

ผลของการจัดการธาตุอาหารร่วมกับการฉีดพ่นไคโตซานต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของต้นอ่อนทานตะวัน

Effect of nutrient management combined with chitosan spraying on yield and nutritional value of sunflower sprouts

ชลลดา ทรงแจ้วน^{1*}, ทิพย์วรา เทียนสว่าง¹, ธนวรรณ พรหมขลิบลิน¹ และ ศิริรัตน์ เขียนมน¹
Chonlada Songnirundron^{1*}, Thipwara Tiansawang¹, Tanawan Promkhliln¹ and Sirorat Khienman¹

บทคัดย่อ

การผลิตต้นอ่อนทานตะวันแบบไฮโดรโปนิคส์ด้วยการจัดการธาตุอาหารส่งผลให้ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ร่วมกับการฉีดพ่นไคโตซานเพื่อกระตุ้นความงอก เพิ่มผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการ ต้นอ่อนทานตะวันโดยวางแผนการทดลองแบบ split plot in RCBD จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยหลัก คือความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland 3 ระดับ คือ 0, 0.5x และ 1x ปัจจัยรอง คือไคโตซาน 4 ระดับ คือ 0, 20, 40 และ 80 ppm ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ไม่มีผลต่อความงอก ความเร็วในการงอกของเมล็ด ความกว้างใบ น้ำหนักสด และปริมาณแคโรทีนอยด์ แต่ส่งผลทำให้ความยาวต้น ความยาวใบ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระแตกต่างกันทางสถิติ โดยสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 1x มีความยาวต้น และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงกว่าความเข้มข้นอื่น ๆ ขณะที่การฉีดพ่นสารไคโตซานความเข้มข้นต่างกันไม่มีผลต่อความงอกและความเร็วในการงอก ความยาวต้น ความยาวและกว้างใบ รวมทั้งความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ แต่ส่งผลให้น้ำหนักสด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และแคโรทีนอยด์แตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งการฉีดพ่นไคโตซาน 80 ppm ทำให้น้ำหนักสด และสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าความเข้มข้นอื่น ดังนั้นการปลูกต้นอ่อนทานตะวันในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland 1x ร่วมกับการฉีดพ่นสารไคโตซาน 80 ppm ช่วยเพิ่มความเร็วในการงอก ผลผลิต ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระให้สูงขึ้น

คำสำคัญ: ผักไมโครกรีน ต้นอ่อนทานตะวัน ไคโตซาน คุณค่าทางโภชนาการ

Abstract

Hydroponic sunflower sprouts production using nutrient management resulted in an increased yield and nutritional value. This research was conducted to study the optimal concentration of Hoagland nutrient solution combined with chitosan spraying on germination, yield, and nutritional value of sunflower sprouts. The experiment was designed using a split-plot in a randomized complete block design (RCBD) with four replications. The main plot was the concentration of Hoagland nutrient solution at three levels, namely 0, 0.5x, and 1x. The sub-plot was chitosan at four levels, namely 0, 20, 40 and 80 ppm. The results showed that different concentrations of Hoagland nutrient solution did not affect the germination, speed of germination, leaf width, fresh weight and carotenoid content. However, these solutions caused significant differences in shoot length, leaf length, phenolic compound content and antioxidant activity. Hoagland solution 1x caused higher shoot length and antioxidant activity than other concentrations. Meanwhile, spraying with different concentrations of chitosan did not cause significant differences in germination, speed of germination, shoot length, leaf length and width, and antioxidant activity. However, chitosan caused significant differences in fresh weight, phenolic compound and carotenoid contents. Spraying with 80 ppm chitosan caused higher fresh weight and phenolic

¹ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

* Corresponding author. E-mail: Chonlada.s@rmutsb.ac.th

compound content than other concentrations. Therefore, growing sunflower seedlings in Hoagland 1x solution and spraying with 80 ppm chitosan would increase speed of germination, yield, phenolic compound content, and antioxidant activity.

Keywords: microgreens, sunflower sprout, chitosan, nutritional value

บทนำ

ปัจจุบันประชากรทั่วโลกต้องเผชิญทั้งสถานการณ์ของโรคภัย มลภาวะ และภัยพิบัติ ซึ่งส่งผลทำให้ผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญในการเลือกบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะการเลือกรับประทานอาหารที่มีประโยชน์ จากเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ความนิยมบริโภคพืชผักเพิ่มขึ้น โดยผักไมโครกรีนได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากไมโครกรีนเป็นต้นอ่อนพืชที่เจริญและพัฒนาจากเมล็ดผักหรือสมุนไพร จะเก็บเกี่ยวเพื่อใช้บริโภคในระยะที่ต้นอ่อนมีใบจริงคู่แรก หรืออายุประมาณ 10-14 วันหลังเพาะเมล็ด จัดเป็นแหล่งสารอาหารแคลอรีต่ำที่ดีและยังเป็นแหล่งของสารทุติยภูมิที่มีฤทธิ์ทางชีววิทยา ด้านการอักเสบและป้องกันโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง ได้แก่ โรคหัวใจขาดเลือด ความดันโลหิตสูง หรือโรคเมเร็งบางชนิด (Xiao et al., 2012; Harakotr et al., 2019)

