



การใช้วัสดุกรองชีวภาพและแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*
ต่อการเจริญเติบโตของผักนํ้าในระบบอควาโพนิกส์
Using of Biofilter Media and *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* on the Growth
of Watercress (*Nasturtium officinale*) in an Aquaponic System

ดารีกา คาวิจิตร์* พัฒนสุดา ศิรินุพงศ์ พินทิพย์ จันทรเทพ และมนูญ ศิรินุพงศ์
Darika Kavijit*, Pattanasuda Sirinupong, Pintip Jantharathep and Manoon Sirinupong

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000
Faculty of Science and Technology, Prince Of Songkla University Pattani campus 94000, Thailand

*Corresponding author, e-mail: dek.eak.388@gmail.com

(Received: Oct 20, 2023; Revised: Jun 8, 2024; Accepted: Jun 10, 2024)

บทคัดย่อ

ระบบอควาโพนิกส์ เป็นการส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน ตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของสหประชาชาติ (SDG2) จึงศึกษาชนิดของวัสดุกรองชีวภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักนํ้า และการใช้กับหรือไม่ใช้แบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (BT) วางแผนทดลอง 2x2 แฟคทอเรียล แบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) มีปัจจัยที่ 1 ใช้วัสดุกรองชีวภาพ คือ หินภูเขาไฟและไบโอบอล ปัจจัยที่ 2 การใช้กับหรือไม่ใช้ BT จำนวน 6 ซ้ำ ซ้ำละ 5 ต้น ในแปลงปลูกพืช สาขาวิทยาการเกษตร และประมงมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ผลการศึกษาการใช้วัสดุกรองชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักนํ้าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ในด้านความสูงต้นและเส้นผ่านศูนย์กลางต้น มีค่าเท่ากับ 12.59-12.68 และ 0.16-0.21 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนปัจจัยการใช้กับหรือไม่ใช้ BT ต่อการเจริญเติบโตของผักนํ้าในด้านความสูงต้นพบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$) โดยผักนํ้าที่ใช้ BT มีความสูงต้นเท่ากับ 12.81 เซนติเมตร สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางต้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ซึ่งอยู่ในช่วง 0.14-0.20 เซนติเมตร ส่วนคุณภาพน้ำบนโต๊ะปลูกในช่วงที่ทำการศึกษพบว่า มีอุณหภูมิ อยู่ในช่วง 30.81-32.70 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 7.47-8.10 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) อยู่ในช่วง 0.27-0.47 เดซิซีเมนต่อเมตร การละลายออกซิเจน (DO) อยู่ในช่วง 5.33-6.28 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ สามารถใช้วัสดุกรองชีวภาพทั้งหินภูเขาไฟและไบโอบอล ซึ่งให้ผลการเจริญเติบโตของผักนํ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการใช้และไม่ใช้ BT ไม่มีความแตกต่างกัน ในการควบคุมแมลงศัตรูพืชของผักนํ้า

คำสำคัญ : ผักนํ้า แบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* วัสดุกรองชีวภาพ อควาโพนิกส์

Abstract

Aquaponics systems supports the UN's Sustainable Development Goal (SDG2) and promote sustainable agriculture. Therefore, this study aimed to compare types of biofilter media and biological control by using *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (BT) and their effects on vegetative growth and water quality in an aquaponics system. The experiments were 2x2 completely randomized factorial design with six replications (five plants per replication). Factor 1 was biofilter types (pumice stone and bio-ball) and Factor 2 was biological logical control (BT application with and without BT). The experiment was conducted at the Department of Agricultural and Fisheries Science, Prince of Songkla University, Pattani Campus, over an 8-week period. The resulted showed that; bio-filter materials (pumice stone and bio-ball) had no affect on growth of watercress in terms of plant length and stem diameter ($P>0.05$). Plant lengths were 12.59 to 12.68 cm, and stem diameters were from 0.16 to 0.21 cm. However, the application of BT showed significantly differences in plant length ($P<0.05$), with an average length of 12.81 cm. There were no significant differences in stem diameter ($P>0.05$), which were from 0.14 to 0.20 cm. The water quality parameters of plant table; temperature were 30.81-32.70 °C, pH levels were 7.47 and 8.10, electrical conductivity (EC) were 0.27-0.47 dS/m, and dissolved oxygen (DO) levels were 5.33-6.28 mg/l. In conclusion,

there was no statistically significant difference in the vegetative growth of watercress between the pumice stone and bio-ball treatments. Additionally, the biological control using BT did not show differences in controlling insect pests in watercress.

