สารประกอบซีลีเนียมต่อการงอกและสารพฤกษเคมีของต้นกล้าผักบุ้งจีน

Selenium Compound on Germination and Phytochemical in Kangkong Seedling

ปิยะพงษ์ แสนโคตร[1] อินทิรา ขูดแก้ว[1] ศุภชัย อำคา[2] และพรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง[1*]

Piyaphong Seankhot[1], Intira KoodKaew[1], Suphachai Amkha[2] and Pornpairin Rungcharoenthong[1*]

Received: May 11, 2024

Revised: June 13, 2024

Accepted: June 19, 2024

Abstract: Selenium is an essential mineral for human health. There is an antioxidant capacity to promote the immune system, reduce the risk of disease, and prevent heart disease and stroke. Therefore, the objective was to study the type and concentration of selenium on germination, growth, phytochemicals, and selenium accumulation in kangkong seedlings. The experiment was a completely randomized design in a 2x5 factorial in CRD, consisting of 2 factors, 4 replicates, with factor 1 (Se) being the type of selenium, sodium selenite, and sodium selenate, factor 2 (C) was the selenium concentration at 0, 5, 10, 15, and 30 mg/L. Data on germination, growth, phytochemicals, and selenium accumulation in kangkong seedlings were recorded. The results of the experiment found that application of sodium selenite at a concentration of 10 mg/L resulted in an increase in germination index, dry weight, and pigment content higher than the control. Meanwhile, a sodium selenate concentration of 15-30 mg/L had a negative effect on germination index and growth. But there was also an increase in antioxidant capacity, phenolic compounds, and selenium accumulation compared to the control.

Keywords: sodium selenite, sodium selenite, antioxidant, phenolic compound, selenium accumulation

บทคัดย่อ: ซีลีเนียมเป็นธาตุที่จำเป็นสำหรับสุขภาพมนุษย์ มีบทบาทเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกัน ลดความเสี่ยงของการติดเชื้อ ป้องกันโรคหัวใจและหลอดเลือด ดังนั้นจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและความเข้มข้นของซีลีเนียมต่อการงอก การเจริญเติบโต สารพฤกษเคมี และการสะสมซีลีเนียมในต้นกล้าผักบุ้ง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์จัดสิ่งทดลองแบบ 2x5 Factorial ประกอบด้วย 2 ปัจจัย จำนวน 4 ซ้ำ โดยปัจจัยที่ 1 (Se) คือ ชนิดของซีลีเนียม ได้แก่ โซเดียมซีลีไนต์และโซเดียมซีลีเนต ปัจจัยที่ 2 (C) คือ ซีลีเนียมที่ความเข้มข้น 0 5 10 15 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร บันทึกข้อมูล การงอก การเจริญเติบโต สารพฤกษเคมี และการสะสมซีลีเนียมในต้นกล้าผักบุ้ง ผลการทดลองพบว่า การให้โซเดียมซีลีไนต์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งเสริมดัชนีการงอก น้ำหนักแห้ง และปริมาณรงควัตถุเพิ่มขึ้นมากกว่าชุดควบคุม ในขณะที่การให้โซเดียมซีลีเนตความเข้มข้น 15-30 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลเชิงลบต่อดัชนีการงอกและการเจริญเติบโต แต่มีผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอล และการสะสมซีลีเนียมเพิ่มขึ้นมากกว่าชุดควบคุม

คำสำคัญ: โซเดียมซีลีไนต์, โซเดียมซีลีเนต, สารต้านอนุมูลอิสระ, สารประกอบฟีนอล, การสะสมซีลีเนียม

1 สาขาพฤกษนวัตกรรม ภาควิชาวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมชีวภาพ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

[1] Innovative Botany, Department of Science and Bioinnovation, Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73410

[2] ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตร กำแพงแสน. วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

[2] Department of soil science, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, 73140