ไมโครกรีนทานตะวันเป็นพืชที่ได้รับความนิยมและมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ ประกอบด้วยพฤษเคมีที่มีคุณค่าหลายชนิด ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) วิตามินเอ บี และซี มีรสชาติดี และอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Misra & Gibson, 2021) ซึ่งมีรายงานว่าต้นอ่อนทานตะวันมีโปรตีนสูงกว่าถั่วเหลือง ช่วยบำรุงสายตา ผิวพรรณและชะลอความชรา มีวิตามินบี 1 และ 6 โอเมก้า 3, 6 และ 9 ซึ่งช่วยบำรุงเซลล์สมอง ป้องกันโรคสมองเสื่อม (อัลไซเมอร์) และธาตุเหล็กสูง (Tandavanit, 2011) ทั้งยังมีสารสำคัญคือไซนาริน (cynarin) ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านปฏิกิริยาของสารที่ก่อให้เกิดหรือเร่งกระบวนการของการชรา (antiglycation) และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สูง (Sun et al., 2012) โดยทั่วไปการปลูกไมโครกรีนจะนิยมใช้ดินเป็นวัสดุเพาะปลูก เพราะหาซื้อได้ง่าย สะดวก และต้นทุนต่ำ แต่กระบวนการผลิตมักก่อให้เกิดผลกระทบต่อการใช้ทรัพยากรและผลผลิตเน่าเสียระหว่างการผลิต การขนส่ง และการวางจำหน่าย มีสาเหตุจากการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ ในวัสดุปลูกและกระบวนการผลิต ทำให้ผลผลิตที่ได้มีปริมาณและคุณภาพไม่แน่นอน (Baker & Cook, 1974) จากสาเหตุข้างต้นสอดคล้องกับปัจจุบันที่ได้นำไมโครกรีนมาปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งวิธีการนี้กำลังได้รับความนิยมมากขึ้น เพราะนอกจากจะช่วยลดความเสี่ยงจากโรคที่เกิดจากดิน ยังมีสารละลายธาตุอาหารที่พืชต้องการครบถ้วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ที่เป็นสูตรอาหารหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เหมาะกับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ที่สามารถช่วยให้พืชเติบโตได้ดีโดยไม่ต้องพึ่งพาดิน (Resh, 2013) ส่งผลทำให้การเก็บเกี่ยวทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่า เพราะพืชผักจะมีขนาดและการเจริญเติบโตที่สม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kiba & Sakakibara (2021) ที่รายงานว่าต้นอ่อนทานตะวันสามารถเจริญเติบโตในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 1x ได้ดีที่สุด

นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติชักนำ (elicitors) มาชักนำในการผลิตผักไมโครกรีน เพื่อส่งเสริมการออกเมลาติน การเจริญเติบโต เพิ่มผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการ เป็นการช่วยกระตุ้นให้พืชเกิดสภาพเครียดระดับต่ำ เพื่อกระตุ้นการเจริญเติบโต ผลผลิต และกิจกรรมการสร้างต้านอนุมูลอิสระในพืชชนิดนั้นให้มีความเข้มข้นมากขึ้น ทั้งนี้ยังทำให้เมล็ดพันธุ์งอกได้สม่ำเสมอ และเร็วขึ้น โดยสารชักนำที่นิยมใช้ ได้แก่ ไคโตซาน เกลือโซเดียมคลอไรด์ และเกลือโปแตสเซียมไนเตรท เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาของ Chainan & Wongruang (2009) พบว่าสารละลายไคโตซาน มีความเข้มข้น 8 กรัมต่อลิตร ส่งผลให้อัตราการออกของข้าวสาลีสูงถึง 94.60 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ Phinyosri (2016) ได้พบว่าเมื่อสารชักนำเข้าสู่เมล็ดด้วยความเข้มข้นที่เหมาะสม จะสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของไมโครกรีนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารไคโตซานที่มีคุณสมบัติสำคัญคือ จะกระตุ้นให้พืชนั้นสร้างเอนไซม์บางชนิดที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิบางตัว ทำให้พืช

สร้างภูมิคุ้มกัน (Ganesh, 2002) เช่นเดียวกับกับงานวิจัยของ Somsamran (2018) ที่ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตในต้นอ่อนทานตะวัน พบว่าสารไคโตซานความเข้มข้น 0.25, 0.50 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้มีความยาวลำต้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sreenualpan & Aswatreeerattanukul (2016) ได้ทำการศึกษาผลของไคโตซานต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและการต้านทานโรคใบไหม้ในข้าวสังข์หยดพัทลุง พบว่าการใช้สารไคโตซานที่ความเข้มข้น 500 ppm สามารถกระตุ้นให้เมล็ดข้าวมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น 2.16 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับไม่ฉีดพ่น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ร่วมกับการฉีดพ่นไคโตซานต่อการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของต้นอ่อนทานตะวัน

วิธีการศึกษา

1. แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ split plot in RCB จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัยหลัก คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร 3 ระดับ คือ 0 (RO), 0.5x และ 1x ของสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland และปัจจัยรอง คือ ความเข้มข้นของไคโตซาน 4 ระดับ คือ 0 (RO), 20, 40 และ 80 ppm

2. วิธีการเตรียมสาร

สารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 1x ตามวิธีของ Knott & Deanon (1980) ในขณะที่สารละลาย Hoagland ความเข้มข้น 0.5x จะตวงจากสารละลายสต็อกข้างต้นเช่นเดียวกัน แต่ลดปริมาตร เป็น 0.5 เท่า ของความเข้มข้น 1x และการเตรียมสารไคโตซาน จะชั่งไคโตซานสายสั้น 20 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร คนให้เข้ากันแล้วเติมกรดแอสซิติค 10 มิลลิลิตร จะได้สารที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นตวงไคโตซาน 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 1 ลิตร 1 มิลลิลิตร ซึ่งจะได้สารไคโตซานที่ความเข้มข้น 20 ppm ขณะที่ไคโตซาน ความเข้มข้น 40 และ 80 ppm จะต้องตวงสารละลายไคโตซาน 2 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 2 และ 4 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

