ผลของสีน้ำต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลากะพงขาววัยรุ่นที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบอควาโปนิกส์

Effects of Water Colors on Growth and Survival rate of Juveniles Asian Seabass (*Lates calcarifer* Bloch 1790) in Aquaponic Systems

วิญญู บุญประเสริฐ[1*], ประจวบ ฉายบุ[2], เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน[3], จงกล พรมยะ[4] และชนกันต์ จิตมนัส[5]

Winyoo Boonprasert[1*], Prachaub Chaibu[2], Kriangsak Mengumphan[3], Jongkol Promya[4] and Chanagun Chitmanat[5]

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiangmai, 50290

Corresponding author: lactasai@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปลามีความสามารถในการมองเห็นสี ซึ่งสีบางชนิดสามารถส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และเป็นปัญหาในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างแพร่หลาย ผู้วิจัยจึงได้สนใจที่จะศึกษาผลของสีน้ำที่แตกต่างกัน 4 สี ต่อการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายของปลากะพงขาววัยรุ่นที่มีการเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ด้วยระบบหมุนเวียนน้ำแบบอควาโปนิกส์ โดยปลากะพงขาววัยรุ่นที่ศึกษามีน้ำหนัก 10.09±1.09 กรัมและความยาวเฉลี่ย 8.06±1.03 เซนติเมตร นำไปเลี้ยงในสีน้ำที่แตกต่างกัน คือ 1. สีน้ำธรรมชาติ (กลุ่มควบคุม) 2. สีน้ำตาล 3. สีน้ำเงิน และ 4. สีเขียวอมน้ำเงิน อัตราความหนาแน่น 153 ตัว/ลูกบาศก์เมตร ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปโปรตีน 42 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่ 4 มีแนวโน้มการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 58.08±2.72 กรัม และอัตราการรอดตาย 83.11±6.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า สีน้ำเขียวอมน้ำเงินมีแนวโน้มที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลากะพงขาววัยรุ่นในระบบหมุนเวียนน้ำแบบอควาโปนิกส์

คำสำคัญ: ปลากะพงขาว สีน้ำ อควาโปนิกส์

Abstract

Fish are capable of color vision and certain colors have been shown to affect growth and Survival rate. The researches were interested in studying the effects of four different water colors on growth and survival rate in juveniles asian seabass (*Lates calcarifer* Bloch 1790) were investigated in aquaponic systems in the cement ponds. Juveniles asian seabass with average weight 10.09±1.09 grams and average length 8.06±1.03 centimeter were cultured in different water colors including 1. Natural water color (Control), 2. Brown color, 3. Blue color, and 4. Blue-green color. The fish were reared at stocking of 153 individuals/cubic meter. Fish were fed 42 percent protein pellets for 10 weeks. After experimental termination, fish in the treatment four were significantly better than the

control groups (p<0.05), with weight gain increasing to 58.08±2.72 grams. and survival rate of 83.11±6.48 percent. In conclusion, the blue-green color was suitable for juveniles asian seabass cultured in aquaponic systems.

Keywords: *Lates calcarifer*, Water color, Aquaponic

บทนำ

ปลามีความสามารถในการมองเห็นสี ซึ่งสีบางชนิดสามารถส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต อัตรารอดตาย นอกเหนือจากผลกระทบทางสรีรวิทยาแล้ว สีได้ส่งผลกระทบต่อระดับความก้าวร้าวของปลา (Gaffney, 2014) ซึ่งเป็นปัญหาในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างแพร่หลาย การทำสีน้ำภายในบ่อเลี้ยงปลาระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเป็นที่สนใจในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สีของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดจะมีการเลือกใช้สีฟ้า หรือทาสีพื้นหลังของบ่อเป็นสีฟ้าเป็นส่วนมาก ซึ่งไม่สามารถอธิบายข้อมูลพื้นฐานตามหลักวิทยาศาสตร์สำหรับทางเลือกนี้ได้ นอกจากนี้การเลี้ยงปลาในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากแหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาตินั้น สีน้ำในบ่อเลี้ยงที่แตกต่างกันยังมีอิทธิพลต่อการกินอาหาร และอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาทำให้สภาพของสีลำตัวคล้ำซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของตลาด (Eslamloo *et al*., 2013) รวมทั้งส่งผลต่อตาและต่อมไพนีล (pineal gland) ของปลาทำให้มีการหลั่งของฮอร์โมน melatonin hormones α-melanocyte-stimulating hormone (αMSH) (Rotllant *et al*., 2003) และฮอร์โมน melanin-concentrating hormone (MCH) (Amiya *et al*., 2005) และในทางกลับกันก็สามารถกระตุ้นการปล่อยฮอร์โมน cortisol จาก hypothalamus–pituitary–interrenal (HPI) ซึ่งมีผลต่อความเครียด (Rotllant *et al*., 2003) เห็นผลดังที่กล่าวข้างต้นนี้สามารถส่งผลต่อการดำรงชีวิตของปลาแทบทั้งสิ้น อีกทั้งในปัจจุบันข้อมูลในการศึกษาวิจัยสีของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาระบบหมุนเวียนน้ำแบบอควาโปนิกส์ต่ออัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลานั้นยังมีน้อยมากสำหรับการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปลากะพงขาว นอกจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากสีน้ำต่อตัวปลาแล้วสายพันธุ์ และการดำรงชีวิตของปลาก็สามารถมีผลกระทบต่อตัวปลาได้เช่นกัน (Papoutsoglou *et al*. 2005)