*Corresponding author: faasprr@ku.ac.th

คำนำ

ซีลีเนียมเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อมนุษย์ ช่วยรักษาสมดุลการทำงานของร่างกาย การทำงานของกล้ามเนื้อ ระบบการสืบพันธุ์ หลอดเลือดหัวใจต่อมไร้ท่อ และระบบประสาท อีกทั้งมีบทบาทในการป้องกันมะเร็ง และการเสื่อมของระบบประสาท (Hadrup and Ravn-Haren, 2021) โดยร่างกายควรได้รับซีลีเนียมปริมาณ 55-400 ไมโครกรัมต่อวัน และประเทศไทยแนะนำที่ 70 ไมโครกรัมต่อวัน (กระทรวงสาธารณะสุข, 2541) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานพบว่าผู้ป่วยภาวะวิกฤตมีระดับซีลีเนียมในซีรัมจากเลือดมีค่าต่ำกว่า 68 ไมโครกรัมต่อลิตร และมีค่าต่ำกว่าระดับมาตรฐาน 106.95 ไมโครกรัมต่อลิตร (Singhatas *et al*., 2017) ขณะที่ Akbaraly *et al*. (2007) รายงานปริมาณซีลีเนียมในเลือดของผู้สูงอายุจะลดลงต่ำตามอายุที่เพิ่มขึ้น และอาจส่งผลต่อการทำงานของระบบประสาทลดลง ดังนั้นการบริโภคอาหารที่อุดมไปด้วยซีลีเนียมน่าจะเป็นทางเลือกในการลดความเจ็บป่วยและมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น (Lanza and Reis, 2021) ซึ่งสอดคล้องกับ Huang *et al*. (2023) รายงานว่าการให้ซีลีเนียมทางใบส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดหัวเพิ่มขึ้น 125 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตเพิ่ม 41 เปอร์เซ็นต์ และการสะสมของซีลีเนียมเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณวิตามินซีและปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ลดลง เช่นเดียวกับ Tian *et al*. (2016) รายงานการให้ซีลีเนียมในรูปของซีลีไนต์ และซีลีเนตที่ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลต่อลิตร ในต้นอ่อนบรอกโคลี พบว่ากระตุ้นการสร้างไมโรซิเนส แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์เพิ่มสูงขึ้น แต่ปริมาณฟีนอลทั้งหมดลดลง อย่างไรก็ตามการให้ซีลีเนียมที่ความเข้มข้นต่ำส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโตของต้นของพริก (León-Morales *et al*., 2019) ในขณะที่การให้ซีลีเนียมที่ความเข้มข้นสูงมีผลต่อการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของมัสตาร์ด และ Arabidopsis thaliana (El Mehdawi *et al*., 2011; Prins *et al*., 2011) แสดงให้เห็นว่าการเสริมซีลีเนียมมีบทบาทต่อการงอก การเจริญเติบโต สารพฤกษเคมี และการสะสมซีลีเนียม อย่างไรก็ตาม ธรรมชาติพืชผักผลไม้มีการสะสมซีลีเนียม 0.6-1.2 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม มีปริมาณน้อยกว่าอาหารทะเลและธัญพืชที่ 30-120 และ 20-80 ไมโครกรัมซีลีเนียมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ (Rayman, 2012) ดังนั้นการที่คนไทยจะได้รับซีลีเนียมในระดับ 55-400 ไมโครกรัมต่อวัน เพื่อป้องกันและรักษาโรค ควรจะต้องมีการแนะนำโภชนาการอย่างถูกต้อง การศึกษาการเสริมซีลีเนียมในพืชผักยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากมีข้อจำกัดในการใช้ซีลีเนียมทั้งรูปและความเข้มข้นที่เหมาะสมในแต่ละพืช ซีลีเนียมที่นำมาใช้อยู่รูปอนินทรีย์ คือ โซเดียมซีลีไนต์และโซเดียมซีลีเนต และเมื่อพืชดูดซึมสามารถเปลี่ยนเป็นอินทรีย์ ในรูปซีลีโนเมทไทโอนีนและซีลีเนียมเมททินซีลีโนซีสเตอีน (Maneetong, *et al*., 2013) ขณะเดียวกันยังขาดแคลนข้อมูลการศึกษาการเสริมซีลีเนียมในผักบุ้ง ซึ่งเป็นพืชที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และเป็นที่นิยมในประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียง ซึ่งประเมินจากปริมาณความต้องการเมล็ดพันธุ์ที่เพิ่มขึ้นจากข้อมูลปี 2561 และ 2565 ในปริมาณ 1,632 และ 2,296 ตัน, ตามลำดับ (สมาคมการค้าเมล็ดพันธุ์ไทย, 2566) แสดงให้เห็นว่าเป็นพืชผักที่ศักยภาพทางเศรษฐกิจในอนาคต เพื่อสอดรับกับประชากรผู้สูงอายุที่เพิ่มขึ้นมีความต้องการอาหารสุขภาพเชิงหน้าที่มากขึ้น ดังนั้นจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและความเข้มข้นของซีลีเนียมที่เหมาะสมต่อการงอก การเจริญเติบโต สารพฤกษเคมีและการสะสมซีลีเนียมในต้นกล้าผักบุ้งจีน

อุปกรณ์และวิธีการ

ศึกษาผลของซีลีเนียมต่อการงอก การเจริญเติบโต สารพฤกษเคมี และการสะสมซีลีเนียมในต้นกล้าผักบุ้งจีนพันธุ์ ยอดไผ่ 9 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จัดสิ่งทดลองแบบ 2x5 Factorial ประกอบด้วย 2 ปัจจัย จำนวน 4 ซ้ำ โดยปัจจัยที่ 1 (Se) คือ ชนิดของซีลีเนียม ได้แก่ โซเดียมซีลีไนต์ (Na_2SeO_3) และโซเดียมซีลีเนต (Na_2SeO_4) ปัจจัยที่ 2 (C) คือ ความเข้มข้นของสารละลายซีลีเนียมที่ระดับ 0 5 10 15 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยนำเมล็ดผักบุ้งจีน จำนวน 200 เมล็ดต่อชุดการทดลองแช่ในสายละลายโซเดียมซีลีไนต์ และโซเดียมซีลีเนต

ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดมาเพาะในทรายเป็นเวลา 10 วัน บันทึกข้อมูลดังนี้

1 ดัชนีการงอก (Germination Index, GI) โดยนับต้นกล้าปกติที่มีระบบยอดและรากสมบูรณ์ทุกวันจนครบ 10 วัน (ISTA, 2016)

2 ค่าความงอกมาตรฐาน (Germination percentage) โดยนับต้นกล้าปกติจะประเมินความงอกครั้งแรก ที่อายุ 4 วันและประเมินความงอกครั้งสุดท้าย ที่อายุ 10 วัน (ISTA, 2016)