3. วิธีการปลูกเพาะเมล็ด และการจัดการ

เริ่มจากการนำเมล็ดทานตะวันแช่น้ำกลั่น 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นบ่มเมล็ดด้วยผ้า 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ โดยตวงสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ทั้ง 2 ความเข้มข้นลงในภาชนะปลูก ปริมาตร 1.40 ลิตรต่อถาด หลังจากนั้นใส่ฟองน้ำลงในถาดเพาะปลูกที่สารละลาย และนำเมล็ดที่ผ่านการบ่มเพาะลงบนฟองน้ำ โดยแต่ละทรีตเมนต์จะใช้เมล็ดทานตะวัน 50 เมล็ดต่อถาด และขึ้นตอนสุดท้ายเมื่อต้นอ่อนทานตะวันอายุ 2 และ 4 วันหลังปลูกลงถาด ให้ฉีดพ่นไคโตซานของแต่ละความเข้มข้น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

4. การบันทึกข้อมูล

4.1 ความงอกและความเร็วของเมล็ดในสภาพแปลงเพาะ (ISTA, 2008)

4.2 การเจริญเติบโตของต้นอ่อน ได้แก่ ความยาวต้น ความยาวและกว้างใบ น้ำหนักสดและแห้งของผลผลิตต้นอ่อน

4.3 คุณค่าทางโภชนาการ มีดังนี้

4.3.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ในต้นอ่อนทานตะวัน ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric assays ดัดแปลงตามวิธีการของ Sellappan et al., (2002) โดยปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.20 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง แล้วเติมน้ำ RO (reverse osmosis) ปริมาตร 1.58 มิลลิลิตร และสารละลายฟอลินซิโอแคลทู ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารละลาย ทิ้งไว้ 5 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันอีกครั้ง แล้วจึงเก็บไว้ในที่แสงเข้าไม่ถึงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

หลังจากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ใช้สารละลายมาตรฐาน กรดแกลลิก ($C_7H_6O_5$) ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน Gallic acid กับค่าการดูดกลืนแสง และคำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัด ตัวอย่างโดยใช้กรดแกลลิก ($C_7H_6O_5$) เป็นมาตรฐาน และรายงานในรูปมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง (mg GAE/g DW) จากสูตร (1)

$$\text{mg GAE/g DW} = \left[\frac{\text{OD}_{765} - C}{\text{slope}} \right] \frac{\text{dilution} \times \text{volume}}{w} \quad (1)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของตัวอย่างพืชแห้ง (กรัม) ของสารสกัดหยาบที่เตรียมสารละลายของตัวอย่าง, OD_{765} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765, C คือ จุดตัดบนแกน Y, Slope คือ ความชันที่ได้จากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (ค่า Y), Volume คือ ปริมาตรสารละลายของตัวอย่างที่เตรียม (มิลลิลิตร) และ Dilution คือ ค่าการเจือจางตัวอย่างก่อนนำมาวิเคราะห์

4.3.2 ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วย 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ดัดแปลงจากวิธีการของ Khanam et al., (2012) และ Harakotr et al., (2014) โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH เริ่มต้นจากใช้ปิเปตดูดสารละลายตัวอย่างละ 100 ไมโครลิตร ใส่หลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 1.90 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดี และเก็บไว้ในบริเวณที่แสงเข้าไม่ถึง (ที่มืด) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร โดยใช้เมทานอล (CH_3OH) ร้อยละ 100 แทนสารละลายที่สกัดจากผลผลิตเป็นค่ามาตรฐาน (blank) และคำนวณร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH (% inhibition) จากสูตร (2)

$$\% \text{ Inhibition} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ในสารละลาย DPPH และ A_1 คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ในสารตัวอย่าง ผสมกับสารละลาย DPPH

4.3.3 ปริมาณแคโรทีนอยด์ ดัดแปลงจาก Nagata & Yamashita (1992) โดยบดตัวอย่างต้นอ่อนทานตะวัน ให้ละเอียดจำนวน 5 กรัม โดยใช้ตัวสกัดเป็นสารละลายอะซิโตนเข้มข้น ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) 25 มิลลิลิตร เขย่าจนกระทั่งตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีขาวและกรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 470, 645 และ 663 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายอะซิโตนเข้มข้น ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) แทนสารละลายที่สกัดจากผลผลิตเป็นค่ามาตรฐาน และนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร จากสูตร (3)

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ} = [12.7 (\text{OD}_{663}) - 2.69 (\text{OD}_{645})] \times \frac{V}{(1000 \times W)} \quad (3)$$

$$\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์ บี} = [22.9 (\text{OD}_{645}) - 4.68 (\text{OD}_{663})] \times \frac{V}{(1000 \times W)}$$

$$\text{แคโรทีนอยด์} = [1000(\text{OD}_{470}) + 3.27 (\text{ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ} - \text{ปริมาณคลอโรฟิลล์บี})] \times \frac{V}{(W \times 229)}$$

เมื่อ OD คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากเครื่องวัดการดูดกลืนแสงตามความยาวคลื่นที่กำหนด, V คือปริมาตรอะซิโตน (มิลลิลิตร) และ W คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

5. วิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) ของข้อมูลตามแผนการทดลองที่ใช้ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ DMRT (Duncan's new multiple range test)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. เปอร์เซ็นต์ความงอกและความเร็วในการงอกของเมล็ด

