สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แม่โจ้ ๒๔๙๙

รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์เพื่อสร้างอาหารปลอดภัย และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

Catfish (*Ictalurus punctatus)* culture in an integrated cage-cum-pond with Hydroponics systems for food safety and minimizing environmental impacts

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การผลิตสัตว์น้ำเศรษฐกิจเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มความปลอดภัย ด้านอาหาร

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2554
จำนวน 171,600 บาท

หัวหน้าโครงการ นายสุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย
ผู้ร่วมโครงการ นายประจวบ ฉายบุ

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

31 มกราคม 2555

กิตติกรรมประกาศ

รายงานผลงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสภาวิจัยแห่งชาติ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ซึ่งได้รับการจัดสรรงบประมาณการวิจัยประจำปี 2554 เป็นเงินจำนวน 171,600 บาท ในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ข้าราชการ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษา คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ ตลอดจนสถานที่ทำการวิจัย ขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้อง และคณะผู้ร่วมทำงานที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลือทำให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้วิจัย

สารบัญเรื่อง

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญกราฟ	ค
สารบัญภาพผนวก	จ
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ	11
ผลการวิจัย	16
วิจารณ์ผลการวิจัย	25
สรุปผลการวิจัย	29
เอกสารอ้างอิง	30
ภาคผนวก	32

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารอาหารในอาหารปลาดุก (AOAC, 1990)	12
2	องค์ประกอบทางเคมี (%) ของอาหารปลาดุกที่ใช้ในการทดลอง	12
3	การศึกษาคุณสมบัติของน้ำในห้องปฏิบัติการ	13
4	ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง	17
5	ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกัน ตลอดการทดลอง	21
6	คุณภาพน้ำในบ่อบ่อเลี้ยงปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง	24

สารบัญกราฟ

กราฟที่		หน้า
1	น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม) ของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง	17
2	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) ของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง	18
3	อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อวัน) ของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดร โพนิคส์ ตลอดการทดลอง	18
4	อัตราการแลกเนื้อของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง	19
5	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์) ของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง	19
6	ผลผลิตรวม (กิโลกรัม) ของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง	20
7	ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกัน ตลอดการทดลอง	22
8	ความสูงที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกัน ตลอดการทดลอง	22
9	อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์) ของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกัน ตลอดการทดลอง	23

สารบัญกราฟ (ต่อ)

กราฟที่		หน้า
10	ผลผลิตรวม (กิโลกรัม) ของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนหนาแน่นต่างกัน ตลอดการทดลอง	23

สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวกที่		หน้า
1	โรงเรือนระบบการเลี้ยงปลากดหลวงในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์	33
2	ระบบหมุนเวียนน้ำและระบบกรองชีวภาพของการเลี้ยงปลากดหลวงในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์	33
3	วิธีการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมห่อและระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์	34
4	ระบบการเลี้ยงปลากดหลวงร่วมกับระบบการปลูกผักกาดหอมห่อ	35

การเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ เพื่อสร้างอาหารปลอดภัย และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

Catfish (*Ictalurus punctatus)* culture in an integrated cage-cum-pond with Hydroponics systems for food safety and minimizing environmental impacts

สุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย และ ประจวบ ฉายบุ

Surit Somboonchai and Prachaub Chaibu

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างการเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 100, 150, 200 และ 250 ตัวต่อบ่อและปลูกผักกาดหอมห่อ จำนวน 30 ต้นต่อบ่อ เลี้ยงในบ่อซีเมนต์ขนาด 3 ลบม.^{2} โดยหมุนเวียนน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาเข้าสู่ระบบกำจัดตะกอนและระบบกรองชีวภาพ ปล่อยปลากดหลวงน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 15.51±0.017 กรัม ระยะเวลาการทดลอง 60 วัน ให้อาหารปลาดุก 3-5% ต่อน้ำหนักตัวต่อวัน เมื่อสิ้นสุดการทดลองประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลากดหลวง พบว่า น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอด และผลผลิตรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนประสิทธิภาพการผลิตของผักกาดหอมห่อ พบว่า ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความสูงที่เพิ่มขึ้น อัตราการรอด และผลผลิตรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และคุณภาพน้ำในบ่อทดลอง พบว่า อุณหภูมิของน้ำ บีโอดี และการนำไฟฟ้าจำเพาะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคลอโรฟิลล์-เอ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ดังนั้นจากผลการทดลองสรุปได้ว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 200 ตัวต่อบ่อ มีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการปลูกผักกาดหอมห่อในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์มากที่สุด ซึ่งเปรียบเทียบได้จากข้อมูลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลากดหลวงและประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อ

คำสำคัญ : ปลากดหลวง ผักกาดหอมห่อ ระบบหมุนเวียนน้ำ ระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์

ABSTRACT

This study was conducted to determine the suitable ratio for Channel catfish cultivation in an integrated recirculating system with Hydroponics systems of 100, 150, 200 and 250 fishes/m^3, while 30 lettuce heads per pond were planted. The initial body weight of catfish was 15.51±0.02 g/catfish. Catfish were fed at 3-5 % of body weight. This experiment was conducted for 60 days. The results showed that Final body weight, Average Daily weight gain (ADG), Feed conversion ratio (FCR), Survival Rate (SR) and Total production of Channel catfish were significant differences ($p<0.05$). Moreover, height, survival Rate (SR), and total production of lettuce production were significant differences ($p<0.05$). Water temperature, BOD, and conductivity in ponds were not significant differences ($p>0.05$), while pH, Dissolved oxygen, Ammonia-nitrogen, Nitrite-nitrogen, Nitrate-nitrogen, Phosphorus, and Chlorophyll-a were significant differences ($p<0.05$).

In summary, Channel catfish cultivation at 200 fishes/m^3 is considered to be the most suitable stocking density in recirculating system with lettuce planting due to Channel catfish growth efficiency and lettuce growth efficiency.

Keywords : Channel catfish (*Ictalurus punctatus*), lettuce (*Lactuca sativa* L.), Recirculating system, Hydroponics system

คำนำ

ปลากดหลวง (ปลากดอเมริกัน) เป็นปลาน้ำจืดที่นิยมเลี้ยงกันอย่างกว้างขวางในประเทศอเมริกา จากการคัดเลือกพันธุ์ปลามาตลอดเวลาทำให้ได้พันธุ์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว อัตราการแลกเนื้อดีมาก ปลากดหลวงนำเข้ามาในประเทศไทยโดยสถาบันพัฒนาแห่งเอเชีย และกรมประมงและศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดเชียงใหม่ นำมาเลี้ยงจนสามารถเพาะและขยายพันธุ์ได้ในปี 2534 ปัจจุบันปลากดหลวงที่เกิดในเมืองไทยสามารถใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ได้ จากนั้นจึงได้มีการเลี้ยงเป็นอาชีพในแถบภาคเหนือโดยเฉพาะที่จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดใกล้เคียง และขยายไปจนถึงภาคกลางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำหน่ายได้ในราคาสูง ดังนั้นการเพิ่มเทคโนโลยี การเพิ่มเทคนิคการเลี้ยงและการเพิ่มรูปแบบการเลี้ยงน่าจะมีบทบาทมากขึ้น และการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสานระหว่างการเลี้ยงปลากดหลวงร่วมกับระบบการปลูกแบบไฮโดรโพนิคส์ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของเกษตรกร ซึ่งระบบการเลี้ยงลูกปลาร่วมกับระบบการปลูกแบบไฮโดรโพนิคส์ เป็นการผสมผสานระหว่างการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนกับการปลูกพืชไม่ใช้ดินบนความหลากหลายและความแตกต่างของการออกแบบระบบชนิดของสัตว์น้ำที่ใช้เลี้ยงและพืชที่ใช้ปลูก ระบบดังกล่าวสามารถรักษาความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชให้อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการของการปลูกแบบไฮโดรโพนิคส์ การใช้อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่ได้มาตรฐานหรือยอมรับได้ในเชิงพาณิชย์ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของธาตุอาหารนั้นจะน้อยลง การเจริญเติบโตของพืชจะเป็นปกติ การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสัดส่วนระหว่างปลาและพืชอันเนื่องจากการขับถ่ายของของปลา