3 ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ (Arnon, 1949; Barnes *et al*., 1992) โดยสุ่มเก็บตัวอย่างส่วนเหนือดิน หั่นตัวอย่างเป็นชิ้นเล็ก ๆ ชั่งน้ำหนัก 0.5 กรัม แช่ในสารละลาย Dimethylsulfoxide (DMSO) ความเข้มข้น 99.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร บ่มในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer (Shimatsu รุ่น UV 1800) ที่ความยาวคลื่น 440 645 และ 663 นาโนเมตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณตามสูตร

Chlorophyll a (mg/g FW) = $12.7A_{663}$ - $2.69A_{645}$ x (V/(1000xW))

Chlorophyll b (mg/g FW) = $22.9\ A_{645}$ - $4.68\ A_{663}$ x (V/(1000xW))

Total Chlorophyll (mg/g FW) = $20.2\ A_{645}$ + $8.02\ A_{663}$ x (V/ (1000xW))

Carotenoid (mg/g FW) = ((4.69A440) - [$0.268(20.2\ A_{645} + 8.02\ A_{663})$]) x (V/ (1000xW))

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสง V = ปริมาตรสุดท้าย (5 มิลลิลิตร) W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

4. ปริมาณสารประกอบฟีนอล (Singleton *et al*.,1999) โดยนำตัวอย่างพืชสด 1 กรัม บดด้วยโกร่งให้ละเอียด สกัดด้วย 80% methanol ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายใสส่วนบนปริมาตร 50 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย folin - ciocalteu ความเข้มข้น 1.27 กรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 250 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 8 นาที เติมสารละลาย 20% sodium carbonate (Na_2CO_3) ปริมาตร 750 ไมโครลิตร และน้ำกลั่น 950 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน บ่มในที่มีแสงปกติที่อุณภูมิห้อง 30 นาที นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer เทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิค (gallic acid: GAE) ความเข้มข้น 0 10 25 50 และ 100 มิลลิกรัม GAE ต่อกรัมน้ำหนักสด (y = 0.0156x + 0.0155 ; R^2=1)

$$\text{Phenolic compound (mgGAE/gFW)} = \frac{C \times Vf \times Vt}{W \times Va \times 1000}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของ GAE จากกราฟมาตรฐาน Vf = ปริมาตรสุดท้าย (มิลลิลิตร)
Vt = ปริมาตรสารที่ใช้ในการสกัด (มิลลิลิตร) W = น้ำหนักตัวอย่างพืช (กรัม)
Va = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างพืชที่ใช้ในการวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)

5. ปริมาณวิตามินซี (Li *et al*, 2012) โดยนำตัวอย่างพืชสด 1 กรัม บดด้วยโกร่งให้ละเอียด สกัดตัวอย่างด้วย 5% trichloroacetic acid (TCA) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ปิเปตสารละลายตัวอย่างส่วนบนปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติม ethanol 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลาย 0.4% phosphoric acid-ethanol 0.5 มิลลิลิตร สารละลาย 0.5% 1,10-phenanthroline-ethanol 1 มิลลิลิตร และสารละลาย 0.03 กรัมต่อลิตร ferric chloride 0.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 5 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากันด้วย เครื่อง Vortex นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 534 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer เทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอบิกความเข้มข้น 0 20 40 60 80 และ100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (y = 0.0002x + 0.0086 ; R^2=0.9973)

$$\text{Vitamin C (mg/gFW)} = \frac{C \times Vf \times Vt}{W \times Va \times 1000}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของ GAE จากกราฟมาตรฐาน Vf = ปริมาตรสุดท้าย (มิลลิลิตร)
Vt = ปริมาตรสารที่ใช้ในการสกัด (มิลลิลิตร) W = น้ำหนักตัวอย่างพืช (กรัม)
Va = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างพืชที่ใช้ในการวิเคราะห์ (มิลลิลิตร)

6. วิเคราะห์ฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ (Brand-Williams *et al*., 1995) โดยนำตัวอย่างสด 1 กรัม บดด้วยโกร่งให้ละเอียด สกัดตัวอย่างด้วย absolute ethanol ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ปิเปตสารละลายตัวอย่างส่วนบนปริมาตร 1.9 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picryl hydrazyl) ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่อง Vortex บ่มไว้ในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง spectrophotometer และคำนวณจากสูตร Radical scavenging (%) = $[(A_0 - A_1)/A_0] \times 100$
เมื่อ A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของชุดควบคุม
A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของสารตัวอย่างผสมกับ DPPH

7. การวิเคราะห์ปริมาณซีลีเนียมทั้งหมด (Katamto and Al-Zehouri, 2012) โดยนำตัวอย่างพืชอบให้แห้ง และบดตัวอย่างให้ละเอียด แล้วชั่งตัวอย่างพืช 1 กรัม นำไปย่อยด้วยกรดไนตริก 70% และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ในอัตราส่วน 3:1 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องย่อย DK series+JP+SMS/VELP จนกระทั่งได้สารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 50 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 472 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma (ICP) รุ่น 7200 ICP-OES, Thermo เทียบกับสารละลายมาตรฐานซีลีเนียมที่ความเข้มข้น 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (R^2=0.9999)

$$\text{Selenium (mg/g DW)} = \frac{C \times 10^{-3} \times Vf}{W}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของซีลีเนียมจากกราฟมาตรฐาน Vf = ปริมาตรสุดท้าย (มิลลิลิตร)
W = น้ำหนักตัวอย่างพืช (กรัม)