วิธีการผลิตแบบอควาโปนิกส์สามารถให้ผลผลิตทั้งโปรตีนจากปลาและเยื่อใยจากพืช ซึ่งสามารถใช้เลี้ยงปลาและปลูกพืชได้หลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยากง่ายของการเลี้ยงปลาและพืชแต่ละชนิด เป็นวิธีการผลิตที่ง่าย เพราะสามารถนำเทคนิคการปลูกพืชไร้ดินร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียน ซึ่งสามารถใช้ในการเลี้ยงปลาตั้งแต่ปลาสวยงาม หรือปลาที่ใช้บริโภค รวมทั้งการผลิตพืชตั้งแต่ผัก ผลไม้ ไม้ดอก ไม้ประดับ ไม้เลื้อยจนถึงพืชยืนต้น โดยส่วนมากนิยมปลูกพืชผัก ไม้ผล ที่เป็นพืชช่วงอายุสั้น การผลิตในระบบนี้สามารถใช้ได้ในทุกสถานที่โดยไม่มีข้อจำกัดเรื่องภูมิประเทศ คุณภาพน้ำและปริมาณน้ำ จะเห็นได้ว่า ระบบอควาโปนิกส์มีความสำคัญในการพัฒนาวิถีการเกษตรแนวใหม่ที่รวมเอาการเลี้ยงสัตว์น้ำและการปลูกพืชไร้ดินไว้ในระบบเดียวกันซึ่งเรียกระบบนี้ว่า การเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชในระบบน้ำหมุนเวียน หรือ อควาโปนิกส์ (aquaponic) ทำให้เป็นระบบการผลิตที่ลดการใช้น้ำ เพราะสามารถนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้ไม่ส่งผลกระทบต่อ

สิ่งแวดล้อม โดยไม่ทิ้งน้ำเสียสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรง และที่สำคัญเป็นระบบที่มีการใช้สารเคมีน้อยมาก หรือไม่ใช้สารเคมีเลย จึงไม่เพียงแต่เป็นผลดีต่อสุขภาพของผู้ผลิตเท่านั้นแต่ยังมีผลดีต่อผู้บริโภคด้วย

อุตสาหกรรมการเลี้ยงปลากะพงขาวในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนแบบอควาโปนิกส์ยังไม่เป็นที่รู้จักในพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งปลากะพงขาวเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และมีคุณค่าทางโภชนาการเป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย นับวันความต้องการบริโภคปลากะพงขาวจึงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ประกอบกับผลิตผลทางทะเลเริ่มมีแนวโน้มในอัตราที่ลดลง สืบเนื่องจากความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำธรรมชาติ จึงส่งผลให้ทรัพยากรสัตว์น้ำที่จับจากธรรมชาติมีปริมาณน้อยลง ดังนั้น การเพาะเลี้ยงปลากะพงขาวจึงเริ่มมีความสำคัญและได้ขยายฐานการผลิตปลากะพงขาวเพิ่มมากขึ้น แต่ก็ไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งปลากะพงขาวที่จำหน่ายในพื้นที่ภาคเหนือมีราคาที่สูงและมีคุณภาพความสดน้อย ผู้วิจัยจึงได้สนใจที่จะพัฒนาการเลี้ยงปลากะพงขาวในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ในขั้นตอนต่าง ๆ ของการผลิต ดังเช่นผลของสีน้ำที่จำลองแบบตามสภาพแวดล้อมในถิ่นที่อยู่อาศัยสามารถส่งผลต่อการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายของลูกปลากะพงขาวที่เลี้ยงในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำหมุนเวียนแบบอควาโปนิกส์ เพื่อพัฒนาและเพิ่มศักยภาพของการเลี้ยงปลากะพงขาวในเขตพื้นที่ภาคเหนือ รวมทั้งทำให้ผู้บริโภคปลากะพงขาวในเขตพื้นที่ภาคเหนือได้บริโภคปลาที่สดและมีคุณภาพต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