จากแนวทางดังกล่าว สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกษตรกรที่มีอาชีพในการเลี้ยงปลากดหลวงอยู่แล้ว สามารถมีรายได้เพิ่มขึ้นในระหว่างที่รอเก็บเกี่ยวผลผลิตจากการเลี้ยงปลากดหลวงโดยได้ผลผลิตจากการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิคส์ ทุกๆ 2 เดือน ทั้งยังเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากน้ำทิ้งในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกแบบไฮโดรโพนิคส์เพื่อสร้างอาหารปลอดภัยและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมการทิ้งน้ำเสีย
2. เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างการเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกแบบไฮโดรโพนิคส์
3. เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำจากระบบการเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากน้ำเสียที่เลี้ยงปลา

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มในการศึกษาการเลี้ยงปลากดหลวงของเกษตรกร
2. เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงปลากดหลวง เพื่อเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรที่มีทางเลือกในการสร้างอาชีพเกษตรกรรมตัวใหม่
3. เพื่อเป็นองค์ความรู้ในการทำวิจัยต่อไป
4. เป็นแนวทางที่จะพัฒนาผลผลิตทางการประมงเพื่อเป็นอาหารปลอดภัยและสร้างมูลค่าเพิ่ม ต่อไปในอนาคต

การตรวจเอกสาร

ปลากดหลวง

ปลากดหลวง เป็นปลาน้ำจืดที่นิยมเลี้ยงกันอย่างกว้างขวางในประเทศอเมริกา และจากการคัดสายพันธุ์มารวม 30 ปี ทำให้ได้สายพันธุ์ที่เจริญเติบโตเร็วและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในประเทศไทย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อต่ำ รวมทั้งเนื้อปลามีรสชาติดี ทำอาหารได้หลากหลายรูปแบบ ทำให้ปลาชนิดนี้เป็นที่นิยมเลี้ยงจนเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ตลอดมลรัฐทางภาคใต้ของ 22 ประเทศอเมริกา โดยเฉพาะมลรัฐมิสซิสซิปปี้ และมีผลผลิตมากที่สุดในประเทศโดยมีพื้นที่มากกว่า 250,000 ไร่

ปลากดหลวงเป็นปลาหนัง เมื่อเทียบกับปลาไทยแล้วจะมีลักษณะคล้ายปลากดแก้วหรือปลากดคัง แต่หัวปลากดหลวงจะมีขนาดเล็กกว่าปลากดไทย ปลากดหลวงนำเข้ามาในประเทศไทยโดยสถาบันพัฒนาแห่งเอเชียศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดเชียงใหม่ ได้รับพันธุ์ปลามาครั้งแรก 50 คู่ ในปี 2533 ได้นำมาเลี้ยงและสามารถเพาะพันธุ์ได้ในปี 2534 ได้ลูกที่เกิดในเมืองไทยรุ่นแรก จากนั้นศูนย์ฯ ได้นำปลารุ่นนี้ขยายพันธุ์จนถึงปัจจุบันนี้ ปลารุ่นที่เกิดในเมืองไทยนี้สามารถใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ได้ดี และจำหน่ายให้เกษตรกรไปทดลองเลี้ยงพบว่าลูกปลาเจริญเติบโตได้ดี อัตรารอดตายสูง มีอัตราการแลกต่ำ สามารถจัดจำแนกลักษณะทางอนุกรมวิธานดังนี้ (โกมุท, 2536)

Kingdom : Animalia

Phylum : Chordata

Class : Osteichtyes

Order : Cyrinniformes

Family : Ictaluride

Genus : *Intalurus*

Species : *punctatus*

ลักษณะทั่วไป

ปลากดหลวงจัดอยู่ในพวกปลาหนัง มีลักษณะคล้ายปลากดคัง คือ ลำตัวไม่มีเกล็ดปกคลุม ดูเรียบลื่นเป็นมัน ลำตัวมีขนาดโตได้ถึง 1.10 เมตร ลำตัวยาวเรียว หัวกว้างและแบนราบ มีหนวด 4 คู่ คู่แรกตั้งอยู่ด้านหลังรูจมูก คู่ที่สองมีความยาวที่สุดอยู่บนริมฝีปากบน และอีก 2 คู่ อยู่ใต้คาง ตาโตอยู่ค่อนไปทางด้านข้างของส่วนหัว ลำตัวด้านหลังมีตั้งแต่สีน้ำตาลอ่อนไปจนถึงสีเขียวอมเทาเข้ม ใต้ท้องมีสีออกน้ำตาลอ่อนจนถึงสีขาว บางครั้งพบมีจุดสีดำเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วสีข้าง ครีบมีลักษณะใส

และมักมีขอบสีคล้ำ ครีบหลังสั้นและมนตั้งอยู่ค่อนไปทางด้านหัว ครีบหลังและครีบอกมีเงี่ยงแหลม ครีบก้นยาวและกว้าง ครีบหางเว้าลึกเป็นสองแฉก ปลาอายุน้อยมีจุดบนตัวชัดเจนจุดนี้จะค่อยๆ จางหายไปเมื่อมีขนาดโตขึ้น (โกมุท, 2536)

ปลากดหลวงเป็นปลาที่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิน้ำไม่สูงมากนัก (ไม่เกิน 29 องศาเซลเซียส) ดังนั้นในช่วงฤดูร้อนที่อากาศร้อนจัดควรจะเปลี่ยนเวลาให้อาหารในตอนบ่ายเป็นช่วงเย็นแทนที่ผิวหน้าน้ำไม่ร้อนจนเกินไป เพื่อป้องกันไม่ให้ปลาที่อาศัยอยู่พื้นบ่อขึ้นมากินอาหารผิวน้ำที่อากาศร้อนเกินไปทำให้ปลาที่กินอาหารได้น้อยลง (โกมุท, 2536)

อาหารและการให้อาหาร

ปลากดหลวงกินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์มีนิสัยชอบหาอาหารกินตอนโพล้เพล้ โดยปกติจะอาศัยอยู่พื้นบ่อเพราะเป็นปลาที่หากินตามพื้น บริเวณที่ให้อาหารในแต่ละครั้งควรให้อาหารในที่เดียวกัน และควรให้อาหารเป็นเวลาเพื่อเป็นการฝึกให้ปลารู้เวลา และกินอาหารเป็นที่ ปริมาณการให้อาหารควรให้อาหาร 5 % ของน้ำหนักตัวต่อวัน (โกมุท, 2536)

การเพาะและขยายพันธุ์

ปลากดหลวงที่ใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ควรที่มีอายุประมาณ 20 เดือน น้ำหนักอยู่ระหว่าง 2.2-3.8 กิโลกรัม การเพาะและขยายพันธุ์ควรใช้บ่อดินขนาด 120 ตารางเมตร ใช้พ่อแม่พันธุ์คอกละ 10 คู่ ตรวจเช็คไข่ในกล่องสำหรับวางไข่ทุก 3 วัน แม่ปลาจะวางไข่ได้ 50% ไข่ปลามีลักษณะเป็นไข่ติด สีของไข่จะเริ่มเข้มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อวางไข่วันแรกไข่ปลาจะสีเหลืองอ่อนเริ่มเข้มจนเป็นสีน้ำตาลแดงก่อนฟักเป็นตัว ขนาดของไข่ 3.3 มิลลิเมตร ไข่ที่เก็บได้จากบ่อเพาะนำไปฟักในรางฟักไข่ปลา ใช้เวลาฟักไข่ 9 วัน ที่อุณหภูมิ 18-21 องศาเซลเซียส ไข่ฟักเป็นลูกปลาประมาณ 2-3 วัน ลูกปลาที่ฟักใหม่จะมีสีชมพู จะมีถุงไข่ใหญ่สีเหลือง ระยะแรกควรอนุบาลด้วยไรแดง ลูกปลาจะกินอาหารเมื่ออายุ 6 วัน เริ่มให้อาหารเมื่อลูกปลาเริ่มว่ายขึ้นผิวน้ำ โดยให้อาหารสำเร็จรูป ในระยะ 2 สัปดาห์แรก ให้อาหารทุก 2 ชั่วโมง จึงเปลี่ยนอาหารเม็ดเล็ก 40% โปรตีน อัตรา 10-15% ลูกปลาอายุ 1 เดือน สามารถนำไปเลี้ยงในบ่อดินได้ (โกมุท, 2536)

