 ^a	78.99±1.22 ^{a-d}	3.73±0.03 ^{b-d}	18.63±0.79 ^{cd}
	5	16.35±0.41 ^{ab}	78.91±0.88 ^{a-d}	3.64±0.06 ^{cd}	16.86±1.52 ^{de}
	50	16.55±0.53 ^{ab}	85.71±5.70 ^a	3.72±0.20 ^{b-d}	16.80±3.65 ^{de}
	100	15.94±0.47 ^b	78.73±1.36 ^{a-d}	3.80±0.11 ^{bc}	22.66±2.02 ^{bc}
	150	17.50±0.38 ^a	74.72±2.10 ^{c-e}	3.73±0.04 ^{b-d}	11.37±0.48 ^{ef}
15	0	16.71±0.50 ^{ab}	78.12±1.65 ^{b-d}	3.67±0.12 ^{cd}	7.12±1.00 ^{fg}
	5	16.1±0.58 ^b	76.72±3.18 ^{c-e}	3.78±0.09 ^{bc}	2.07±1.04 ^{gh}
	50	16.38±0.66 ^{ab}	76.66±0.13 ^{c-e}	3.40±0.13 ^d	1.46±0.98 ^h
	100	17.32±0.41 ^a	70.39±4.59 ^e	3.59±0.03 ^{cd}	2.89±2.10 ^{gh}
	150	16.62±0.38 ^{ab}	72.22±2.76 ^{de}	3.52±0.14 ^{cd}	1.44±0.78 ^h

Data are expressed as mean ± SE (n = 3) and the different superscript letters in the same column are significantly different, P < 0.05.

ผลการทดลองที่ 2 จะเห็นว่า การแช่เมล็ดงอก ที่ผ่านการบ่มแล้วไม่สามารถช่วยเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวันได้ แต่การแช่เมล็ดงอกในความเข้มข้นและเวลาที่เหมาะสม ได้แก่ การแช่เมล็ดในความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิโมลาร์ นาน 5 นาที และความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 10 นาที สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตได้

สรุป

วิธีการฉีดพ่นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ทุกวัน วันละ 20 และ 50 มล. ความเข้มข้น 5, 50 และ 100 มิลลิโมลาร์ เพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนทานตะวันได้ โดยไม่มีผลกระทบหรือมีผลกระทบน้อยต่อผลผลิต วิธีการแช่เมล็ดงอกในสารละลายโซเดียม

คลอไรด์ความเข้มข้น 50 และ 100 มิลลิโมลาร์ นาน 5 นาที และความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ นาน 10 นาที ช่วยเพิ่มน้ำหนักสดของต้นอ่อนทานตะวันได้ แต่การแช่เมล็ดงอกไม่สามารถเพิ่มฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในต้นอ่อนได้

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KURDI) ที่มอบทุนสนับสนุนในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Bohnert, H.J., and R.G. Jensen. 1996. Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. *Trends Biotechnol.* 14: 89–97.
- Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier, and C. Berset. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT Food Sci. Technol.* 28: 25–30.
- Guo, L., R. Yang, Z. Wang, Q. Guo, and Z. Gu. 2014. Effect of NaCl stress on health-promoting compounds and antioxidant activity in the sprouts of three broccoli cultivars. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 65: 476–481.
- Lim, J-H., K-J. Park, B-K. Kim, J-W. Jeong, and H-J. Kim. 2012. Effect of salinity stress on phenolic compounds and carotenoids in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) sprout. *Food Chem.* 135: 1065–1070.
- Pajak, P., R. Socha, D. Galkowska, J. Roznowski, and T. Fortuna. 2014. Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chem.* 143: 300–306.
- Ramakrishna, A., and G.A. Ravishankar. 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signal. Behav.* 6: 1720–1731.
- Rasool, S., A. Hameed, M.M. Azooz, T.O. Siddiqi, and P. Ahmad. 2013. Salt stress: causes, types and response of plants. P. 1–24. In: Ahmad, P., M.M. Azooz, and M.N.V. Prasad. *Ecophysiology and Response of Plant under Salt Stress*. Springer, New York.
- Rouphael, Y., S.A. Petropoulos, M. Cardarelli, and G. Colla. 2018. Salinity as eustressor for enhancing quality of vegetables. *Sci. Hortic.* 234: 361–369.
- Soussi, M., A. Ocana, and C. Lluch. 1998. Effect of salt stress on growth, photosynthesis and nitrogen fixation in chick-pea (*Cicer arietinum* L.). *J. Exp. Bot.* 325: 1329–1337.
- Yuan, G., X. Wang, R. Guo, and Q. Wang. 2010. Effect of salt stress on phenolic compounds, glucosinolates, myrosinase and antioxidant activity in radish sprouts. *Food Chem.* 121: 1014–1019.
- Zhu, J.K., P.M. Hasegawa, R.A. Bressan, and H.J. Bohnert. 1997. Molecular aspects of osmotic stress in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 16: 253–277.