8. นำข้อมูลวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม R (R-language and environment for statistical computing and graphics) version 3.4.1 และวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาผลของซีลีเนียมในรูปโซเดียมซีลีไนต์และโซเดียมซีลีเนตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยการแช่เมล็ดต่อดัชนีการงอก การงอกมาตรฐาน การเจริญเติบโต สารพฤกษเคมีและการสะสมซีลีเนียมของต้นกล้าผักบุ้งจีน พบว่าชนิดของซีลีเนียมไม่มีส่งผลต่อดัชนีความงอก แต่มีผลต่อความงอก โดยการให้โซเดียมซีลีไนต์มีผลต่อความงอกมาตรฐานมากกว่าโซเดียมซีลีเนตทั้งในการตรวจนับครั้งแรกและครั้งสุดท้าย (Table 1) ขณะที่พิจารณาความเข้มข้นของซีลีเนียม พบว่า การให้ซีลีเนียมที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ดัชนีการงอกและการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม และเมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของซีลีเนียมทั้ง 2 รูปที่ความเข้มข้นต่ำ 5-15 มิลลิกรัมต่อลิตร ดัชนีความงอกและความ

งอกไม่แตกต่างทางสถิติ แต่การให้โซเดียมซีลีเนตที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ดัชนีการงอกและการงอกของเมล็ดผักบุ้งจีนลดลงเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่น

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง พบว่า การให้ซีลีเนียมทั้งสองชนิดไม่มีผลต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าผักบุ้งจีน แต่ความเข้มข้นของซีลีเนียมที่ 5-15 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งเสริมให้มีการสะสมน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นกล้าเพิ่มขึ้น และลดลงเมื่อได้รับซีลีเนียมที่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่พิจารณาถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของซีลีเนียม พบว่า การให้โซเดียมซีลีเนตในทุกความเข้มข้น มีน้ำหนักสดสะสมมากกว่าโซเดียมซีลีไนต์ และการให้ซีลีเนียมทั้ง 2 ชนิด ที่ความเข้มข้น 10-15 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลเชิงบวกกับน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง แต่ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีลีเนียมทั้ง 2 ชนิด ส่งผลให้น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งลดลง (Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับ Khaliq *et al.* (2015) รายงานว่าการให้โซเดียมซีลีไนต์ที่ 15-90 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลให้อัตราการงอกและความยาวของต้นกล้าข้าวเพิ่มขึ้น ขณะที่ความเข้มข้นสูง 105 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งผลให้ความงอกของต้นกล้าและความยาวของต้นกล้าลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุม เช่นเดียวกับการให้ซีลีเนต 180 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการแช่เมล็ดมีผลให้ดัชนีการงอกของถั่วเขียวลดลงเมื่อเทียบกับความเข้มข้นต่ำ (ภัทรวรรณ และคณะ 2565) รวมถึง Lapaz *et al.* (2019) พบว่าการให้โซเดียมซีลีเนตที่ความเข้มข้น 0.1-400 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อความงอกและความสูง แต่การให้โซเดียมซีลีเนตที่ความเข้มข้น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลให้การงอกและความสูงถั่วพุ่มลดลง เนื่องจากการให้ซีลีเนียมเข้มข้นต่ำส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส แต่ที่ความเข้มข้นสูงมีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์อะไมเลส จึงทำให้กระบวนการย่อยสลายแป้งช้าลงจึงส่งผลให้การงอกของเมล็ดและเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าลดลง รวมถึง El Mehdawi *et al.* (2011) รายงานการให้ซีลีไนต์และซีลีเนตที่ความเข้มข้นมากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ยับยั้งการงอกของ Arabidopsis thaliana ถึง 50 % และมีผลให้น้ำหนักของต้นกล้าลดลง เช่นเดียวกับ Lei *et al.* (2018) รายงานว่าการให้ซีลีเนียมที่ความเข้มข้น 50 ไมโครโมลต่อลิตร มีผลให้น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมลดลง แต่ถ้าให้ซีลีเนตที่ความเข้นข้น 2 ไมโครโมลต่อลิตร และซีลีไนต์ที่ 4 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งเสริมผักกาดหอมมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 143.22% และ 166.98%, ตามลำดับ (Li *et al.*, 2022)

เมื่อพิจารณาการให้ซีลีเนียมต่อปริมาณรงควัตถุและสารพฤกษเคมีของต้นกล้าผักบุ้ง พบว่า การให้ซีลีเนียมทั้ง 2 รูป ไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด แต่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ และสารพฤกษเคมี โดยการให้โซเดียมซีลีไนต์มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมากกว่าการให้โซเดียมซีลีเนต แต่แสดงผลตรงกันข้ามในสารต้านอนุมูลอิสระ และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของซีลีเนียม พบว่า การให้ซีลีเนียมที่ 5-10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมากกว่าที่ 15-30 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้น พบว่า โซเดียมซีลีไนต์ที่ความเข้มข้น 5-10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมากกว่าชุดการทดลองอื่น และเมื่อพิจารณาแคโรทีนอยด์ พบว่าการให้โซเดียมซีลีไนต์ส่งผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์สูงกว่าการให้ในรูปโซเดียมซีลีเนต ความเข้มข้นซีลีเนียมที่เพิ่มขึ้นส่งผล ให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลง (Table 3) ซึ่งสอดคล้องกับการให้โซเดียมซีลีไนต์ที่ 50 กรัมSeต่อเฮกตาร์ ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในข้าวเพิ่มขึ้น และการให้ซีลีเนียมที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ช่วยส่งเสริมปริมาณ

Table 1 Seed soaking with selenium on germination of Kangkong.