Keywords: Watercress, *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*, Biofilter media, Aquaponic

บทนำ

เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ของสหประชาชาติ เป้าหมายที่ 2 เพื่อยุติความหิวโหยบรรลุความมั่นคงทางอาหาร และยกระดับโภชนาการส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน โดยเฉพาะประเด็น SDG 2.4 สร้างหลักประกันว่า จะมีระบบผลิตอาหารที่ยั่งยืนและแนวปฏิบัติที่มีภูมิคุ้มกัน รวมทั้งเพิ่มผลิตภาพและการผลิตที่จะช่วยรักษาระบบนิเวศ แต่พื้นที่ในระบบเกษตรกรรมยั่งยืนในประเทศไทยยังมีสัดส่วนที่น้อย (Meesub, 2022) ซึ่งระบบอควาโพนิกส์ (Aquaponic) เป็นรูปแบบการทำเกษตรกรรมแบบยั่งยืน โดยการปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน โดยใช้หลักการนำของเสียที่ได้จากการขับถ่ายของปลามาเป็นสารละลายธาตุอาหารให้กับพืชและเป็นการบำบัดน้ำผ่านการกรองชีวภาพแล้วนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ เป็นการต่อยอดขั้นสูงเพื่อให้เกิดการผลิตอาหารแบบยั่งยืนสำหรับผู้บริโภค ทำให้ระบบมีการจัดการน้ำที่ดี มีคุณภาพ มาต่อยอด สามารถลดการใช้น้ำทางเกษตร ลดการเกิดน้ำเสียที่ปล่อยสู่ธรรมชาติและยังตอบสนองความต้องการของตลาดและผู้บริโภคได้ดี เนื่องจากผลผลิตไม่มีการปนเปื้อนของสารเคมีทำให้ผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อมไม่ได้รับผลกระทบ (Goddek *et al.*, 2015) อย่างไรก็ตาม หากมีการเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นระยะเวลานานอาจมีของเสียสะสมมากทำให้น้ำเกิดการเน่าเสียได้ (Effendi *et al.*, 2017) จึงหาแนวทางแก้ไขโดยหาวัสดุที่เหมาะสมมาใช้ในระบบกรองชีวภาพมาเพื่อสามารถควบคุมปริมาณของเสียในโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้ โดยอาศัยกระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชัน (Nitrification-Denitrification) ซึ่งขั้นตอนไนตริฟิเคชันโดยไนโตรฟิอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) ที่ยึดเกาะกับวัสดุตัวกรองชีวภาพ เช่น หินภูเขาไฟหรือไบโอบอล ซึ่งเป็นที่ยึดเกาะของแบคทีเรียไนโตรโซโมแนส เอสพีพี. (*Nitrosomonas* spp.) ทำหน้าที่เปลี่ยนไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยปกติจะอยู่ในรูปแอมโมเนียม (NH_4^+) หรือเกิดพันธะในสารประกอบอินทรีย์ ไนโตรเจนที่ถูกพันธะอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนแอมโมเนียม (NH_4^+) ให้กลายเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และไนโตรแบคเตอร์ เอสพีพี. (*Nitrobacter* spp.) ในขั้นตอนต่อมาเป็นการเปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต สำหรับขั้นตอนดีไนตริฟิเคชันโดยดีไนโตรฟิอิงแบคทีเรีย (Denitrifying bacteria) ในสภาพขาดออกซิเจน ซึ่งแบคทีเรียบางชนิดสามารถสร้างออกซิเจนได้เองจากไนเตรตและได้ผลผลิตเป็นก๊าซไนโตรเจนกลับคืนสู่บรรยากาศ ทำให้แบคทีเรียมีปริมาณที่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาได้ดี พืชสามารถบำบัดสารอินทรีย์โดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย ซึ่งเป็นอีกวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากเป็นการบำบัดที่ชีพลังงานน้อยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม พืชที่นิยมนำมาปลูกในระบบอควาโพนิกส์ ส่วนใหญ่มักจะเป็นผักที่มีวงจรการผลิตที่สั้น เช่น ผักสลัดกินใบทุกชนิด โหระพา ผักกวางตุ้งเต้าหู้ ผักสลัดร็อคเก็ต และผักน้ำ โดยเฉพาะผักน้ำ (*Nasturtium officinale*, Watercress) เป็นพืชน้ำหรือพืชกึ่งน้ำที่โตเร็ว ชอบน้ำสะอาดและมีการไหลผ่านตลอดเวลาพบได้ทั่วไปในทวีปยุโรปและเอเชีย ปัจจุบันผู้อพยพชาวจีน ได้มีการนำมาปลูกในประเทศไทยอย่างแพร่หลายทางตอนใต้ในอำเภอเบตง จังหวัดยะลา ทำให้เหมาะต่อการนำมาปลูกแบบไม่ใช้ดิน โดยผักน้ำเป็นพืชตระกูลกะหล่ำ มักจะมีปัญหาการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืชหลายชนิด เช่น หนอนใยผัก หนอนกะหล่ำ หนอนกะหล่ำ เพลี้ยอ่อนกะหล่ำ และด้วงหมัดผัก (Department of Agriculture, 2016) จึงต้องมีการควบคุมแมลงศัตรูพืช ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้คือการควบคุมทางชีววิธี เพื่อลดการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช เพราะอาจส่งผลกระทบต่อปลาในระบบได้ เนื่องจากการเลี้ยงปลารวมด้วย ยกตัวอย่าง การใช้แบคทีเรียในการควบคุมศัตรูพืช ในกลุ่มของ *Bacillus* spp. ซึ่งมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น *Bacillus thuringiensis* หรือบีที (BT) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแมลงศัตรูพืช มีความปลอดภัยสูงต่อมนุษย์ สัตว์ สิ่งแวดล้อม และที่สำคัญไม่ตกค้างอยู่บนพืช (Nhan *et al.*, 2019) ตามการรายงานของ Legwaila *et al.* (2015) กล่าวว่า แบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* สามารถควบคุมไข่และตัวอ่อนของหนอนใยผัก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และป้องกันความเสียหายร้ายแรงต่อกะหล่ำปลี ได้ถึงร้อยละ 85.7–94.6

