

## บทความวิจัย (Research Article)

## ผลของการใช้น้ำออกซิเจนไมโคร/นาโนบับเบิลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมเบบี๋คอสพันธุ์ทวีตตี้ในระบบปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์

จรรmun ตัญม<sup>1\*</sup>, ชิติ ศรีตนต์พิ<sup>2</sup>, ปริญญาวดี ศรีตนต์พิ<sup>2</sup>, และ ธิภารัตน์ สำลีเต็มสิริ<sup>1</sup>

## Effects of oxygen micro/nano bubble water on growth of baby cos lettuce Twitty variety in hydroponics

Jarrumon Tuikhom<sup>1\*</sup>, Chiti Sritontip<sup>2</sup>, Parinyawadee Sritontip<sup>2</sup>, and Thiparat Samlitoemsiri<sup>1</sup><sup>1</sup> Department Bachelor of Science, Plant Science Northern Institute of Vocational Education in Agriculture, College of Agriculture and Technology Pichit, Pichit 66140<sup>2</sup> Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang 52000

\* Correspondence author: jarrumon0613830189@gmail.com

Health Science, Science and Technology Reviews. 2024;17(2):3-14.

Received: 22 February 2024; Revised: 15 May 2024; Accepted: 20 August 2024

## บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการใช้น้ำออกซิเจนไมโคร/นาโนบับเบิลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมเบบี๋คอสพันธุ์ทวีตตี้ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomize Design : CRD) มี 4 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ คือ 1) น้ำเปล่า (Control) 2) น้ำมาโครบับเบิล (Macrobubbles ; MBs) 3) น้ำไมโคร/นาโนบับเบิล (Micro/nanobubbles ; MNBs) และ 4) น้ำนาโนบับเบิล (Nanobubbles ; NBs) ทำการทดลองระหว่างเดือนสิงหาคม - กันยายน 2566 โดยใช้ระยะเวลาในการปลูกพืช 28 วัน ผลการทดลองพบว่าการเจริญเติบโตด้านความสูงของลำต้น เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ความกว้างใบ ประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ ค่าไนเตรทของใบ น้ำหนักสดส่วนราก และน้ำหนักแห้งส่วนราก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่การใช้น้ำมาโครบับเบิล และน้ำไมโคร/นาโนบับเบิล ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีความกว้างทรงพุ่ม และความยาวของรากสูงกว่าการใช้น้ำเปล่าและการใช้น้ำนาโนบับเบิล ส่วนการใช้น้ำนาโนบับเบิลทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีความยาวใบ น้ำหนักสดส่วนใบ น้ำหนักแห้งส่วนใบ และน้ำหนักสดต่อต้นสูงที่สุด นอกจากนี้การใช้น้ำมาโครบับเบิล น้ำไมโคร/นาโนบับเบิล และน้ำนาโนบับเบิลทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีจำนวนใบ น้ำหนักสดส่วนลำต้นสูงกว่าการใช้น้ำเปล่า ขณะที่การใช้น้ำไมโคร/นาโนบับเบิล และการใช้น้ำนาโนบับเบิลทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีดัชนีความเขียวของใบและน้ำหนักแห้งต่อต้นสูงกว่าการใช้น้ำเปล่าและการใช้น้ำมาโครบับเบิล

**คำสำคัญ:** ผักกาดหอมเบบี๋คอส, ไมโคร/นาโนบับเบิล, ไฮโดรโปนิกส์, สารละลายธาตุอาหาร

<sup>1</sup> สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะพืชศาสตร์ สถาบันการอาชีวศึกษาเกษตรภาคเหนือ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีพิจิตร จังหวัดพิจิตร 66140

<sup>2</sup> สถาบันวิจัยเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000

## Abstract

The effect of oxygen micro/nanobubbles in water on plant growth of baby cos lettuce Twitty variety in hydroponic cultivation were investigated. The experiment design was a completely randomize design (CRD). There are 4 treatments and 4 replications: 1) tap water (control), 2) macrobubbles (MBs), 3) micro/nanobubbles (MNBs), and 4) nanobubbles (NBs). The experiment was conducted between August and September 2023 for 28 days. There was no statistical difference in stem height, stem diameter, leaf width, leaf chlorophyll fluorescence, leaf nitrate, root fresh weight, and root dry weight. Whereas, the use of macrobubble and micro/nanobubble water had higher leaf width and root length than tap water and nanobubbles use. Nanobubble water use had the highest leaf length, leaf fresh weight, leaf dry weight, and total fresh weight per plant. In addition, the use of macrobubble water, micro/nanobubble water, and nanobubble water had a higher number of leaves, stem fresh weight than tap water. While, the use of micro/nanobubble water and nanobubble water enhanced the leaf greenness index and total dry weight per plant, which was higher than tap water and macrobubbles use.

**Keywords:** Baby cos lettuce, Micro/nanobubbles, Hydroponics, Nutrient solution

## บทนำ

ผักกาดหอมเบบี้คอส (*Lactuca sativa*) เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก มีอายุสั้นฤดูเดียว ชอบอากาศหนาว เป็นผักกาดหอมอันดับต้น ๆ ที่นิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลาย ผักชนิดนี้มีรสชาติขมเล็กน้อย แต่มีความกรอบและเบา เป็นพืชผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะไฟเบอร์ มีสารอาหารพวกวิตามิน เช่น วิตามินเอ วิตามินซี มีธาตุอาหารพวกแคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ รับประทานแล้วรู้สึกสดชื่น ผักกาดหอมเบบี้คอสจัดเป็นผักที่ให้แคลอรีต่ำเหมาะสำหรับการบริโภคเพื่อควบคุมน้ำหนัก [1] เป็นที่นิยมรับประทานของผู้ที่รักสุขภาพ สามารถสร้างเป็นอาชีพหลักหรือรายได้เสริมของเกษตรกรได้ ปัจจุบันเกษตรกรนิยมปลูกผักกาดหอมเบบี้คอสในระบบไฮโดรโปนิกส์

การปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์เป็นการปลูกพืชในน้ำที่มีสารละลายธาตุอาหารพืช หรือเป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน สามารถผลิตพืชผักในช่วงที่การปลูกลงดินทำได้ค่อนข้างยาก เช่น ในช่วงฤดูร้อนพืชต้องการน้ำในปริมาณมาก เพราะอุณหภูมิที่สูงจะส่งผลให้พืชคายน้ำสูงขึ้น ซึ่งหากมีการปลูกลงดินอาจทำให้พืชได้รับปริมาณน้ำที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต [2] โดยปกติแล้วการเจริญเติบโตของพืชได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ โดยปัจจัยที่สำคัญคือ ธาตุอาหาร การที่พืชจะนำธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้วัสดุที่ใช้ในการปลูกจะต้องมีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสม ในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินนั้นพืชจะได้รับธาตุอาหารในรูปสารละลายธาตุอาหารพืช ซึ่งพืชสามารถนำธาตุอาหารไปใช้ได้ทันทีเพราะมีการปรับค่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร โดยจะเทียบเคียงเป็นค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) และปรับค่า pH ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช [3] ซึ่งค่า EC มีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของพืช โดยถ้าค่า EC ของสารละลายมีความเหมาะสม พืชก็สามารถให้ผลผลิตได้ในปริมาณและคุณภาพที่สูงสุด แต่หากสารละลายมีค่า EC ที่ต่ำหรือสูงเกินไปก็อาจส่งผลให้ผลผลิตต่ำกว่าที่ควรจะเป็นได้ [4]

ไมโคร/นาโนบับเบิล คือเทคโนโลยีที่ผลิตฟองอากาศที่มีขนาดเล็ก ไมโครบับเบิลมีขนาดเล็กกว่า 50 ไมโครเมตร และนาโนบับเบิลมีขนาดเล็กกว่า 200 นาโนเมตร ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มจำนวนออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และทำให้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน โดยฟองอากาศที่ลอยตัวอยู่ในน้ำ จะมีปริมาณออกซิเจนมหาศาลและยังมีประจุลบล้อมรอบฟองอากาศอยู่จำนวนมาก แล้วยังสามารถเข้าแทรกซึมอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน [5]

ซึ่งการแตกตัวของฟองอากาศที่ช้า จะมีประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลออกซิเจนสูง เทคโนโลยีฟองอากาศขนาดเล็กเมื่อทำให้เกิดในน้ำปริมาณมาก ฟองอากาศระดับไมโครเมตรจะเห็นสีของน้ำมีลักษณะคล้ายสีของนม แต่ถ้าเป็นฟองอากาศระดับนาโนเมตร จะเห็นสีของน้ำมีลักษณะใส เนื่องจากฟองอากาศขนาดนาโนเมตรมีขนาดเล็กมาก โดยปกติฟองอากาศทั่วไปจะลอยขึ้นอย่างรวดเร็วและแตกออกบริเวณผิวน้ำ แต่ฟองอากาศแบบไมโครบับเบิลส์จะลอยขึ้นสู่ผิวน้ำอย่างช้าๆ แล้วทำให้อนุภาคลิขระที่อยู่ระหว่างพื้นผิวของฟองอากาศ ซึ่งเป็นอะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนไม่เป็นคู่ที่อยู่ในวงรอบอะตอมจะถูกสร้างขึ้นเมื่อไมโครบับเบิลส์แตกออกในน้ำ ขณะที่นาโนบับเบิลส์จะยังคงอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน [6] นอกจากนี้ เทคโนโลยีไมโคร/นาโนบับเบิลส์ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น การบำบัดน้ำเสีย การปรับปรุงคุณภาพของน้ำ การกระตุ้นการงอกของเมล็ด การเพิ่มออกซิเจนในน้ำช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดี และส่งเสริมกิจกรรมทางสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ [7] และจากการศึกษาก่อนหน้า พบว่าการใช้เทคโนโลยีนาโนบับเบิลส์สำหรับการปลูกผักกาดหอมระบบไฮโดรโปนิคส์ สามารถช่วยลดระยะเวลาปลูกผักกาดหอมลงได้ 1 สัปดาห์ [8] ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไมโคร/นาโนบับเบิลส์สำหรับการปลูกผักกาดหอมแบบบ็อคอสแบบไฮโดรโปนิคส์ เพื่อช่วยในการเติมอากาศในน้ำให้แก่รากพืช และปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชส่งผลดีต่อการลำเลียงสารอาหารจากราก ลดปัญหาการขาดอากาศของรากพืช ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้นกว่าการปลูกผักกาดหอมลงดิน

## วิธีการศึกษา

ทำการทดลองโดยเพาะกล้าผักกาดหอมแบบบ็อคอส พันธุ์ทวิตตี้ จากบริษัทไทยลันนา โดยการนำเมล็ดมาเพาะในถาดพลาสติกที่รองด้วยกระดาษเพาะ ทำการรดน้ำให้ทั่ว แล้วบ่มไว้ในที่มืด 24 ชั่วโมง เมื่อกล้าอายุ 7 วันทำการย้ายกล้าใส่ในฟองน้ำ และย้ายปลูกโดยนำกล้าใส่ในแผ่นโฟมที่เจาะหลุม 12 หลุม และกล่องโฟมขนาดกว้าง 45 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร โดยห่อกล่องโฟมด้วยพลาสติก เติมน้ำในกล่องโฟมปริมาตร 30 ลิตร กำหนดให้ทุกกรรมวิธีมีค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity : EC) ในสารละลายธาตุอาหารเท่ากับ 1.2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร โดยใช้สูตรสารละลายธาตุอาหารสูตรดัดแปลง [2]

