

ผลของอัตราการไหลของน้ำต่อการเจริญเติบโตของปลาแฟนซีคาร์พ กระน้ำใบหยิก และคุณภาพน้ำในระบบอะควาโปนิคส์ที่ใช้น้ำหมุนเวียน

Effect of water flow rates on growth of fancy carp (*Cyprinus carpio* var. *koi*), curl leaf kale (*Brassica oleracea* ver. *acephala*) and water quality parameters in aquaponic recirculating system

พีระ มีทรัพย์¹ พวงเพชร พิมพ์จันทร์² ปราณีต งามเสนห์³ กฤติมา กษมาวุฒิ⁴ และ สำเนาวิ เสาวกุล⁴
Peera Meesap¹ Paongpetch Phimchan² Praneet Ngamsnae³ Krittima Kasamawut⁴ and Samnao Saowakoon⁴

¹หลักสูตรเทคโนโลยีเกษตร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

¹Agricultural technology course, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus

²สาขาพืชศาสตร์ สิ่งทอและการออกแบบ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

²Plant science textile and design, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus

³สาขาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

³Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani University

⁴สาขาประมง คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

⁴Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus

Corresponding author: samnao.sa@rmuti.ac.th

Received: May 8, 2023

Revised: May 15, 2023

Accepted: July 5, 2023

บทคัดย่อ

การศึกษามวลของอัตราการไหลของน้ำในระบบอะควาโปนิคส์ต่อการเจริญเติบโตของปลาแฟนซีคาร์พ (*Cyprinus carpio* var. *koi*) และกระน้ำใบหยิก (*Brassica oleracea* ver. *acephala*) โดยมีอัตราการไหลของน้ำเป็นสิ่งทดลอง ประกอบด้วย 2,000(T1) 2,400(T2) และ 2,700(T3) ลิตรต่อชั่วโมง ตามวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ในการศึกษาได้เลี้ยงปลาในถังขนาด 1,000 ลิตร จำนวน 3 ถัง (ถัง) โดยปล่อยปลาลงในแต่ละถังด้วยอัตราส่วน 100 ตัวต่อตารางเมตร ปลาที่ปล่อยมีน้ำหนักเฉลี่ย 100 กรัม ผักกระน้ำใบหยิกปลูกในระบบอะควาโปนิคส์ ขนาด 1x5x0.20 เมตร³ จำนวน 50 ต้นต่อชุด ดำเนินการประเมินอัตราการเจริญเติบโต ผลผลิตของปลา พืช และคุณภาพของน้ำ ระยะเวลา 90 วัน พบว่า อัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของปลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) น้ำหนักเฉลี่ยมีค่าสูงที่สุดที่ T3 เท่ากับ 139.54 ± 0.18 กรัม ในขณะที่กลุ่ม T2 และ T1 มีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 136.43 ± 0.21 กรัม และ 136.61 ± 0.36 กรัม ตามลำดับ ผลผลิตปลาสุทธิ (กก.ต่อลบม.) มีค่าสูงที่สุดคือ T3 (12.46 ± 0.08) รองลงมาคือ T2 (11.96 ± 0.19) และต่ำสุดใน T1 (11.93 ± 0.18) ในขณะที่อัตราการรอดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 87.33-89.33 % อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของ T3 (1.75 ± 0.03) มีค่าสูงที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) กับสิ่งทดลองอื่นๆ แต่สิ่งทดลอง T2 (1.60 ± 0.05) และ T1 (1.68 ± 0.04) ไม่แตกต่างกัน ผลผลิตของผักไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างสิ่งทดลอง โดยมีผลผลิตสด 14.22-14.41 กิโลกรัมและผลผลิตแห้ง 1.31-1.34 กิโลกรัม ระบบอะควาโปนิคส์

ลดปริมาณมลพิษของน้ำจากการเลี้ยงปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ พบว่า ปริมาณของ BOD₅ เท่ากับ 45.42–54.20 % สารแขวนลอยทั้งหมด เท่ากับ 68.11-70.61 % แอมโมเนียไนโตรเจน เท่ากับ 78.70–84.60 % ไนโตรท์ เท่ากับ 78.70–84.60 % ไนเตรท เท่ากับ 71.61-82.61 % และฟอสฟอรัสรวม เท่ากับ 54.72–57.90 % โดยไม่มีความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง จากการศึกษาสรุปได้ว่าอัตราการไหลมีผลในด้านการเจริญเติบโตของปลา การเจริญเติบโตของพืช และการกำจัดธาตุอาหาร ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดมลพิษมีแนวโน้มที่ดีที่สุดที่อัตราการไหลสูงที่สุดคือ 2,700 ลิตรต่อชั่วโมง

คำสำคัญ : ระบบอะควาโปนิคส์, ผักคะน้าใบหยิก, ปลาคาร์พ, อัตราการไหล, การกำจัดสารอาหาร

Abstract

This study aims to investigate effects of water flow rate in an aquaponics system on growths of fancy carp (*Cyprinus carpio* var. *koi*) and Curl leaf kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*). There were three different flow rates including 2000 (T1), 2,400 (T2) and 2,700 (T3) liters per hour, according to the completely randomized experimental design. The fish culture system consisted of three 1,000-liter tanks (replicates) containing a 100 fish/m³ of which individual fish averagely weighed 100 g. The kale was planted in 1x5x0.20 m³ aquaponic systems, having 50 kale plants per experimental set. Growth rate, productivity of the fish and the kale, as well as changes in water quality were assessed at the end of the 90-days trial period. Experimental results showed that the growth rates of the fancy carp among treatments were statistically significant different ($p < 0.05$). The highest fish weight was found in T3 (139.54±0.18 g), meanwhile the values of T2 and T3 were 136.43±0.21 g and 136.61±0.36 g, respectively. Net fish production (kg m⁻³) with the highest T3 (12.46±0.08), followed by T2 (11.96±0.19) and the lowest in T1 (11.93±0.18). Meanwhile the fish survival rates were not significantly between treatments, and these were in a range of 87.33-89.33%. The highest feed conversion ratio (FCR) was in T3 (1.75±0.03) and this was statistically different ($p < 0.05$) from both T1 (1.68±0.04) and T2 (1.60±0.05), in which T1 and T2 were not statistically different. Yields of kale were not statistically different among treatments. The fresh weight yield was 14.20-14.41 kg. and dry weight yield was 1.31-1.4 kg. The aquaponics system can significantly reduce wastewater pollutions from hybrid catfish cultures. The removal efficiencies of BOD₅, TSS, TAN, NO₂-N, NO₃-N and TP were in the following ranges: between 45.42–54.20, 68.11-70.61, 78.70–84.60, 65.25- 72.17, 71.61-82.61 and 54.72–57.90 % respectively, and no statistical differences among treatments. From the study, it was concluded that all the flow rates had effects on fish growth, plant growth, and nutrient removal. The best pollution treatment efficiency was occurred at the highest flow rate i.e. 2,700 liters/hour.