การเตรียมหน่วยทดลอง

เตรียมบ่อซีเมนต์ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1x2 เมตร ระดับน้ำลึก 0.5 เมตร จำนวน 12 บ่อ ทุกชุดการทดลองติดตั้งระบบน้ำหมุนเวียนแบบอควาโปนิกส์ โดยใช้ระบบกรองชีวภาพร่วมกับการปลูกพืชแบบไร้ดิน จำนวน 12 ชุด เป็นรางปลูก PVC สี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 80 เซนติเมตร จำนวน 5 ราง ๆ ละ 10 หลุมปลูก ประกอบด้วยข้อต่อสามทาง ถังเก็บน้ำรวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้กรองน้ำและใช้บำบัดน้ำเสีย และมีการทำสีน้ำเทียมในบ่อเลี้ยงที่แตกต่างกันคือ สีน้ำธรรมชาติ สีน้ำตาล สีน้ำเงิน และสีเขียวอมน้ำเงินให้อากาศผ่านหัวทรายบ่อทดลองละ 2 หัวตลอดการทดลอง

การเตรียมสัตว์ทดลอง

ลูกปลากะพงขาววัยรุ่น น้ำหนักเฉลี่ย 10.09±1.09 กรัม และความยาวเฉลี่ย 8.06±1.03 เซนติเมตร ที่ได้จากการอนุบาลและปรับสภาพน้ำจืดได้แล้ว ณ พื้นที่ปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ โดยเลี้ยงปลากะพงขาวในบ่อซีเมนต์ขนาด 1x2 เมตร ในอัตรา 153 ตัว/ลูกบาศก์เมตร (Nikhom *et al*., 2011) เลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ ก่อนการทดลองมีการควบคุมดูแลพฤติกรรมและสภาพแวดล้อมของปลาก่อนเป็นระยะเวลา 1 เดือน หลังจากนั้นจึงเริ่มการทดลอง โดยเก็บข้อมูลด้านการเจริญเติบโต อัตราการรอด รวมทั้งคุณภาพน้ำ จนเสร็จสิ้นการทดลอง

การวางแผนการทดลอง

การศึกษาผลของสีน้ำเทียมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในฟาร์มเลี้ยงขนาดใหญ่ เช่น ปลา กุ้ง และสัตว์น้ำอื่น ๆ ซึ่งมีคุณสมบัติละลายได้เร็ว ไม่มีพิษโลหะหนัก และย่อยสลายในธรรมชาติ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลากะพงขาววัยรุ่นที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบอควาโปนิกส์ วางแผนการ

ทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Random Design; CRD) โดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง (Treatment) แต่ละชุดแบ่งออกเป็น 3 ซ้ำ (Replication) ดังนี้

หน่วยทดลองที่ 1 เลี้ยงในบ่อสีน้ำธรรมชาติ

หน่วยทดลองที่ 2 เลี้ยงในบ่อโดยใช้สีน้ำเทียมสีน้ำตาล

หน่วยทดลองที่ 3 เลี้ยงในบ่อโดยใช้สีน้ำเทียมสีน้ำน้ำเงิน

หน่วยทดลองที่ 4 เลี้ยงในบ่อโดยใช้สีน้ำเทียมสีเขียวอมน้ำเงิน

Figure 1 The different water colors. A. Natural water color (Control), B. Brown color, C. Blue color, D. Blue-green color

การให้อาหารสัตว์ทดลอง

ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปโปรตีน 42 เปอร์เซ็นต์ วันละ 2 มื้อ คือ 8.00 น. และ 17.00 น.ทั้งนี้การให้อาหารจะให้กินจนอิ่มตลอดระยะเวลาการเลี้ยง

การจัดการระหว่างการเลี้ยงและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ในระหว่างการทดลองมีการเติมน้ำให้ได้ระดับเท่าเดิม กรณีปริมาณน้ำลดลงต่ำกว่า 50 เซนติเมตร ตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำ ก่อนทดลอง และระหว่างการทดลองทุก ๆ 2 สัปดาห์รวมทั้งสิ้น 3 จุด คือ จุดที่ 1. ระบบกรองชีวภาพ จุดที่ 2. ระบบบอควาโปนิกส์ และจุดที่ 3. บ่อเลี้ยง จนสิ้นสุดการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสรวม โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

