

ผลของอัตราส่วนพื้นที่ปลูกและปริมาตรน้ำต่อผลผลิตผักบุงจีน ปลาไนล์และคุณภาพน้ำ ในระบบปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงปลา

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

วีระยุทธ เลื่อนลอย¹, พวน เพ่งเซ่ง¹, ปิยะพงศ์ โชติพันธุ์¹ และสมศักดิ์ มณีพงศ์¹
Werayuth Leunloi¹, Puan Pengseng¹, Piyapong Chotipunt¹ and Somsak Maneepong¹

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

*Corresponding e-mail : wu_aqua@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

การเลี้ยงปลาไนล์ร่วมกับการปลูกผักบุงจีนแบบไม่ใช้ดินในระบบน้ำหมุนเวียน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของพื้นที่ปลูกผักต่อปริมาตรน้ำในระบบที่มีผลต่อผลผลิตของผักบุงจีน ปลาไนล์ และคุณภาพน้ำในระบบน้ำหมุนเวียนโดยใช้อัตราส่วน 3 ระดับคือ 1.67, 3.33 และ 5.00 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ทำซ้ำอัตราส่วนละ 3 ซ้ำ ในแต่ละอัตราส่วนมีพื้นที่ปลูก 1.0, 2.0 และ 3.0 ตารางเมตร ตามลำดับ ใช้กล้าผักบุงจีนที่เพาะจากเมล็ดบนถาดโฟมลอยน้ำ จำนวน 40 ต้นต่อตารางเมตร ปล่อยปลาไนล์เพศผู้แปลงเพศขนาดเฉลี่ย 32.50 กรัม ลงเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาส ขนาด 0.50 ลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่น 975 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาตรน้ำทั้งระบบรวม 600 ลิตร เลี้ยงปลาด้วยอาหารเม็ดชนิดลอยน้ำ (โปรตีน 25 เปอร์เซ็นต์) วันละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 105 วัน ผลการทดลองในส่วนของการปลูก พบว่าอัตราการรอดตาย น้ำหนักเพิ่มเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อัตราการเจริญเติบโต ผลผลิตและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อไม่แตกต่างกันทางสถิติในแต่ละชุดการทดลอง ผลการทดลองในส่วนของการปลูก พบว่าพื้นที่ปลูกต่อปริมาตรน้ำในอัตราส่วน 5.00 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ให้ผลผลิตคิดเป็นน้ำหนักรวมสูงสุด เท่ากับ 20.12 ± 0.36 กิโลกรัม ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดการทดลองที่มีพื้นที่ปลูกผักบุงจีนต่อปริมาตรน้ำ 1.67 และ 3.33 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ($p < 0.05$) ค่าคุณภาพน้ำที่วัดได้ของทุกอัตราส่วนไม่แตกต่างกันทางสถิติ นอกจากค่าความเป็นด่างของชุดการทดลอง 5.00 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ที่มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การทดลองนี้สรุปได้ว่าการปลูกผักบุงจีนแบบไม่ใช้ดินร่วมกับการเลี้ยงปลาไนล์ สามารถจัดอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปลูกผักต่อปริมาตรน้ำในระบบได้อย่างต่ำเท่ากับ 5.00 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งภายในระยะเวลา 105 วัน จะสามารถรองรับมวลรวมของผักบุงจีนและปลาไนล์อย่างน้อย 6.71 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และ 25.15 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยที่คุณภาพน้ำอยู่ในระดับที่ยอมรับสำหรับการเลี้ยงปลาไนล์

คำสำคัญ: ปลาไนล์เพศผู้แปลงเพศ, ผักบุงจีน, การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบน้ำหมุนเวียน, การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน, การปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