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบชนิดของวัสดุกรองชีวภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักน้ำ และเปรียบเทียบการใช้และไม่ใช้แบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* ของผักน้ำในระบบอควาโพนิกส์

วิธีดำเนินการวิจัย

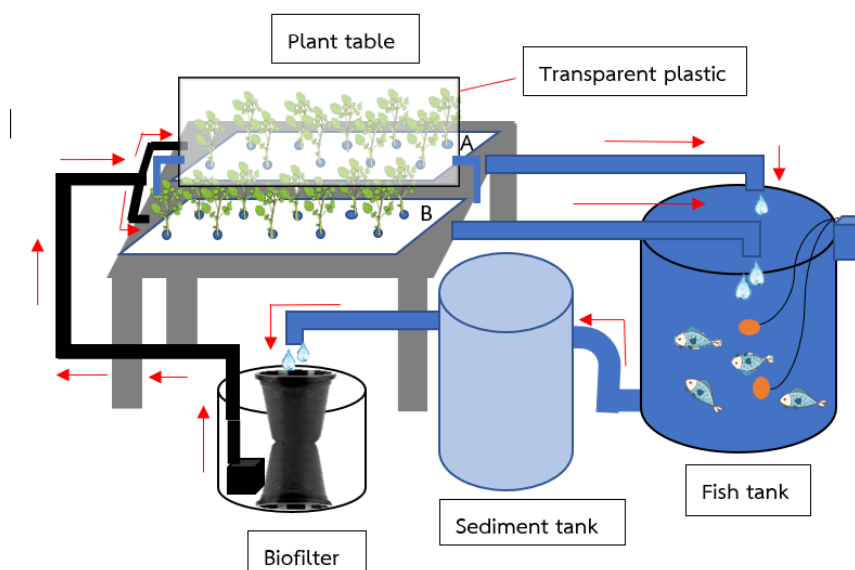
ศึกษาการใช้วัสดุกรองชีวภาพและแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (BT) ต่อการเจริญเติบโตของผักนํ้าในระบบอควาโปนิคส์ วางแผนการทดลองแบบ 2x2 แฟคทอเรียลแบบสุ่มสมบูรณ์ (2x2 Factorial in CRD) จำนวน 6 ซ้ำ จำนวน 2 ปัจจัยประกอบด้วย ปัจจัยที่ 1 ใช้วัสดุกรองชีวภาพ 2 ชนิด คือ หินภูเขาไฟ (Pumice) และไบโอบอล (Bioball) จาก Manufactured in Thailand by HMC Polymer Company Ltd ปัจจัยที่ 2 การใช้กับไม่ใช้แบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* ภายใต้ชื่อการค้าผลิตภัณฑ์ แบคโทสปิน ของบริษัทเทพวัฒนาจำกัด โดยมีขั้นตอน คือ

1. การเตรียมปลาและผักนํ้า

ใช้ถังนํ้าสำหรับเลี้ยงปลา ขนาด 200 ลิตร เติมนํ้าประมาณ 160 ลิตร ต่อท่อผ่านถังพักนํ้า 100 ลิตร และสู่งกรองชีวภาพ ขนาด 60 ลิตร ซึ่งมีภาชนะบรรจุวัสดุกรองชีวภาพในแต่ละชนิดตามวิธีกำหนดการทดลอง ใช้เครื่องปั้มนํ้า ยี่ห้อ JUN HX 5000 220 วัตต์ ดูดสารละลายที่ผ่านการกรองแล้วไปบ่มในถังปลูกพืชและไหลกลับเข้าสู่ถังปลาหมุนเวียนต่อไปสำหรับปลาทดลอง ใช้ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) จากวิทยาลัยเทคโนโลยีการเกษตรและประมง จังหวัดปัตตานี ขนาด 5-7 เซนติเมตร โดยมีอายุเริ่มต้น 60 วัน จำนวน 108 ตัว ปล่อยลงในถังเลี้ยง 9 ตัวต่อถัง โดยให้อาหารสำเร็จรูปชนิดเม็ดลอยนํ้าที่อัตราประมาณร้อยละ 3-5 ของนํ้าหนักตัว 2 ครั้งต่อวัน ในส่วนการเตรียมต้นพันธุ์ผักนํ้า (*Nasturtium officinale*) จากอำเภอเบตง จังหวัดยะลา ใช้วิธีปักชำกิ่ง ขนาด 2-3 เซนติเมตร เลือกกิ่งที่ไม่แก่หรืออ่อนเกินไปและเด็ดใบล่างออก นำมาชำบนแท่งฟองนํ้าขนาด 2.5 เซนติเมตร จำนวน 500 ต้น ภายหลังปักชำ 7 วัน จึงย้ายกิ่งชำต้นผักนํ้าลงบ่มในถังปลูก

2. การศึกษาการใช้วัสดุกรองชีวภาพและแบคทีเรีย (BT) ต่อการเจริญเติบโตของผักนํ้าในระบบอควาโปนิคส์