Table 1 The methods of water quality analysis

Parameters	Methods
pH	pH-meter (pH / Ion 510)
Dissolved Oxygen (ml./l)	Azide modification
Ammonia (ml./l)	Phenol method
Nitrite (mg./l)	Reddish purple azo dye
Nitrate (mg./l)	Phenoldisulphonic acid
Phosphorus (mg./l)	Stannous chloride
Temperature (ºC)	Thermometer

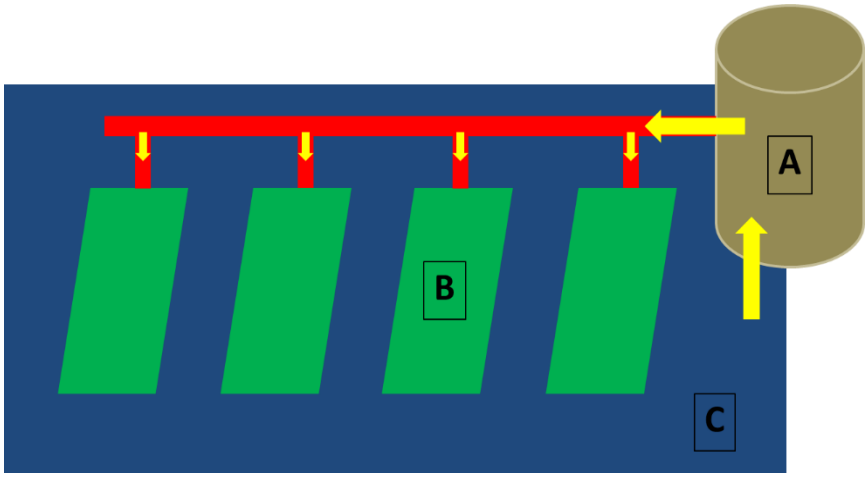

Figure 2 Schematic configuration of the aquaponic systems A: Biofilter tank B: Aquaponic C: Pond

การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

วัดความยาว ชั่งน้ำหนักและนับจำนวนลูกปลากะพงขาวในแต่ละหน่วยการทดลองทุก ๆ 2 สัปดาห์ ตลอดการทดลองและนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเปรียบเทียบค่าต่างๆ ดังนี้

Weight gain, WG (%) = น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มทดลอง

$$\text{Average daily gain (g./body/day)} = \frac{\text{(น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มทดลอง)}}{\text{ระยะเวลาในการทดลอง}}$$

Feed conversion ratio, FCR = น้ำหนักอาหารที่ปลากิน / น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น

Survival rate (%) = (จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลองx100) / จำนวนปลาเมื่อเริ่มทดลอง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการปลูกผักบุ้ง โดยใช้รอบการผลิตผักที่ 30 วัน ซึ่งต้องรวมระยะเวลาในการเพาะกล้าที่ 10-14 วัน (Boonlearnirun, 2004) โดยในการทดลองใช้ระยะเวลาการปลูกผักที่ 20 วันต่อ 1 รอบการผลิตการเก็บข้อมูลของผักให้บันทึกและคำนวณข้อมูล เมื่อเสร็จสิ้น รอบการผลิตผักโดยนำข้อมูลของผักบุ้งมาคำนวณเปรียบเทียบความสูง และอัตราการเจริญเติบโต ดังนี้

ความสูงที่เพิ่มขึ้น = ความสูงเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – ความสูงเฉลี่ยเมื่อเริ่มทดลอง

อัตราการเจริญเติบโต Average daily gain (ADG) cm./วัน

$$= \frac{\text{ความสูงเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – ความสูงเฉลี่ยเมื่อเริ่มทดลอง}}{\text{ระยะเวลาในการทดลอง}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของชุดการทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป IBM SPSS Statistics 22

ผลการทดลอง

การศึกษาการเลี้ยงลูกปลากะพงขาววัยรุ่นน้ำหนักและความยาวเฉลี่ย 10.09±1.09 กรัม 8.06±1.03 เซนติเมตร ตามลำดับ ภายใต้สีน้ำที่แตกต่างกัน 4 ชุดการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการรอดของลูกปลากะพงขาววัยรุ่นในชุดการทดลองที่ 4 มีค่าแนวโน้มที่สูงกว่าทุกชุดการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) คือ 66.62±2.60 กรัมต่อตัว 0.78±0.40 กรัมต่อตัวต่อวัน และ 83.11±6.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 3, 2 และ 1 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติของ ความยาว อัตราการรอด รวมทั้งอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของทุกชุดการทดลองนั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) (ตารางที่ 2)

Table 2. Growth performance of juvenile Asian seabass in recirculating aquaponic system