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) มีกรรมวิธีการทดลอง 4 กรรมวิธี จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 12 ต้น ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 น้ำเปล่า (Control)
- กรรมวิธีที่ 2 น้ำไมโครบับเบิลส์ (Macro bubbles)
- กรรมวิธีที่ 3 น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ (Micro/nano bubbles)
- กรรมวิธีที่ 4 น้ำนาโนบับเบิลส์ (Nanobubbles)

ในการทดลองกรรมวิธีที่ 1 ใช้น้ำประปา และผสมสารละลายธาตุอาหาร กรรมวิธีที่ 2 ใช้น้ำไมโครบับเบิลส์ทำฟองอากาศด้วยเครื่องปั๊มออกซิเจน รุ่น TWIN Magic 6,600 (บริษัท A.S. UNION CO. LTD. ประเทศไทย) กำลังไฟ 3 วัตต์ เพื่อเติมอากาศ และผสมสารละลายธาตุอาหาร กรรมวิธีที่ 3 ใช้น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ปั๊มด้วยเครื่องผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก MNBs รุ่น KVM-05 (พัฒนาโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา) ร่วมกับการใช้เครื่องผลิตออกซิเจน ยี่ห้อ Yuwell รุ่น 8F-5AW (บริษัท Jiansu YuYue Medical Equipmentt&Supply CO. LTD., ประเทศจีน) ความเข้มข้นของออกซิเจน 87-95.5 เปอร์เซ็นต์ กำลังไฟ 400 วัตต์ ระยะเวลา 16 นาที เนื่องจากระยะเวลาการปัมน้ำที่ 16 นาที เป็นช่วงที่ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าคงที่อยู่ที่ประมาณ 26-28 มิลลิกรัม/ลิตร นำน้ำหลังการปั๊มมาผสมสารละลายธาตุอาหารทันที และกรรมวิธีที่ 4 ใช้น้ำนาโนบับเบิลส์ ปั๊มด้วยเครื่อง เครื่องผลิตฟองอากาศขนาดเล็ก MNBs รุ่น KVM-05 ร่วมกับการใช้เครื่องผลิตออกซิเจน ระยะเวลา 16 นาที ปิดฝาและทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง เพื่อให้ฟองอากาศระดับไมโครและระดับไมโครเมตรที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหายไป เนื่องจากฟองอากาศที่มี

ขนาดใหญ่จะมีการเคลื่อนที่เร็วกว่าและอยู่ในน้ำได้ไม่นาน จึงทิ้งไว้เพื่อให้ในน้ำเหลือแค่ฟองอากาศระดับนาโนเมตร ซึ่งสามารถรู้ได้จากการนำน้ำใส่ในบีกเกอร์แล้วใช้เลเซอร์ยิงส่องผ่าน จะพบว่าเกิดการกระเจิงของแสง ซึ่งจะไม่เกิดขึ้นกับน้ำเปล่า จากนั้นจึงนำไปผสมสารละลายธาตุอาหารแล้วทำการทดลองต่อไป

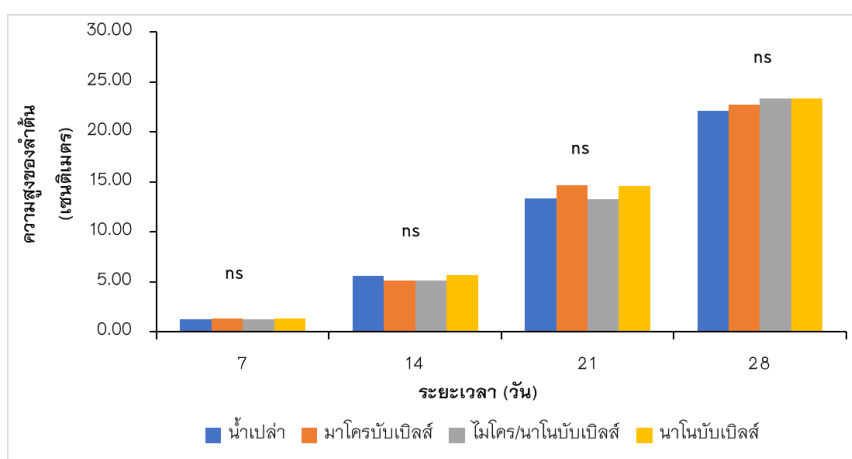
การบันทึกข้อมูล 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 คือข้อมูลในส่วนของพืช ได้แก่ ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น (มิลลิเมตร) ความกว้างทรงพุ่มของต้น (เซนติเมตร) ความยาวราก (เซนติเมตร) บันทึกข้อมูลทุก 7 วัน (หลังการย้ายปลูก) จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ ดัชนีความเขียวของใบ วัดด้วย SPAD-502 plus (บริษัท Konica Minolt ประเทศญี่ปุ่น) ประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ ( $F_v/F_m$ ) รุ่น Handy PEA Plus ver.02 (บริษัท Hansatech instruments ประเทศอังกฤษ) โดยวัดสัปดาห์ละครั้งจนถึงระยะการเก็บเกี่ยว ทำการวัดใบที่ขยายขนาดเต็มที่ในตำแหน่งใบที่ 3 (นับจากปลายยอดลงมา) มีการทำเครื่องหมายไว้ครั้งต่อไปให้วัดตำแหน่งเดิมและทำการวัดในช่วงเช้า ตั้งแต่เวลา 8.30 ถึง 11.00 นาฬิกา และปริมาณไนเตรทของใบ (ppm) ทำการวัดใบที่ขยายขนาดเต็มที่ในตำแหน่งใบที่ 3 (นับจากปลายยอดลงมา) โดยวัดครั้งเดียวตอนเก็บผลผลิต วัดค่าปริมาณ ไนเตรทกรรมวิธีละ 2 ซ้ำ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ทำการเก็บผลผลิตน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น) โดยเก็บข้อมูลตัวอย่างซ้ำละ 5 ต้น และส่วนที่ 2 คือ ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติของน้ำก่อนการผสมสารละลายธาตุอาหาร บันทึกข้อมูลสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ โดยบันทึกข้อมูลทุก 2 นาฬิกา เป็นเวลา 16 นาฬิกา แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ได้แก่ ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัม/ลิตร) ค่าอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ค่าการนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนส์/เซนติเมตร) และค่าความเป็นกรด-ด่าง