ใช้ถังพักนํ้าขนาด 100 ลิตร จำนวน 12 ถัง ทำการเจาะรูด้านข้างจากฝาเปิดลงมา 3-5 เซนติเมตร เติมนํ้าลงในถังพักนํ้าจนเต็ม และต่อท่อ PVC ไปยังถังกรองนํ้าชีวภาพ เริ่มจากทำความสะอาดตัวของวัสดุกรองที่ใช้ คือ ไบโอบอล และหินภูเขาไฟ ใส่ในกระถางพลาสติกดำ 8 นิ้ว ทั้ง 12 กระถาง แล้วใช้ถังนํ้าขนาด 60 ลิตร จำนวน 12 ถัง ทำการเจาะรูด้านข้างจากฝาเปิดลงมา 3-5 เซนติเมตร ต่อท่อ PVC ไปยังถังเครื่องปั้มนํ้า จากนั้นนำกระถางพลาสติกดำที่บรรจุวัสดุกรองใส่ลงในถังนํ้าขนาด 100 ลิตร โดยปากกระถางให้อยู่ในระดับพอดีกับปากถังนํ้า นํ้าที่ได้จากถังกรองชีวภาพถูกดูดขึ้นไปบ่มในถังปลูกพืช ที่มีการแบ่งครึ่งโดยใช้พลาสติกกันเพื่อใช้เปรียบเทียบการใช้และไม่ใช้เชื้อ BT ภายใต้ชื่อการค้าผลิตภัณฑ์ คือ แบคโทสปิน ชนิดเหลวแขวนลอยเข้มข้น (SC) 10,600 หน่วยสากลต่อมิลลิกรัม (IU/mg) นำมาเจือจางในอัตรา 60-80 มิลลิลิตรต่อนํ้า 20 ลิตร (ตามคำแนะนำจากบริษัทเทพวัฒนาจำกัด) ซึ่งแต่ละข้างย้ายกิ่งชำผักนํ้าจำนวน 20 ต้นบนแผ่นโฟมขนาด 45x90 เซนติเมตร โดยมีองค์ประกอบการปลูกผักนํ้าในระบบอควาโปนิคส์ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 องค์ประกอบการปลูกผักนํ้าในระบบอควาโปนิคส์โดยใช้วัสดุกรองชีวภาพและแบคทีเรีย (A: ใช้ BT และ B: ไม่ใช้ BT)

3. การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของผักนํ้า วัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้น (ความสูงของต้น วัดจากสวนโคนตั้งแต่วัสดุรองก้นกับสวนรากขึ้นมาจนถึงปลายยอด ด้วยไม้บรรทัดที่มีความละเอียด 1 มิลลิเมตร วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ วัดที่ความสูงจากพื้น 3 เซนติเมตร ที่ความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร) และข้อมูลสภาพแวดล้อมในสารละลายปลูกพืช บนโต๊ะปลูกพืช ประกอบด้วย อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดยี่ห้อ YSI U.S.A รุ่น YSI PRO1030 และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำด้วย DO meter ยี่ห้อ Hanna instrument รุ่น HI91410 วิเคราะห์และแปลผลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลอง โดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Chianchana, 2017) และบันทึกลักษณะการทำลายของแมลงศัตรูพืช

ผลการวิจัย

1. การเจริญเติบโตของผักนํ้า

1.1 การเจริญเติบโตด้านความสูงต้นของผักนํ้า

จากการศึกษาการใช้วัสดุรองชีวภาพและแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (BT) ต่อการเจริญเติบโตของผักนํ้าในด้านความสูงต้นผักนํ้า พบว่า วัสดุรอง 2 ชนิดมีผลต่อความสูงที่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ตลอดช่วงการทดลอง 8 สัปดาห์ ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 2 และ 6 ซึ่งในสัปดาห์ที่ 6 การใช้ไบโอบอลมีความสูงของต้นมากกว่าการใช้หินภูเขาไฟ ส่วนการใช้และไม่ใช้แบคทีเรีย พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติตลอดช่วงการทดลอง ยกเว้นสัปดาห์ที่ 1 4 และ 5 โดยการใช้แบคทีเรีย BT ส่งผลต่อความสูงของต้นมากกว่าที่ไม่ใช้ BT สำหรับอิทธิพลรวมทั้ง 2 ปัจจัยในการใช้วัสดุรองชีวภาพและการใช้แบคทีเรีย BT พบว่า ตลอดช่วงการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของผักนํ้าด้านความสูงต้นในระบบบอควาโปนิคส์

Factor	Height $\pm$ SD (cm)							
	Week1	Week2	Week3	Week4	Week5	Week6	Week7	Week8
Filter								
Bioball	4.79 $\pm$ 0.91	4.52 $\pm$ 0.96 ^b	5.32 $\pm$ 0.87	9.68 $\pm$ 1.41	10.83 $\pm$ 1.38	11.77 $\pm$ 1.02 ^a	12.35 $\pm$ 0.86	12.68 $\pm$ 0.77
Pumice	4.81 $\pm$ 0.76	5.12 $\pm$ 0.66 ^a	5.57 $\pm$ 0.85	9.22 $\pm$ 1.08	10.43 $\pm$ 1.23	11.29 $\pm$ 1.01 ^b	12.12 $\pm$ 0.79	12.59 $\pm$ 0.49
F-test	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns
Biocontrol								
BT	4.91 $\pm$ 0.65	5.10 $\pm$ 0.68 ^a	5.63 $\pm$ 0.71 ^a	9.56 $\pm$ 1.23	10.81 $\pm$ 1.35	11.78 $\pm$ 0.92 ^a	12.47 $\pm$ 0.66 ^a	12.81 $\pm$ 0.60 ^a
Non BT	4.69 $\pm$ 0.98	4.49 $\pm$ 0.97 ^b	5.23 $\pm$ 0.97 ^b	9.35 $\pm$ 1.33	10.45 $\pm$ 1.28	11.28 $\pm$ 1.11 ^b	11.98 $\pm$ 0.91 ^b	12.45 $\pm$ 0.65 ^b
F-test	ns	*	*	ns	ns	*	*	*
Filter*								
Biocontrol								
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	17.37	26.12	15.61	13.45	12.18	8.49	6.36	4.86