ระบบการเลี้ยงปลาแบบปิดหรือระบบหมุนเวียนน้ำ

สมควร (2542) กล่าวว่า ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนเป็นแนวคิดที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากทั้งในสหรัฐอเมริกาและทั่วโลก แต่ส่วนใหญ่ปลาที่เลี้ยงในบ่อกระชังและรูปแบบการเลี้ยงอื่นๆ นั้น สามารถคิดตั้งระบบหมุนเวียนในระดับการค้าได้ แต่ความเป็นไปได้ทางวงเศรษฐศาสตร์

นั้นยังมีความไม่แน่นอน การสร้างระบบหมุนเวียนทั่วไปมีราคาแพงซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ความท้าทายของนักออกแบบหมุนเวียน คือ การให้ผลผลิตสูงสุดต่อเงินที่ใช้ลงทุน ต้องมีการออกแบบองค์ประกอบที่ใส่เข้าไปในระบบที่สมบูรณ์เพื่อลดต้นทุน ขณะเดียวกันยังคงความน่าเชื่อถือของระบบไว้ได้อย่างดีหรือเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม การวิจัยและการพัฒนาระบบหมุนเวียนมีมากว่า 30 ปี ซึ่งทำให้เทคโนโลยีทางเลือกต่างๆ มากมาย การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สาธารณูปการต่างๆ ในพื้นที่การผลิตความเชี่ยวชาญในการจัดการผลิตและปัจจัยอื่นๆ ในมุมมองของผู้ใช้ระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระบบหมุนเวียนนั้น ต้องการความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการบำบัดและปรับปรุงคุณภาพน้ำที่เหมาะสม และองค์ประกอบต่างๆ ที่ต้องใช้ในกระบวนการนั้น รวมถึงเทคโนโลยีภูมิหลังขององค์ประกอบนั้นๆ ระบบหมุนเวียนจะช่วยรักษาสภาพแวดล้อมที่ดีเยี่ยมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในขณะเดียวกันก็ให้อาหารอย่างเพียงพอต่อความต้องการของระบบ การรักษาคุณภาพน้ำให้ดีอยู่ตลอดเวลาเป็นหลักการสำคัญของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในขณะที่คุณสมบัติน้ำแย่อาจไม่ทำให้สัตว์น้ำถึงตายทั้งระบบ แต่จะเป็นสาเหตุให้การเจริญเติบโตลดลงและเสี่ยงต่อการเกิดโรคได้

ระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิกส์

ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีหลายหลายระบบ ได้แก่

1. ระบบเอ็นเอฟที (Nutrient Film Technique, NFT) เป็นระบบที่ให้สารละลายไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ เป็นเทคนิคที่ได้รับความสนใจอย่างมากเป็นการปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายจะไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (โดยทั่วไปมักกำหนดให้น้ำที่ไหลผ่านมีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) สารละลายจะไหลหมุนเวียนผ่านรากตลอดเวลา ระบบเอ็นเอฟทีสามารถแบ่งได้เป็นการปลูกในราง ปลูกในร่อง และปลูกในท่อ

2. ระบบดีเอฟที (Deep Floating Technique, DFT) เป็นระบบที่ปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร โดยจะมีการปลูกพืชบนแผ่นโฟม หรือวัสดุที่ลอยน้ำได้ เพื่อยึดลำต้นแต่จะปล่อยให้รากเป็นอิสระในน้ำ ระบบนี้ไม่มีความลาดเอียงเป็นระบบที่มีการหมุนเวียนสารละลายโดยการใช้ปั๊มดูดสารละลายจากถังพักขึ้นมาใช้ใหม่ในระบบ เพื่อให้เกิดการหมุนเวียน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับระบบน้ำที่ใช้ในการผลิตผักระบบนี้อาจมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบไฮโดรโพนิคส์ลอยน้ำ

3. ระบบดีอาร์เอฟ (Dynamic Root Floating, DRF) เป็นระบบการปลูกพืชที่พัฒนามาจากระบบของ ดร.เกอริค (Prof. Dr.William F.Gericke) ที่เน้นการปลูกพืชให้รากพืชแช่อยู่ ในน้ำส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งสร้างรากอากาศเพื่อช่วยในการหายใจ โดยจะทำให้พืชที่ปลูกในระบบนี้

สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิของสารละลายที่สูงมากกว่าระบบอื่นๆ (อิทธิสุนทร และคณะ, 2544)

ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์

อุณหภูมิ พืชแต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันทำให้สามารถจำแนกพืชผักตามนิสัยการเจริญเติบโตในสภาพอุณหภูมิที่ต่างกันเป็น 2 พวก คือ พืชผักฤดูร้อนและพืชผักฤดูหนาว อุณหภูมิมีผลต่อสรีรวิทยาของพืช กระบวนการหายใจ และการสังเคราะห์แสง ในสภาพอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปมีผลต่อเอนไซม์ในปฏิกิริยาต่างๆ ในพืช อุณหภูมิที่ต่ำทำให้พืชผักมีการสะสมน้ำตาลสูงขึ้นปริมาณเส้นใยลดลง ในทางตรงกันข้ามที่อุณหภูมิสูงพืชผักจะเจริญเติบโตเร็วเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีสูงขึ้นผักจึงแก่เร็ว

แสง มีลักษณะเป็นอนุภาค แต่ละอนุภาคเรียกว่า โฟตอน ซึ่งให้พลังงานในระดับต่างๆ กันตามความยาวคลื่นของแสง แสงส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400-700 นาโนมิเตอร์ (nm) ซึ่งเป็นแสงที่มองด้วยตาเปล่า เมื่อแสงตกกระทบใบพืชจะถูกดูดซับไว้โดยคลอโรฟิลล์ และพืชมีความสามารถดูดซับแสงสีต่างๆ ไม่เท่ากัน เมื่อคลอโรฟิลล์ดูดซับแสงไว้จะเปลี่ยนโฟตอนไปเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างอาหารโดยเปลี่ยนจากโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำไปเป็นคาร์โบไฮเดรต คือ แป้ง และน้ำตาล รวมทั้งปลดปล่อยออกซิเจนออกมา

ปริมาณน้ำที่พืชได้รับ การใช้น้ำของพืชเป็นผลมาจากการเปิด-ปิดของปากใบ หรือพืชต้องการน้ำเพื่อการคายน้ำและลำเลียงธาตุอาหาร พืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ฤดูกาลมีผลต่อการใช้น้ำของพืช ในสภาพอากาศร้อนและมีแสงแดดจัดพืชมีการคายน้ำมากกว่าในสภาพที่แสงน้อยและอุณหภูมิต่ำ ในการปลูกพืชไม่ใช้ดินในระบบปิดการคายน้ำของพืชจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ในสภาพที่พืชคายน้ำมากแต่มีการใช้ธาตุอาหารน้อยสารละลายในระบบจะมีความเข้มข้นสูงขึ้น ในทางกลับกันหากในช่วงที่พืชคายน้ำน้อยแต่มีความต้องการธาตุอาหารมากทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารน้อยลง

ความชื้นในอากาศ ในสภาพโรงเรือนที่อากาศถ่ายเทไม่ดี ความชื้นภายในโรงเรือนจะสูงกว่าภายนอก ทำให้ปากใบปิดพืชคายน้ำน้อยลง การดูดใช้ธาตุอาหารและการสังเคราะห์แสงจึงลดลง และภายใต้สภาพดังกล่าวยังเหมาะสมสำหรับการการเจริญและการแพร่กระจายของเชื้อสาเหตุโรคหลายชนิดทำให้เกิดการระบาดของโรคอย่างรุนแรงโดยเฉพาะโรคทางใบ

กระแสลม และการถ่ายเทอากาศ ในกระบวนการเจริญเติบโตของพืช พืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศใช้ในกิจกรรมการสังเคราะห์แสง เพื่อให้ได้แป้งและน้ำตาลและ

ปลดปล่อยออกซิเจนสู่อากาศ ขณะเดียวกันยังใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจเพื่อให้ได้พลังงานและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ในช่วงเวลากลางวันพืชมีการสังเคราะห์และใช้คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าที่ปลดปล่อยออกมา อัตราความเร็วลมที่เหมาะสมทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศบริเวณต้นพืชไม่ให้มีการสะสมของก๊าซที่ปลดปล่อยออกมา แต่หากกระแสลมแรงเกินไปทำให้เกิดความเสียหายแก่ต้นพืช หรือทำความเสียหายแก่โรงเรือนได้