จากผลของความเข้มข้นสารละลายธาตุอาหาร Hoagland และการฉีดพ่นไคโตซานต่อเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดทานตะวันที่ปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 72.67-78.67 เปอร์เซ็นต์ ดัง (Table 1) ขณะที่การทดลองของ Munpattanakarn (1998) ที่ศึกษาผลของการงอกเมล็ดพืชและการเจริญของต้นกล้าพืช ที่ปลูกด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ในสารละลาย Hoagland ที่มีสารสกัดสะเดาความเข้มข้นต่างกัน โดยพบว่าความเข้มข้น 10 ppm มีผลต่อการงอกของข้าวโพดมากที่สุด เท่ากับ 82.31 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ Chainan & Wongruang (2009) ที่พบว่าสารละลายไคโตซานทำให้ความงอกเมล็ดแตกต่างกัน โดยความเข้มข้น 8 กรัมต่อลิตร มีผลให้อัตราการงอกของข้าวสูงที่สุดคือ 94.60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อพิจารณาความเร็วในการงอกของเมล็ดที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารและฉีดพ่นไคโตซานที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารและการฉีดพ่นไคโตซาน โดยต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกในทุกความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ร่วมกับการฉีดพ่นไคโตซาน มีความเร็วในการงอกของเมล็ดสูง ยกเว้นต้นอ่อนที่ปลูกด้วย RO ร่วมกับการฉีดพ่น RO การปลูกในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 0.5x ร่วมกับการฉีดพ่นไคโตซาน 80 ppm และ Hoagland 1x ร่วมกับการฉีดพ่น RO และสารไคโตซาน 20-80 ppm ที่มีความเร็วในการงอกของเมล็ดต่ำ ดัง (Table 2)

Table 1 Effect of nutrient management in combination with chitosan spraying on seed germination (percentage) of sunflower sprouts.

chitosan (B) (ppm)	concentration of Hoagland nutrient solution (A)			mean (B)
	0	0.5x	1x	
0	72.67	75.33	75.33	74.45
20	74.67	75.33	78.00	76.00
40	72.67	74.67	78.67	75.33
80	74.00	77.33	74.67	75.33
mean (A)	73.50	75.67	76.67	
F-test (A)		ns		
F-test (B)		ns		
F-test (AXB)		ns		
CV. % (a)		6.55		
CV. % (b)		5.20		

note: ^{ns} = not significant

Table 2 Effect of nutrient management in combination with chitosan spraying on speed of germination of sunflower sprouts.

chitosan (B) (ppm)	concentration of Hoagland nutrient solution (A)			mean (B)
	0	0.5x	1x	
0	15.70 ^{ab1/}	19.40 ^a	14.33 ^b	16.48
20	18.43 ^a	18.30 ^a	15.53 ^b	17.42
40	18.67 ^a	18.53 ^a	16.20 ^{ab}	17.80
80	18.20 ^a	14.73 ^b	17.87 ^{ab}	16.93
mean (A)	17.75	17.74	15.98	
F-test (A)		ns		
F-test (B)		ns		
F-test (AXB)		**		
CV. % (a)		15.97		
CV. % (b)		9.01		

note: ^{1/} means within the same column followed by the same letters are not significantly different at $P < 0.05$ by DMRT,

^{ns} = not significant.

2. การเจริญเติบโตและผลผลิต

ขณะที่การเจริญเติบโตทางด้านความยาวของต้นอ่อนทานตะวัน พบว่าสารละลายธาตุอาหาร Hoagland มีความแตกต่างกันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใช้สารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 0 และ 1x มีความยาวต้นมากที่สุด เท่ากับ 11.75 และ 11.83 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ความเข้มข้นของการฉีดพ่นสารไคโตซาน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lizarraga-Paulin et al., (2011) ที่พบว่า การใช้ไคโตซานที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลทำให้ความยาวของต้นข้าวโพดที่ปลูกในสภาพดินต่างเพิ่มขึ้น แต่การศึกษาของ Chainan & Wongruang (2009) พบว่าไคโตซาน ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร ทำให้ความยาวลำต้นข้าวสาลีสูงสุด นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ร่วมกับการฉีดพ่นไคโตซาน ซึ่งเมื่อปลูกต้นอ่อนทานตะวันในน้ำ RO ร่วมกับการฉีดพ่นด้วย RO กับสารละลาย Hoagland ความเข้มข้น 0.50 ร่วมกับการฉีดพ่นน้ำ RO และ Hoagland เข้มข้น 1x ร่วมกับการฉีดพ่นไคโตซาน 80 ppm มีความยาวต้นสูง เท่ากับ 12.26, 12.04 และ 13.05 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ถ้าปลูก Hoagland เข้มข้น 1x ร่วมกับการฉีดพ่น RO มีความยาวต้นต่ำสุด เท่ากับ 10.79 เซนติเมตร ดัง (Table 3) ในขณะที่ผลของความยาวใบต้นอ่อนทานตะวัน พบว่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใช้สารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 0.5x เปอร์เซ็นต์ มีความยาวใบของต้นอ่อนทานตะวันมาก เท่ากับ 2.99 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกับการปลูกด้วยน้ำ RO ส่วนการฉีดพ่นสารไคโตซาน ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ และพบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารกับการฉีดพ่นไคโตซาน ซึ่งเมื่อปลูกต้นอ่อนทานตะวันด้วยน้ำ RO ร่วมกับการฉีดพ่นน้ำ RO และการฉีดพ่นสารไคโตซาน ที่ความเข้มข้น