Keywords: Aquaponic system, Fancy carp, Curl leaf kale, Waterflow rate, Nutrient removal

บทนำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น (Intensive aquaculture) ทำให้น้ำที่เกิดจากการเลี้ยงมีของเสียจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและอาหารที่เหลือในปริมาณมาก ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ (organic matter) และแร่ธาตุ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุอื่น ๆ จะเกิดการสะสมของแร่ธาตุต่าง ๆ โดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจน กลุ่มแอมโมเนีย ไนเตรท และฟอสฟอรัส (Van Rijn *et al.*, 2006) เมื่อมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงมีการปล่อยของเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์จำนวนมากลงสู่แหล่งน้ำ ส่งผลต่อคุณภาพน้ำทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำอย่างฉับพลัน ปัจจุบันมีการพัฒนานำระบบหมุนเวียนของน้ำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมากขึ้น ซึ่งระบบนี้จะช่วยลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการปล่อยน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ประหยัดน้ำและนำน้ำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง (water reuse or recycle system) ในระบบการหมุนเวียนน้ำ (Phetkhong and Phoosakul, 2017; Meesap *et al.*, 2022) ระบบอะควาโปนิคส์ (aquaponics) เป็นการเลี้ยงปลาควบคู่กับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยการทำงานร่วมกันของระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (aquaculture) และการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (hydroponic) โดยที่ 2 ระบบมีความสัมพันธ์กันโดยการเลี้ยงปลาจะมีการสะสมของแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ดังนั้นแนวคิดการนำน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมาใช้ในการปลูกพืช นอกจากจะเป็นการใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารที่สะสมอยู่แล้วยังเป็นการบำบัดน้ำ เพื่อให้มีน้ำมีคุณภาพดีขึ้นและสามารถหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ในการเลี้ยงสัตว์น้ำได้ (Filep *et al.*, 2016; Ahalya and Nanthakumaran, 2017; Roy *et al.*, 2021) ซึ่งระบบหมุนเวียนได้รับการออกแบบในการเลี้ยงปลาในปริมาณมากต่อพื้นที่และใช้น้ำที่ค่อนข้างน้อย แล้วนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่หลังจากบำบัดน้ำและกำจัดของเสียที่เป็นพิษแล้ว ดังนั้นพืชผักจึงเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในการปลูกร่วมในระบบอะควาโปนิคส์ เนื่องจากสามารถดูดซับสารอาหารปลาที่ละลายในน้ำซึ่งเป็นสาเหตุของน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (Dushenkov *et al.*, 1995) ผักคะน้าใบหยิกหรือผักเคล (Kale; *Brassica oleracea* ver. *acephala*) เป็นผักใบตระกูลกะหล่ำ (Brassicaceae) ปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก และได้รับความสนใจจากนักวิชาการ เนื่องจากอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive) เช่น วิตามินซี โพรวิตามินเอ กลูโคซิโนเลท สารประกอบฟีนอล โยอาหาร มีธาตุอาหารรอง (ธาตุเหล็ก สังกะสี และแมงกานีส) และ ธาตุอาหารหลัก (แคลเซียม และ แมกนีเซียม) (Olsen *et al.*, 2009) ช่วยยับยั้งการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ (Kural *et al.*, 2011) และ มะเร็ง (Chung *et al.*, 2002) จึงได้รับความนิยมและเป็นผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงเมื่อเทียบกับผักประเภทอื่น ๆ ในปริมาณที่เท่ากัน ในการศึกษาการปลูกผักคะน้าใบหยิกร่วมกับระบบอะควาโปนิคส์นั้น ได้มีการศึกษาการเลี้ยงปลาหลายชนิด โดยปลาที่นำมาเลี้ยงนั้นต้องเป็นปลาที่มีความอดทน เจริญเติบโตเร็ว สามารถจำหน่ายได้ดีที่อายุน้อยกว่า 1 ปี ในท้องตลาด และเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์ซ้ำ เช่น การเลี้ยงปลาดุกผสมในระบบอะควาโปนิคส์ (Rittiruk *et al.*, 2013; 2014) การเลี้ยงปลานิลและปลาดุกร่วมกับปลูกผักคะน้าใบหยิกร่วมกับผักชนิดอื่น (Afolabi, 2020; Arthanawa *et al.*, 2021) การศึกษาการออกแบบระบบอะควาโปนิคส์ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดได้โดยศึกษาปริมาณของไนเตรทร่วมกับผักกินใบ เพื่อศึกษาข้อกังวลเกี่ยวกับการสะสมไนเตรท โดยการศึกษาผักสลัดคอส ผักชาร์ดสวิส และผักคะน้าใบหยิก และการศึกษาอัตราการไหลของน้ำในระบบอะควาโปนิคส์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาปลาดุก ผักผสมและคะน้าใบหยิก (Meesap *et al.*, 2022) ปลาแฟนซีคาร์พ (Koi) เป็นปลาสวยงามที่ได้รับความนิยมจากผู้เลี้ยงทั่วโลกมาเป็นเวลานาน กลายพันธุ์มาจากปลาไน (Carp : *Cyprinus carpio*) ที่เกิดการผ่าเหล่ามาผสมพันธุ์กันจนเกิดเป็นปลาคาร์พที่มีสีสันสวยงามและมีสายพันธุ์เพิ่มขึ้น (Ninwichian *et al.*, 2020) และหากรูปร่างที่ได้มาตรฐานจะมีราคาสูงมาก ซึ่งเป็นสัตว์มงคลต่อผู้เลี้ยง เป็นที่ต้องการของตลาดปลาสวยงามทั้งในและต่างประเทศ (Meesap *et al.*, 2016) มี

การเลี้ยงปลาแพนซีคาร์พในระบบอะควาโปนิคส์มาเป็นเวลานาน และเป็นปลาที่มีความอดทนต่อคุณภาพน้ำได้ดี ในการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชในระบบอะควาโปนิคส์ที่จะประสบความสำเร็จนั้น ต้องการมีจัดการที่ดี การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาในประเทศไทยนั้นมักจะมุ่งเน้นเกี่ยวกับความหนาแน่นที่เหมาะสมของการเลี้ยงปลา (Ruengray *et al.*, 2015) อัตราส่วนพื้นที่ปลูกและปริมาตรน้ำที่เหมาะสม (Leunloi *et al.*, 2014) หรือชนิดของวัสดุกรองสำหรับระบบกรองชีวภาพ (Somboonchai *et al.*, 2008) เป็นต้น การเลี้ยงปลาในระบบอะควาโปนิคส์นั้นถึงแม้ว่าการเติบโตของปลาจะเพิ่มขึ้นตามระดับของโปรตีนในอาหารที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่เหมาะสม แต่การตายของปลาก็เกิดขึ้นจากการสะสมของเสียในระบบน้ำที่เป็นพิษมากเกินไป การจัดการอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมสำหรับการปลดปล่อยมลพิษ หรือสมดุลกับการดูไปใช้ของพืชจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็น อย่างไรก็ตามการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบอะควาโปนิคส์โดยใช้น้ำหมุนเวียน ภายใต้อัตราการผลิตต่างๆ ที่ผ่านมานั้นพบว่ามีการศึกษาอยู่จำนวนน้อย ซึ่งอัตราการไหลของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญสู่ความสำเร็จของระบบการผลิตหมุนเวียน คือ การใช้เทคนิคการบำบัดน้ำที่คุ้มค่า และช่วยในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชน้ำเป็นหนึ่งในการบำบัดน้ำด้วยพืชที่คุ้มค่าและเป็นประโยชน์ เนื่องจากน้ำที่อุดมด้วยสารอาหารซึ่งเป็นผลมาจากการเลี้ยงปลาเป็นแหล่งปุ๋ยธรรมชาติสำหรับพืชที่กำลังเติบโต การเคลื่อนที่ของน้ำเป็นพื้นฐานในการทำให้สิ่งมีชีวิตทั้งหมดมีชีวิตอยู่ในอะควาโปนิคส์ น้ำที่ไหลจะเคลื่อนจากบ่อปลาไปยังพืชในแปลงปลูกพืชเพื่อจัดสรรอาหารที่ละลายน้ำ (Somerville *et al.*, 2014) ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของน้ำต่อการเจริญเติบโตของปลา พืช คุณภาพน้ำและประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียในระบบอะควาโปนิคส์

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบระบบอะควาโปนิคส์แบบหมุนเวียนประกอบด้วยถังพลาสติกทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1x1x1 เมตร³ มีความจุของน้ำปริมาตร 1,000 ลิตร จำนวน 9 ถัง (Figure1) โดยมีการเพิ่มปริมาณในระบบน้ำต่อวันประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ประกอบด้วย 3 ทรีตเมนต์ๆ ละ 3 ซ้ำ ที่อัตราการไหล 2,000 (T1), 2,400 (T2) และ 2,700 (T3) ลิตรต่อชั่วโมง ดำเนินการคัดเลือกปลาแพนซีคาร์พที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 100 กรัม อัตราการปล่อย 100 ตัวต่อตารางเมตร โดยให้อาหารเม็ดลอยน้ำที่มีโปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์ ให้อัตราส่วน 3 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัวต่อวัน แบ่งให้วันละ 3 ครั้ง (เวลา 8.00, 11.00 และ 15.00 น.) จากการสูบน้ำหนักปลาซึ่งน้ำหนักเก็บข้อมูลแต่ละตัวจำนวน 30 ตัว ทุกๆระยะเวลา 2 สัปดาห์ ประเมินอัตราการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอด และผลผลิตรวมเมื่อสิ้นสุดการทดลองระยะเวลา 90 วัน ศึกษาเกี่ยวกับการปลูกผักคะน้าใบหยิก (*Brassica oleracea* var. *acephala*) โดยเฉพาะคะน้าใบหยิกลงในถ้วยปลูกขนาด 3.5 เซนติเมตร เป็นเวลา 15 วัน ด้วยระบบ DRFT (Dynamic Root Floating Technique) ด้วยน้ำเปล่า เป็นระยะเวลา 21 วัน เมื่อความสูงของผักได้ขนาดใกล้เคียงกันที่ความสูงประมาณ 10 เซนติเมตร แล้วจึงย้ายลงแปลง ภายในระบบอะควาโปนิคส์ ซึ่งใช้เพอร์ไลต์เป็นวัสดุปลูก โดยวางปลูกอะควาโปนิคส์ขนาดราง 1x5x0.40 เมตร ระยะปลูก 50x20 เซนติเมตร จำนวน 9 รางปลูกรวม 50 ต้นต่อกรรมวิธี สำหรับปริมาตรน้ำในรางปลูกนั้นมีความจุ 2,000 ลิตร (2 ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งจากอัตราการไหลของน้ำแต่ละกรรมวิธีนั้นจะทำให้ปริมาตรของน้ำไหลหมุนเวียนในระบบ 24 ชั่วโมงคือ 47.5, 57.6 และ 64 ลูกบาศก์เมตรต่อวันตามลำดับ หลังย้ายปลูกเป็นเวลา 1 สัปดาห์ บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตด้านความสูงต้น ความยาวราก จำนวนใบ และความกว้างทรงพุ่มทุกสัปดาห์เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยการสุ่มต้นคะน้าใบหยิกจำนวน 10 ต้น/ซ้ำ/ทรีตเมนต์ โดยดึงต้นคะน้าออกมาจากหลุมปลูก แล้วใช้ไม้บรรทัดวัดความสูงต้นจากบริเวณโคนต้นจนถึงปลายยอด วัดความยาวรากจาก

บริเวณโคนต้นจนถึงปลายรากที่ยาวที่สุด วัดความกว้างทรงพุ่มจากด้านซ้ายไปยังด้านขวา และนับจำนวนใบที่คลี่เต็มที่ แล้วจึงนำต้นคะน้าใบหยิกปลูกลงในหลุมปลูกดั้งเดิม สำหรับผลผลิตคะน้า ใบหยิกนั้น หลังย้ายปลูกเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ดำเนินการเก็บเกี่ยวสัปดาห์ละครั้ง โดยเก็บใบล่างที่โตเต็มที่ ใบมีสีเขียวอมเทา ใช้วิธีการหักก้านใบให้ชิดกับลำต้น จากนั้นนำไปไปแช่น้ำหนักสตนในแต่ละสัปดาห์ และนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักผลผลิตแห้ง โดยจะเก็บเกี่ยวอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 12 สัปดาห์ แล้วจึงนำผลผลิตแต่ละสัปดาห์มารวมกันเป็นผลผลิตสดและผลผลิตแห้ง ใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 90 วัน

ดำเนินการทดลอง ณ มีทรัพย์ฟาร์ม ตำบลตั้งใจ อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ ห้องปฏิบัติการสาขาประมง และสาขาพืชศาสตร์ สิ่งทอและการออกแบบ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ ระหว่าง เดือน สิงหาคม ถึงเดือนพฤศจิกายน 2565 (คำขอรับรองการอนุมัติให้ดำเนินการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ เลขที่ 03-66-005)

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำและปริมาณสารอาหาร

เปรียบเทียบผลของอัตราการไหลต่อคุณภาพน้ำ และประสิทธิภาพของการบำบัดสารอาหารในน้ำด้วยระบบอะควาโปนิคส์ โดยวิเคราะห์ค่า BOD₅ (Biochemical oxygen demand) แอมโมเนียไนโตรเจน (Total ammonia nitrogen; TAN) สารแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solid; TSS) ไนไตรท์ (Nitrite; NO₂-N) ไนเตรท (Nitrate; NO₃-N) และ ฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorous; TP) ในน้ำจากการเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พไหลผ่านระบบไบโอฟิลเตอร์ (Biofilter) ณ จุดที่เข้าสู่ (Influent) แปลงปลูกผัก 1 จุด และที่น้ำออก (Effluent) จากแปลงปลูกพืช 1 จุด การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเป็นร้อยละ (%) โดยนำค่าที่ได้จากน้ำเข้าลบด้วยค่าที่ได้จากน้ำออก วิเคราะห์คุณภาพน้ำระหว่างช่วงการทดลอง สุ่มตัวอย่าง ระหว่างเวลา 8.30 น. ถึง 9.30 น. ของวันที่สุ่มตัวอย่างแต่ละครั้ง นำตัวอย่างน้ำไปแช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส ในขวดโพลีเอทิลีนที่ติดฉลากสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี อุณหภูมิของน้ำวัดโดยเทอร์โมมิเตอร์ และวัดค่า pH โดยใช้เครื่องวัด pH meter; YSI pH100 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved oxygen; DO) ความกระด้าง (Hardness) ความเป็นด่าง (Alkalinity) แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ทำการวิเคราะห์โดยวิธีมาตรฐานของ APHA (2005) ส่วนค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity; EC) วัดด้วย Conductivity meter; YSI EC300 ซึ่งทำการตรวจวิเคราะห์ทุก 2 สัปดาห์

การวิเคราะห์ทางสถิติ

เมื่อสิ้นสุดการทดลองในแต่ละช่วงนำมาค่าเฉลี่ยและประเมินอัตราการเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอดตาย คุณภาพน้ำ ผลผลิตของปลาแฟนซีคาร์พ และผักคะน้าใบหยิก ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