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

ตัวอักษรที่ต่างกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

1.2 การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของผักนํ้า

จากการศึกษาการใช้วัสดุรองชีวภาพและแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (BT) ต่อการเจริญเติบโตของผักนํ้าในด้านเส้นผ่านศูนย์กลางผักนํ้า พบว่า วัสดุรอง 2 ชนิดมีผลต่อขนาดต้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ตลอดช่วงการทดลอง ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 8 พบว่า การใช้ไบโอบอล มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต้นมากกว่าการใช้หินภูเขาไฟ ส่วนการใช้และไม่ใช้ BT พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตลอดช่วงการทดลอง สำหรับอิทธิพลรวมทั้ง 2



ปัจจัยในการใช้วัสดุรองชีวภาพและการใช้กับไม้ใช้ BT พบว่า ให้ผลทำนองเดียวกันตลอดช่วงการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตของผักนํ้าด้านเส้นผ่านศูนย์กลางในระบบอควาโปนิคส์

Factor	Diameter $\pm$ SD (cm)							
	Week1	Week2	Week3	Week4	Week5	Week6	Week7	Week8
Filter								
Bioball	0.15 $\pm$ 0.03	0.15 $\pm$ 0.03	0.15 $\pm$ 0.03	0.16 $\pm$ 0.04	0.17 $\pm$ 0.04	0.18 $\pm$ 0.04	0.18 $\pm$ 0.05	0.21 $\pm$ 0.15 ^a
Pumice	0.14 $\pm$ 0.03	0.15 $\pm$ 0.01	0.16 $\pm$ 0.03	0.16 $\pm$ 0.03	0.16 $\pm$ 0.03	0.17 $\pm$ 0.03	0.17 $\pm$ 0.03	0.16 $\pm$ 0.03 ^b
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
Biocontrol								
BT	0.14 $\pm$ 0.03 ^b	0.15 $\pm$ 0.03	0.16 $\pm$ 0.03	0.16 $\pm$ 0.04	0.16 $\pm$ 0.03	0.18 $\pm$ 0.03	0.17 $\pm$ 0.04	0.18 $\pm$ 0.05
Non BT	0.15 $\pm$ 0.03 ^a	0.16 $\pm$ 0.03	0.16 $\pm$ 0.04	0.16 $\pm$ 0.03	0.16 $\pm$ 0.04	0.17 $\pm$ 0.04	0.18 $\pm$ 0.05	0.20 $\pm$ 0.15
F-test	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Filter*								
Biocontrol								
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V. (%)	21.48	18.21	20.29	22.27	23.21	21.11	25.22	57.64

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

1.3 คุณภาพน้ำบนโต๊ะปลูกพืช

1.3.1 อุณหภูมิ (T)

จากการศึกษาคุณภาพน้ำบนโต๊ะปลูก การใช้วัสดุรอง 2 ชนิดหินภูเขาไฟ โปโบบอล และการใช้กับไม้ใช้ BT ส่งผลต่ออุณหภูมิบนโต๊ะปลูกพืช ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ตลอดช่วงการทดลอง ในส่วนอิทธิพลรวมทั้ง 2 ปัจจัยในการใช้วัสดุรองชีวภาพและการใช้ BT พบว่า ให้ผลทำนองเดียวกันคือไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 อุณหภูมิของน้ำบนโต๊ะปลูกพืชในระบบอควาโปนิคส์

Factor	Temperature $\pm$ SD ($^{\circ}$ C)							
	Week1	Week2	Week3	Week4	Week5	Week6	Week7	Week8
Filter								
Bioball	31.31 $\pm$ 0.34	31.95 $\pm$ 1.00	30.80 $\pm$ 0.42	31.08 $\pm$ 0.97	31.58 $\pm$ 0.53	31.01 $\pm$ 0.63	31.02 $\pm$ 0.65	32.74 $\pm$ 0.39
Pumice	31.37 $\pm$ 0.32	31.93 $\pm$ 0.84	30.82 $\pm$ 0.32	31.07 $\pm$ 0.46	31.76 $\pm$ 0.33	31.22 $\pm$ 0.35	31.15 $\pm$ 0.39	32.67 $\pm$ 0.48
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Biocontrol								
BT	31.34 $\pm$ 0.33	31.81 $\pm$ 0.67	30.78 $\pm$ 0.39	31.13 $\pm$ 0.76	31.81 $\pm$ 0.54	31.13 $\pm$ 0.59	31.11 $\pm$ 0.64	32.78 $\pm$ 0.44
Non BT	31.33 $\pm$ 0.33	32.08 $\pm$ 1.11	30.84 $\pm$ 0.36	31.01 $\pm$ 0.76	31.53 $\pm$ 0.36	31.09 $\pm$ 0.44	31.06 $\pm$ 0.41	32.63 $\pm$ 0.46
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Filter*								
Biocontrol								
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	1.10	2.99	1.27	2.5	1.47	1.71	1.79	1.44