20-40 ppm และสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 1x ร่วมกับฉีดพ่นไคโตซาน 40-80 ppm มีความยาวใบต่ำสุด อยู่ระหว่าง 2.48-2.77 เซนติเมตร ดัง (Table 4) สำหรับความกว้างใบ พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland และการฉีดพ่นไคโตซานไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ รวมทั้งไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง ดัง (Table 5) จากผลของน้ำหนัสดันอ่อนทานตะวัน พบว่าความเข้มข้นของ Hoagland ไม่มีความแตกต่างกัน ขณะที่การศึกษาของ Taghavi et al., (2005) พบว่าการเจริญเติบโตของ *Populus trichocarpa* x *deltoides* cv. ซึ่งปลูกโดยใช้ 1/2 ของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ส่งผลดีกว่าความเข้มข้นอื่น สำหรับการฉีดพ่นไคโตซาน ทำให้น้ำหนัสดันอ่อนทานตะวันมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการฉีดพ่นไคโตซาน 20 และ 80 ppm มีน้ำหนักสดของดันอ่อนทานตะวันมาก เท่ากับ 8.61 และ 9.78 กรัมต่อ 10 ต้น ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกับไคโตซาน ที่ความเข้มข้น 40 ppm สอดคล้องกับ Boonlertnirun et al., (2013) ที่พบว่าการฉีดพ่นไคโตซานนั้นส่งผลทำให้ความเขียวของใบและจำนวนหน่อต่อต้นของข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ฉีดพ่น และพบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารกับการฉีดพ่นไคโตซาน ซึ่งสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 0.5x ร่วมกับฉีดพ่นน้ำ RO มีน้ำหนักสดต่ำเท่ากับ 4.40 กรัมต่อ 10 ต้น แต่ไม่แตกต่างกับต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกด้วยน้ำ RO ร่วมกับฉีดพ่นไคโตซาน 20 ppm และสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 0.5x ร่วมกับฉีดพ่นไคโตซาน 40 ppm ดัง (Table 6) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเนื่องจากไคโตซานเป็นไบโอโพลิเมอร์ที่มีประจุบวกและลบ จึงทำหน้าที่ช่วยดูดซับ ลดการสูญเสีย และช่วยให้การใช้น้ำมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Lueangthanawat et al., 2017) จึงส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น

Table 3 Effect of nutrient management in combination with chitosan spraying on shoot length (cm) of sunflower sprouts.

chitosan (B) (ppm)	concentration of Hoagland nutrient solution (A)			mean (B)
	0	0.5x	1x	
0	12.26 ^{a1/}	12.04 ^a	10.79 ^c	11.70
20	11.67 ^{ab}	10.39 ^b	11.28 ^{bc}	11.11
40	11.90 ^{ab}	10.18 ^b	12.20 ^{ab}	11.43
80	11.19 ^b	10.65 ^b	13.05 ^a	11.63
mean (A)	11.75 ^{-A2/}	10.81 ^B	11.83 ^A	
F-test (A)		*		
F-test (B)		ns		
F-test (AXB)		**		
CV. % (a)		5.93		
CV. % (b)		11.47		

note: ^{1/}and ^{2/}means within the same column followed by the same letters are not significantly different at P<0.05 by DMRT, ^{ns} = not significant, * significant at P<0.05, ** significant at P<0.01.

Table 4 Effect of nutrient management in combination with chitosan spraying on leaf length (cm) of sunflower sprouts.

chitosan (B) (ppm)	concentration of Hoagland nutrient solution (A)			mean (B)
	0	0.5x	1x	
0	2.77 ^{b1/}	3.14 ^a	2.98 ^a	2.96
20	2.67 ^b	2.91 ^a	2.84 ^a	2.81
40	2.75 ^b	2.95 ^a	2.53 ^b	2.74
80	3.11 ^a	2.98 ^a	2.48 ^b	2.85
mean (A)	2.83 ^{AB2/}	2.99 ^A	2.70 ^B	
F-test (A)		**		
F-test (B)		ns		
F-test (AXB)		**		
CV. % (a)		4.02		
CV. % (b)		5.67		

note: ^{1/} and ^{2/} means within the same column followed by the same letters are not significantly different at P<0.05 by DMRT, ^{ns} = not significant, ** significant at P<0.01.

Table 5 Effect of nutrient management in combination with chitosan spraying on leaf width (cm) of sunflower sprouts.

chitosan (B) (ppm)	concentration of Hoagland nutrient solution (A)			mean (B)
	0	0.5x	1x	
0	1.23	1.22	1.24	1.23
20	1.19	1.14	1.19	1.17
40	1.20	1.17	1.18	1.18
80	1.16	1.18	1.11	1.15
mean (A)	1.20	1.18	1.18	
F-test (A)		ns		
F-test (B)		ns		
F-test (AXB)		ns		
CV. % (a)		8.20		
CV. % (b)		7.25		

note: ^{ns} = not significant.

Table 6 Effect of nutrient management in combination with chitosan spraying on shoot fresh weight (g) of sunflower sprouts.

chitosan (B) (ppm)	concentration of Hoagland nutrient solution (A)			mean (B)
	0	0.5x	1x	
0	7.01 ^{ab1/}	4.40 ^c	6.12 ^b	5.84 ^{22/}
20	6.37 ^{bc}	9.66 ^a	9.79 ^a	8.61 ^x
40	7.89 ^{ab}	6.52 ^{bc}	9.60 ^a	8.00 ^{xy}
80	6.00 ^b	10.79 ^a	12.54 ^a	9.78 ^x
mean (A)	6.82	7.84	9.51	
F-test (A)		ns		
F-test (B)		**		
F-test (AXB)		*		
CV. % (a)		12.50		
CV. % (b)		12.91		

note: ^{1/} and ^{2/} means within the same column followed by the same letters are not significantly different at P<0.05 by DMRT, ^{ns} = not significant, * significant at P<0.05, ** significant at P<0.01.