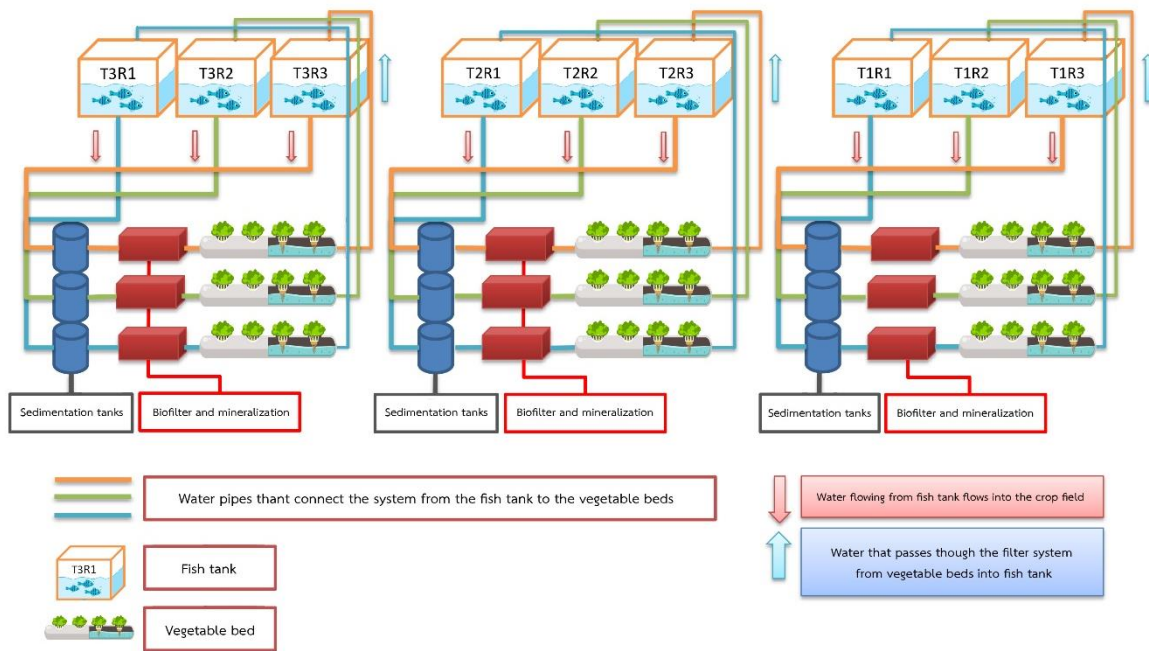


Figure 1 Layout of aquaponic recirculating system. Consists of fish tanks, growing beds, sedimentation tanks, biofilter and mineralization units.

ผลการวิจัยและอภิปรายผล การเจริญเติบโตของปลา

ผลของอัตราการไหลของน้ำ 3 รูปแบบ ได้แก่ อัตราการไหล 2,000 (T1), 2,400 (T2) และ 2,700 (T3) ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Table 1) พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลาแพนซีคาร์พในแต่ละรูปแบบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าสูงขึ้นตามอัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้น ใน T3 (139.54 ± 0.18 กรัม) ตามด้วย T2 (136.43 ± 0.21 กรัม) และ T1 (136.61 ± 0.36 กรัม) ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อวัน) และเป็นไปตามแนวโน้มเดียวกันกับการเพิ่มของผลผลิตสุทธิ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ที่แสดงค่าสูงสุดใน T3 (12.46 ± 0.08) รองลงมาคือ T2 (11.96 ± 0.19) และต่ำสุดใน T1 (11.93 ± 0.18) ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในทุกกลุ่มการทดลอง สอดคล้องกับการศึกษาอัตราการไหลของน้ำในระบบอะควาโพนิกส์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาปลาดุกลูกผสมและคະນ້າไบหยิก (Meesap *et al.*, 2022) แต่อัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างต่ำมากในระยะเวลาการเลี้ยง 90 วัน เนื่องจากปลาแพนซีคาร์พนั้นต้องการพื้นที่ในการเลี้ยงที่สูงแม้จะเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนก็ตาม ซึ่งระดับความหนาแน่นมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตในการเลี้ยงระบบอะควาโพนิกส์ (Roy *et al.*, 2021) แม้ว่าปลาแพนซีคาร์พจะเป็นปลาที่รักสงบไม่รังแกหรือทำร้ายกันเองก็ตาม ดังนั้นหลักพิจารณา เช่น การเพิ่มออกซิเจนในกระแสน้ำ คุณสมบัติของน้ำ และจากสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ให้เหมาะสม อาจช่วยให้ปลามีชีวิตอยู่รอดได้เพิ่มขึ้น แต่ไม่ได้หมายความว่า จะทำให้ปลาโตและสมบูรณ์ได้ดีเพิ่มขึ้นด้วยทุกครั้ง อัตราการไหลที่ต่างกันไม่มีผลต่ออัตราการรอดของปลาในแต่ละกลุ่มปลาทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ T3 (89.33 ± 0.68 เปอร์เซ็นต์), T2 (87.67 ± 1.53 เปอร์เซ็นต์) และ T1 (87.33 ± 1.53 เปอร์เซ็นต์) อาจเนื่องมาจากปลาที่มีขนาดใหญ่ และคุณภาพน้ำเหมาะสมในการดำรงชีวิต และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) ของปลาในกลุ่มที่เลี้ยงในอัตราการไหลของน้ำที่แตกต่างกัน ก็พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยมีค่าที่ดีที่สุด คือ T₂

(1.60 ± 0.05) ซึ่งไม่แตกต่างกับ T_1 (1.68 ± 0.04) และไม่แตกต่างกับ T_3 (1.75 ± 0.03) ซึ่งมีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อสูงที่สุด