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

1.3.2 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (EC)

จากการศึกษาคุณภาพน้ำบนโต๊ะปลูก การใช้วัสดุรอง 2 ชนิดหินภูเขาไฟ โปโบบอล และการใช้กับไม้ใช้ BT ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายบนโต๊ะปลูกพืชไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ตลอดช่วงการทดลอง ในส่วน

อิทธิพลร่วมทั้ง 2 ปัจจัยในการใช้วัสดุกรองชีวภาพและการใช้ BT พบว่า ให้ผลทำนองเดียวกันคือไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายบนโต๊ะปลูกพืชในระบบอควาโปนิคส์

Factor	Electrical Conductivity $\pm$ SD (dS/m)							
	Week1	Week2	Week3	Week4	Week5	Week6	Week7	Week8
Filter								
Bioball	0.27 $\pm$ 0.07	0.40 $\pm$ 0.14	0.38 $\pm$ 0.09	0.37 $\pm$ 0.11	0.41 $\pm$ 0.21	0.29 $\pm$ 0.09	0.26 $\pm$ 0.06	0.32 $\pm$ 0.08
Pumice	0.2 $\pm$ 0.04	0.37 $\pm$ 0.09	0.33 $\pm$ 0.08	0.40 $\pm$ 0.13	0.52 $\pm$ 0.12	0.31 $\pm$ 0.07	0.27 $\pm$ 0.04	0.35 $\pm$ 0.06
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Biocontrol								
BT	0.27 $\pm$ 0.05	0.36 $\pm$ 0.08	0.36 $\pm$ 0.09	0.39 $\pm$ 0.12	0.47 $\pm$ 0.19	0.31 $\pm$ 0.09	0.26 $\pm$ 0.06	0.34 $\pm$ 0.08
Non BT	0.27 $\pm$ 0.06	0.40 $\pm$ 0.14	0.35 $\pm$ 0.09	0.39 $\pm$ 0.12	0.47 $\pm$ 0.18	0.29 $\pm$ 0.06	0.27 $\pm$ 0.05	0.33 $\pm$ 0.07
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Filter*Biocontrol								
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	21.16	30.94	25.32	32.15	38.82	27.91	20.73	22.07

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

1.3.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากการศึกษาคุณภาพน้ำบนโต๊ะปลูก การใช้วัสดุกรอง 2 ชนิดหินภูเขาไฟ ไบโอบอล และการใช้กับไม่ใช้ BT ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างบนโต๊ะปลูกพืช ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้นในสัปดาห์ที่ 6 และ 7 พบว่า การใช้ ไบโอบอล ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่าการใช้หินภูเขาไฟ ส่วนการใช้และไม่ใช้ BT พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตลอดช่วงการทดลอง ในส่วนอิทธิพลร่วมทั้ง 2 ปัจจัยในการใช้วัสดุกรองชีวภาพและการใช้ BT พบว่า ให้ผลทำนองเดียวกันคือไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ค่าความเป็นกรด-ด่างบนโต๊ะปลูกพืชในระบบอควาโปนิคส์

Factor	pH $\pm$ SD							
	Week1	Week2	Week3	Week4	Week5	Week6	Week7	Week8
Filter								
Bioball	7.94 $\pm$ 0.23	7.90 $\pm$ 0.25	7.72 $\pm$ 0.16	7.85 $\pm$ 0.28	7.70 $\pm$ 0.20	7.62 $\pm$ 0.26 ^a	7.62 $\pm$ 0.27 ^a	7.43 $\pm$ 0.26
Pumice	7.92 $\pm$ 0.10	8.31 $\pm$ 0.89	7.67 $\pm$ 0.24	7.62 $\pm$ 0.31	7.54 $\pm$ 0.22	7.33 $\pm$ 0.24 ^b	7.41 $\pm$ 0.20 ^b	7.60 $\pm$ 0.27
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns
Biocontrol								
BT	7.93 $\pm$ 0.18	8.10 $\pm$ 0.69	7.66 $\pm$ 0.21	7.75 $\pm$ 0.35	7.67 $\pm$ 0.24	7.48 $\pm$ 0.30	7.52 $\pm$ 0.26	7.52 $\pm$ 0.28
Non BT	7.93 $\pm$ 0.18	8.10 $\pm$ 0.69	7.72 $\pm$ 0.21	7.72 $\pm$ 0.27	7.57 $\pm$ 0.21	7.46 $\pm$ 0.28	7.50 $\pm$ 0.26	7.51 $\pm$ 0.27
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Filter*Biocontrol								
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	2.33	8.46	2.79	3.83	2.86	3.49	3.28	3.64

หมายเหตุ : ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

1.3.4 ค่าการละลายออกซิเจน (DO)

จากการศึกษาคุณภาพน้ำบนโต๊ะปลูก การใช้วัสดุกรอง 2 ชนิดหินภูเขาไฟ ไบโอบอล และการใช้กับไม่ใช้ BT ส่งผลต่อค่าการละลายออกซิเจนบนโต๊ะปลูกพืชไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้นในสัปดาห์ 7 พบว่า การใช้ไบ