3. คุณค่าทางโภชนาการ

ขณะที่ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยการปลูกด้วยน้ำ RO มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด เท่ากับ 473.26 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง แต่ไม่แตกต่างกับสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 0.5x ที่มีค่าเท่ากับ 417.05 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ขณะที่ความเข้มข้นของสารไคโตซานที่ฉีดพ่นส่งผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกดังกล่าวแตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน ซึ่งการฉีดพ่นสารไคโตซาน 80 ppm มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด คือ 564.92 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และการฉีดพ่นด้วยน้ำ RO มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำสุด เท่ากับ 207.23 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และพบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารกับการฉีดพ่นไคโตซาน โดยต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกด้วยน้ำ RO ร่วมกับฉีดพ่นไคโตซาน 40 และ 80 ppm สารละลายธาตุอาหาร Hoagland ที่ความเข้มข้น 0.5x ร่วมกับฉีดพ่นไคโตซาน 80 ppm และสารละลายธาตุอาหารสูตร Hoagland ความเข้มข้น 1x ร่วมกับฉีดพ่นไคโตซาน 80 ppm มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมากที่สุด อยู่ระหว่าง 492.83-645.57 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง แต่เมื่อปลูกและฉีดพ่นด้วยน้ำ RO และปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 0.5x ร่วมกับฉีดพ่นน้ำ RO มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด เท่ากับ 201.91 และ 207.08 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับดัง (Table 7) โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sreenualpan & Aswatreeerattanukul (2016) ที่พบว่า การฉีดพ่นสารไคโตซาน ความเข้มข้น 500 ppm สามารถทำให้เมล็ดข้าวมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเพิ่มขึ้น 2.16 เท่า จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าสารไคโตซานอาจไปกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงเอนไซม์และสารพฤกษเคมีในต้นอ่อนทานตะวัน โดยจะไปกระตุ้นการทำงานของ phenylalanine

Ammonialyase ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารประกอบฟีนอลิก ทำให้มีสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้น (Jirakiattikul et al., 2013) เช่นเดียวกับ Salachna & Zawadzniska (2014) ที่รายงานว่าไคโตซานจะช่วยกระตุ้นกระบวนการที่สำคัญของพืชในระดับเซลล์ และเนื้อเยื่อผ่านกระบวนการทางสรีรวิทยาและชีวเคมี สำหรับความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของต้นอ่อนทานตะวัน พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดย Hoagland ความเข้มข้น 1x มีร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุด เท่ากับ 92.87 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Fayeizadeh et al., (2023) ซึ่งพบว่าการปลูกต้นอ่อนโหระพาโดยใช้สารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ผลผลิตคลอโรฟิลล์ทั้งหมด วิตามินซี แอนโทไซยานิน และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงขึ้น แต่การฉีดพ่นไคโตซานไม่มีผลต่อความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารกับการฉีดพ่นไคโตซาน ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกด้วยสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 1x ร่วมกับฉีดพ่นไคโตซาน 40-80 ppm มีร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุด เท่ากับ 94.51 และ 93.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกับธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 1x ร่วมกับฉีดพ่นน้ำ RO และสารไคโตซาน ที่เข้มข้น 20 ppm ดัง (Table 8) ขณะที่งานวิจัยของ Sreenualpan & Aswatreeerattanukul (2016) ซึ่งทดลองผลของไคโตซานต่อปริมาณในข้าวสังข์หยดพัทลุง พบว่า การฉีดพ่นด้วยไคโตซาน ความเข้มข้น 500 ppm ทำให้เพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Salimgandomi & Shabrangi (2016) พบว่าการฉีดพ่นไคโตซาน ที่ความเข้มข้น 50-100 μM สามารถกระตุ้นสารฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และสารต้านอนุมูลอิสระของเปเปอร์มินต์ (*Mentha piperita* L.) ให้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้จากผลการวิจัยข้างต้นนี้แสดงให้เห็นว่าค่าความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด กล่าวคือ ค่าเปอร์เซ็นต์การจับอนุมูลอิสระมาก หากมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมาก ซึ่งสารประกอบปริมาณฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีโครงสร้างหลักประกอบด้วย Aromatic Ring แทนที่ด้วย Hydroxyl Group ที่สามารถใช้จับอนุมูลอิสระได้ (Sittikijyothin & Cherdwongcharoen, 2011) นอกจากนี้ผลของปริมาณแคโรทีนอยด์ในต้นอ่อนทานตะวัน พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในขณะที่สารไคโตซานที่ฉีดพ่นนั้นมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ซึ่งการฉีดพ่นไคโตซาน 20 ppm มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด เท่ากับ 128.36 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อฉีดพ่นความเข้มข้น 40 และ 80 ppm มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด เท่ากับ 79.35 และ 68.82 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารกับการฉีดพ่นไคโตซาน โดยต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกด้วยน้ำ RO ร่วมกับฉีดพ่นไคโตซาน 20 ppm กับสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 0.5x ร่วมกับฉีดพ่นน้ำ RO และสารละลายธาตุอาหาร Hoagland 1x ร่วมกับฉีดพ่นสารไคโตซาน เข้มข้น 40 ppm มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงที่สุด เท่ากับ 186.76, 104.59 และ 136.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่การปลูกสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 0.5x ร่วมกับฉีดพ่นสารไคโตซาน 40 ppm มีปริมาณแคโรทีนอยด์ต่ำที่สุด เท่ากับ 49.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ดัง (Table 9)

Table 7 Effect of nutrient management in combination with chitosan spraying on total phenolic compounds content (mg GAE/g DW) of sunflower sprouts.

chitosan (B) (ppm)	concentration of Hoagland nutrient solution (A)			mean (B)
	0	0.5x	1x	
0	201.91 ^{c1/}	207.08 ^c	212.71 ^b	207.23 ^{Z3/}
20	443.75 ^b	448.23 ^b	223.86 ^b	371.95 ^Y

Table 7 Effect of nutrient management in combination with chitosan spraying on total phenolic compounds content (mg GAE/g DW) of sunflower sprouts (continue).

chitosan (B) (ppm)	concentration of Hoagland nutrient solution (A)			mean (B)
	0	0.5x	1x	
40	601.79 ^a	456.56 ^b	250.87 ^b	436.41 ^y
80	645.57 ^a	556.33 ^a	492.83 ^a	564.92 ^x
mean (A)	473.26 ^{A2/}	417.05 ^{AB}	295.07 ^B	
F-test (A)		**		
F-test (B)		**		
F-test (AXB)		**		
CV. % (a)		6.66		
CV. % (b)		7.44		

note: ^{1/, 2/, 3/} means within the same column followed by the same letters are not significantly different at P<0.05 by DMRT, ** significant at P<0.01.