ผลผลิตของผักคะน้าใบหยิก

ผลผลิตของพืชเป็นอีกประเด็นที่สำคัญในระบบอะควาโปนิคส์ ในการศึกษาี้ ผักคะน้าใบหยิกปลูกบนรางปลูกในระบบ และได้รับน้ำจากการเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ ในอัตราการไหลที่แตกต่างกันสามแบบ ในการศึกษาี้ การเจริญเติบโตของผักคะน้าใบหยิกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างกลุ่มทดลอง (Table 1) ความสูงเฉลี่ยของผักคะน้าใบหยิกที่มีการตอบสนองดีต่ออัตราการไหลที่ช้าคือ อัตราการไหลอัตราการไหล 2,000 (T_1), และ 2,400 (T_2) ลิตรต่อชั่วโมง สูงกว่า อัตราการไหล 2,700 (T_3) ลิตรต่อชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญ คือ 14.40 ± 0.10 , 14.51 ± 0.21 และ 12.02 ± 0.57 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนความยาวเฉลี่ยของราก มีค่าเท่ากับ 16.07 ± 0.44 , 15.91 ± 0.38 , และ 12.73 ± 0.49 เซนติเมตร ตามลำดับ รวมถึงองค์ประกอบผลผลิตในด้านอื่น ๆ ก็มีแนวโน้มในการตอบสนองต่ออัตราการไหลที่ช้าดีกว่าอัตราการไหลเร็วเช่นเดียวกัน ได้แก่จำนวนใบต่อต้นของชุดการทดลอง T_1 , T_2 และ T_3 มีค่าเฉลี่ย 13.48 ± 0.23 , 13.54 ± 0.11 และ 12.56 ± 0.03 ใบต่อต้น ส่วนความกว้างทรงพุ่มของผักคะน้าหลังการเก็บเกี่ยวก็พบว่า มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราการไหลช้า 2 อัตราแรก (T_1 และ T_2) จะมีค่าสูงกว่าอัตราการไหลเร็ว (T_3) คือ 14.27 ± 0.30 , 13.99 ± 0.21 , และ 11.81 ± 0.30 เซนติเมตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า คะน้าใบหยิกมีผลผลิตสดและผลผลิตแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติทั้ง 3 ระดับอัตราการไหลของน้ำ โดยพบว่ามีผลผลิตสดระหว่าง 14.16-14.41 กิโลกรัม (โต๊ะปลูกขนาด 5 ตารางเมตร) และมีผลผลิตแห้งระหว่าง 1.31-1.34 กิโลกรัม/โต๊ะปลูก (5 ตารางเมตร) ซึ่งอัตราการไหล 2,400 ลิตร/ชั่วโมง (T_2) นั้น มีแนวโน้มให้ผลผลิตสดมากกว่าอัตราการไหลอื่นๆ คือ 14.41 กิโลกรัม ส่วนอัตราการไหล 2,700 ลิตร/ชั่วโมงนั้น มีแนวโน้มให้ผลผลิตแห้งมากกว่าอัตราการไหลอื่นๆ คือ 1.34 กิโลกรัม) ซึ่งเมื่อพิจารณาค่า EC ของสารละลายในแต่ละทรีตเมนต์ มีค่าระหว่าง 0.7-1.1 mS/cm. แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารนั้นไม่ได้มีความแตกต่างกันในแต่ละระดับความเร็วในการไหล จึงส่งผลให้คะน้าใบหยิกมีผลผลิตที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่ควรพิจารณาอีกอย่างหนึ่งคืออัตราส่วนการใช้อาหารที่เหมาะสมมักจะขึ้นอยู่กับปริมาตรของน้ำในระบบทั้งหมด ซึ่งจะมีผลต่อความเข้มข้นของแร่ธาตุในระบบอะควาโปนิคส์ระบบรากแช่ลึก ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรน้ำจะอยู่ในพื้นที่ของแปลงปลูกพืช ในขณะที่อะควาโปนิคส์แบบรากยึดกับแบบรากแช่ดิน แปลงพืชจะมีน้ำอยู่น้อยกว่า ตามทฤษฎีในระบบที่ผลิตปลาและพืชจำนวนที่เท่ากันอัตราการให้อาหารปลา 100 กรัมต่อตารางเมตร จะทำให้ความเข้มข้นรวมของแร่ธาตุในระบบรากแช่ลึกสูงกว่าระบบรากยึดและของระบบรากแช่ดินเกือบ 4 เท่า แต่มวลรวมของแร่ธาตุจะเท่ากัน ความเข้มข้นของแร่ธาตุที่อยู่นอกช่วงที่เหมาะสมจะมีผลกระทบต่อเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น อัตราส่วนการออกแบบที่เหมาะสมนั้นขึ้นกับประเภทของแปลงปลูกพืชที่ใช้ในระบบรากยึดกับระบบรากแช่ดิน ควรจะมีอัตราการให้อาหาร 25 เปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนที่แนะนำให้ใช้กับระบบรากแช่ (Pengsen, 2013) เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตของคะน้าใบหยิกในระบบอะควาโปนิคส์ในครั้งนี้กับการศึกษาของ Verruma-Bernardi *et al.* (2021) ที่ปลูกคะน้าใบหยิกในดินและให้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เห็นได้ว่าผลผลิตคะน้าใบหยิกในระบบอะควาโปนิคส์มีผลผลิตน้อยกว่าการปลูกในดินที่มีการให้ปุ๋ยอย่างชัดเจน อาจเนื่องมาจากการปลูกในดินร่วมกับการให้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ นั้น คะน้าใบหยิกได้รับธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองมากกว่าการปลูกในระบบอะควาโปนิคส์

การบำบัดค่าคุณภาพน้ำและการเปลี่ยนแปลงของสารอาหาร

อุณหภูมิ (Temperature) ของน้ำระหว่างช่วงการศึกษาจะอยู่ในช่วง 27.2–28.8 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่มีความแตกต่างระหว่าง กลุ่มการทดลอง (Table 2) ค่า pH จะแปรผันภายในช่วง 7.16–7.68 ในการศึกษานี้มีการเพิ่มปริมาณในระบบน้ำต่อวันประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทดแทนการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยและการคายน้ำของผักคะน้าใบหยิก ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ Hussain *et al.* (2014) ที่รายงานว่า การสูญเสียของน้ำเฉลี่ยต่อวันในระบบอะควาโปนิคส์ อยู่ที่ประมาณ 6.6 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ McMurtry *et al.* (1997) ที่แนะนำให้ใช้อัตราการเปลี่ยนน้ำอยู่ระหว่าง 1.2 ถึง 4.7 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) เฉลี่ยสูงสุดพบในระบบทดลองที่มีอัตราการไหลสูงสุด (T_3 , 2,700 ลิตรต่อชั่วโมง) มีค่า 5.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามด้วย T_2 และ T_1 (4.82 และ 4.54 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ การควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีความสำคัญต่อสุขภาพของปลาและจุลินทรีย์ในระบบกรองชีวภาพ (Somerville *et al.*, 2014) แนะนำว่าควรรักษาระดับออกซิเจนละลายน้ำให้ไม่ต่ำกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อการเจริญเติบโตที่เหมาะสมของปลาในเขตร้อน ในขณะที่การทำงานของจุลินทรีย์กลุ่ม Nitrifying bacteria ที่ทำการเปลี่ยนแอมโมเนียที่เป็นอันตรายไปเป็นไนเตรทที่ก็ต้องการปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เหมาะสมเช่นกัน ซึ่งระดับเหมาะสมดังกล่าวต้องไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร (Masser *et al.*, 1999) ในการทดลองนี้ พบว่าระดับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในทุกกลุ่มการทดลอง มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมตลอดระยะเวลาการทดลอง

อัลคาไลน์ตี (Alkalinity) มีค่าอยู่ระหว่าง 40.41–52.32 มิลลิกรัมต่อลิตร และความกระด้าง (Hardness) มีค่า 31.28–34.21 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าอัตราการไหลของน้ำไม่มีผลทำให้ค่าเหล่านี้แตกต่างกันอย่างชัดเจน ความกระด้างจากคาร์บอเนต หรืออัลคาไลน์ตี ของน้ำในระบบอะควาโปนิคส์ จัดว่าเป็นสิ่งจำเป็น เพราะความกระด้างที่เหมาะสมจะช่วยให้รักษาค่า pH ให้คงที่ หากค่าอัลคาไลน์ตีไม่เพียงพอ จะทำให้มีการผันผวนของค่า pH อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลเสียต่อระบบและต่อปลาและการใช้ประโยชน์จากสารอาหารของพืช (Bregnballe, 2015) อย่างไรก็ตาม Somerville *et al.* (2014) ได้แนะนำว่าระดับความกระด้างที่เหมาะสมของน้ำในระบบอะควาโปนิคส์คือประมาณ 60–140 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นค่าอัลคาไลน์ตี และความกระด้างในการทดลองนี้มีค่าต่ำไปเล็กน้อย สมควรที่จะได้รับการปรับให้อยู่ในระดับที่สูงขึ้นได้ ซึ่งน่าจะส่งผลต่อผลผลิตปลาและผักคะน้าใบหยิกให้สูงขึ้นได้

ค่า EC (Electrical Conductivity) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.7–1.1 mS/cm. ค่า EC นอกจากจะแสดงถึงปริมาณสารอาหารที่ สำหรับพืชแล้ว ยังเป็นปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกลไกทางออสโมซิส ในการการดูดซึมน้ำของพืชด้วย (Somerville *et al.*, 2014) ค่า EC ในระบบทดลองนี้ ค่อนข้างจะคงที่ซึ่งแสดงถึง ความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำอยู่ในระดับที่ปกติตลอดช่วงเวลาทดลอง