Parameter \ Treatment	Control	Brown	Blue	Blue-green
Initial weight (g./body)	8.18±0.19[a]	8.43±0.15[a]	8.54±0.09[a]	8.64±1.70[a]
Final weight (g./body)	51.34±1.02[a]	52.11±2.57[a]	63.51±3.00[b]	66.62±2.60[b]
Weight gain (g.)	42.91±1.15[a]	43.93±2.41[a]	54.87±2.24[b]	58.08±2.72[b]
Initial length (cm.)	7.30±0.44[a]	7.08±0.33[a]	8.06±1.03[a]	8.56±0.28[a]
Final length (cm.)	16.70±0.86[a]	17.00±0.70[a]	17.28±0.73[a]	18.39±0.34[a]
Length gain (cm.)	8.94±1.73[a]	9.40±1.10[a]	9.83±0.57[a]	10.20±0.79[a]
Average daily gain (g./body/day)	0.57±0.02[a]	0.58±0.03[a]	0.73±0.03[b]	0.78±0.40[b]
Survival rate (%)	79.33±2.40[a]	79.78±7.78[a]	80.89±2.34[a]	83.11±6.48[a]
Feed conversion ratio (FCR)	1.27±0.35[a]	1.25±0.06[a]	1.15±0.04[a]	1.07±0.04[a]

Note: Different letters in the same row are statistically different. (p<0.05)

ประสิทธิภาพการผลิตของผักบุ้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ความสูงของผักบุ้งในชุดการทดลองที่ 4 (59.96±3.41 เซนติเมตร) มีความสูงดีกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ด้านความสูงที่เพิ่มขึ้นของผักบุ้งในชุดการทดลองที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทางสถิติ พบว่าความสูงที่เพิ่มขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

Table 3. The growth of vegetables co-cultured with juvenile Asian seabass in recirculating aquaponic systems

Production efficiency	Control	Brown	Blue	Blue-Green
Initial height (cm.)	18.24±1.62	18.96.±0.45	18.75±0.29	18.82±1.10
Final height (cm.)	45.18±1.90^{a}	51.47±5.62^{ab}	57.24±2.40^{b}	59.96±3.41^{b}
Height gain (cm.)	26.29±0.91^{a}	33.07±0.80^{b}	38.15±0.38^{b}	40.61±0.86^{b}
Average daily gain (cm./day)	1.31±0.45^{a}	1.65±0.40^{b}	1.91±0.19^{bc}	1.98±0.11^{c}

Note 1. Average data per production cycle of 20 days. 2. Different letters in the same row are statistically different. (p<0.05) (n=10)

ส่วนค่าของคุณภาพน้ำทั้ง 3 จุดที่เก็บผลการทดลอง คือ บ่อเลี้ยง ระบบกรองชีวภาพ และระบบบอควา-โปนิกส์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า อุณหภูมิ ในชุดการทดลองที่ 1 และ 4 มีความแตกต่างกันกับชุดการทดลองที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ของทุกจุดเก็บตัวอย่าง 1, 2 และ 3 ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสรวม ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05) (ตารางที่ 4)

Table 4. Water quality in recirculating aquaponic systems

Water quality	Ponds				Biofilter tank				Aquaponic			
	Control	Brown	Blue	Blue-green	Control	Brown	Blue	Blue-green	Control	Brown	Blue	Blue-green
pH	8.52±0.78[a]	8.08±0.02[a]	8.1±0.02[a]	8.04±0.04[a]	8.02±0.07[a]	7.83±0.20[a]	7.93±0.09[a]	7.97±0.12[a]	8.2±0.07[a]	8.16±0.05[a]	7.99±0.16[a]	7.92±0.17[a]
Dissolved Oxygen (ml./l)	4.31±2.16[a]	5.29±2.64[a]	4.96±2.48[a]	4.36±2.18[a]	3.22±1.61[a]	4.11±2.06[a]	4.02±2.01[a]	4.00±2.00[a]	4.38±2.19[a]	4.22±2.11[a]	4.38±2.19[a]	4.18±2.09[a]
Ammonia (ml./l)	0.31±0.13[a]	0.18±0.10[a]	0.29±0.11[a]	0.32±0.18[a]	0.29±0.13[a]	0.16±0.10[a]	0.26±0.11[a]	0.29±0.16[a]	0.27±0.14[a]	0.17±0.10[a]	0.28±0.11[a]	0.34±0.17[a]
Nitrite (mg./l)	0.31±0.30[a]	0.28±0.16[a]	0.34±0.28[a]	0.26±0.27[a]	0.17±0.07[a]	0.26±0.13[a]	0.33±0.31[a]	0.29±0.30[a]	0.24±0.17[a]	0.19±0.11[a]	0.29±0.17[a]	0.28±0.26[a]
Nitrate (mg./l)	0.40±0.27[a]	0.42±0.29[a]	0.51±0.33[a]	0.39±0.26[a]	0.41±0.27[a]	0.43±0.31[a]	0.52±0.30[a]	0.42±0.27[a]	0.41±0.27[a]	0.41±0.28[a]	0.50±0.32[a]	0.39±0.26[a]
Phosphorus (mg./l)	0.35±0.13[a]	0.26±0.10[a]	0.32±0.15[a]	0.32±0.13[a]	0.36±0.12[a]	0.27±0.70[a]	0.33±0.12[a]	0.32±0.14[a]	0.35±0.10 [a]	0.27±0.08[a]	0.34±0.14[a]	0.32±0.14[a]
Temperature (ºC)	29.60±0.00[b]	28.63±0.06[a]	28.53±0.06[a]	29.53±0.06[b]	29.60±0.06[b]	28.70±0.00[a]	28.60±0.00[a]	29.47±0.00[b]	29.60±0.06[b]	28.70±0.06[a]	28.60±0.06[a]	29.47±0.06[b]