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่นัยสำคัญ 0.05

## ผลการศึกษา

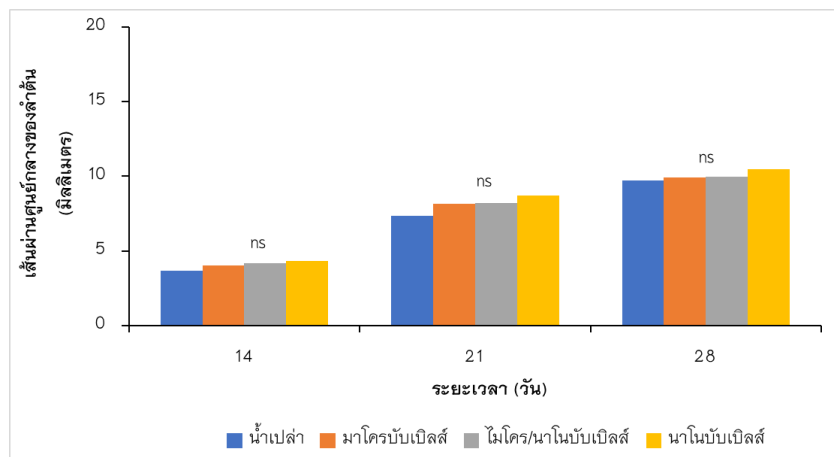
### การเจริญเติบโตทางลำต้น

การเจริญเติบโตในด้านความสูงของลำต้น พบว่าการใช้น้ำเปล่า น้ำมาโครบับเบิลส์ น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และน้ำนาโนบับเบิลส์ ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสที่อายุ 7-28 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่อายุ 7 วัน มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.24 -1.34 เซนติเมตร ที่อายุ 14 วัน มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 5.14 -5.69 เซนติเมตร ที่อายุ 21 วัน มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 13.25 -14.66 เซนติเมตร และที่อายุ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 22.11 -23.34 เซนติเมตร (รูปที่ 1)



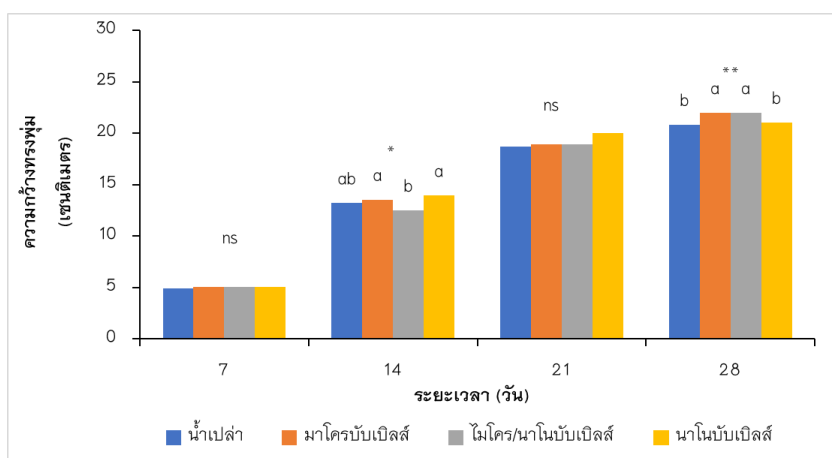
รูปที่ 1 ผลของการใช้น้ำเปล่า น้ำมาโครบับเบิลส์ น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และน้ำนาโนบับเบิลส์ต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงของลำต้น

การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น พบว่า การใช้น้ำเปล่า น้ำมาโครบับเบิลส์ น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และน้ำนาโนบับเบิลส์ ทำให้ผักกาดเบบี๋คอสที่อายุ 14-28 วัน มีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยที่อายุ 14 วัน มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.68 -4.34 มิลลิเมตร ที่อายุ 21 วัน มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 7.36 -8.73 มิลลิเมตร และที่อายุ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 9.69 -10.48 มิลลิเมตร (รูปที่ 2)



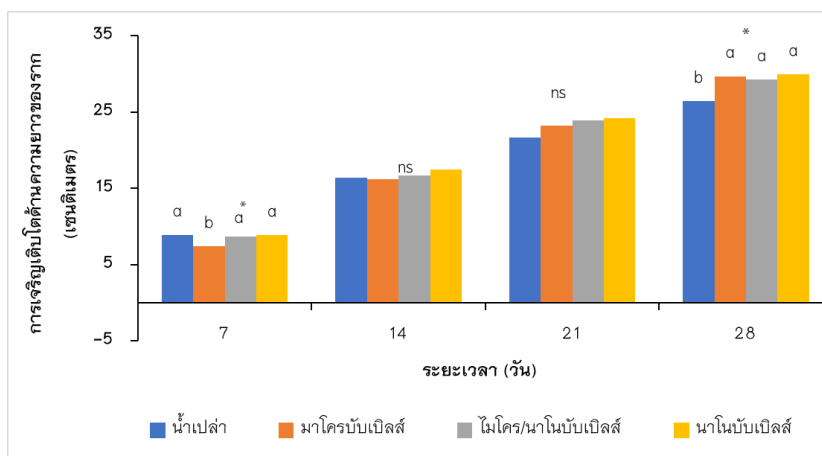
รูปที่ 2 ผลของการใช้น้ำเปล่า น้ำมาโครบับเบิลส์ น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และน้ำนาโนบับเบิลส์ต่อการเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น