Se (mg/L) (C)	Germination Index (GI)			%Germination (Frist count)			%Germination (Final count)		
	Selenium (Se)			Selenium (Se)			Selenium (Se)		
	Na_2SeO_3	Na_2SeO_4	Ave. (C)	Na_2SeO_3	Na_2SeO_4	Ave. (C)	Na_2SeO_3	Na_2SeO_4	Ave. (C)
0	7.51^{abc}	7.51^{abc}	7.51 A	41.33^{a}	41.33^{a}	41.33 A	84.66^{ab}	84.66^{ab}	84.66
5	7.31^{abc}	7.50^{abc}	7.41 A	40.00^{ab}	37.66^{bc}	38.83 AB	86.00^{ab}	84.00^{ab}	85.00
10	8.17^{a}	7.27^{abc}	7.72 A	41.00^{ab}	38.66^{ab}	39.83 AB	90.00^{a}	84.00^{ab}	87.00
15	7.78^{ab}	6.93^{bcd}	7.35 A	39.66^{ab}	38.00^{ab}	38.83 AB	86.00^{ab}	84.00^{ab}	85.00
30	6.49^{cd}	6.15^{d}	6.32 B	39.66^{ab}	35.33^{c}	37.50 B	86.00^{ab}	81.33^{b}	83.66
Ave. (Se)	7.45	7.07		40.33 Z	38.20 Y		86.53 Z	83.60 Y	
F-test (Se)		ns			*			*	
F-test (C)		*			*			ns	
F-test (Se x C)		*			*			*	
CV (%)		7.67			4.43			4.46	

Different letters indicate statistically significant differences among treatments according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ($P<0.05$)

Table 2 Seed soaking with selenium on fresh weight and dry weight of Kangkong seedlings.

Se (mg/L) (C)	Fresh weight (g/plant)			Dry weight (mg/plant)		
	Selenium (Se)			Selenium (Se)		
	Na_2SeO_3	Na_2SeO_4	Ave. (C)	Na_2SeO_3	Na_2SeO_4	Ave. (C)
0	4.54^{bc}	4.54^{bc}	4.54 B	0.31^{bc}	0.31^{bc}	0.31 CD
5	4.67^{bc}	4.92^{ab}	4.80 AB	0.32^{bc}	0.31^{bc}	0.32 BC
10	4.96^{ab}	5.16^{a}	5.06 A	0.35^{a}	0.34^{ab}	0.34 A
15	4.97^{ab}	5.18^{a}	5.08 A	0.33^{ab}	0.33^{ab}	0.33 AB
30	4.43^{c}	4.72^{abc}	4.58 B	0.29^{c}	0.29^{c}	0.29 D
Ave. (Se)	4.72	4.92		0.32	0.32	
F-test (Se)		ns			ns	
F-test (C)		*			*	
F-test (Se x C)		*			*	
CV (%)		5.29			4.99	

Different letters indicate statistically significant differences among treatments according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ($P<0.05$)

Table 3 Seed soaking with selenium on pigments content of Kangkong seedlings.

Se (mg/L) (C)	Total chlorophyll (mg/g FW)			Carotenoid (mg/10g FW)		
	Selenium (Se)			Selenium (Se)		
	Na_2SeO_3	Na_2SeO_4	Ave. (C)	Na_2SeO_3	Na_2SeO_4	Ave. (C)
0	0.29^{d}	0.29^{d}	0.29 D	0.53	0.53	0.53
5	0.55^{b}	0.29^{d}	0.42 B	0.56	0.50	0.53
10	0.61^{a}	0.49^{b}	0.55 A	0.54	0.52	0.53
15	0.33^{cd}	0.36^{c}	0.35 C	0.53	0.52	0.52
30	0.31^{cd}	0.33^{cd}	0.32 CD	0.52	0.51	0.52
Ave. (Se)	0.42 Z	0.35 Y		0.54	0.52	
F-test (Se)		*			ns	
F-test (C)		*			ns	
F-test (Se x C)		*			ns	
CV (%)		8.31			7.31	

Different letters indicate statistically significant differences among treatments according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT) (P<0.05)

Table 4 Seed soaking with selenium on phytochemicals of Kangkong seedlings.