Abstract

Aquaponics is a combined culture of fish and soilless plant cultivation in recirculating systems. This experiment was conducted to determine effects of plant bed and total water volume ratios of the system on plant and fish productions as well as water qualities. Three ratios of 1.67, 3.33 and 5.00 m^2/m^3 were assigned each of 3 replicates. Water convolvulus (*Ipomoea aquatic* Forsk) and sex-reversal male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) were used in this study. The plant was grown in beds of surface areas of 1.0, 2.0 and 3.0 m^2 , respectively. Fish of an average weight of 32.50 g were grown in 0.50 m^3 fiberglass tanks at a stocked density of 975 g/m^3 , fed with commercial pellet diet (25% protein) twice a day. Total volume of water of each experimental set was 600 L including fish tank, sedimentation tank, biological filter unit and plant bed tray. The cultivation was carried out for 105 days. The results in term of fish cultivation showed that survival rate, final weight gain, growth rate, fish production and FCR were not significantly different among treatments. The results in term of plant cultivation showed that highest average plant production (20.12 ± 0.36 kg) was obtained in the treatment of 5.00 m^2/m^3 plant bed per water volume ($p < 0.05$). Water quality parameters were not significantly different among treatments except for alkalinity of ration of 5.00 m^2/m^3 that was significantly lower than other treatments ($p < 0.05$). This study has concluded that a minimum ration of plant bed and water volume of 5.00 m^2/m^3 is recommended for a combined cultivation of water convolvulus and Nile tilapia. Within a period of 105 days, the system could accommodate total biomass of plant and fish up to 6.71 kg/m^2 and 25.15 kg/m^3 , respectively, whereas water quality was in acceptable level for aquaculture.

Keywords: sex-reversal male tilapia, water convolvulus, recirculating aquaculture, soilless plant cultivation, aquaponics

คำนำ

น้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอุดมไปด้วยสารอินทรีย์หากทิ้งลงสู่แหล่งน้ำอาจก่อให้เกิดปัญหาการเติบโตและตายอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืช (Boyd and Tucker, 1998) จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำดังกล่าวก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ซึ่งการบำบัดน้ำมีหลายวิธีทั้งการบำบัดทางกลศาสตร์ ทางเคมี และทางชีวภาพ (Timmons *et al.*, 2002) วิธีการทางชีวภาพเป็นวิธีหนึ่งที่ยอมรับปฏิบัติในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนใหญ่จะทำโดยการใส่แบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ และเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรท ซึ่งเป็นสารอาหารที่พืชสามารถดูดไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ (Timmons and Losordo, 1994)

การปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงปลา (aquaponics) เป็นรูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยพืชนำของเสียจากการเลี้ยงสัตว์น้ำมาใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้น้ำมี

คุณภาพดีขึ้นแล้วนำน้ำกลับมาเลี้ยงปลาได้อีก ซึ่งในระบบนี้ประกอบด้วย ถังเลี้ยงปลาที่ปล่อยน้ำจากการเลี้ยงไหลลงสู่ถังตกตะกอนเพื่อกำจัดตะกอนออกจากระบบ จากนั้นผ่านไปยังถังกรองชีวภาพเพื่อบำบัดของเสียในโตรเจนให้อยู่ในรูปของไนเตรท ปล่อยลงสู่แปลงปลูกพืช เมื่อพืชดูดซับธาตุอาหารแล้วน้ำก็กลับมาเลี้ยงปลาเป็นวัฏจักรต่อไป

ระบบควาไปนิกส์ประสบความสำเร็จได้ต้องอาศัยความเหมาะสมของปัจจัยหลายอย่างเช่นอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างจำนวนปลาต่อพืช (Lenard, 2013:online) ชนิดพืชและปลาที่เหมาะสมต่อระบบควาไปนิกส์ (Nelson and Pade, 2010:online) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการศึกษาส่วนใหญ่จะเน้นผลผลิตของพืชและปลา การศึกษาครั้งนี้จะตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควบคู่กันไปด้วย งานวิจัยนี้จึงศึกษาอัตราส่วนของพื้นที่ปลูกผักต่อปริมาณน้ำ ที่ส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำในระบบควาไปนิกส์ โดยเลือกใช้ผักบั้งจีนและปลานิล ซึ่งเป็นผักและปลาที่นิยมบริโภค เจริญเติบโตและดูแลง่ายเหมาะสำหรับการเกษตรแบบอินทรีย์ขนาดอุตสาหกรรมหรือขนาดเล็กในครัวเรือน