อัตราการไหลของน้ำทั้ง 3 อัตรา สามารถบำบัดไนเตรทไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) ได้เป็นอย่างดีในช่วง 65.25–72.17 เปอร์เซ็นต์ (Figure 2) แสดงให้เห็นว่าปริมาณของสารอาหารประเภทไนเตรทที่เกิดขึ้นในระบบจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และจากปุ๋ยที่ปนเปื้อนได้ถูกบำบัด และนำไปใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ ไนเตรทไนโตรเจนสะสมในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอันเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาของการผลิตปลาและพืชก็สามารถกำจัด ไนเตรทไนโตรเจนได้ในอัตราดังกล่าว ในการศึกษานี้ การกำจัด ไนเตรทโดยรวมของน้ำในระบบอะควาโปนิคส์ลดปริมาณลงตามสัดส่วนตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น พบว่าอัตราการไหลที่ 2,700 ลิตรต่อชั่วโมง มีอัตราการขจัดสูงสุดประมาณ 71.61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับ Endut *et al.* (2009) ที่พบว่าอัตราการขจัดไนเตรท มีความสัมพันธ์เชิง

บวกกับอัตราการไหลของน้ำ และ Sanguandeeikul *et al.* (2014) พบว่าค่าการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการเลี้ยงปลานิลแดง โดยการปลูกแดงกวางญี่ปุ่นในระบบอะควาโปนิคส์สามารถลดค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส บีโอดี และปริมาณของแข็งแขวนลอยที่เกิดจากการเลี้ยงปลาได้

ค่า BOD_5 ซึ่งหมายถึงปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียต้องการใช้ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบ ความเข้มข้นของ BOD_5 ในระบบเพิ่มขึ้นเนื่องจากการปลดปล่อยอินทรีย์วัตถุที่ละลายและสะสมออกจากเมล็ดพืชที่กำลังพัฒนาและอาหารปลาที่เหลือ (Viadero *et al.*, 2005) รวมทั้งจากของเสียที่ขับออกจากตัวปลา เป็นแหล่งสำคัญของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการผลิต พบว่าค่า BOD_5 ลดลงที่ 45.42–54.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าอัตราการบำบัดมีแนวโน้มสูงขึ้นตามอัตราการไหลของน้ำ เช่นเดียวกับการศึกษาในปลานิลแดงร่วมกับแดงกวางญี่ปุ่นสามารถลดได้ 33 เปอร์เซ็นต์ (Sanguandeeikul *et al.*, 2014)

การกำจัด TAN (total ammonia nitrogen) ในน้ำหมุนเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ 78.70 - 84.60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการศึกษาในปลานิลแดงร่วมกับแดงกวางญี่ปุ่นสามารถลดได้เพียง 53 เปอร์เซ็นต์ (Sanguandeeikul *et al.*, 2014) ซึ่งการกำจัด TAN นี้มีแนวโน้มว่าเป็นผลมาจากอิทธิพลของอัตราการไหลของน้ำที่สูงขึ้น แม้ว่าจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ค่า TAN คือปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในรูปของ NH_3 และ NH_4^+ ในน้ำ ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ความเข้มข้นของ TAN ต้องน้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Somerville *et al.*, 2014) ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างที่เก็บจากตำแหน่งที่น้ำไหลออก (Effluent) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.11-0.17 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงว่าอยู่ในระดับที่ไม่มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของปลาทดลอง

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) ในแต่ละอัตราการไหล จะเห็นได้ว่าการทดลองค่าความเข้มข้นของ TP ลดลงจากเดิม ณ จุดที่น้ำเข้ามีค่าระหว่าง 8.93 - 10.20 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 3.73-4.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ณ จุดที่น้ำออก (Table 3) ซึ่งลดลงอย่างมีประสิทธิภาพ 54.72 – 57.90 เปอร์เซ็นต์ โดยที่การศึกษาในปลานิลแดงร่วมกับแดงกวางญี่ปุ่นสามารถลดได้เพียง 38 เปอร์เซ็นต์ (Sanguandeeikul *et al.*, 2014) ซึ่งเป็นผลมาจากจากอัตราการไหล ซึ่งถึงแม้ว่าจะไม่มีความแตกต่างกันระหว่างอัตราการไหล เศษอาหารและมูลจากปลาเป็นแหล่งสำคัญของฟอสฟอรัสในน้ำ ในน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งเป็นทั้งฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำ ทั้งในรูปแบบอินทรีย์และอนินทรีย์ (Tucker and Boyd, 1985) อัตราการบำบัดค่าคุณภาพน้ำและพารามิเตอร์ทางกายภาพ เคมี ของน้ำที่อัตราการไหลต่าง ๆ (Table 3 ; Figure 2) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบำบัด BOD_5 , TSS, TAN และ nitrite-N มีการบำบัดได้ดีขึ้นตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบของความเข้มข้นของน้ำที่เข้าสู่ระบบ (Influent) และน้ำที่ไหลออก (Effluent) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การบำบัด TP สูงขึ้นเล็กน้อยอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาในปลานิลแดงร่วมกับแดงกวางญี่ปุ่นสามารถลดได้ 33 เปอร์เซ็นต์ (Sanguandeeikul *et al.*, 2014)

Table 1 Fancy carp and Curl leafed kale productions under the different water flow rates in an aquaponic system.

Measures	water flows ratios (L/hr.)		
	2,000(T ₁)	2,400(T ₂)	2,700(T ₃)
Fancy carp			
Initial weight (g fish ⁻¹)	99.97±0.10 ^a	100.05±0.14 ^a	99.99±0.05 ^a
Final weight gain (g fish ⁻¹)	136.61±0.36 ^b	136.43±0.21 ^b	139.54±0.18 ^a
Growth rate (g day ⁻¹)	0.40±0.01 ^b	0.40±0.01 ^b	0.44±0.00 ^a
Net production (kg m ⁻³)	11.93±0.18 ^b	11.96±0.19 ^b	12.46±0.08 ^a
Survival rate (%)	87.33±1.53 ^a	87.67±1.53 ^a	89.33±0.68 ^a
FCR	1.68±0.04 ^{ab}	1.60±0.05 ^a	1.75±0.03 ^b
Curl leafed kale			
Shoot Height (cm)	14.40±0.10 ^a	14.51±0.21 ^a	12.02±0.57 ^b
Root length (cm)	16.07±0.44 ^a	15.91±0.38 ^a	12.73±0.49 ^b
No. of leaf/shoot	13.48±0.23 ^a	13.54±0.11 ^a	12.56±0.03 ^b
Canopy width (cm)	14.27±0.30 ^a	13.99±0.21 ^a	11.81±0.30 ^b
Fresh Yield (kg)	14.16±2.86 ^a	14.41±2.70 ^a	14.22±2.85 ^a
Dry Yield (kg)	1.31±0.33 ^a	1.33±0.35 ^a	1.34±0.33 ^a

Note : Values with different superscripts in the same row are significantly different (p<0.05)

Table 2 The water qualities in fancy carp tanks at different water flow rates.