Table 8 Effect of nutrient management in combination with chitosan spraying on antioxidant activity (%) of sunflower sprouts using 2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl (DPPH)

chitosan (B) (ppm)	concentration of Hoagland nutrient solution (A)			Mean (B)
	0	0.5x	1x	
0	88.35 ^{c1/}	88.68 ^c	92.12 ^{ab}	89.72
20	90.85 ^{bc}	91.37 ^{ab}	91.52 ^{ab}	91.25
40	90.99 ^{bc}	90.07 ^b	94.51 ^a	91.86
80	88.27 ^c	88.46 ^c	93.32 ^a	90.02
mean (A)	89.61 ^{B2/}	89.65 ^B	92.87 ^A	
F-test (A)		**		
F-test (B)		ns		
F-test (AXB)		**		
CV. % (a)		0.43		
CV. % (b)		0.86		

note: ^{1/, 2/} means within the same column followed by the same letters are not significantly different at P<0.05 by DMRT, ^{ns} = not significant, ** significant at P<0.01.

Table 9 Effect of nutrient management in combination with chitosan spraying on carotenoid content (mg/l) of sunflower sprouts.

chitosan (B) (ppm)	concentration of Hoagland nutrient solution (A)			mean (B)
	0	0.5x	1x	
0	70.23 ^{b1/}	119.91 ^a	67.39 ^c	85.85 ^{Y2/}
20	186.78 ^a	104.59 ^b	93.70 ^b	128.36 ^x
40	52.25 ^c	49.04 ^d	136.75 ^a	79.35 ^z
80	48.56 ^c	81.87 ^c	76.04 ^c	68.82 ^z
mean (A)	89.46	88.85	93.47	
F-test (A)		ns		
F-test (B)		**		
F-test (AXB)		**		
CV. % (a)		5.77		
CV. % (b)		5.63		

note: ^{1/} and ^{2/} means within the same column followed by the same letters are not significantly different at P<0.05 by DMRT, ^{ns} = not significant, ^{**} significant at P<0.01.

สรุป

จากผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย Hoagland ร่วมกับการฉีดพ่นไคโตซานต่อผลผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของต้นอ่อนทานตะวัน พบว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกปลูกในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland มีผลทำให้ความยาวต้นและใบ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งต้นอ่อนทานตะวันของสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 1x มีความยาวต้น และกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าความเข้มข้นอื่น ๆ ขณะที่การฉีดพ่นสารไคโตซานความเข้มข้นต่างกัน ส่งผลทำให้น้ำหนักสด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และปริมาณแคโรทีนอยด์แตกต่างกันทางสถิติเช่นกัน โดยการฉีดพ่นสารไคโตซาน ความเข้มข้น 80 ppm ทำให้น้ำหนักสด และสารประกอบฟีนอลิกมีค่าสูงกว่า นอกจากนี้ยังพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ร่วมกับการฉีดพ่นไคโตซานซึ่งมีผลให้ความเร็วในการงอกของเมล็ด ความยาวต้น ความยาวใบ น้ำหนักสด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระแตกต่างกันทางสถิติ โดยต้นอ่อนทานตะวันที่ถูกปลูกในสารละลายธาตุอาหาร Hoagland ความเข้มข้น 1x ร่วมกับการฉีดพ่นไคโตซาน ที่ความเข้มข้น 80 ppm ทำให้ความเร็วในการงอกของเมล็ด ความยาวต้น น้ำหนักสด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นอื่น

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2566 (รหัสโครงการ 182400) และขอขอบคุณสาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ทดลอง วัสดุและอุปกรณ์ ตลอดจนบุคลากรจึงทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จตามเป้าหมาย