อุปกรณ์และวิธีการ

สถานที่ดำเนินการทดลอง

ระบบการปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงปลาในการทดลองนี้ดัดแปลงมาจาก ระบบควาไปนิกส์ของ Rakocy และ Hargreaves (1993) การทดลองนี้ดำเนินการในระหว่าง เดือนตุลาคม 2556 ถึงเดือน มกราคม 2557 ณ สถานปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ปลานิลและผักบั้งจีน

ปลานิลที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นปลานิลเพศผู้แปลงเพศจิตรลดา 3 (*Oreochromis niloticus*) จากฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ และผักบั้งจีนที่ใช้ทดลองเป็นชนิด *Ipomoea aquatica* Forsk สายพันธุ์ยอดไผ่ 9 ซึ่งเพาะจากเมล็ดพันธุ์ของบริษัท อีสท์ เวสต์ ซีดี จำกัด

ระบบควาไปนิกส์

การออกแบบระบบตามที่แสดงใน Figure1 ประกอบด้วย ถังเลี้ยงปลา ถังตกตะกอน ถังกรองชีวภาพ ถังพักน้ำพลาสติก และกระบะปลูกผัก แต่ละส่วนประกอบเชื่อมต่อกันด้วยท่อพีวีซี เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ถังเลี้ยงปลาเป็นถังไฟเบอร์กลาส ปริมาตร 0.50 ลูกบาศก์เมตร เลี้ยงปลานิลเพศผู้แปลงเพศ น้ำหนักเฉลี่ย 32.50 กรัม ความหนาแน่น 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ให้อาหารเม็ดลอยน้ำ (บริษัท อินเทคพีดี จำกัด) วันละ 2 ครั้ง เวลา 9.00 และ 16.00 นาฬิกา อาหารที่ใช้ประกอบด้วยโปรตีน 25 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 3 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยรวม 8 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ พรางแสงถังเลี้ยงปลา 80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันการเติบโตและตายอย่างรวดเร็วของแพลงก์ตอนพืชในระบบถังตกตะกอนเป็นถังไฟเบอร์กลาส ปริมาตร 0.12 ลูกบาศก์เมตรกั้นด้วยแผ่นพลาสติกตรงกลางถัง (เหลือช่องว่างจากก้นถัง 10 เซนติเมตร) ให้น้ำไหลลงสู่ถังแล้วขึ้นมาด้านบนทางออกใกล้ปากถัง เพื่อเพิ่มระยะทางการไหลของน้ำ ทำให้ตะกอนตกสู่ก้นถังได้ดีขึ้นปิดถังด้วยด้วยโพลีเอทิลีนสีดำ

ด้านข้างถึงตกตะกอนต่อวาล์วพีวีซี ขนาด 1 นิ้ว เพื่อระบายตะกอนออกจากระบบทุกสัปดาห์ ถังกรองชีวภาพทำจากพลาสติก ปริมาตร 0.04 ลูกบาศก์เมตรภายในบรรจุวัสดุยึดเกาะ (substrate) สำหรับไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (nitrifying bacteria) ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) 3.33 ตารางเมตรตามแบบของ Losordo และ Hobbs (2000) ให้อากาศตลอดเวลาปิดถังด้วยด้วยโพลีเอทธิลีนซีดีดำ

ถังพักน้ำทำจากพลาสติก ขนาด 0.04 ลูกบาศก์เมตร น้ำผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพแล้ว ไหลลงสู่ถังพักน้ำก่อนที่จะถูกสูบโดยปั้มน้ำ ขนาด 0.50 แรงม้า ปรับอัตราการไหลของน้ำ 1,188 ลิตรต่อชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง ตามแบบของ Rakocy และ Hargreaves (1993)