ออกซิเจน พืชต้องการออกซิเจนเพื่อการหายใจให้ได้พลังงานสำหรับดึงดูดธาตุอาหารและน้ำในสภาพการปลูกในดินหรือปลูกในวัสดุ เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินหรือวัสดุปลูกทำให้สามารถระบายถ่ายเทอากาศได้รากพืชจึงมีอากาศหายใจ แต่สำหรับการปลูกในสารละลายรากพืชแช่อยู่ในน้ำตลอดเวลาการหายใจต้องอาศัยออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อยและหมดได้รวดเร็ว ทำให้เกิดความเสียหายแก่รากพืชได้หากไม่ได้รับการเติมอากาศแก่สารละลายอย่างเพียงพอ สำหรับการเติมอากาศในสารละลายทำได้โดยการใช้ปั๊มลมเป่าอากาศเข้าในสารละลาย แต่ไม่จำเป็นสำหรับระบบที่มีการไหลหมุนเวียนสารละลายผ่านรากพืชและระบบแอโรโพนิคส์

ธาตุอาหารพืช ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมีด้วยกัน 16 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) ซัลเฟอร์ (S) โบรอน (B) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โมลิดินัม (Mo) คลอรีน (Cl) โดย 3 ธาตุแรกพืชได้จากน้ำและอากาศ ส่วนธาตุอื่นๆ ที่เหลือพืชได้จากดิน หากเป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะต้องเตรียมให้แก่พืชในรูปสารละลายธาตุอาหาร

บทบาทของโรงเรือน ในการปลูกพืชไม่ใช้ดินปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช หากสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ เหล่านั้นให้เหมาะสมกับชนิดและพันธุ์ ทำให้พืชแสดงศักยภาพของพันธุกรรมได้อย่างสมบูรณ์ ปัจจัยของแสง อุณหภูมิ และอากาศมีความสำคัญต่อการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินโดยเฉพาะในเขตหนาวซึ่งมีข้อจำกัดทั้ง 3 ปัจจัย จึงทำให้มีผู้ให้ความสนใจศึกษากันมาก เพื่อหาแนวทางการส่งเสริมให้พืชได้ผลผลิตสูงขึ้น (กิดดิ, 2547)

ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์

Anon (2001) กล่าวว่า Aquaponic system คือ ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไร้ดิน โดยของเสียจากการเลี้ยงปลาจะถูกย่อยสลายด้วยแบคทีเรียกลุ่ม nitrification ซึ่งสามารถออกซิไดส์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์และจากไนไตรท์ให้เป็นไนเตรต ซึ่งพืชสามารถดูดซับไนเตรตที่ละลายอยู่ในน้ำได้ ปลาที่นิยมเลี้ยงในระบบคือ ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) นอกจากนี้ยังมีปลาเรนโบเทราด์ ปลาคาร์พ และปลาดุก ส่วนพืชที่นิยมปลูกในระบบนี้คือ ผักกาดหอม ผักสลัด รวมทั้งพืชเศรษฐกิจด้วยเช่น มะเขือเทศ แตงกวา พริกไทย และพืชจำพวกแตง

Mc Murtry *et al.* (1997) ได้ศึกษาผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปลานิล และต้นมะเขือเทศต่อปริมาตรน้ำหนึ่งลิตรคือ 0.67, 1.00, 1.50 และ 2.25 พบว่า ที่อัตราส่วนที่สูงขึ้น อัตราการบำบัดจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นและปริมาณผลผลิตจะเพิ่มขึ้นด้วย

Naegel (1977) ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล (*Tilapia mossambica*) และปลาคาร์พ (*Cyprinus carpio*) ร่วมกับผักกาดหอมและมะเขือเทศ พบว่า การเจริญเติบโตของปลานิลใน 3 เดือนแรก มีการเจริญเติบโตเร็วกว่าปลาคาร์พ แต่เมื่ออายุ 4 เดือน น้ำหนักปลาคาร์พเฉลี่ยไม่แตกต่างกับปลานิล ซึ่งในระบบ ecirculating system อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ปลาคาร์พมีน้ำหนัก 0.6 กิโลกรัม ภายใน 6 เดือน ส่วนปลานิลสามารถโตได้ถึง 200 กรัม ภายใน 6 เดือน ส่วนการเจริญเติบโตของผักกาดหอมและมะเขือเทศ หลังจาก 8 สัปดาห์ ได้ผลผลิตของมะเขือเทศถึง 24 กิโลกรัม ส่วนผักกาดหอมนั้นเพียง 4 สัปดาห์ ก็สามารถเก็บผลผลิตได้

Xiangfu *et al.* (2000) ทดลองเลี้ยงปลาคาร์พร่วมกับการปลูกข้าวแบบไม่ใช้ดินในระบบปิด โดยใช้พื้นที่ของระบบปลูกข้าวร้อยละ 15 พบว่า ได้ผลผลิตปลาคาร์พ 1,680 กิโลกรัม/เฮกตาร์ และปลาคาร์พ มีอัตราการตายเท่ากับร้อยละ 9.6 ได้ผลผลิตข้าว เท่ากับ 8.46 ตัน/เฮกตาร์ (น้ำหนักสด) และมวลชีวภาพ เท่ากับ 16.78 ตัน/เฮกตาร์ (น้ำหนักสด)

Watten and Bush (1984) ทำการทดลองเลี้ยงปลาหมอเทศ (*Sarotherodon aurea*) ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศ (*Lycopersion esculentum*) แบบไม่ใช้ดิน เป็นเวลา 181 วัน พบว่า ได้ผลผลิตปลา 63.6 กิโลกรัมต่อปริมาตรน้ำ 9.72 ลูกบาศก์เมตร อัตราการรอดของปลาร้อยละ 97.5 ได้ผลผลิตมะเขือเทศทั้งหมด เท่ากับ 87.0 กิโลกรัม (น้ำหนักสด)

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การวางแผนการทดลอง

การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างการเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ โดยเลี้ยงปลากดหลวงในบ่อซีเมนต์ ขนาด 1.5×2×1 ม. (กว้าง ×ยาว×ลึก) จำนวน 12 บ่อ รักษาระดับน้ำให้ได้ 1 ม. ปล่อยปลากดหลวงอัตราความหนาแน่นที่ระดับ 100, 150, 200 และ 250 ตัว/บ่อ และปลูกพืชระบบไฮโดรโพนิคส์บนขอบบ่อลงในท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ปลูกผักกาดหอมห่อ จำนวน 30 ต้น/บ่อ ระยะเวลาในการเลี้ยง 2 เดือน

การเตรียมระบบการเลี้ยงปลา

ใช้บ่อซีเมนต์ ขนาด 1.5×2×1 ม. (กว้าง×ยาว×ลึก) จำนวน 12 บ่อ ทำความสะอาดและตากทิ้งไว้ 2 วัน เติมน้ำลงบ่อที่ระดับความสูง 1 ม. และเปิดอุปกรณ์ให้อากาศทิ้งไว้ 3-4 วัน ก่อนเริ่มการทดลอง

สัตว์ทดลอง

ใช้ปลากดหลวง อายุ 2 เดือน โดยนำปลากดหลวงมาพักให้ปรับตัวในบ่อซีเมนต์ เป็นเวลา 24 ชม. ก่อนทำการสุ่มนับและชั่งน้ำหนักลูกปลากดหลวงเริ่มต้นเพื่อปล่อยลงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกัน 4 ระดับ คือ 100, 150, 200 และ 250 ตัว/บ่อ ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปเป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้ปลากดหลวงปรับสภาพ ก่อนเริ่มทำการทดลอง

การจัดการอาหาร

การให้อาหารปลากดหลวงระหว่างการทดลองแต่ละบ่อทดลองจะได้รับอาหารวันละ 2 ครั้ง คือ เวลา 8.00 น และ 16.00 น. โดยให้อาหารในอัตราส่วน 3-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว หว่านให้ทั่วบ่อและใช้เป็นอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีขายในท้องตลาดมีการปรับปริมาณการให้อาหารทุกๆ 15 วัน ตลอดการทดลอง จากนั้นทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารอาหารในอาหารทดลอง โดยวิธีการดังต่อไปนี้ วิเคราะห์หาโปรตีนโดยวิธี Micro-Kjeldahl ไขมันโดยวิธี Dichloromethane extraction ตาม Soxleth method เยื่อใยโดยวิธี Fritted glass erucible เถ้าโดยการเผาใน Muffle furnace 550 °C นาน 12 ชม และความชื้นโดยการอบแห้งในตู้อบ 105 °C นาน 24 ชม ตามวิธีการของ AOAC (1990)