Se (mg/L) (C)	Phenolic compound (mg GAE/gFW)			Vitamin C (mg/gFW)		
	Selenium (Se)			Selenium (Se)		
	Na_2SeO_3	Na_2SeO_4	Ave. (C)	Na_2SeO_3	Na_2SeO_4	Ave. (C)
0	0.14^{c}	0.14^{c}	0.14 C	0.54^{b}	0.54^{b}	0.54 B
5	0.09^{d}	0.15^{b}	0.12 C	0.54^{b}	0.43^{d}	0.49 C
10	0.14^{c}	0.18^{a}	0.16 B	0.54^{b}	0.40^{d}	0.47 C
15	0.16^{b}	0.19^{a}	0.17 B	0.55^{b}	0.40^{d}	0.47 C
30	0.19^{a}	0.20^{a}	0.19 A	0.66^{a}	0.52^{c}	0.59 A
Ave. (Se)	0.14 Y	0.16 Z		0.56 Z	0.44 Y	
F-test (Se)		*			*	
F-test (C)		*			*	
F-test (Se x C)		*			*	
CV (%)		6.44			19.79	

Different letters indicate statistically significant differences among treatments according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT) (P<0.05)

คลอโรฟิลล์ของถั่วลันเตา (Hegedűsová *et al*., 2012; Zhang *et al*., 2014) เนื่องจากซีลีเนียมความเข้มข้นต่ำช่วยป้องกันพืชโดยการกำจัดอนุมูลอิสระในเซลล์ ส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ป้องกันความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ (Silva *et al*., 2018)

การให้โซเดียมซีลีไนต์และโซเดียมซีลีเนตในการแช่เมล็ดมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอล และวิตามินซีเพิ่มขึ้นในต้นกล้าผักบุ้ง โดยที่ความเข้มข้นของซีลีเนียมเพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงขึ้น เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของซีลีเนียม พบว่าการให้โซเดียมซีลีเนตมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงกว่าการให้ในรูปโซเดียมซีลีไนต์อย่างมีนัยสำคัญ และการให้ซีลีเนียมที่ความเข้มข้น 10-30 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ต้นกล้ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Table 4) สอดคล้องกับ Ríos *et al.* (2008) การให้ซีลีเนียมที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลในพืชเพิ่มขึ้น เนื่องจากซีลีเนียมมีส่วนช่วยในการเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น แคโรทีนอยด์และสารประกอบฟีนอล และส่งผลให้การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น (Chauhan *et al.*, 2017) ในขณะที่การให้โซเดียมซีลีไนต์มีผลต่อปริมาณวิตามินซีสูงกว่าการให้ในรูปโซเดียมซีลีเนตอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแตกต่างกับ Deng *et al*. (2019) พบว่าการพ่นโซเดียมซีลีเนตมีผลต่อปริมาณวิตามินซีในลูกแพร์สูงกว่าโซเดียมซีลีไนต์ เนื่องจากพืชเกิดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงกระตุ้นการสังเคราะห์วิตามินซี แคโรทีนอยด์ และ ฟลาโวนอยด์ เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระ (Xie *et al*., 2019)

Table 5 Seed soaking with selenium on radical scavenging and selenium accumulation of Kangkong seedlings.

Se (mg/L) (C)	Radical scavenging (%)			Total Selenium (µg/gDW)		
	Selenium (Se)			Selenium (Se)		
	Na_2SeO_3	Na_2SeO_4	Ave. (C)	Na_2SeO_3	Na_2SeO_4	Ave. (C)
0	20.91^{de}	20.91^{de}	20.91 C	2.06^{g}	2.06^{g}	2.06 D
5	19.09^{de}	16.18^{e}	17.63 C	2.55^{fg}	5.05^{c}	3.80 C
10	25.19^{d}	35.98^{c}	30.59 B	2.88^{ef}	5.76^{b}	4.32 BC
15	37.13^{c}	46.94^{b}	42.04 A	3.45^{de}	5.93^{b}	4.69 B
30	39.46^{c}	55.87^{a}	47.67 A	4.05^{d}	9.37^{a}	6.71 A
Ave. (Se)	27.12 Y	38.74 Z		2.84 Y	6.53 Z	
F-test (Se)		*			*	
F-test (C)		*			*	
F-test (Se x C)		*			*	
CV (%)		13.99			9.55	

Different letters indicate statistically significant differences among treatments according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ($P<0.05$)

เมื่อพิจารณาผลของโซเดียมซีลีไนต์และโซเดียมซีลีเนตต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และการสะสมซีลีเนียมของต้นกล้าผักบุ้งจีน พบว่า การให้โซเดียมซีลีเนตส่งผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการให้โซเดียมซีลีไนต์ และการให้ซีลีเนียมที่ความเข้มข้น 10-30 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของต้นกล้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของการให้ซีลีเนียม พบว่า การให้โซเดียมซีลีเนตที่ความเข้มข้น 10-30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการให้โซเดียมซีลีไนต์(Table 5) สอดคล้องกับ Ríos *et al.* (2008) การให้โซเดียมซีลีไนต์และโซเดียมซีลีเนตที่ความเข้มข้น 5-120 ไมโครโมลต่อลิตร ส่งผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในผัก

กาดหอมเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม เช่นเดียวกับกุสุมา และคณะ (2563) การให้ซีลีเนตความเข้มข้นมากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการปลูกผักกาดฮ่องเต้ระบบไฮโดรโพนิกส์ส่งผลให้การเจริญเติบโตและปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง แต่ส่งผลให้ปริมาณของสารประกอบฟีนอลและสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