Parameters	Water flow rates (L/hr.)		
	2,000(T ₁)	2,400(T ₂)	2,700(T ₃)
pH	7.16 – 7.48	7.58 – 7.63	7.32 – 7.62
Dissolved oxygen (mg/L)	4.28 – 4.54	4.29 – 4.82	4.32 – 5.12
Temperature(°C)	27.4 – 28.8	27.5 – 28.4	27.2 – 28.8
Total alkalinity (mg-CaCO ₃ /L)	41.18 – 51.43	41.93 – 52.32	40.41 – 50.54
Total hardness (mg-CaCO ₃ /L)	31.28 – 33.46	31.34 – 33.63	31.43 – 34.21
Electrical conductivity (mS/cm)	0.7 – 1.0	0.8 – 1.1	0.8 – 1.1

Table3 Mean values and percentage removal of water quality variables at various flow rates.

Parameters	Flowrates (L/hr.)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal (%)
BOD ₅	2,000(T ₁)	4.23±0.21 ^a	2.30±0.20 ^a	45.42±7.44 ^a
	2,400(T ₂)	4.67±0.25 ^a	2.13±0.06 ^a	54.20±2.56 ^a
	2,700(T ₃)	4.23±0.51 ^a	2.23±0.06 ^a	46.72±6.50 ^a
TSS	2,000(T ₁)	49.83±1.36 ^a	14.66±2.08 ^a	70.61±3.67 ^a
	2,400(T ₂)	53.07±3.97 ^a	16.86±0.15 ^a	68.11±2.06 ^a
	2,700(T ₃)	48.70±0.90 ^a	14.43±1.50 ^a	70.32±3.62 ^a
TAN	2,000(T ₁)	0.62±0.15 ^a	0.12±0.02 ^a	78.70±8.95 ^a
	2,400(T ₂)	0.55±0.16 ^a	0.10±0.02 ^a	80.33±6.63 ^a
	2,700(T ₃)	0.71±0.19 ^a	0.10±0.15 ^a	84.60±2.25 ^a
NO ₂ N	2,000(T ₁)	0.24±0.07 ^a	0.08±0.20 ^a	65.25±8.50 ^a
	2,400(T ₂)	0.23±0.02 ^a	0.07±0.01 ^a	71.36±2.91 ^a
	2,700(T ₃)	0.18±0.02 ^a	0.05±0.15 ^b	72.17±4.90 ^a
NO ₃ N	2,000(T ₁)	14.63±0.91 ^a	4.13±0.31 ^a	71.61±3.80 ^a
	2,400(T ₂)	13.41±1.10 ^a	3.70±1.80 ^a	71.91±9.50 ^a
	2,700(T ₃)	12.80±0.07 ^a	2.23±0.21 ^b	82.61±1.10 ^a
TP	2,000(T ₁)	10.20±0.90 ^a	4.60±0.20 ^a	54.72±3.62 ^a
	2,400(T ₂)	9.03±1.37 ^a	3.93±0.12 ^b	55.91±5.43 ^a
	2,700(T ₃)	8.93±1.11 ^a	3.73±0.12 ^b	57.90±3.89 ^a

Note : Values with different superscripts of each parameter in the same column are significantly different (p<0.05)

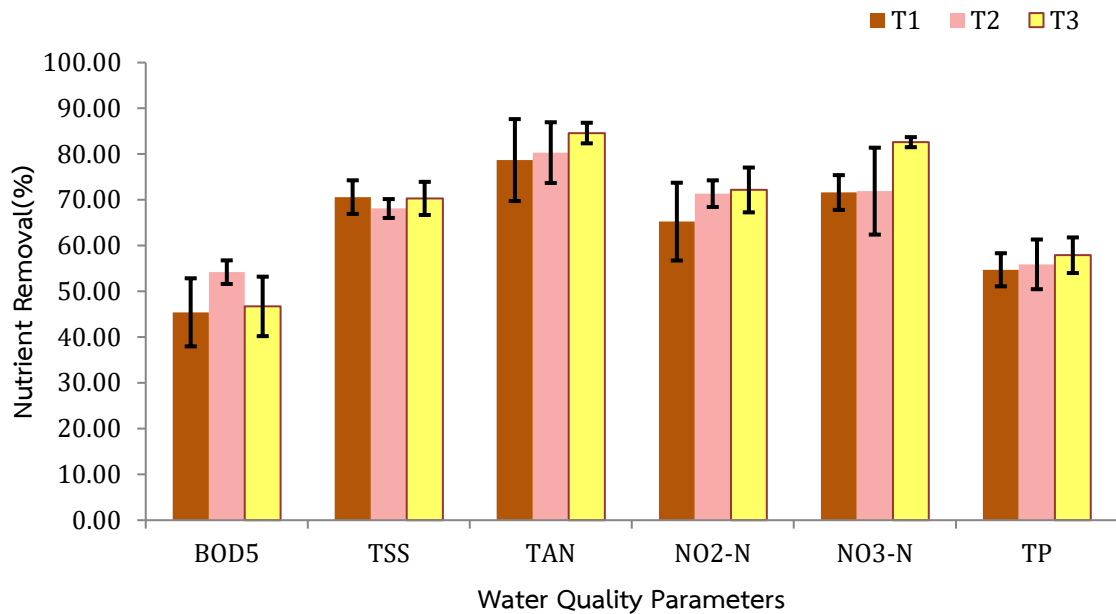


Figure 2 Percentage removals of water quality parameters at various flow rates in aquaponic system of fancy carp.