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารอาหารในอาหารปลาดุก (AOAC, 1990)

ดัชนีชี้วัด	วิธีการวิเคราะห์
โปรตีน (%)	Micro-Kjeldahl method
ไขมัน (%)	Dichloromethane extraction ตาม Soxlhet method method
เยื่อใย (%)	Fritted glass crucible method
เถ้า (%)	Muffle furnace 550 °C
ความชื้น (%)	Hot air oven 105 °C

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมี (%) ของอาหารปลาดุกที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดอาหารสำเร็จรูป	ความชื้น (%)	วัสดุแห้ง (Dry matter)			
		เถ้า (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เยื่อใย (%)
อาหารปลาดุกเล็ก	8.82	8.53	32.64	6.51	2.23
อาหารปลาดุกกลาง	7.65	8.64	30.80	5.24	3.44
อาหารปลาดุกใหญ่	7.36	8.50	25.63	5.38	4.15

การจัดการน้ำ

การปรับปริมาณของน้ำในบ่อเลี้ยง ทำการเติมน้ำลงบ่อในกรณีปริมาณน้ำลดลงต่ำกว่าระดับ 1 ม.ตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำก่อนการทดลองและระหว่างการทดลองทุกๆ 1 สัปดาห์จนสิ้นสุดการทดลอง โดยทำการศึกษาคุณสมบัติของน้ำในห้องปฏิบัติการดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำในห้องปฏิบัติการ

ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
อุณหภูมิ	DO meter (YSI model 59)
ความเป็นกรดเป็นด่าง	pH meter(HI 9812)
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	DO meter (YSI model 59)
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	Phenol method
ไนไดรท์-ไนโตรเจน	Coupling method
ไนเตรต-ไนโตรเจน	Cadmium reduction method
ฟอสฟอรัสรวม	Stannous chloride method
บีโอดี	Modified alkalinized iodide
การนำไฟฟ้าจำเพาะ	Conductivity metre
คลอโรฟิลด์-เอ	Acetone 90%

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตลูกปลากดหลวง

ตรวจสอบการเจริญเติบโต และอัตราการรอดของปลากดหลวงโดยชั่งน้ำหนักปลาบ่อละ 20 ตัว ก่อนการทดลอง เพื่อหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลาต่อตัวเมื่อเริ่มต้นการทดลอง และสุ่มปลากดหลวงบ่อละ 20 ตัว หาน้ำหนักเฉลี่ยของปลาระหว่างการเลี้ยงทุกๆ 15 วัน เก็บข้อมูลจนสิ้นสุดการทดลอง และนับอัตราการรอดแต่ละการทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง จากนั้นบันทึกและคำนวณข้อมูลเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง นำข้อมูลมาคำนวณเปรียบเทียบน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด และอัตราการแลกเนื้อ ดังนี้

ก. น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (WT.GAIN)
= น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง

ข. อัตราการเจริญเติบโต (ADG) กรัม/วัน
= น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง / ระยะเวลาทดลอง

ค. อัตราการรอด (Survival Rate) เปอร์เซ็นต์
= จำนวนลูกปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง / จำนวนลูกปลาเมื่อเริ่มการทดลอง X 100

ง. อัตราการแลกเนื้อ (FCR)
= น้ำหนักของอาหารที่ปลากิน / น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น

การเตรียมระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์

เตรียมอุปกรณ์ของระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ จำนวน 12 ชุด เป็นท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ประกอบด้วยข้องอ สามทาง ถังพักน้ำ และอุปกรณ์ที่กรองและบำบัดน้ำเสีย โดยทำการล้างท่อ PVC เพื่อทำความสะอาดประกอบเข้ากับระบบ โดยใช้ปั๊มน้ำดูดน้ำจากบ่อเลี้ยงปลากดหลวงผ่านลงในถังพักน้ำปล่อยลงในชุดอุปกรณ์ที่กรองตะกอนผ่านลงชั้นกรองชีวภาพเสร็จแล้วไหลผ่านลงมาที่ระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิคส์ทางท่อ PVC ที่เตรียมไว้ จากนั้นน้ำที่ผ่านระบบการปลูกพืชจะไหลกลับไปยังบ่อซีเมนต์ที่ใช้เลี้ยงปลากดหลวงต่อไป

การเตรียมกล้าพืช

เตรียมแผ่นฟองน้ำ ความหนา 1 นิ้ว นำมาตัดให้ได้ขนาดพอดีกับกับถาดที่ใช้เพาะ ใช้มีดกรีดฟองน้ำให้ได้ ขนาด 1 x 1 นิ้ว โดยกรีดไม่ให้ขาดออกจากกัน ทำรอยบากทแยงมุมความลึกประมาณกึ่งกลางของฟองน้ำ แช่ฟองน้ำก่อนทำการเพาะเมล็ดพืช ทำการหยอดเมล็ดพืชลงในช่องบาก 1 ช่อง ต่อ 1 เมล็ด เสร็จแล้วนำฟองน้ำที่หยอดเมล็ดพืชใส่ในถาดเพาะเมล็ดปิดฝาหรือเก็บไว้ในที่มืด 3 วัน เมล็ดจะเริ่มงอก จากนั้นปล่อยต้นกล้าให้มีใบจริง 3 ใบ

การปลูกพืชและการจัดการดูแล

เตรียมแผ่นโฟมให้ขนาดพอดีกับท่อ PVC ทำการเจาะรูเป็นรูปสี่เหลี่ยมให้ได้ขนาดเท่ากับฟองน้ำที่เพาะต้นกล้า ขนาด 1 X 1 นิ้ว เมื่อต้นกล้ามีใบจริง 2-3 ใบ ให้ฉีกฟองน้ำพร้อมต้นกล้าที่เพาะใส่ลงในแผ่นโฟม แล้วใส่ลงการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิคส์ในท่อ PVC ที่เตรียมไว้

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการปลูกพืช

การบันทึกและคำนวณข้อมูล เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองนำข้อมูลมาคำนวณ เปรียบเทียบความสูง อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย และน้ำหนักผลผลิตรวมทั้งหมด ดังนี้

ก. ความสูงต้นพืชเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

= ความสูงเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – ความสูงเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง

ข. อัตราการเจริญเติบโตของต้นพืช (ADG) ซม/วัน

= ความสูงเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุด – ความสูงเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง / ระยะเวลาทำการทดลอง

ค. อัตราการรอดของต้นพืช (Survival Rate) เปอร์เซ็นต์

= จำนวนต้นพืชเมื่อสิ้นสุดการทดลอง / จำนวนพืชเมื่อเริ่มการทดลอง X 100

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละทรีตเมนต์ จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ โดยวิธีของ Tukey's Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p<0.05$ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการวิจัย

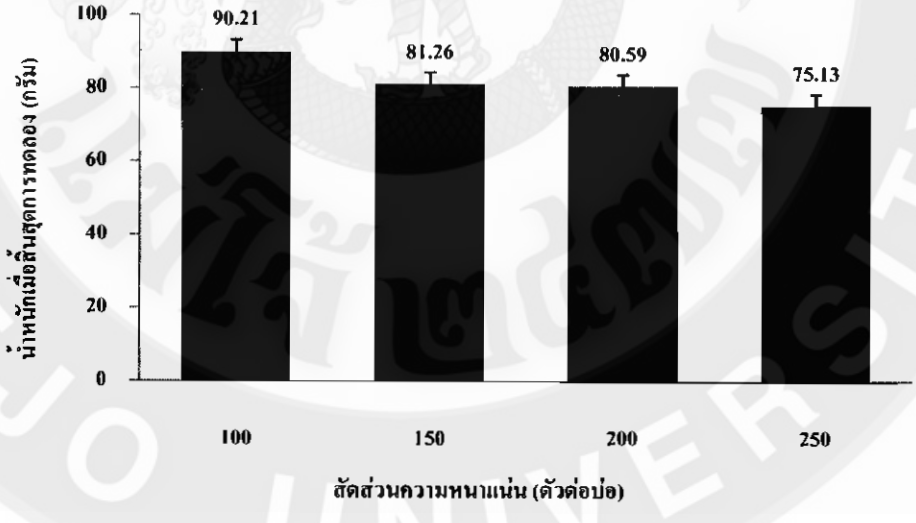
ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลากดหลวง

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอด และผลผลิตรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100 ตัวต่อบ่อ มีน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 90.21±0.03 กรัม รองลงมาได้แก่ ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 150, 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 81.26±0.03, 80.59±0.03 และ 75.13±0.03 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น พบว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100 ตัวต่อบ่อ มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 74.67±0.04 กรัม รองลงมาได้แก่ ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 150, 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 81.26±0.03, 80.59±0.03 และ 75.13±0.03 กรัม ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโต พบว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100 ตัวต่อบ่อ มีอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.26±0.06 กรัมต่อวัน รองลงมาได้แก่ ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 150, 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 1.12±0.03, 1.10±0.03 และ 1.03±0.03 กรัมต่อวัน ตามลำดับ อัตราการแลกเนื้อ พบว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 250 ตัวต่อบ่อ มีอัตราการแลกเนื้อดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.31±0.03 รองลงมาได้แก่ ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100, 200 และ 150 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 1.26±0.03, 1.22±0.03 และ 1.20±0.03 ตามลำดับ อัตราการรอด พบว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100 ตัวต่อบ่อ มีอัตราการรอดดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 97.48±0.30 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 150, 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 97.00±0.03, 96.16±0.64 และ 84.00±0.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และผลผลิตรวม พบว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 250 ตัวต่อบ่อ มีผลผลิตรวมสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 15.78±0.03 กิโลกรัม รองลงมาได้แก่ ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 200, 150 และ 100 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 15.40±0.03, 12.03±0.03 และ 8.75±0.03 กิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4

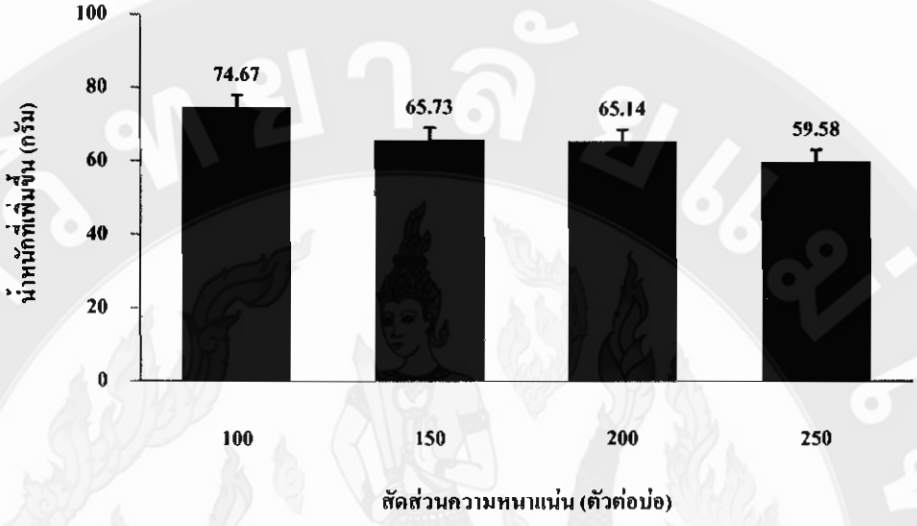
ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง

ประสิทธิภาพการผลิต	สัดส่วนความหนาแน่น (ตัวต่อบ่อ)			
	100	150	200	250
น้ำหนักเมื่อเริ่มต้นการทดลอง (กรัม)	15.53±0.03	15.53±0.03	15.45±0.03	15.54±0.03
น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)	90.21±0.03^{a}	81.26±0.03^{b}	80.59±0.03^{c}	75.13±0.03^{d}
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	74.67±0.04^{a}	65.73±0.03^{b}	65.14±0.03^{c}	59.58±0.03^{d}
อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อวัน)	1.26±0.03^{a}	1.12±0.03^{b}	1.10±0.03^{b}	1.03±0.03^{b}
อัตราการแลกเนื้อ	1.26±0.03^{ab}	1.20±0.03^{b}	1.22±0.03^{ab}	1.31±0.03^{a}
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	97.48±0.30^{a}	97.00±0.03^{ab}	96.16 ±0.64^{ab}	84.00±0.03^{c}
ผลผลิตรวม (กิโลกรัม)	8.75±0.03^{d}	12.03±0.03^{c}	15.40±0.03^{b}	15.78±0.03^{a}

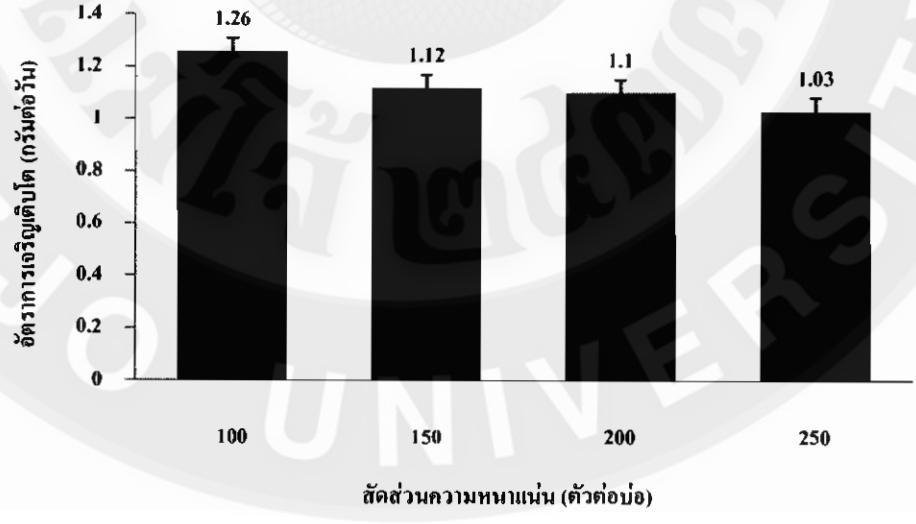
กราฟที่ 1 น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม) ของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง



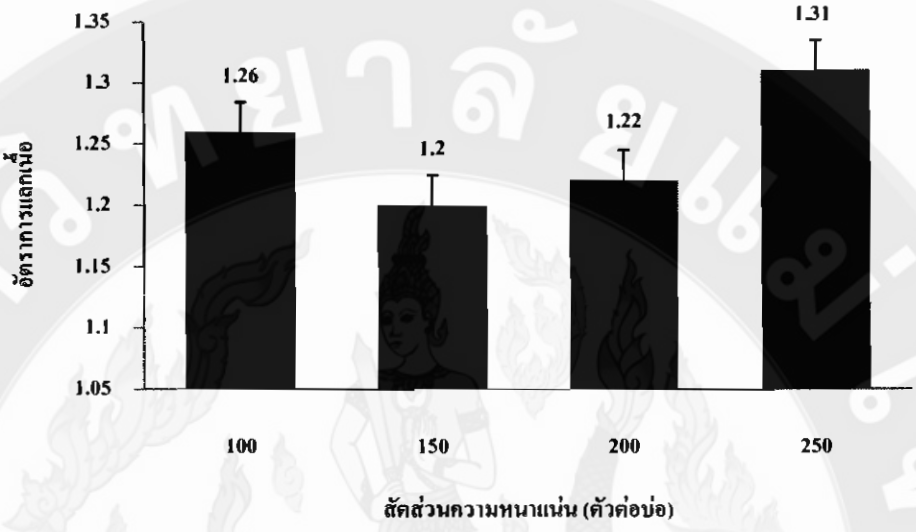
กราฟที่ 2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) ของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง



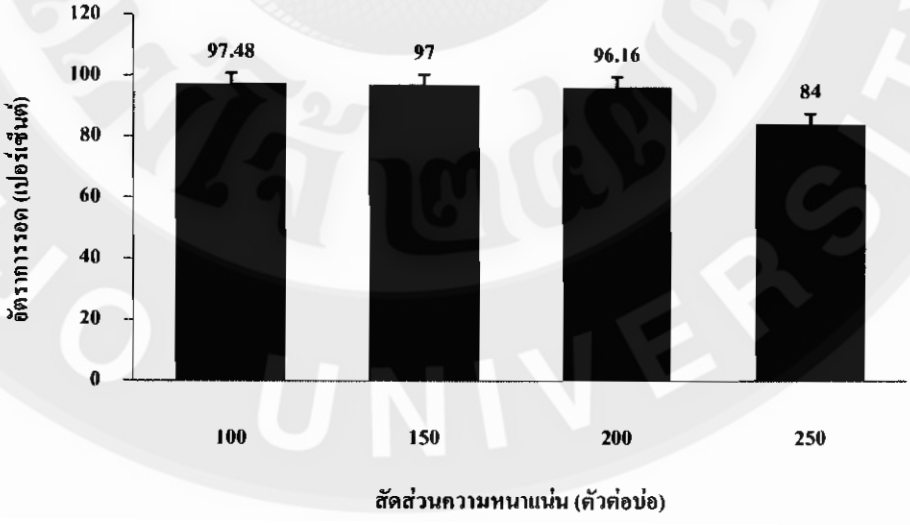
กราฟที่ 3 อัตราการเจริญเติบโต (กรัมต่อวัน) ของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง



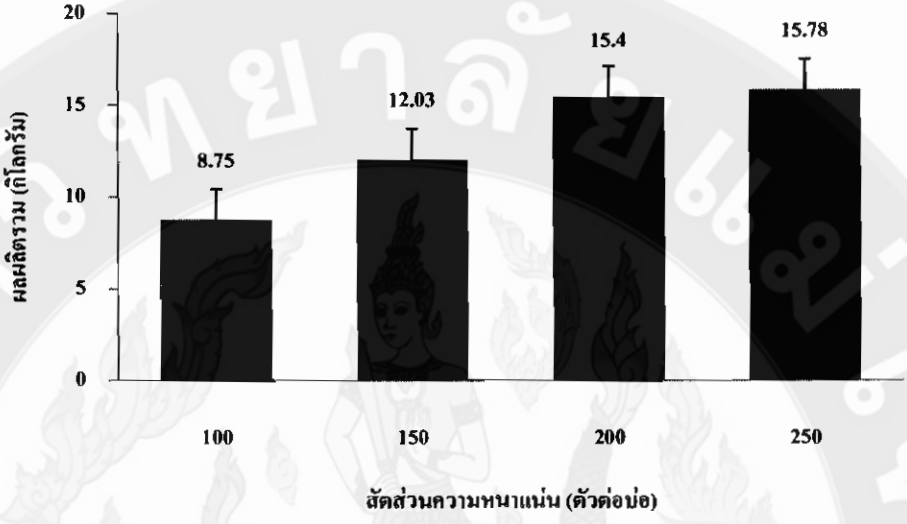
กราฟที่ 4 อัตราการแลกเนื้อของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง



กราฟที่ 5 อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์) ของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง



กราฟที่ 6 ผลผลิตรวม (กิโลกรัม) ของปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ คลอดการทดลอง



ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อ

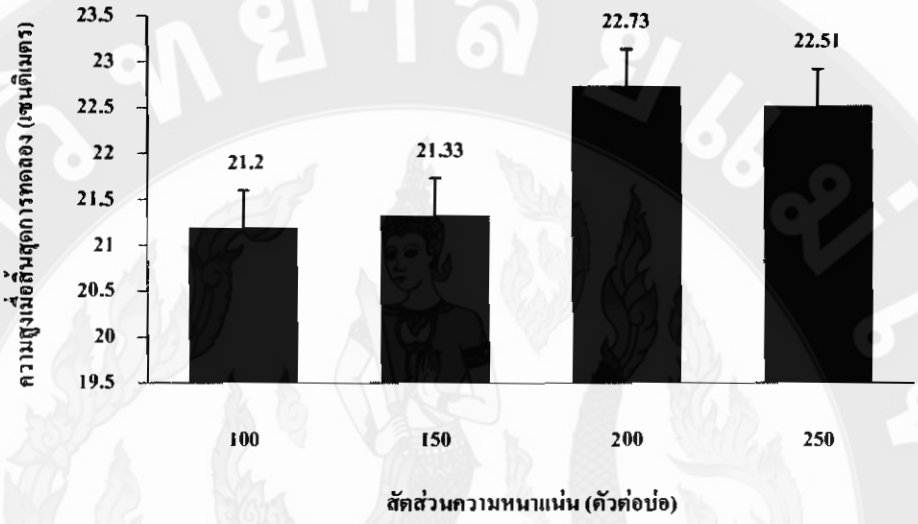
เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความสูงที่เพิ่มขึ้น อัตราการรอด และผลผลิตรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลองสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 22.73±0.03 และ 22.51±0.02 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 150 และ 100 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 21.33±0.31 และ 21.20±0.03 เซนติเมตร ตามลำดับ ความสูงที่เพิ่มขึ้น พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 250 และ 200 ตัวต่อบ่อ มีความสูงที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 14.10±0.03 และ 14.07±0.03 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 150 และ 100 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 12.84±0.03 และ 12.77±0.03 เซนติเมตร ตามลำดับ อัตราการรอด พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีอัตราการรอดสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 96.66±0.05 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพ

นิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 150 และ 100 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 93.33±0.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และผลผลิตรวม พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีผลผลิตรวมสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 6.67±0.03 และ 6.38±0.03 กิโลกรัม รองลงมาได้แก่ ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 150 และ 100 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 6.16±0.03 และ 5.80±0.03 กิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5

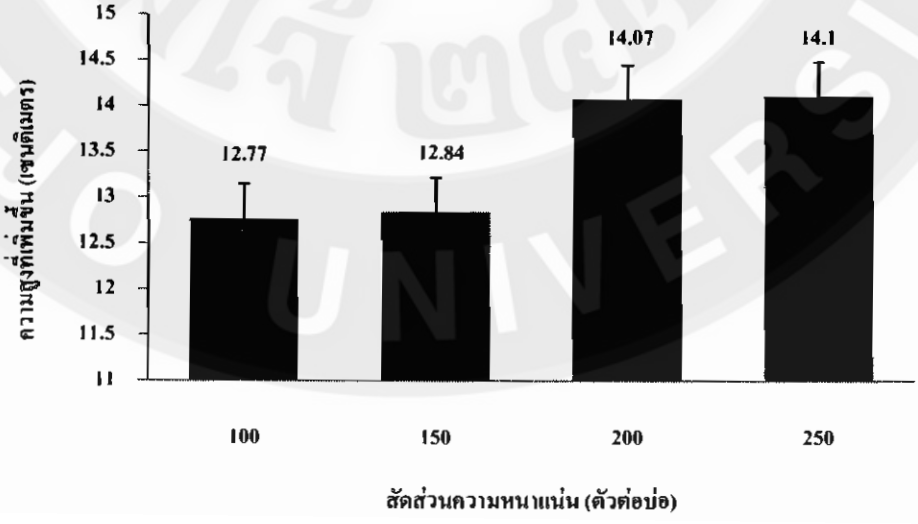
ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงเลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันตลอดการทดลอง

ประสิทธิภาพการผลิต	สัดส่วนความหนาแน่น (ตัวต่อบ่อ)			
	100	150	200	250
ความสูงเริ่มต้นการทดลอง (เซนติเมตร)	8.43±0.03	8.16±0.03	8.66±0.03	8.42±0.03
ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (เซนติเมตร)	21.20±0.03^{b}	21.33±0.31^{b}	22.73±0.03^{a}	22.51±0.02^{a}
ความสูงที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	12.77±0.03^{b}	12.84±0.03^{b}	14.07±0.03^{a}	14.10±0.03^{a}
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	93.33±0.05^{b}	93.33±0.05^{b}	96.66±0.05^{a}	96.66±0.0^{a}
ผลผลิตรวม (กิโลกรัม)	5.80±0.03^{c}	6.16±0.03^{b}	6.67±0.03^{a}	6.38±0.03^{a}