กระบะปลูกผักแบบไม่ใช้ดินทำจากสไตรโฟมขนาดกว้าง 1.00 เมตร ยาว 3.00 เมตร ลึก 0.10 เมตร ปลูกด้วยโพลีเอทธิลีนซีดีดำ เพาะเมล็ดผักบั้งจีน ในฟองน้ำ (ขนาด 1x1x1ลูกบาศก์นิ้ว) เมื่อต้นกล้าอายุ 7 วัน จึงย้ายลงแปลงปลูกพืช ความหนาแน่น 40 ต้นต่อตารางเมตร ขณะทำการทดลองคลุมหลังคาแปลงปลูกพืชทุกชุดการทดลองด้วยพลาสติกขาวขุ่นทับด้วยพรางแสง ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดวันในแปลงปลูกระหว่างการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 11,000-14,500 ลักซ์ เติมเหล็ก-ดีทีพีเอ (11.30% Fe, บริษัท เวสโก้ เคมี ประเทศไทย จำกัด) 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทุก 3 สัปดาห์ (Rakocy *et al.*, 2006) (ไม่มีการเติมแร่ธาตุอาหารรองตัวอื่นๆ) และเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (Na_2HCO_3) เมื่อพบว่าค่าความเป็นกรด-เป็นด่างต่ำกว่า 6.50 ทำการทดลองเป็นเวลา 105 วัน

วิธีการทดลอง

ทดลองปลูกผักบั้งในพื้นที่ปลูก 3 ขนาดคือ 1.0 ,2.0 และ 3.0 ตารางเมตร ที่มีปริมาตรน้ำรวมในระบบของแต่ละชุดเท่ากับ 600 ลิตร ทำให้มีอัตราส่วนของพื้นที่ปลูกต่อปริมาตรน้ำ 3 ระดับคือ 1.67, 3.33 และ 5.00 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ทำซ้ำอัตราส่วนละ 3 ชุด

การเก็บข้อมูล

เก็บตัวอย่างน้ำในถังเลี้ยงปลาทุก 7 วัน (เวลา 6.00 น.) เพื่อวิเคราะห์ ค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ค่าแอมโมเนีย (total ammonium nitrogen, TAN) โดยวิธี phenate method ค่าไนโตรเจนโดยวิธี sulfanilamide