การเจริญเติบโตด้านความกว้างทรงพุ่ม พบว่าการใช้น้ำเปล่า น้ำมาโครบับเบิลส์ น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และน้ำนาโนบับเบิลส์ ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสอายุ 7 วัน และอายุ 21 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่อายุ 7 วัน มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.95 -5.07 เซนติเมตร และที่อายุ 21 วัน มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 18.73 -20.04 เซนติเมตร แต่ที่อายุ 14 วัน และอายุ 28 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่อายุ 14 วัน พบว่าการใช้น้ำมาโครบับเบิลส์ และนาโนบับเบิลส์ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีความกว้างทรงพุ่มสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 13.55 -13.94 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกับการใช้น้ำเปล่า ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 13.21 เซนติเมตร ขณะที่อายุ 28 วัน พบว่าการใช้น้ำมาโครบับเบิลส์ และน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ทำให้ผักกาดเบบี๋คอสมีความกว้างทรงพุ่มสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.98 เซนติเมตร (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 ผลของการใช้น้ำเปล่า น้ำมาโครบับเบิลส์ น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และน้ำนาโนบับเบิลส์ต่อการเจริญเติบโตด้านความกว้างทรงพุ่ม

การเจริญเติบโตด้านความยาวของราก พบว่า การใช้น้ำมาโครบับเบิลส์ น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และน้ำนาโนบับเบิลส์ ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสอายุ 14 วัน และอายุ 21 วัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ส่วนที่อายุ 7 วัน และอายุ 28 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่อายุ 7 วัน พบว่า การใช้น้ำเปล่า น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และน้ำนาโนบับเบิลส์ ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีความยาวของรากสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 8.65 -8.91 เซนติเมตร ส่วนที่อายุ 28 วัน พบว่า การใช้น้ำมาโครบับเบิลส์ น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และน้ำนาโนบับเบิลส์ ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีความยาวของรากสูงกว่าการใช้น้ำเปล่า โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 29.25 -29.94 เซนติเมตร (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 ผลของการใช้น้ำเปล่า น้ำมาโครบับเบิลส์ น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และน้ำนาโนบับเบิลส์ต่อการเจริญเติบโตด้านความยาวของราก

#### ผลผลิตและข้อมูลสรีรวิทยา

ด้านผลผลิต พบว่า จำนวนใบ และความยาวใบ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใช้น้ำมาโครบับเบิลส์ น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และน้ำนาโนบับเบิลส์ ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอส มีจำนวนใบสูงกว่าการใช้น้ำเปล่า ส่วนความยาวใบ พบว่า การใช้น้ำนาโนบับเบิลส์ ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีความยาวใบสูงที่สุด ขณะที่ความกว้างใบ พบว่า ทั้ง 4 กรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลของการใช้น้ำเปล่า น้ำมาโครบับเบิลส์ น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และน้ำนาโนบับเบิลส์ต่อผลผลิตในลักษณะการเจริญเติบโตทางใบของผักกาดหอมเบบี๋คอส

| กรรมวิธี                             | จำนวนใบ<br>(ใบ)    | ความกว้างใบ<br>(เซนติเมตร) | ความยาวใบ<br>(เซนติเมตร) |
|--------------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------|
| กรรมวิธีที่ 1 น้ำเปล่า               | 16.95 <sup>b</sup> | 14.51                      | 15.60 <sup>b</sup>       |
| กรรมวิธีที่ 2 น้ำมาโครบับเบิลส์      | 17.45 <sup>a</sup> | 14.63                      | 15.82 <sup>b</sup>       |
| กรรมวิธีที่ 3 น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ | 17.85 <sup>a</sup> | 14.98                      | 15.73 <sup>b</sup>       |
| กรรมวิธีที่ 4 น้ำนาโนบับเบิลส์       | 18.30 <sup>a</sup> | 15.07                      | 17.77 <sup>a</sup>       |
| F-test                               | **                 | ns                         | **                       |
| C.V. (%)                             | 2.71               | 1.90                       | 3.08                     |

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

\*\* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ด้านสรีระวิทยา ได้แก่ ดัชนีความเขียวของใบ การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ ( $F_v/F_m$ ) และค่าไนเตรทของใบ พบว่า ค่าดัชนีความเขียวของใบ มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยการใช้ปุ๋ยน้ำไมโคร/นาโนบิลด์ และปุ๋ยนาโนบิลด์ ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีค่าดัชนีความเขียวของใบสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเปล่า แต่ไม่แตกต่างกับการใช้น้ำมาโครบิลด์ ส่วนค่าการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการทำงานของระบบแสงที่สองของใบ และค่าไนเตรทของใบ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (รูปที่ 2)

ตารางที่ 2 ผลของการใช้น้ำเปล่า น้ำมาโครบิลด์ น้ำไมโคร/นาโนบิลด์ และปุ๋ยนาโนบิลด์ต่อลักษณะสรีระวิทยาของพืช

| กรรมวิธี                         | ดัชนีความเขียว       | ประสิทธิภาพการทำงานของ                        | ค่าไนเตรท      |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------|----------------|
|                                  | ของใบ<br>(SPAD unit) | สูงสุดของระบบแสงที่สอง<br>ของใบ ( $F_v/F_m$ ) | ของใบ<br>(ppm) |
| กรรมวิธีที่ 1 น้ำเปล่า           | 42.00 <sup>b</sup>   | 0.78                                          | 2,600          |
| กรรมวิธีที่ 2 น้ำมาโครบิลด์      | 44.51 <sup>ab</sup>  | 0.80                                          | 2,900          |
| กรรมวิธีที่ 3 น้ำไมโคร/นาโนบิลด์ | 46.03 <sup>a</sup>   | 0.83                                          | 3,100          |
| กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยนาโนบิลด์      | 47.63 <sup>a</sup>   | 0.83                                          | 2,970          |
| F-test                           | *                    | ns                                            | ns             |
| C.V. (%)                         | 4.35                 | 5.51                                          | 8.35           |