Note: Different letters in the same row are statistically different. (p<0.05)

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของสีน้ำต่อการเจริญเติบโต และอัตราการรอดตายของปลากะพงขาววัยรุ่นที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำแบบอควาโปนิกส์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลากะพงขาววัยรุ่นของแต่ละชุดการทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของลูกปลากะพงขาววัยรุ่นในชุดการทดลองที่ 4 พบว่า น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ความยาวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความยาวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อและอัตราการรอด มีแนวโน้มสูงกว่าของแต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 2) สอดคล้องการทดลองของ Ustundag and Rad (2015) พบว่า ลูกปลา Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) มีแนวโน้มของน้ำหนักตัวเพิ่มสูงขึ้นในถังเลี้ยงปลาพลาสติกที่มีพื้นหลังสีเขียวเข้ม และเขียวสว่างคือ 69.44±8.81 และ 68.87±6.42 กรัม เมื่อเลี้ยงเป็นระยะเวลา 60 วัน เช่นเดียวกับการทดลองของ Luchiari and Pirhonen (2008) ได้กล่าวไว้ว่า สภาพแวดล้อมโทนสีเขียวเหมาะสมกับการเลี้ยงลูกปลา Rainbow trout วัยรุ่น เช่นเดียวกับ Sierra-Flores *et al*. 2016 ที่รายงานว่าลูกปลา Turbot (*Scophthalmus maximus*) ที่เลี้ยงด้วยความเข้มแสงสีเขียว (530 nm.) มีอัตราการรอดและมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าความเข้มแสงสีน้ำเงิน (455 nm.) สีแดง (640 nm.) และสีขาว ตามลำดับ ในการทดลองครั้งนี้แม้ว่าข้อมูลทางสถิติจะไม่แตกต่างกันมากระหว่างชุดการทดลองที่ 3 และ 4 แต่ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ในชุดการทดลองที่ 4 (สีเขียมอมน้ำเงิน) มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตกับชุดการทดลองที่ 3 (สีน้ำเงิน) 2 (สีน้ำตาล) และ 1 (สีน้ำธรรมชาติ) นอกจากนี้การใช้สีน้ำเทียม หรือสีน้ำวิทยาศาสตร์ในการเลี้ยงสัตว์น้ำอื่นๆ ยังมีประโยชน์ทางด้านต่าง ๆ เช่น ช่วยลดความเครียดของลูกกุ้งจากน้ำที่มีความใสได้ รวมทั้งลดโอกาสในการเกิดสาหร่ายบริเวณก้นบ่อ หรือการเกิดขี้แดดลดลง โดยเฉพาะในช่วงแรกของการเลี้ยงที่มีระดับน้ำต่ำ (Kaewmanee, 2004)