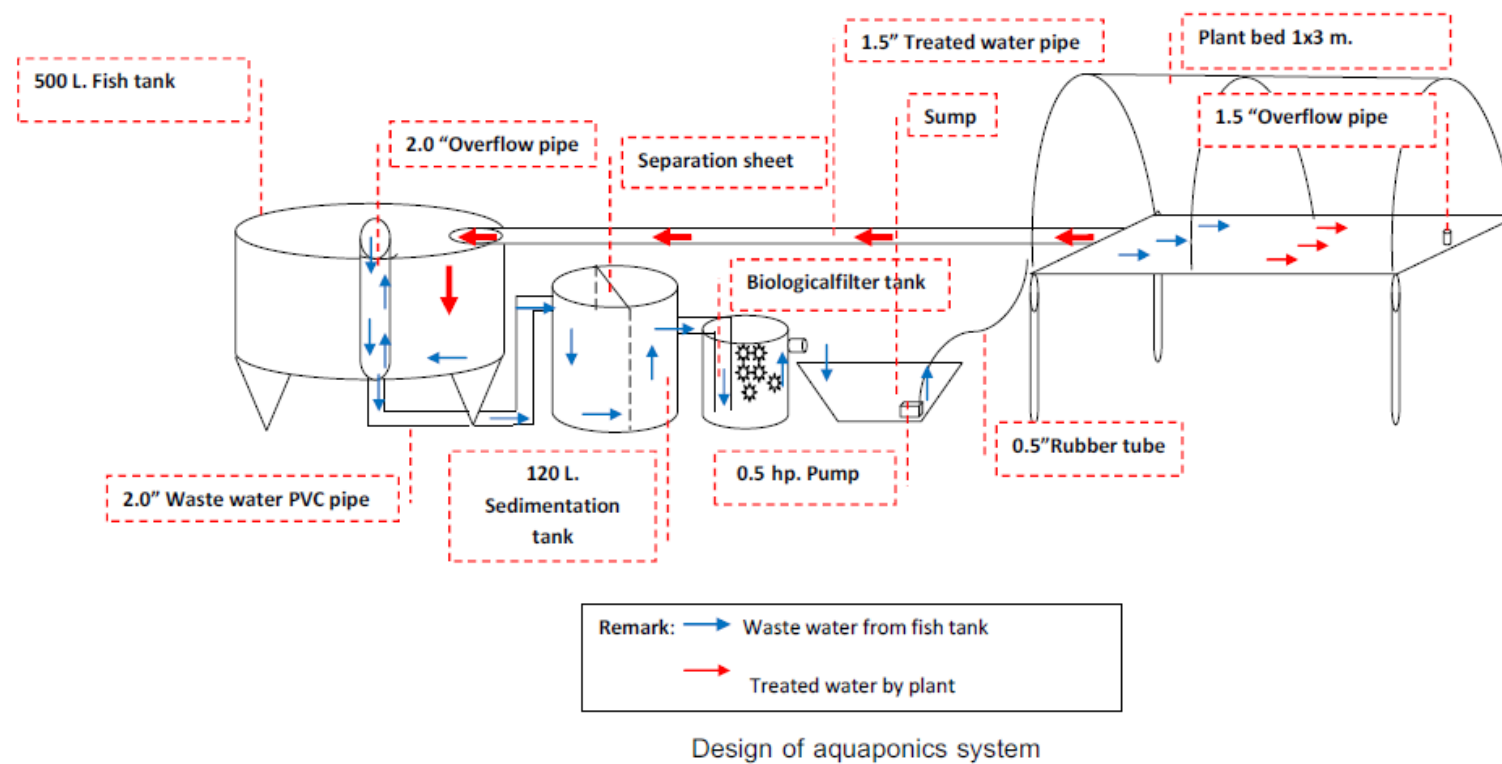


Figure 1. Design of aquaponic system for a combination of tilapia culture in 500 L- tank and cultivation of water convolvulus in 3 m² bed.

NED ค่าไนเตรทโดยวิธี NAS reagent ค่าฟอสเฟตโดยวิธี reactive phosphorous ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen, DO) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) และอุณหภูมิของน้ำโดยเครื่องวัดปริมาณออกซิเจน (YSI model 58 dissolved oxygen meter, YSI Co., Yellow Springs, Ohio, USA) และค่าความเป็นกรด-เป็นด่าง (pH) ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (Hanna Instruments model HI 1270 pH probe (Hanna Instruments, Woonsocket, Rhode Island, USA)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง นับจำนวนปลาทั้งหมดเพื่อหาค่าอัตราการรอดตาย ซึ่งนำหนักปลา เพื่อหาค่า น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้าย อัตราการเติบโตต่อวัน ผลผลิตปลานิลสุทธิและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) และเก็บผักบุ้งเพื่อหาค่าน้ำหนักรวม โดยคำนวณ ดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{อัตราการรอด (Survival Rate) เปอร์เซ็นต์} \\ & = \text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} / \text{จำนวนปลาเมื่อเริ่มการทดลอง} \times 100 \\ & \text{อัตราการเจริญเติบโต (Growth rate) กรัม/วัน} \\ & = \text{น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง} / \text{จำนวนวันในการทำการทดลอง} \\ & \text{ผลผลิตปลานิลสุทธิ (Net production) กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร} \\ & = (\text{น้ำหนักรวมสุดท้าย} - \text{น้ำหนักรวมเริ่มต้น}) \times 1000 / \text{จำนวนลิตรของปริมาณน้ำในระบบ} \\ & \text{อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)} \\ & = \text{น้ำหนักของอาหารที่ปลากิน} / \text{น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น} \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้ด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลอง

ผลการทดลองเกี่ยวกับผลผลิตปลานิลตามที่แสดงใน Table 1 พบว่า ปลานิลมีอัตราการรอดตายอยู่ในช่วง 96.67 ± 4.16 ถึง 98.67 ± 2.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในแต่ละชุดการทดลอง โดยปลานิลมีน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มอยู่ในช่วง 181.45 ± 32.61 ถึง 199.87 ± 36.84 กรัมต่อตัว ผลผลิตสุทธิ 24.18 ± 5.53 ถึง 28.11 ± 5.29 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการเติบโตต่อวันของปลานิลในแต่ละชุดการทดลอง 1.75 ± 0.43 ถึง 1.90 ± 0.41 กรัมต่อตัวต่อวัน ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้ออยู่ในช่วง 1.18 ± 0.05 ถึง 1.35 ± 0.01 ทั้งค่าน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ผลผลิตปลานิลสุทธิ ค่าอัตราการเติบโตต่อวัน และ ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดการทดลอง ($p > 0.05$)