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ  
\* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05  
ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดิ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ผลผลิตด้านน้ำหนักสด พบว่า น้ำหนักสดส่วนใบ น้ำหนักสดส่วนลำต้น และน้ำหนักสดต่อต้นมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใช้ปุ๋ยนาโนบิลด์ ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีน้ำหนักสดส่วนใบ น้ำหนักสดต่อต้นสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการใช้น้ำไมโคร/นาโนบิลด์ ส่วนน้ำหนักสดส่วนลำต้น พบว่าการใช้น้ำมาโครบิลด์ น้ำไมโคร/นาโนบิลด์ และปุ๋ยนาโนบิลด์ ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีน้ำหนักสดส่วนลำต้นสูงกว่าการใช้ปุ๋ยเปล่า ขณะที่น้ำหนักสดส่วนรากไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลของการใช้น้ำเปล่า น้ำมาโครบิลด์ น้ำไมโคร/นาโนบิลด์ และปุ๋ยนาโนบิลด์ต่อผลผลิตในลักษณะน้ำหนักสด

| กรรมวิธี                         | น้ำหนักสด (กรัม/ต้น) |                    |       |                      |
|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------|----------------------|
|                                  | ใบ                   | ลำต้น              | ราก   | รวม                  |
| กรรมวิธีที่ 1 น้ำเปล่า           | 76.13 <sup>c</sup>   | 31.49 <sup>b</sup> | 21.78 | 130.07 <sup>c</sup>  |
| กรรมวิธีที่ 2 น้ำมาโครบิลด์      | 82.79 <sup>bc</sup>  | 39.37 <sup>a</sup> | 24.62 | 150.09 <sup>b</sup>  |
| กรรมวิธีที่ 3 น้ำไมโคร/นาโนบิลด์ | 95.56 <sup>ab</sup>  | 39.17 <sup>a</sup> | 27.50 | 167.49 <sup>ab</sup> |
| กรรมวิธีที่ 4 ปุ๋ยนาโนบิลด์      | 107.18 <sup>a</sup>  | 38.74 <sup>a</sup> | 26.19 | 172.79 <sup>a</sup>  |
| F-test                           | **                   | *                  | ns    | **                   |
| C.V. (%)                         | 10.64                | 9.74               | 12.16 | 7.68                 |

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ  
\* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05  
\*\* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01  
ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวดิ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

ผลผลิตด้านน้ำหนักร้าง พบว่า น้ำหนักแห้งส่วนใบ น้ำหนักแห้งส่วนลำต้น และน้ำหนักแห้งต่อต้น มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใช้ให้นาโนบับเบิลส์ ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีน้ำหนักแห้งส่วนใบสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการใช้น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และการใช้น้ำมาโครบับเบิลส์ ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีน้ำหนักแห้งส่วนลำต้นสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการใช้น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ส่วนการใช้ให้นาโนบับเบิลส์ และน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ทำให้ผักกาดหอมเบบี๋คอสมีน้ำหนักแห้งต่อต้นสูงที่สุด ขณะที่น้ำหนักแห้งส่วนรากไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 4** ผลของการใช้น้ำเปล่า น้ำมาโครบับเบิลส์ น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และให้นาโนบับเบิลส์ต่อการผลิตในลักษณะน้ำหนักร้าง

| กรรมวิธี                             | น้ำหนักแห้ง (กรัม/ต้น) |                    |       |                    |
|--------------------------------------|------------------------|--------------------|-------|--------------------|
|                                      | ใบ                     | ลำต้น              | ราก   | รวม                |
| กรรมวิธีที่ 1 น้ำเปล่า               | 5.34 <sup>b</sup>      | 2.00 <sup>c</sup>  | 1.36  | 8.69 <sup>b</sup>  |
| กรรมวิธีที่ 2 น้ำมาโครบับเบิลส์      | 4.91 <sup>b</sup>      | 2.56 <sup>a</sup>  | 1.51  | 8.98 <sup>b</sup>  |
| กรรมวิธีที่ 3 น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ | 5.70 <sup>ab</sup>     | 2.42 <sup>ab</sup> | 1.68  | 9.80 <sup>a</sup>  |
| กรรมวิธีที่ 4 ให้นาโนบับเบิลส์       | 6.29 <sup>a</sup>      | 2.17 <sup>bc</sup> | 1.70  | 10.16 <sup>a</sup> |
| F-test                               | *                      | *                  | ns    | **                 |
| C.V. (%)                             | 9.81                   | 10.11              | 17.34 | 5.30               |

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

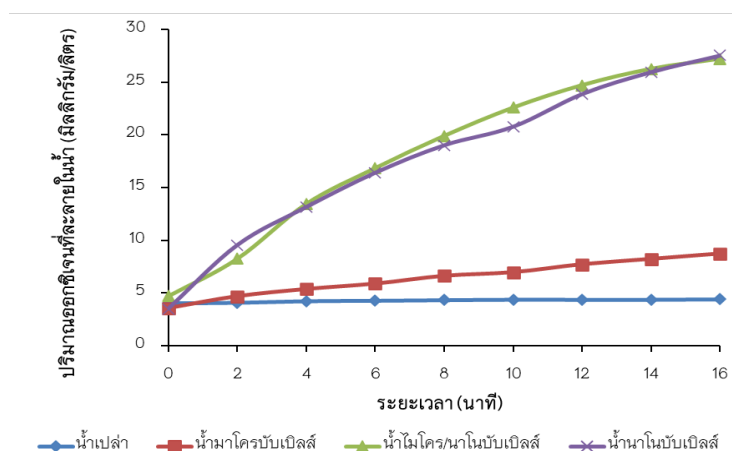
\* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

\*\* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรเหมือนกันในแนวตั้งไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT