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของคุณภาพน้ำในบ่อของแต่ละชุดการทดลอง พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำอยู่ที่ 28.53±0.06 - 29.60±0.06 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยเท่ากับ 7.83±0.20 - 8.52±0.78 โดยอุณหภูมิของน้ำและค่าความเป็นกรด-ด่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ซึ่งสอดคล้องกับ Tuntoolavest and Phornprapa (1995) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 25.0 - 32.0 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.5 - 9.0 เช่นเดียวกับ Duangsawat and Somsiri (1985) คุณสมบัติของน้ำอยู่ในระดับปกติในการอาศัยของปลาในเขตร้อนมีความเหมาะสมไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ส่วนปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในการทดลองอยู่ที่ 3.22±1.61 - 5.29±2.64 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ในระดับที่ปลาสามารถอาศัยอยู่ได้โดยไม่เป็นอันตราย ซึ่งสอดคล้องกับ Swingle (1969) ได้กล่าวว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลาจะอยู่ระหว่าง 3.0 - 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบน้ำหมุนเวียนนอกจากต้องควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำแล้วยังต้องควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรียด้วย (Colt, 2006) ในการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า ออกซิเจนละลายในน้ำและความเป็นกรด-ด่างมีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยต่ำสุดในระบบกรองชีวภาพ (ตารางที่ 4) ทั้งนี้เนื่องจากออกซิเจนละลายในน้ำถูกนำไปใช้ในกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ซึ่งผลผลิตที่ได้อย่างหนึ่งจากกระบวนการดังกล่าว คือ คาร์บอนไดออกไซด์

ซึ่งเมื่อละลายน้ำมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน ระบบกรองชีวภาพจึงมีคุณภาพน้ำดังกล่าวต่ำกว่าส่วนประกอบอื่นๆ ในระบบ (La-ongsiriwong *et al*., 2011) ส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.17±0.07 - 0.34±0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่มีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของลูกปลากะพงขาววัยรุ่น ไนเตรทอยู่ในช่วง 0.39±0.26 - 0.52±0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนไตรท์และไนเตรทเป็นผลผลิตของแอมโมเนียออกซิเดชั่น โดย Camargo and Alonso (2006) ที่รายงานว่าความเข้มข้นของไนไตรท์ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีไม่เกิน 0.08-0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร และ Nootong (2011) กล่าวไว้ว่าไนไตรท์หากมีการสะสมในบ่อเลี้ยงมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ความสามารถในการรับออกซิเจนของสัตว์น้ำต่ำกว่าปกติ ซึ่งจะมีผลเสียมากหากสภาพภายในบ่อเลี้ยงมีออกซิเจนต่ำและอุณหภูมิสูง การเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียนมีการสะสมของไนเตรทเกิดขึ้นเสมอ (Gutierrez-Wing and Malone, 2006) ทั้งนี้เนื่องจากไนเตรทเป็นผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการไนตริฟิเคชั่น อย่างไรก็ตาม ระดับความเข้มข้นดังกล่าวไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ซึ่งสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความสามารถในการต้านความเข้มข้นของไนเตรทจะสูงมาก (มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) Midlen and Redding (1998) กล่าวว่าระดับไนเตรทที่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะกลายเป็นพิษต่อปลา ฟอสฟอรัสในการทดลองอยู่ที่ 0.26±0.10 - 0.36 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าของฟอสฟอรัสในแต่ละหน่วยการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน Tuntoolavest and Phornprapa (1995) กล่าวว่า ค่าฟอสฟอรัสของบ่อเลี้ยงปลาควรมีค่าอยู่ประมาณ 0.1 - 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งฟอสฟอรัสที่พบอาจอยู่ในรูปละลายน้ำ หรืออนุภาคแขวนลอยในบ่อปลา อีกทั้งการมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สูงทำให้บริเวณขอบบ่อในบางจุดทำให้เกิดตะไคร่น้ำ Duangsawat and Somsiri (1985) กล่าวว่าเนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อพืช โดยเฉพาะแพลงตอนพืชซึ่งจะเป็นการสร้างความอุดมสมบูรณ์ให้แก่แหล่งน้ำ แต่ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เกิดสภาวะเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ มีผู้รายงานว่าหากแหล่งน้ำธรรมชาติมีฟอสฟอรัสสูงเกินกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่าแหล่งน้ำนั้นมีอาหารธรรมชาติมากเกินไป และแหล่งน้ำที่มีปัญหามลภาวะจะมีฟอสฟอรัสสูงกว่า 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตามปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำไม่ได้ทำให้เกิดความเป็นพิษ

ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักบุ้ง พบว่า ความสูงที่เพิ่มขึ้นของผักบุ้งในชุดการทดลองที่ 4 (40.61±0.86 เซนติเมตร) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับชุดการทดลองที่ 1 (26.29±0.91 เซนติเมตร) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับชุดการทดลองที่ 2 (33.07±0.80 เซนติเมตร) และ 3 (38.15±0.38 เซนติเมตร) (Table 3)