ในส่วนของผลผลิตผักบุ้งตามที่แสดงใน Table 1 พบว่าที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปลูกผักบุ้งต่อปริมาณน้ำ ที่ 5.00 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าผลผลิตรวมสูงที่สุด 20.12 ± 0.36 กิโลกรัม แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p < 0.05$) กับชุดการทดลองที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปลูกผักกับน้ำในระบบที่ 1.67 และ 3.33 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร

ค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำโดยรวมของทุกการทดลองตามที่แสดงใน Table 2 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิตินอกจากค่าความเป็นด่างของชุดการทดลอง 5.00 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ที่มีค่าต่ำกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$).

Table 1. Tilapia and water convolvulus productions in aquaponic system of different plant bed area and water volume ratios.

Measures	Plant bed area/ water volume (m^2/m^3)		
	1.67	3.33	5.00
Fish			
Initial weight ($g\ fish^{-1}$)	32.60±2.64	32.47±2.56	32.40±2.80
Final weight gain ($g\ fish^{-1}$)	199.87±36.84	190.15±27.11	181.45±32.61
Growth rate ($g\ day^{-1}$)	1.90±0.41	1.78±0.43	1.75±0.43
Net production ($kg\ m^{-3}$)	28.11±5.29	24.18±5.53	25.15±5.51
Survival rate (%)	98.67±2.31	97.63±1.15	96.67±4.16
FCR	1.18±0.05	1.35±0.01	1.30±0.03
Plant			
Production (kg)	8.45±0.19 ^a	12.1±0.30 ^b	20.12±0.36 ^c

Mean value in the same row with the different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

Table 2. Water quality in tilapia and water convolvulus in aquaponic system.

Parameters	Plant bed area/ water volume (m^2/m^3)		
	1.67	3.33	5.00
pH	7.20±0.35	7.14±0.30	7.19±0.32
Total alkalinity ($mg-CaCO_3/L$)	65.76± 31.81 ^{ab}	61.70±19.23 ^{ab}	49.73±10.00 ^b
Total ammonia ($mg-N/L$)	0.38±0.24	0.39±0.24	0.35±0.31
Nitrite-N ($mg-N/L$)	0.10±0.05	0.15±0.08	0.13±0.10
Nitrate-N ($mg-N/L$)	4.12±2.34	4.35±2.67	3.24±2.13
Phosphorus ($mg-P/L$)	0.86±0.31	0.86±0.32	0.84±0.31
Temperature ($^{\circ}C$)	26.57±0.91	26.11±0.67	26.63±0.83
Electrical conductivity (mS/cm)	0.50±0.22	0.50±0.21	0.51±0.22
Dissolved oxygen (mg/L)	4.64±0.81	4.64±0.72	4.56±0.66

Mean value in the same row with the different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

ผลผลิตปลานิลของการทดลองครั้งนี้เมื่อเทียบกับผลผลิตการเลี้ยงปลานิลในระบบน้ำหมุนเวียนของ Mohammad และ Emmanuel (2001) พบว่าน้ำหนักเพิ่มคิดเป็นกรัมต่อวันของการทดลองครั้งนี้ดีกว่าคือ 1.75-1.90 เทียบกับ 1.17-1.18 และมีอัตราการแลกเนื้อดีกว่าคือ 1.18-1.35 เทียบกับ 2.04-1.98 ส่วนผลผลิตรวมคิดเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมีค่าน้อยกว่าคือ 24.18-28.11 เทียบกับ 42.78-43.59 ในขณะที่อัตราออดมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าระบบของการศึกษาในครั้งนี้ยังสามารถรองรับมวลรวมของปลาได้อีก อย่างไรก็ตาม อัตราการแลกเนื้อและอัตราการเจริญเติบโตของปลาจะลดลงเมื่อมีปลาหนาแน่นมากขึ้น