### การเปลี่ยนแปลงค่าคุณสมบัติของน้ำ

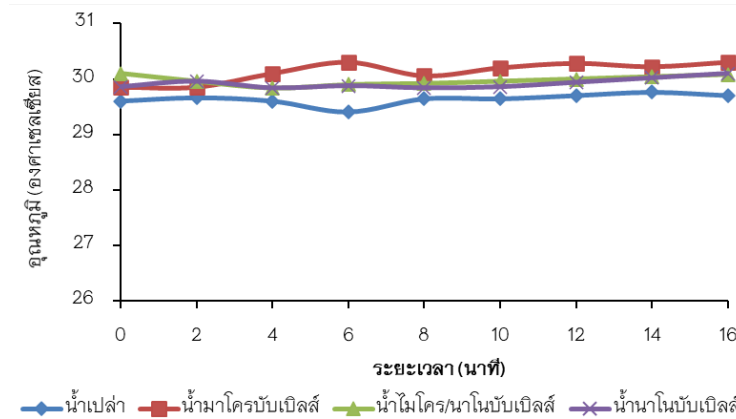
การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Do) ก่อนการผสมปุ๋ยทุก 2 นาที จนถึง 16 นาที พบว่า น้ำเปล่ามีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.04-4.41 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำมาโครบับเบิลส์มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.56-8.72 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.71-24.22 มิลลิกรัม/ลิตร และให้นาโนบับเบิลส์มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.47-27.54 มิลลิกรัม/ลิตร (รูปที่ 5)



**รูปที่ 5** ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Do) ของน้ำเปล่า น้ำมาโครบับเบิลส์ น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์และให้นาโนบับเบิลส์ ก่อนการผสมปุ๋ยที่ระยะเวลา 0-16 นาที

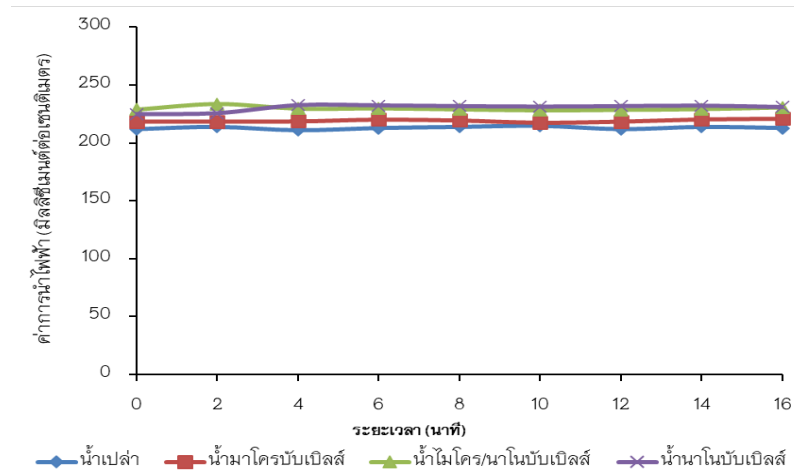


การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิ (Temp) ก่อนการผสมปุ๋ยทุก 2 นาที จนถึง 16 นาที พบว่า น้ำเปล่ามีค่าอุณหภูมิ (Temp) เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 29.60-29.70 องศาเซลเซียส น้ำมาโครบับเบิลมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 29.86-30.30 องศาเซลเซียส น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 30.10-30.80 องศาเซลเซียส และน้ำนาโนบับเบิลมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 29.86-30.10 องศาเซลเซียส (รูปที่ 6)



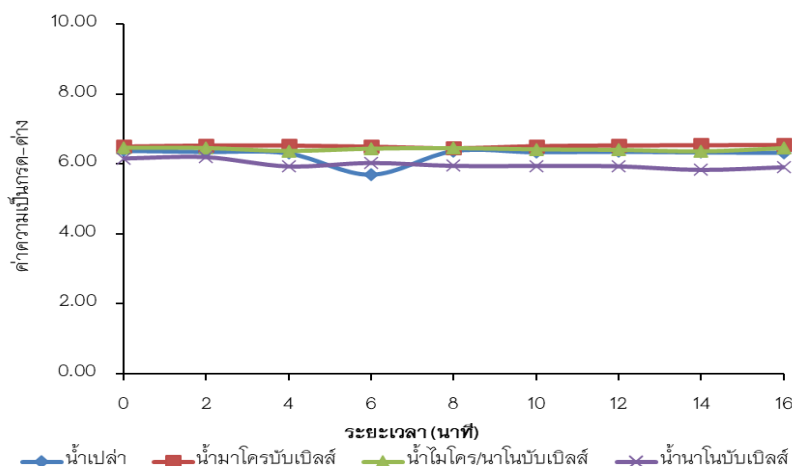
รูปที่ 6 ค่าอุณหภูมิ (Temp) ของน้ำเปล่า น้ำมาโครบับเบิล น้ำไมโคร/นาโนบับเบิล และน้ำนาโนบับเบิลก่อนการผสมปุ๋ยที่ระยะเวลา 0-16 นาที

การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ก่อนการผสมปุ๋ยทุก 2 นาที จนถึง 16 นาที พบว่า น้ำเปล่ามีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 212.00-213.00 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร น้ำมาโครบับเบิลมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 218.60-221.20 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 229.00-230.80 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และน้ำนาโนบับเบิลมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 225.00-231.00 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำเปล่า น้ำมาโครบับเบิล น้ำไมโคร/นาโนบับเบิล และน้ำนาโนบับเบิลก่อนการผสมปุ๋ยที่ระยะเวลา 0-16 นาที

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ก่อนการผสมปุ๋ยทุก 2 นาที จนถึง 16 นาที พบว่า น้ำเปล่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.32-6.38 น้ำมาโครบับเบิลมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.51-6.55 น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.46-6.47 และน้ำนาโนบับเบิลมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5.91-6.15 (รูปที่ 8)



**รูปที่ 8** ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเปล่า น้ำมาโครบับเบิล น้ำไมโคร/นาโนบับเบิล และน้ำนาโนบับเบิลก่อนการผสมปุ๋ยที่ระยะเวลา 0-16 นาที