การศึกษาอิทธิพลของสีน้ำที่แตกต่างกัน 4 สี ได้แก่ 1. สีน้ำธรรมชาติ (กลุ่มควบคุม) 2. สีน้ำตาล 3. สีน้ำเงิน และ 4. สีเขียวอมน้ำเงิน เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ลูกปลากะพงขาววัยรุ่นที่เลี้ยงในสีน้ำสีเขียวอมน้ำเงินมีอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอดดีกว่าสีน้ำธรรมชาติ สีน้ำตาลและสีน้ำเงินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 58.08±2.72 กรัม และอัตราการรอด 83.11±6.48 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 2 ผลการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางเพื่อพัฒนาวิธีการเลี้ยงปลากะพงขาวแบบอควาโปนิกส์ในเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคตได้แล้วยังสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดกับรูปแบบการเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดอื่นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ปี 2560 ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณไว้ ณ. ที่นี้ และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย ตลอดจนบุคลากรทุกท่านที่มีส่วนร่วมทำให้การวิจัยครั้งนี้ประสบผลสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

Amiya N., Amano M., Takahashi A., Yamanome T., Kawauchi H. and Yamamori K. 2005. Effects of tank color on melanin-concentrating hormone levels in the brain, pituitary gland, and plasma of the barfin flounder as revealed by a newly developed time resolved fluoroimmunoassay. General and Comparative Endocrinology 143, 251–256 p.

Boonlearnirun, K. 2004. Hydroponics technology. Clinic Technology Rajamangala University of Technology Phra Nakhonsri Ayuttaya. 81 P. [in Thai]

Camargo, J.A., and A. Alonso 2006. Ecology and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. Environment International 32: 831-849 p.

Colt, J. 2006. Water quality requirement for reuse system. Aquacultural Engineering. 34: 143-156 p.

Duangsawat, M. and Somsiri, J. 1985. Water Properties and analysis method for Fisheries research. Inland Fisheries Research Institute, Department of Fisheries. Bangkok. 144 p. [in Thai]

Eslamloo K., Akhavan, S., Eslamifar, A. and Henry, M. 2013. Effects of background colour on growth performance, skin pigmentation, physiological condition and innate immune responses of goldfish, *Carassius auratus*. Aquaculture Research. 1-14 p.

Gaffney, L. 2012. Colour matters:coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) prefer and are less aggressive in darker coloured tanks. Thesis B.Sc., The University of British Columbia USA. 8-9 p.

Gutierrez-Wing, M.T. and Malone, R.F. 2006. Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. Aquacultural Engineering 34: 163-170 p.

La-ongsiriwong N., La-ongsiriwong L., Mearah, P. and Silapajarn, K. 2011. Culture of Barramundi (*Lates calcarlifer* BLOCH, 1790) Size 4 to 6 inches in a Recirculating System. Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference: Fisheries. 92-99 p. [in Thai]

Luchiari, A C. and Pirhonen, J. 2008. Effects of ambient colour on colour preference and growth of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). Journal of Fish Biology 72: 1504-1514 p.

Midlen, A., and Redding, T., 1998. Environmental Management for Aquaculture. Chapman and Hall, New York, 223 p.

Nootong, K., Pavasantand, P. and Powtongsook, S. 2011. Effects of Organic Carbon Addition in Controlling Inorganic Nitrogen Concentrations in Biofloc System. Journal of the World Aquaculture Society 42(3): 339-346 p.

Papoutsoglou, S.E., Karakatsouli, N. and Chiras, G. 2005. Dietary L-tryptophan and tank colour effects on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles reared in a recirculating water system. Aquacultural Engineering 32: 277–284.

Rotllant J., Tort L., Montero D., Pavlidis, M., Martinez, M., Wendelaar Bonga S.E. and Balme, P.H.M. 2003. Background colour influence on the stress response in cultured red porgy *Pagrus pagrus*. Aquaculture 223, 129–139 p.

Swingle, H.S. 1969. Method of Analysis for Water, Organic Matter and Pond Bottom Soils. Alabama: Used in Fisheries Research Auburn University. 119 p.

Sierra-Flores, R., Davie A., Grant, B., Carboni, S., Atack T., and Migaud, H. 2016. Effects of light spectrum and tank background colour on Atlantic cod (*Gadus morhua*) and turbot (*Scophthalmus maximus*) larvae performances. Aquaculture 450, 6–13 p.

Tuntoolavest, M. and Phornprapa, P. 1995. Water quality management and waste water treatment in fish pond and others aquatic animals. Vol. 1 Water quality management. Chulalongkorn University Bookshop, Bangkok. 319 p. [in Thai]

Ustundag, M. and Rad, F. 2015. Effect of Different Tank Colors on Growth Performance of Rainbow Trout Juvenile (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792). Journal of Agricultural Sciences 21, 144-151 p.