ผลผลิตผักบุงเงินจากการศึกษาในครั้งนี้ (8.45-20.12 กิโลกรัมต่อตารางเมตร) สูงกว่าที่เคยมีการศึกษาการปลูกในระบบการปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงปลาของ Somboontoh (2007) ที่ทดลองปลูกผักบุงเงินที่ปลูกด้วยน้ำที่ผ่านการเลี้ยงปลาทับทิม พบว่าได้ผลผลิตผักบุงเงินเท่ากับ 4.92-5.15 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

คุณสมบัติของน้ำในแง่ของการสนับสนุนการเจริญเติบโตของผักบุงเงินที่นี้ตรวจวัด 3 ค่าคือ ไนโตรเจนรวม (3.72-4.89 mg-N/L) ค่าฟอสฟอรัส (0.84-0.86 mg-P/L) และค่าการนำไฟฟ้า (498.90-514.80 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร) พบว่าค่าที่วัดได้ทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าค่าในสูตรอาหารสำหรับปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์โดย Wheeler และ Sager (1999) ซึ่งกล่าวว่า ค่าไนโตรเจนรวม ค่าฟอสฟอรัส ในสูตรอาหารสำหรับปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ควรมีค่า 70 มิลลิกรัมต่อลิตร-ไนโตรเจน, 10 มิลลิกรัมต่อลิตร-ฟอสฟอรัส และ Resh (2004) กล่าวว่าค่าการนำไฟฟ้าในสูตรอาหารสำหรับปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ควรมีค่าในช่วง 1,200 - 2,200 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร การศึกษาในครั้งนี้พบว่าบางช่วงของการทดลองพืชแสดงอาการขาดอาหารธาตุรอง เช่น โบรอน ได้ดำเนินการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยการเติมเหล็ก-ดีทีเอ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร (Rakosy *et al*, 2006) การศึกษาของ Somboontoh (2007) เกี่ยวกับการเติมธาตุอาหารพืชลงในระบบอควาโปนิคส์ สรุปว่าการเติมธาตุอาหารเสริมสามารถเพิ่มผลผลิตของผักบุงเงินได้แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

คุณภาพน้ำในแง่ของความเป็นพิษต่อปลานิลทำการตรวจวัด 7 ค่าคือ แอมโมเนียรวม ไนไตรท์และไนเตรท ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเป็นด่างของน้ำ ค่าฟอสเฟตและค่าการนำไฟฟ้า พบว่าทุกค่าอยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อปลานิลหรือสัตว์น้ำโดยรวม นอกจากค่าความเป็นด่างที่ต่ำกว่าระดับที่เหมาะสม Boyd และ Tucker (1998) รายงานว่าปลานิลสามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่ค่าความเป็นกรด-เป็นด่าง (pH) 6.5-8.3 ในขณะที่ค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำควรอยู่ในช่วง 120-400 มิลลิกรัม-แคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร ความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิล ควรมีค่าน้อยกว่า 3.0 มิลลิกรัม-ไนโตรเจนต่อลิตร ค่าไนไตรท์ ไม่ควรเกิน 0.10 มิลลิกรัม-ไนโตรเจนต่อลิตร ขณะที่ค่าไนเตรทและค่าฟอสเฟตซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญต่อการเติบโตของพืชไม่สูงเกินระดับที่เป็นพิษต่อปลา Pierce และคณะ (1993) รายงานว่า LC₅₀ ที่ 96 ชั่วโมง ของไนเตรทต่อสัตว์น้ำมีความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัม-ไนโตรเจนต่อลิตร สำหรับค่าความเข้มข้นของฟอสเฟตในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.1-3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (Boyd and Tucker, 1998) ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิล

เป็นที่น่าสังเกตว่าค่าความเป็นต่างของน้ำจะมีค่าลดลงเป็นลำดับตามการเพิ่มจำนวนของพืชในระบบ อาจจะเป็นเนื่องมาจากการที่รากพืชมีส่วนในการเพิ่มจำนวนของไนตริไฟอิงแบคทีเรีย โดยทำหน้าที่เป็นที่ยึดเกาะ ในการนี้ไนตริไฟอิงแบคทีเรียที่เพิ่มมากขึ้นจะนำไปคาร์บอนเนตไปใช้ในกระบวนการเปลี่ยนรูปไนโตรเจน (Timmons and Losordo, 1994) ซึ่งจะทำให้ค่าแอมโมเนียในน้ำลดต่ำลงด้วยตามที่ปรากฏในการทดลองในครั้งนี้ (Table 2)

การศึกษานี้สรุปได้ว่าการเลี้ยงปลานิลร่วมกับการปลูกผักกาดในระบบน้ำหมุนเวียนสามารถจัดอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปลูกผักกับปริมาตรน้ำรวมได้อย่างต่ำ 5.00 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร โดยควรเริ่มเลี้ยงปลาในปริมาณน้ำหนักรวม 975 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรในอัตราส่วนประกอบนี้จะทำให้คุณสมบัติน้ำอยู่ในระดับปลอดภัยต่อการเลี้ยงปลานิลตลอดเวลา 105 วัน และมีปริมาณธาตุอาหารเพียงพอในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักกาดจีนได้จนถึงขนาดเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้พบอาการขาดธาตุอาหารรองในผักกาดคืออาการใบเหลือง ซึ่งได้เติมเหล็ก-ดีทีพีเอนในปริมาณ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ทุก 3 สัปดาห์ตลอดระยะเวลาการปลูกพืช ทำให้ผักกาดจีนมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

เอกสารอ้างอิง

- Boyd, C. E. and C. S. Tucker. 1998. Pond Aquaculture Water Quality Management. Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts, USA.700 p.
- Lenard, W.2013. Aquaponics system design parameter: Fish to plant ratios [Online] Available from <http://www.aquaponic.com.au/Fish%20to%20plant%20ratios.pdf> [2014, March 6]
- Losordo,T.M. and A.O.Hobbs. 2000.Using computer spreadsheets for water flow and biofilter sizing in recirculating aquaculture production systems. Aquaculture engineering. 23: 95- 102
- Mohammad T. R. and M. C. Emmanuel, 2005. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. reared in a simple recirculating system. Aquacultural Engineering. 24: 157–166
- Nelson and Pade, Inc. 2010. Recommended Plants and Fish in Aquaponics. [Online] Available from <http://aquaponics.com/page/recommended-plants-and-fish-in-aquaponics>[2014, March6]
- Pierce, R. H., Weeks, J. M. and J. M. Prappas, 1993. Nitrate toxicity to five species of marine fish. Journal of the World Aquaculture Society, 24: 105-107.

- Rokocy, J. E. and J. A. Hargreaves. 1993. Integration of vegetable hydroponics with fish culture: A review. pp. 112-136. In Wang. J. K. (Ed). Techniques for Modern Aquaculture. Proceeding of a Conference 21-23 June 1993. Spokane .
- Rakocy J. E, M. P. Masser and T. M. Losordo. 2006. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics – Integrating Fish and Plant Culture. SRAC Publication No. 454
- Resh, H.M. (2004) Hydroponic food production, 6th edition. A definite guidebook of soilless food growing methods., New concept Press, Mahwah, 462p.
- Somboontoh, P., 2007. Feasibility study on aquaculture for red tilapia (*Oreochromis niloticus*) and vegetable in dynamic root floating technique (DRFT). Master thesis King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. Bangkok. 118 p.
- Timmons, M.B., J.M. Ebeling, F.W. Wheaton, S. T. Summerfelt, and B.J. Vinci. 2002. Recirculating aquaculture systems, 2nd edition. Northeastern Regional Aquaculture Center. Publication No. 01-002. Cayuga Aqua Ventures. Ithaca, NY. 769 p.
- Timmons, M. B., T. M. Losordo, 1994. Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering, Design and Management. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 333 p
- Wheeler R.M. and J.C. Sager. 1999. Nutrient, acid and water budgets of hydroponically grown crops. Acta Hort. 481: 655-661.