ในขณะที่พิจารณาผลของการให้ซีลีเนียม พบว่า การให้โซเดียมซีลีเนตมีผลต่อการสะสมซีลีเนียมมากกว่าการให้โซเดียมซีลีไนต์ ถึง 2.30 เท่า และความเข้มข้นของซีลีเนียมเพิ่มขึ้น 5-30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีแนวโน้มให้การสะสมซีลีเนียมเพิ่มขึ้น 1.84-3.26 เท่าเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (Table 5) เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดและความเข้มข้นของการให้ซีลีเนียม พบว่า การให้โซเดียมซีลีเนตในทุกความเข้มข้นมีการสะสมซีลีเนียมในต้นกล้าผักบุ้งมากกว่าโซเดียมซีลีไนต์ที่ความเข้มข้น 5-30 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึง 1.98-2.31 เท่า สอดคล้องกับ Szarka *et al*. (2020) รายงานว่าการให้ซีลีเนต 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลต่อการสะสมซีลีเนียมทั้งหมดในหญ้าหวานมากกว่าการให้ในรูปซีลีไนต์ถึง 7 เท่า เช่นเดียวกับการให้ซีลีเนตทางใบในข้าวมีการสะสมซีลีเนียมในเมล็ดมากกว่าซีลีไนต์เป็น 2 เท่า (Deng *et al.,* 2017) จากผลการทดลองแสดงว่า ชนิดและความเข้มข้นของซีลีเนียมที่ให้ด้วยการแช่เมล็ดมีผลต่อการสะสมซีลีเนียม และปริมาณสารพฤกษเคมีในต้นกล้าผักบุ้ง โดยที่ซีลีเนียมความเข้มข้นต่ำส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโต แต่ถ้าความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นการงอกและการเจริญเติบโตลดลง แต่ปริมาณสารพฤกษเคมีและการสะสมซีลีเนียมเพิ่มขึ้น

สรุป

โซเดียมซีลีไนต์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งเสริมความงอกมาตรฐาน น้ำหนักแห้ง และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ของต้นกล้าผักบุ้งจีนพันธุ์ยอดไผ่ 9 เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อซีลีเนียมในรูปโซเดียมซีลีเนตที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอล สารต้านอนุมูลอิสระ วิตามินซี และการสะสมซีลีเนียมสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. 2541. สารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปี ขึ้นไป. บัญชีหมายเลข 3 แนบท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่182). (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: https://food.fda.moph.go.th/media.php?id=51048361905213440 0&name=Compi_182.pdf (3 เมษายน 2567).

กุสุมา อินทร์เขียว, อินทิรา ขุดแก้ว และพรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง. 2563. ผลของซีลีไนต์และซีลีเนตต่อการเจริญเติบโต ปริมาณรงควัตถุและสารพฤกษเคมีของกวางตุ้งฮ่องเต้ในระบบไฮโดรโปนิกส์. วารสารแก่นเกษตร 48 (ฉบับพิเศษ1):37-42.

ภัทรวรรณ รัตนสิริลักษณ์, อินทิรา ขุดแก้ว, พิมพ์ชนก สตภูมินทร์ และพรไพรินทร์ รุ่งเจริญทอง. 2565. โซเดียมซีลีเนตต่อการเจริญเติบโตและสารพฤกษเคมีบางชนิดของต้นกล้าถั่วเขียว. วารสารแก่นเกษตร 50 (ฉบับพิเศษ 1): 116-123

สมาคมการค้าเมล็ดพันธุ์ไทย. 2566. สถิติปริมาณและมูลค่าเมล็ดพันธุ์ควบคุมปี 2566. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูลhttps://www.doa.go.th (4 มิถุนายน 2567).

Akbaraly T.N., I. Hininger-Favier, I. Carrière, J. Arnaud, V. Gourlet, A.M. Roussel, and C. Berr. 2007. Plasma selenium over time and cognitive decline in the elderly. Epidemiology 18(1):52-8.

Arnon, D. I. 1949. Copper enzyme in isolated chloroplast. Polyphenoloxidase in Beta vulgari. Plant Physiology 24(1): 15.

Barnes, J. D., L. Balaguer, E. Manrique, S. Elvira, and A. W. Davison. 1992. A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophyll a and b in lichens and higher plants. Environmental and Experimental Botany 32:85-100.

Brand-Williams, W., M.E. Cuvelier and C.L.W.T. Berset. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food science and Technology 28(1):25-30.

Chauhan, R., S. Awasthi, P. Tripathi, S. Mishra, S.K. Dwivedi, A. Niranjan, S. Mallick, P. Tripathi, V. Pande, and R.D. Tripathi. 2017. Selenite modulates the level of phenolics and nutrient element to alleviate the toxicity of arsenite in rice (*Oryza sativa* L.). Ecotoxicology and Environmental Safety 138:47-55.

Deng, X., K. Liu, M. Li, W. Zhang, X. Zhao, Z. Zhao, and X. Liu. 2017. Difference of selenium uptake and distribution in the plant and selenium form in the grains of rice with foliar spray of selenite or selenate at different stages. Field Crops Research 211:165-171.

Deng, X., Z. Zhao, Z. Han, L. Huang, C. Lv, Z. Zhang, H. Zhang, and X. Liu. 2019. Selenium uptake and fruit quality of pear (*Pyrus communis* L.) treated with foliar Se application. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 182(4): 637-646.

El Mehdawi, A.F., C.F. Quinn, and E.A.H Pilon-Smits. 2011. Effects of selenium hyperaccumulation on plant-plant interactions: evidence for elemental allelopathy? New Phytologist 191:120-131.