โอบอล ส่งผลต่อค่าการละลายออกซิเจนมากกว่าการใช้หินภูเขาไฟ ส่วนการใช้และไม่ใช้ BT พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติตลอดช่วงการทดลอง ในส่วนอิทธิพลร่วมทั้ง 2 ปัจจัยในการใช้วัสดุรองชีวภาพและการใช้ BT พบว่า ให้ผลทำนองเดียวกันคือไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ค่าการละลายออกซิเจนบนโต๊ะปลูกพืชในระบบควาโปนิคส์

Factor	Dissolved oxygen $\pm$ SD (mg/l)							
	Week1	Week2	Week3	Week4	Week5	Week6	Week7	Week8
Filter								
Bioball	6.22 $\pm$ 0.14	6.26 $\pm$ 0.14	5.50 $\pm$ 0.27	4.95 $\pm$ 0.82	5.61 $\pm$ 0.45	5.28 $\pm$ 0.17	5.45 $\pm$ 0.27 ^a	5.69 $\pm$ 0.26
Pumice	6.28 $\pm$ 0.19	6.29 $\pm$ 0.15	5.47 $\pm$ 0.20	4.56 $\pm$ 0.24	5.64 $\pm$ 0.53	5.28 $\pm$ 0.30	5.19 $\pm$ 0.20 ^b	5.77 $\pm$ 0.42
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
Biocontrol								
BT	6.26 $\pm$ 0.19	6.26 $\pm$ 0.16	5.51 $\pm$ 0.24	4.81 $\pm$ 0.63	5.63 $\pm$ 0.50	5.28 $\pm$ 0.26	5.32 $\pm$ 0.27	5.69 $\pm$ 0.36
Non BT	6.23 $\pm$ 0.15	6.29 $\pm$ 0.13	5.45 $\pm$ 0.23	4.70 $\pm$ 0.64	5.63 $\pm$ 0.47	5.28 $\pm$ 0.24	5.32 $\pm$ 0.28	5.76 $\pm$ 0.35
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Filter*Biocontrol								
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
C.V.(%)	2.80	2.41	4.45	13.18	9.10	4.91	4.70	6.38

หมายเหตุ: ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันอยู่ในคอลัมน์เดียวกัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ลักษณะการทำลายของแมลงศัตรูพืช

จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้แบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (BT) จากการสังเกตโดยภาพรวมพบว่า ผักน้ำที่มีการใช้กับไม่ใช้ไม่มีความแตกต่างกันในการทำลายจากแมลง แต่ผักน้ำที่ใช้ BT ไม่มีการเข้าทำลายจากแมลงในขณะไม่ใช้ BT มีการเข้าทำลายของแมลงแต่เพียงเล็กน้อย ไม่เกิดความเสียหายในด้านการเจริญเติบโตของผักน้ำ แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะการเข้าทำลายของแมลงในผักน้ำที่ไม่ใช้แบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้วัสดุรองชีวภาพและแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* ต่อการเจริญเติบโตของผักน้ำ ในด้านความสูงต้นและเส้นผ่านศูนย์กลาง ตลอดช่วงการทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$)

แต่มีแนวโน้มว่าการใช้วัสดุกรองไบโอบอลร่วมกับการใช้ BT ส่งผลต่อการเจริญเติบโตในด้านความสูงต้นของผักน้ำได้ดีที่สุดคือ 12.83 เซนติเมตร ซึ่งผักน้ำที่ไม่ใช้ BT มีการเข้าทำลายของแมลง แต่อาจเนื่องจากปลวกในโรงเรือนและระยะเวลาที่ศึกษาที่สั้นเพียง 12 สัปดาห์จึงไม่เกิดความเสียหายในด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักน้ำ ซึ่งการรายงานของ Omotoso *et al.* (2021) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ BT กำจัดหนอนเจาะสมอฝ้ายในมะเขือเทศ ที่อัตรา 2.0 กรัมต่อลิตรพบว่า สามารถลดจำนวนการแพร่กระจายของตัวอ่อนและจำนวนรูบนมะเขือเทศได้อย่างมาก ตั้งแต่ระยะออกดอกจนถึงระยะเก็บเกี่ยวทำให้ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการใช้น้ำเหลือทิ้งจากการเลี้ยงปลาผ่านตัวกรองไบโอบอลมีผลให้ผักมีการเจริญเติบโต ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวัสดุไบโอบอลถูกสร้างขึ้นมาจากเป็นตัวกรองโดยเฉพาะ ตัววัสดุมีรูและช่องซึ่งเป็นที่อยู่ของแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *Nitrosomonas* spp. และ *Nitrobacter* spp. ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนน้ำเสียที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียให้กลายเป็นน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ (Somerville *et al.*, 2014) และ Effendi *et al.* (2017) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้น้ำเสียจากการเลี้ยงปลานิลเพื่อผลิตผักกาดหวานพบว่า ความยาวต้นของพืชไม่มีความแตกต่างทางสถิติในช่วง 15.5–14.5 เซนติเมตร ซึ่งพืชสามารถเติบโตได้โดยไม่ต้องเติมสารละลายธาตุอาหาร โดยมาจากน้ำเสียจากการเลี้ยงปลานิลเท่านั้น สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่า อุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการละลายออกซิเจน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) โดยอุณหภูมิในช่วงการศึกษาคืออยู่ในช่วง 30.73–32.78 องศาเซลเซียส ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (EC) อยู่ในช่วง 0.26–0.53 เดซิซีเมนต่อเมตร เป็นค่า EC ในระดับที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของผักน้ำซึ่งอยู่ในช่วง 0.4–1.8 เดซิซีเมนต่อเมตร (Sirinupong, 2017) และ Chinnasaen *et al.* (2017) ได้ศึกษาผลของการใช้น้ำเหลือทิ้งจากการเลี้ยงปลาดุกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายอยู่ในช่วง 0.13–0.16 เดซิซีเมนต่อเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ค่าความเป็นกรด-ด่างตลอดช่วงการทดลองมีค่าเท่ากับ 7.27–8.61 โดยหากค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายธาตุอาหารที่สูงกว่า 7 อาจส่งผลให้ธาตุอาหารพืชตกตะกอน ส่งผลให้พืชไม่สามารถนำธาตุอาหารเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้ ส่วนค่าการละลายออกซิเจนตลอดช่วงการทดลองอยู่ในช่วง 4.47–6.31 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานการควบคุมปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความสำคัญต่อสุขภาพของปลา พืช และจุลินทรีย์ในระบบบรอนชีวภาพ (Meesap *et al.*, 2022) และแนะนำว่าควรรักษาระดับออกซิเจนละลายน้ำให้ไม่ต่ำกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อการเจริญเติบโตที่เหมาะสมของปลา พืช และการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม Nitrifying bacteria ที่เปลี่ยนแอมโมเนียที่เป็นอันตรายให้กลายเป็นไนเตรตที่พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ซึ่งในการทดลองนี้พบว่า ระดับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมตลอดระยะเวลาการทดลอง

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการใช้วัสดุกรองชีวภาพ ต่อการเจริญเติบโตของผักน้ำในระบบควาโปนิคส์ตลอดช่วงการทดลองสรุปได้ว่า สามารถเลือกใช้วัสดุกรองไบโอบอลและหินภูเขาไฟได้ทั้ง 2 ชนิด เนื่องจากให้ผลที่ไม่แตกต่างกันสำหรับการเจริญเติบโตของผักน้ำทั้งในด้านความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางต้น สำหรับการใช้น้ำและน้ำไม่ใช้แบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* ในการควบคุมแมลงศัตรูของผักพบว่า ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีแนวโน้มว่าการนำแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* มาใช้ในการควบคุมแมลงศัตรู ส่งผลต่อความสูงของต้นผักน้ำได้ดีกว่าการไม่ใช้ และคุณภาพน้ำในช่วงตลอดของการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของผักน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยวิทยานิพนธ์ประจำปีงบประมาณ 2565

เอกสารอ้างอิง

- Chianchana, C. (2017). *Statistics for Research*. Bangkok: Chulalongkorn University Press. (in Thai)
- Chinnasaen, T., Wetchakama, N., Wannawichit, J., Antalai, M., Aomaod, A. & Sangmanee, K. (2017). Effect of Using Wastewater from Catfish Culture on Growth and Yield of Brassica chinensis var. chinensis Grown in Hydroponic System with Non-Circulating Nutrient Solution. *Journal Prawarun Agriculture*, 14(1), 71-81. (in Thai).



- Department of Agriculture. (2016). *Testing and development of wetland plants in Yala Province* [Online]. Retrieved July 14, 2023, from: <https://www.doa.go.th>. (in Thai)
- Effendi, H., Wahyuningsih, S. & Wardiatno, Y. (2017). The use of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivation Wastewater for the production of romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) in water recirculation system. *Applied Water Science*, 7(6), 3055–3063.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H. & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponic. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224.
- Legwaila, M.M., Munthali, D.C., Kwerepe, B.C. & obopile, M. (2015). Efficacy of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* Against Diamondback Moth (*Plutella xylostella* L.) Eggs and Larvae on Cabbage Under Semi-Controlled Greenhouse Conditions. *International Journal of Insect Science*, 7, 39-45.
- Meesap, P., Phimchan, P., Kasamawut, K. & Saowakoon, S. (2022). Effect of water flow rates on growth of hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*), Curl leaf kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) and water quality parameters in aquaponic recirculating system. *Agriculture and Technology Journal*, 3(2), 97-109.
- Meesub, J. (2022). *Surveying the food and nutrition security situation in Thailand* [Online]. Retrieved May 4, 2024, from: <https://sdgs.nesdc.go.th>. (in Thai)
- Nhan, H.T., Tai, N.T., Liem, P.T., Ut, V.N. & Ako, H. (2019). Effects of different stocking densities on growth performance of Asian swamp eel *Monopterus albus*, water quality and plant growth of watercress (*Nasturtium officinale*) in an aquaponic recirculating system. *Aquaculture*, 503, 96-104.
- Omotoso, F.D., Alabi, O.Y. & AdeOluwa, O.O. (2021) Efficacy of *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki* in the management of *Helicoverpa armigera* and Assessment of insects associated with Tomato plants. *Ibadan Journal of Agricultural Research*, 17, 97-109.
- Sirinupong, M. (2017). *Practical for soilless culture in Thailand* (4th Ed). Bangkok: Framw up design Ltd. (in Thai)
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 589, 1-261.