บทสรุป

จากการศึกษาสรุปได้ว่าที่อัตราการไหล 2,000 (T1), 2,400 (T2) และ 2,700 (T3) ลิตรต่อชั่วโมง มีผลในแง่ของการเจริญเติบโตของปลาแพนซีคาร์พ ทั้งในด้านอัตราการรอด อัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตสุทธิ โดยมีค่าสูงสุดในอัตราการไหลที่สูงที่สุด และรองลงมาตามลำดับ อัตราการไหลของน้ำระบบอะควาโปนิคส์ที่มีการเลี้ยงปลาแพนซีคาร์พ ส่งผลให้ผักคะน้าใบหยิกมีการเจริญเติบโตได้ดีและตอบสนองเชิงบวกต่อการปลูกโดยใช้น้ำเสียจากระบบการเลี้ยงปลา ในแง่ของการเจริญเติบโตและการผลิตชีวมวลในแนวทางที่ตรงกันข้ามกับผลผลิตปลา โดยพบว่า ความสูงของต้นเฉลี่ยที่เก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 12-16 เซนติเมตร และช่วงให้ผลผลิตสด 14.16-14.41 กิโลกรัมต่อตารางปลูก ซึ่งพบว่าการเจริญเติบโตของพืชสูงที่สุดที่อัตราการไหลของน้ำที่ต่ำที่สุดคือ 2,400 ลิตรต่อชั่วโมง ผักคะน้าใบหยิกที่ปลูกในระบบอะควาโปนิคส์สามารถลดปริมาณมลพิษของน้ำเสียจากการเลี้ยงปลาแพนซีคาร์พ ได้ดี โดยมีค่า BOD₅, TSS, TAN, NO₂-N, NO₃-N และ TP อยู่ในช่วง 45.42-54.20, 68.11-70.61, 78.70-84.60, 65.25-72.17, 71.61-82.61 และ 54.72-57.90 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเจริญเติบโตของพืชดีที่สุดในที่อัตราการไหล 2,000 ลิตรต่อชั่วโมง โดยที่ประสิทธิภาพในการบำบัดมลพิษทั้ง 3 อัตราการไหลไม่มีความแตกต่างกัน ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าระบบอะควาโปนิคส์ มีส่วนสำคัญในการลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ประโยชน์จากของเสียทางชีวภาพที่เกิดจากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อการผลิตพืชผักในระบบอินทรีย์ซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาประมง คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์ และมีทรัพย์ฟาร์ม ตำบลตั้งใจ อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ ที่ได้สนับสนุนงบประมาณการวิจัย อุปกรณ์การวิจัย และสถานที่ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- APHA. 2005. Standards methods for the examination of water and wastewater. 21st ed. APHA, Washington DC, USA.
- Afolabi, K. A. 2020. Productivity of Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) Culture in Aquaponic Systems. M.Sc. Thesis. The American University in Cairo, AUC Knowledge Fountain.
- Ahalya, A. and Nanthakumaran, A. 2017. Production of Leafy vegetables in a recirculating aquaponic system using common carp effluent. Available : <https://www.researchgate.net/publication/341477577>.
- Arthanawa, I.G.N., Astiko, I.N. Yana, D.P.S. and Darmawan, I.K. 2021. Utilization of biofloc system catfish pond Waste nutrients in the cultivation of Kale, Spinach, Pakcoy, and Lettuce Using the Aquaponic System. Sustainable Environment Agricultural Science (SSEA). 5(1): 66-71.
- Bregnballe J. 2015. A Guide to Recirculation Aquaculture. An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EUROFISH International Organization.
- Chung, M.J., Lee, S.H. and Sung, N.J. 2002. Inhibitory effect of whole strawberries, garlic juice or kale juice on endogenous formation of N-nitrosodimethylamine in humans. Cancer Letters. 182(1): 1-10.
- Dushenkov, V., Kumar, P., Motto, H. and Raskin, L. 1995. Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. Environ Sci Technol. 19: 1239–1245.
- Enduta, A., Jusoh, A., Ali N., Wan Nik, W.N.S. and Hassan, A. 2009. Effect of flow rate on water quality parameters and plant growth of water spinach (*Ipomoea aquatica*) in an aquaponic recirculating system. Desalination and Water Treatment. 5: 19–28.
- Filep, R.M., Diaconescu, S., Costache, M., Stavrescu-Bedivan, M., Badulescu, L. and Nicolae, C.G. 2016. Pilot Aquaponic Growing System of Carp (*Cyprinus carpio*) and Basil (*Ocimm basilicum*). Agriculture and Agricultural Science Procedia. 10 (2016): 255 -260.
- Hussain, T., Verma, A. K., Tiwari, V. K., Prakash, C., Rathore, G., Shete, A. P. and Saharan, N. 2014. Effect of water flow rates on growth of *Cyprinus carpio* var. koi (*Cyprinus carpio* L., 1758) and spinach plant in aquaponic system. Aquacult Int DOI 10.1007/s10499-014-9821-3.
- Kural, B.V., Kucuk, N., Balaban, Y. and Orem, A. 2011. Effects of kale (*Brassica oleracea*) leave extracts on the susceptibility of very low- and low-density lipoproteins to oxidation. Indian Journal of Biochem and Biophy. 2: 361-364.

- Leunloi, W., Pengseng, P., Chotipunt, P. and Maneepong, S. 2014. Effect of plant bed and water volume ratios on productions of water convolvulus (*Ipomoea aquatic* Forsk), Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), and water quality in aquaponics system. *Journal of Fisheries Technology Research*. 8(2): 10-19. [in Thai]
- Masser, M.P., Rakocy, J. and Losordo T.M. 1999. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems Management of Recirculating Systems. SRAC Publication No. 452. The Southern Regional Aquaculture Center through Grant No. 94-38500-0045 from the United States Department of Agriculture, Cooperative States Research, Education, and Extension Service.
- Meesap P., Phimchan P., Kasamawut K. and 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*. 8 (2): 97-109. [in Thai]
- Meesap, P., Saowakoon, S., Saowakoon, K. and Ngamsnae, P. 2016. Effect of Tomato as Feed Supplement on Colour Enhancement Potential and Growth of Fancy Carp (*Cyprinus carpio*). pp. A123-A127. In 8th Rajamangala Surin National Conference. Rajamangala University of Technology, Surin Campus. [in Thai]
- McMurtry, M.R., Sanders, D.C., Cure, J.D., Hodson, R.G., Haning, B.C. and St Amand, P.C. 1997. Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. *J World Aquaculture Soc.* 28:4 20–428.
- Ninwichian, P., Chookird, D. and Phuwan, N. 2020. Effects of dietary supplementation with natural carotenoid sources on growth performance and skin coloration of fancy carp, *Cyprinus carpio* L. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 19 (1): 167 – 181.
- Olsen, H., Aaby, K, and Borge, G.I.A. 2009. Characterization and Quantification of Flavonoids and Hydroxycinnamic Acids in Curly Kale (*Brassica oleracea* L. Convar. *acephala* Var. *sabellica*) by HPLC-DAD-ESI-MSⁿ. *J. Agric. Food Chem.* 57(7): 2816–2825.
- Pengseng, P. 2013. Aquaponics: productions of agriculture for sustainable. Suksaphanpress, Bangkok. [in Thai]
- Phetkhong, C. and Phoosakul, S. 2017. System and equipment design for organic hydroponic according to sufficiency economy. *RSUJET*. 20(1): 21-28. [in Thai]
- Rittiruk, U., Sanguandeeikul, S. and Rakseree, S. 2013. The research and development in aquaponic system for recycling wastewater of hybrid catfish culture. *The journal of Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal*. 6(1): 103-112. [in Thai]

- Rittiruk, U., Sanguandeeikul, S. and Rakseree, S. 2014. Effects of density on growth performance and yield of walking catfish, *Clarias macrocephalus - gariepinus* in Aquaponic System: The journal of Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal. 7(2): 77-86. [in Thai]
- Roy, P., Nadia, Z.M., Hossain, M. and Salam, M.A. 2021. Tilapia Density-dependent Cowpea Production Potential in Aquaponics. Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries. 25(2): 973 – 994.
- Ruengray, P., Wanichpongpan, P. and Attasat, S. 2015. The Effects of Plant Ratios on the Performance of Recirculating Aquaponic System. Pp.99-110. In 15th Invitation to Participate National and International Conference on Interdisciplinary Research for Sustainable Community.
- Sanguandeeikul, S., Rittiruk, U. and Rakseree, S. 2014. Growth and Yield of Japanese Cucumber in Aquaponics System. Agricultural Science Journal. 45(2)(Suppl.) : 701-704. [in Thai]
- Somboonchai, S., Chaibu, P., Mangumphan, K. and Tancho, A. 2008. A Study on biological filter materials for culturing hybrid catfish system with hydroponics system. Journal of Fisheries Technology Research. 2(1): 55-65. [in Thai]
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus A. and Lovatelli, A. 2014. Small-scale aquaponic food Production; Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Rome, Italy.
- Tucker, C.S. and Boyd, C.E. 1985. Water quality, channel catfish culture. Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam, Netherlands.
- Viadero, R.C., Cunningham, J.H., Semmens, K.J. and Tierney, A.E. 2005. Effluent and production impacts of flow through aquaculture operations in West Virginia. Aquaculture. Eng. 33: 258–270.
- van Rijn, J., Yossi, T. and Schreier, H.J. 2006. Denitrification in recirculation systems: Theory and Applications. Aquacultural Engineering. 34: 364-376.
- Verruma-Bernardi, M.R., Pimenta, D.M., Levrero, G.RR., Forti, V.A., Medeiros, S.DS., Ceccato-Antonini, S.R., Covre, E.A., Ferreira, M.D., Moret, R., Bernardi, A.CC. and Sala, F.C. 2021. Yield and quality of curly kale grown using organic fertilizers. Horticultura Brasileira. 39: 112-121.