Hadrup, N., and G. Ravn-Haren. 2021. Absorption, distribution, metabolism and excretion (ADME) of oral selenium from organic and inorganic sources: A review. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 67: 126801. DOI:10.1016/j.jtemb.2021.126801

Hegedűsová, A., S. Jakabová, O. Hegedűs, M. Valšíková, and A. Uher. 2012. Testing of Se inhibition effect on selected characteristics of garden pea. European Chemical Bulletin 1(12): 520-523.

Huang, S., K. Yu, Q. Xiao, B. Song, W. Yuan, X. Long, D. Cai, X. Xiong, and W. Zheng. 2023. Effect of bio-nano-selenium on yield, nutritional quality and selenium content of radish. Journal of Food Composition and Analysis 115: 104927. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104927

International Rules for Seed Testing (ISTA) 2016. International Rules for Seed Testing, Basserdorf, Switzerland

Katamto, L., and J. Al-Zehouri. 2012. Validation of two spectrophotometric methods for the determination of selenium in food supplements with applied microwave digestion method a comparative evaluation of performance characteristics. International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research 14(2): 30-34.

Khaliq, A., F. Aslam, A. Matloob, S. Hussain, M. Geng, A. Wahid, and H. Rehman. 2015. Seed priming with selenium: consequences for emergence, seedling growth, and biochemical attributes of Rice. Biological Trace Element Research 166(2):236-44.

Lanza, M., and A. R. D. Reis. 2021. Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses against abiotic stresses. Plant Physiology and Biochemistry 164:27-43.

Lapaz, A.M., L.F.M. Santos, C.H.P. Yoshida, R. Heinrichs, M. Campos, and A.R. Reis. 2019. Physiological and toxic effects of selenium on seed germination of cowpea seedlings. Bragantia 78(4): 498-508.

Lei, B., Z. Bian, Q. Yang, J. Wang, R. Cheng, K. Li, W. Lui, Y. Zhang, H. Fang, and Y. Tong. 2018. The positive function of selenium supplementation on reducing nitrate accumulation in hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.). Journal of Integrative Agriculture 17(4):837–846.

León-Morales, J.M., W. Panamá-Raymundo, E.C. Langarica-Velázquez, and S. García-Morale. 2019. Selenium and vanadium on seed germination and seedling growth in pepper (*Capsicum annuum* L.) and radish (*Raphanus sativus* L.). Revista Bio Ciencias 6: 2007-3380.

Li, P., A. Song, Z. Li, F. Fan, and Y. Liang. 2012. Silicon ameliorates manganese toxicity by regulating manganese transport and antioxidant reactions in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Soil 354: 407-419.

Li, Y., Y. Xiao, J. Hao, S. Fan, R. Dong, H. Zeng, C. Liu, and Y. Han. 2022. Effects of selenate and selenite on selenium accumulation and speciation in lettuce. Plant Physiology and Biochemistry 192:162-171.

Maneetong, S., S. Chookhampaeng, A. Chantiratikul, O. Chinrasri, W. Thosaikham, R. Sittipout, and P. Chantiratikul. 2013. Hydroponic cultivation of selenium-enriched kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra* L.) seedling and speciation of selenium with HPLC–ICP-MS. Microchemical Journal 108: 87–91.

Prins, C.N., L.J. Hantzis, C.F. Quinn, and E.A.H. Pilon-Smits. 2011. Effects of selenium accumulation on reproductive functions in *Brassica juncea* and *Stanleya pinnata*. Journal of Experimental Botany 62:5633-5640.

Rayman, M.P. 2012. Selenium and human health. The Lancet 379, 1256-1268.

Ríos, J.J., M.A. Rosales, B. Blasco, L.M. Cervilla, L. Romero, and J.M. Ruiz. 2008. Biofortification of Se and induction of the antioxidant capacity in lettuce plants. Scientia Horticulturae 116(3): 248-255.

Silva, V.M., E.H.M. Boleta, M.G.D.B. Lanza, J. Lavres, J.T. Martins, E.F. Santos, and A.R.d. Reis. 2018. Physiological, biochemical, and ultrastructural characterization of selenium toxicity in cowpea plants. Environmental and Experimental Botany 150:172-182.

Singhatas, P., A. Sangcakul, P. Sumritpradit, T. Thampongsa, C. Krutsri, and P. Lertsithichai. 2017. Prospective cohort study of serum selenium in surgical ICU patients. Journal of the Medical Association of Thailand 100:59-65.

Singleton, V.L., R. Orthofer, and R.M. Lamuela-Raventós. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In Methods in enzymology 299:152-178.

Szarka, V., Z. Jokai, H. El-Ramady, N. Abdalla, L. Kaszás and E. Domokos-Szabolcsy. 2020. Biofortification of *Stevia*

rebaudiana (Bert.) plant with selenium. Environment, Biodiversity and Soil Security 4:19-31.

Tian, M., X. Xu, Y. Liu, L. Xie, and S. Pan. 2016. Effect of Se treatment on glucosinolate metabolism and health-promoting compounds in the broccoli sprouts of three cultivars. Food Chemistry 190: 374-380.

Xie, X., Z. He, N. Chen, Z. Tang, Q. Wang, and Y. Cai. 2019. The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plant. BioMed Research International 4:1-11. https://doi.org/10.1155/2019/9732325

Zhang, M., S. Tang, X. Huang, F. Zhang, Y. Pang, Q. Huang, and Q. Yi. 2014. Selenium uptake, dynamic changes in selenium content and its influence on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in rice (*Oryza sativa* L.). Environmental and Experimental Botany 107: 39-45.