## อภิปรายและสรุปผล

จากการศึกษาผลของการใช้น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมเบบี๋คอสในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ ทุกกรรมวิธี พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในด้านความสูงของลำต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น แต่การใช้น้ำนาโนบับเบิลทำให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมเบบี๋คอสด้านความกว้างทรงพุ่มของลำต้น จำนวนใบ ความยาวใบ ดัชนีความเขียวของใบ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งสูงที่สุด สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่พบว่าการใช้ น้ำนาโนบับเบิล สามารถเพิ่มการส่งออกซิเจนไปยังพืชได้ [9] โดยช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของพืชและการออกของเมล็ด ซึ่งอาจช่วยลดทั้งการใช้น้ำและธาตุอาหารพืช [10] เช่นเดียวกับการทดลองในเมล่อน พบว่าการใช้น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลสามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพผลผลิตของเมล่อนได้ [11-12] และยังมีผลในการเพิ่มความกว้างทรงพุ่ม ความยาวรากและการสะสมน้ำหนักแห้งในขึ้นฉ่ายที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ [13] นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปแบบน้ำนาโนบับเบิลมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยการสร้างฟองนาโนสามารถช่วยลดคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมาก [14] สามารถนำไปใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย เช่น การเจริญเติบโตของพืช การเก็บอาหาร การฆ่าเชื้อ ฯลฯ และยังเป็นสารประกอบหลักสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเจริญเติบโตของพืช การพัฒนา และผลผลิต มีการสร้างฟองก๊าซในน้ำมีผลทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อแหล่งน้ำถูกจ่ายด้วยฟองนาโนออกซิเจน/อากาศ ซึ่งนาโนบับเบิลที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมโครเมตร มีความเสถียรเมื่ออยู่ในน้ำสูง (50–70 วัน) นอกจากนี้ในการศึกษานี้ยังพบว่าการใช้น้ำมาโครบับเบิลและการใช้น้ำไมโคร/นาโนบับเบิล ทำให้การเจริญเติบโตด้านความยาวของรากสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการใช้น้ำนาโนบับเบิล และในน้ำนาโนบับเบิลสามารถปรับปรุงความยาวของใบ ราก ชีวมวล ความสูงของพืช เมื่อเทียบกับการใช้น้ำปกติในการปลูกพืช

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับความอนุเคราะห์จากรองศาสตราจารย์ ดร.ชิตี ศรีตันทิพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษาค้นคว้างานวิจัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการอาคารไม้ผล สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้ความช่วยเหลือ รวมถึงให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการศึกษาและเก็บข้อมูลการทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Qgreengroup. Baby cos lettuce. [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 11]. Available from: <https://qgreengroup.com/.html>.
- [2] Sritontip C, Changeraja S, Khaosumain Y, Panthachode S, Sritontip P, Lesak S. 2017. Frugal soilless culture. Rajamangala University of Technology Lanna Printery, Chiang Mai.
- [3] Department of Agricultural Extension. Growing vegetables hydroponically. 2015. The Agricultural Cooperative Federation of Thailand., Limited.
- [4] Nuntagit, I. Automatic nutrient solution control in soilless culture. Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. Bangkok. 1995:39-47.
- [5] Pongprasert N, Tatmala N, Srilaong, V. A Novel Postharvest Application of Carbon Dioxide Micro and Nano-Bubbles to Inactivate Total Bacteria and Improve the Quality of Fresh-Cut Lettuce. 2012. Esearch report. Faculty of Biological Resources and Technology; King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- [6] Takahashi M, Chiba K, and Li P. Free-radical generation from collapsing microbubbles in the absence of a dynamic stimulus. 2007, Physical Chemistry B, 111, 1343-7.
- [7] Oshita S, S Liu, Nanobubble characteristics and its application to agriculture and foods. Proceedings of AFHW 2013. International Symposium on Agri-Foods for Health and Wealth. Golden Tulip Sovereign Hotel, Bangkok, Thailand. 2013, Aug 5-8.
- [8] Phaengkiao D, Chaoumead A, Wangngon B. The Application of NanoBubble Technology for DRFT Hydroponics. Journal of Innovative Technology Research. 2019;3(2):33-41.
- [9] Wang S, Liu Y, Lyu T, Pan G, Li, P. Aquatic macrophytes in morphological and physiological responses to the nanobubble technology application for water restoration. ACS ES&T Water, 2020;1(2):376-87.
- [10] Xue S, Gao J, Liu C, Marhaba T, Zhang W. Unveiling the potential of nanobubbles in water: Impacts on tomato's early growth and soil properties. Science of The Total Environment, 2023, 903, 166499.
- [11] Sritontip C, Dechthummarong C, Thonglek V, Khaosumain Y, Sritontip P. Stimulation of seed germination and physiological development in plants by high voltage plasma and fine bubbles. International Journal of Plasma Environmental Science & Technology 2019;12(2):74-8.

- [12] Samlitoemsiri T, Sritontip P, Khaosumain Y, Thonglek V, Sritontip C. Effects of nutrient solutions and micro/nanobubbles on melon growth in soilless cultivation. Phibunsongkhram Research National Academic Conference. Proceeding of the 6th Pibulsongkram Rajabhat University (Talay Kaew Garden); 2020 Feb 12; Phitsanulok. 777-86.
- [13] Kichawan P, Yindeeram N, Sritontip P, Changeraja S, Khaosumain Y, Thonglek V. Effects of micro/nanobubble nutrient solutions on celery growth in soilless cultivation. The report follows on from the report of the 5th Conference on Research and Creative Innovation (CRCI-2018); Rajamangala University of Technology Lanna Tak. 2018 Dec 6-8;812-21.
- [14] Pal P, Anantharaman H. CO<sub>2</sub> nanobubbles utility for enhanced plant growth and productivity:Recent advances in agriculture. Journal of CO<sub>2</sub> Utilization, 61, 102008. 2022.