เอกสารอ้างอิง

- Baker, K. F., & Cook, R. J. (1974). *Biological control of plant pathogens*. San Francisco, CA: W.H. Freeman and Company.
- Boonlertnirun, S., Suvannasara, R., Boonlertnirun, K., & Promsomboon, P. (2013). Effect of chitosan spraying on rice yield potential under drought stress at various growth stages. *RMUTSB Academic Journal*, 1(1), 30-40. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsb-sci/article/view/98182> (in Thai)
- Chainan, C., & Wongruang, S. (2009). Effect of chitosan on seed germination of rice (cv. Luang San Pah-Tawng) and inhibition of some rice seed fungi. *Thai Science and Technology Journal*, 17(1), 78-84. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/15042/13798> (in Thai)
- Fayezizadeh, M. R., Ansari, N. A., Sourestani, M. M., & Hasanuzzaman, M. (2023). Balancing yield and antioxidant capacity in basil microgreens: An exploration of nutrient solution concentrations in a floating system. *Agriculture*, 13, 1691. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091691>
- Ganesh, K. A., Randeep, R., Shigeru, T., Masami, Y., Akihiro, K., & Hikaru, S. (2002). Chitosan activates defense/stress response(s) in the leaves of *Oryza sativa* seedling. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40(12), 1061-1069. [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(02\)01471-7](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(02)01471-7)
- Harakotr, B., Suriham, B., Tangwongchai, R., Scott, M. P., & Lertrat, K. (2014). Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes in purple waxy corn as affected by traditional cooking. *Food Chemistry*, 164, 510-517. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.069>
- Harakotr, B., Jirakiattikul, Y., & Rittichai, P. (2019). Effect of biostimulants on antioxidant content and free radical scavenging capacity in microgreens of native *Brassicaceae* vegetables. *Thai Science and Technology Journal*, 27(1), 109-123. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/172553/123818> (in Thai)
- International Seed Testing Association (ISTA). (2008). *International rules for seed testing*. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- Jirakiattikul, Y., Rittichai, P., & Jetsadakarun, K. (2013). Effect of chitosan on the proliferation of *Oryza rufipogon* in aseptic conditions. *Thai Science and Technology Journal*, 21(1), 11-18. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj/article/view/12745/11445> (in Thai)
- Khanam, U. K. S., Oba, S., Yanase, E., & Murakami, Y. (2012). Phenolic acids, flavonoids, and total antioxidant capacity of selected leaf vegetables. *Journal of Functional Foods*, 4(4), 979-987. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.07.006>
- Kiba, A., & Sakakibara, M. (2021). *Nutritional deficiencies in plant using Hoagland solution*. Frontiers in Plant Science, Switzerland. 12 pp.
- Knott, J. E., & Deanon, J. R. (1980). *Knott's handbook for vegetable growers* (2nd ed.). Wiley.
- Lizarraga-Paulin, E. G., Torres-Pacheco, L., Moreno-Martinez, E., & Miranda-Castro, S. P. (2011). Chitosan application in maize (*Zea mays*) to counteract the effects of abiotic stress at the seedling level. *Journal of Biotechnology*, 10(34), 6439-6446. <https://academicjournals.org/journal/AJB/article-abstract/CC3402A34556>

- Lueangthanawat, S., Amkha, S., Mala, T., & Teeranitayatarn, K. (2017). The utilization of chitosan on growth and flower quality of marigold. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 45(S1), 411-418. <https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename=O069%20Soi06.pdf&id=2678&keeptrack=2> (in Thai)
- Misra, G., & Gibson, K. E. (2021). Characterization of microgreen growing operations and associated food safety practices. *Food Protection Trends*, 41(1), 56-69. <https://www.foodprotection.org/members/fpt-archive-articles/2021-01-characterization-of-microgreen-growing-operations-and-associated-food-safety-practices>
- Munpattanakarn, A. (2024, August 25). *Study of phytotoxicity of neem extract on seed germination and seedling growth*. <https://www.scimath.org/project-mathematics/item/5807-phytotoxicity>
- Nagata, M., & Yamashita, I. (1992). Simple method for simultaneous determinations of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaish*, 39(10), 925-928. https://www.jstage.jst.go.jp/article/nskkk1962/39/10/39_10_925/_article
- Phinyosri, J. (2024, August 25). *The benefits of sunflower sprouts*. <https://news.msu.ac.th/msumagaz/smain/readpost.php?mid=547>
- Resh, H. M. (2013). *Hydroponic food production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC Press.
- Salimgandomi, S., & Shabrangi, A. (2016). The effect of chitosan on antioxidant activity and some secondary metabolites of *Mentha piperita* L. *Journal of Pharmaceutical and Health Sciences*, 4, 135-142. https://journals.iau.ir/article_527130_b3a8d1d741cc86a99277adcf5501fee.pdf
- Somsamran, S. (2018). *Effect of sodium chloride and chitosan on growth and antioxidant activity in sunflower sprouts* (Master's thesis). Srinakharinwirot University, Bangkok. <http://ir-ithesis.swu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/1151/1/g582110002.pdf>
- Sreenualpan, S., & Aswatreeerattanukul, P. (2016). Effect of chitosan on antioxidant content and resistance to blast disease in Sangyod Phatthalung rice. *RMUTP Research Journal Sciences and Technology*, 10(2), 114-124. <https://doi.org/10.14456/jrmutp.2016.27> (in Thai)
- Salachna, P., & Zawadzinska, A. (2014). Effect of chitosan on plant growth, flowering and corms yield of potted freesia. *Journal of Ecological Engineering*, 15(3), 97-102. <https://doi.org/10.12911/22998993.1110223>
- Sellappan, S., Akoh, C. C., & Krewer G. (2002). Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-grown blueberries and blackberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(8), 2432-2438. <https://doi.org/10.1021/jf011097r>
- Sittikijyothin, W., & Cherdwongcharoensuk, D. (2011). Free radical scavenging activity of seed coat extracts of sweet and sour tamarinds. *Burapha Science Journal*, 16(1), 47-55. <https://ojs.lib.buu.ac.th/index.php/science/article/view/7344> (in Thai)
- Sun, Z., Chwen, J., Ma, J., Jiang, Y., Wang, M., Ren, G., & Chen, F. (2012). Cynarin-rich sunflower (*Helianthus annuus*) sprouts possess both antiglycative and antioxidant activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(12), 3260-3265. <https://doi.org/10.1021/jf300737y>

- Taghavi, S., Barac, T., Greenberg, B., Borremans, B., Vangronsveld, J., & Lelie, D. (2005). Horizontal gene transfer to endogenous endophytic bacteria from poplar improves phytoremediation of toluene. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(12), 8500-8505. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.12.8500-8505.2005>
- Tandavanit, O. (2024, February 24). *Sprouted sunflower seeds: High nutritional value*. <https://soclaimon.wordpress.com> (in Thai)
- Xiao, Z. G., Lester, E., Luo, Y., & Wang, Q. (2012). Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: Edible microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(31), 7644-7651. <https://doi.org/10.1021/jf300459b>