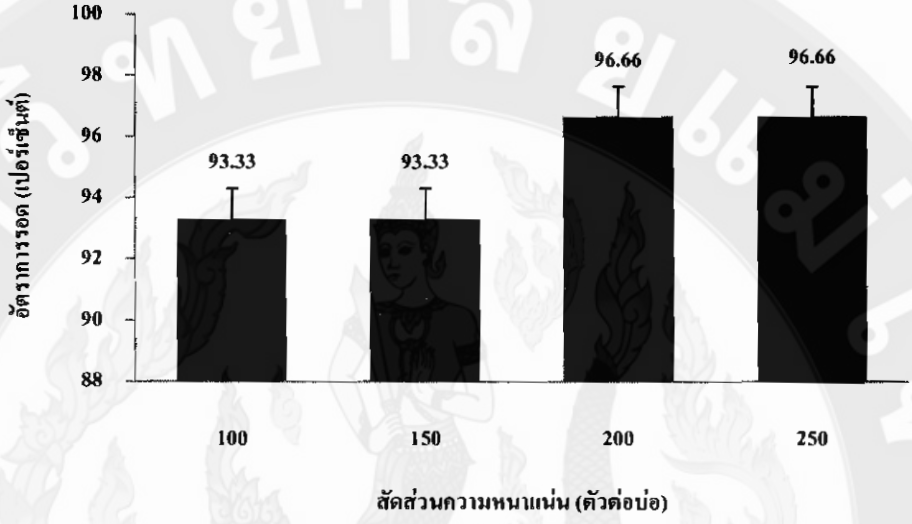
กราฟที่ 7 ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกัน ตลอดการทดลอง



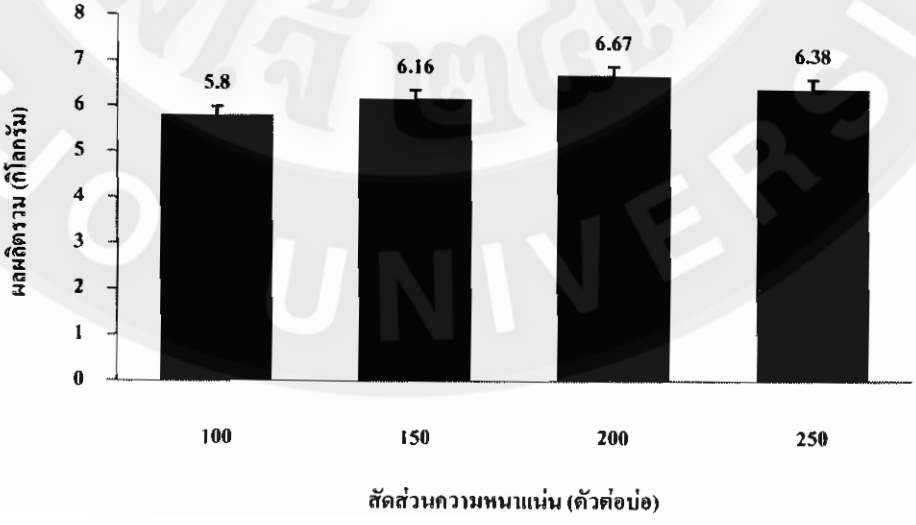
กราฟที่ 8 ความสูงที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกัน ตลอดการทดลอง



กราฟที่ 9 อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์) ของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่นต่างกันตลอดการทดลอง



กราฟที่ 10 ผลผลิตรวม (กิโลกรัม) ของผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนหนาแน่นต่างกันตลอดการทดลอง



คุณภาพน้ำในบ่อทดลอง

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า อุณหภูมิของน้ำ บีโอดี และการนำไฟฟ้าจำเพาะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคลอโรฟิลล์-เอ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัตส่วนความหนาแน่นต่างกันร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ตลอดการทดลอง

	สัดส่วนความหนาแน่น (ตัวต่อบ่อ)			
	100	**150**	**200**	**250**
อุณหภูมิ (°C)	28.56±0.03	28.56±0.03	28.66±0.03	28.63±0.03
ความเป็นกรด-ด่าง	6.59±0.03^{a}	6.50±0.03^{a}	6.23±0.03^{b}	6.21±0.03^{b}
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/l)	7.74±0.03^{a}	7.31±0.03^{b}	7.32±0.03^{b}	6.78±0.03^{c}
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg/l)	0.08±0.03^{a}	0.11±0.03^{a}	0.29±0.03^{b}	0.27±0.03^{b}
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (mg/l)	1.41±0.03^{a}	1.40±0.03^{a}	1.62±0.06^{b}	1.82±0.03^{c}
ไนเตรท-ไนโตรเจน (mg/l)	1.42±0.03^{a}	1.41±0.03^{a}	1.66±0.03^{b}	1.82±0.03^{c}
ฟอสฟอรัส (mg/l)	0.30±0.03^{c}	0.34±0.03^{bc}	0.42±0.03^{ab}	0.45±0.03^{a}
บีโอดี (mg/l)	2.72±0.21	2.47±0.17	2.61±0.21	2.58±0.12
การนำไฟฟ้าจำเพาะ (mS/cm)	543.7±7.82	557.4±26.2	542.9±62.5	567.9±28.3
คลอโรฟิลล์-เอ (mg/l)	7.93±0.03^{d}	11.10±0.03^{c}	34.90±0.03^{b}	115.82±0.03^{a}

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างการเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ คือ ชุดการทดลองที่ 1 สัดส่วนความหนาแน่น 100 ตัวต่อบ่อ ชุดการทดลองที่ 2 สัดส่วนความหนาแน่น 150 ตัวต่อบ่อ ชุดการทดลองที่ 3 สัดส่วนความหนาแน่น 200 ตัวต่อบ่อ และชุดการทดลองที่ 4 สัดส่วนความหนาแน่น 250 ตัวต่อบ่อ ตามลำดับ และปลูกผักกาดหอมห่อ จำนวน 30 ต้นต่อบ่อ ระยะเวลาการทดลอง 60 วัน ผลการทดลองประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลากดหลวง พบว่า น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอด และผลผลิตรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100 ตัวต่อบ่อ มีน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 150, 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 90.21±0.03, 81.26±0.03, 80.59±0.03 และ 75.13±0.03 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น พบว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100 ตัวต่อบ่อ มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 150, 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 74.67±0.04, 81.26±0.03, 80.59±0.03 และ 75.13±0.03 กรัม ตามลำดับ อัตราการเจริญเติบโต พบว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100 ตัวต่อบ่อ มีอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 150, 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 1.26±0.06, 1.12±0.03, 1.10±0.03 และ 1.03±0.03 กรัมต่อวัน ตามลำดับ อัตราการแลกเนื้อ พบว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 250 ตัวต่อบ่อ มีอัตราการแลกเนื้อดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100, 200 และ 150 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 1.31±0.03, 1.26±0.03, 1.22±0.03 และ 1.20±0.03 ตามลำดับ อัตราการรอด พบว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100 ตัวต่อบ่อ มีอัตราการรอดดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 150, 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 97.48±0.30, 97.00±0.03, 96.16±0.64 และ 84.00±0.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และผลผลิตรวม พบว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 250 ตัวต่อบ่อ มีผลผลิตรวมสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 200, 150 และ 100 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 15.78±0.03, 15.40±0.03, 12.03±0.03 และ 8.75±0.03 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Franco-Nava *et al.* (2004) พบว่าขนาดของปลาที่นำมาเลี้ยงมีผลต่อน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดเฉลี่ยโดยปลาที่มีขนาดเล็กจะให้น้ำหนักสิ้นสุดเฉลี่ยต่ำกว่าปลาที่มีขนาดใหญ่ จันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิดโดยใช้บ่อคอนกรีตกลมขนาด 5 ลูกบาศก์เมตร ปล่อยปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus*

x Clarias gariepinus) ขนาด 1.57 กรัม ในอัตรา 200 ตัวต่อตารางเมตร ปรากฏว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีอัตรารอด 89.11 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิต 336.7 กิโลกรัมต่อ 15 ลูกบาศก์เมตร และอัตราแลกเนื้อ 1.28 และ Tamchalanukit *et al.* (1982) ได้รายงานว่าการเจริญเติบโตของปลาดุกด้าน (*Clarias batrachus*) ขนาด 1 กรัม เลี้ยงในระบบบ่อคอนกรีตแบบน้ำหมุนเวียนที่อัตราความหนาแน่นแตกต่างกันคือ 330, 500 และ 666 ตัวต่อตารางเมตร เป็นเวลา 84 วัน ผลการทดลอง พบว่า ได้ผลผลิตเท่ากับ 381.49, 607.32 และ 775.04 กิโลกรัมต่อ 15 ตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้ โดยอัตราการปล่อยและอายุของปลาจะไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด แต่จะมีผลต่อผลผลิตรวมของปลา น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตราการแลกเนื้อ

ส่วนประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อ พบว่า ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความสูงที่เพิ่มขึ้น อัตราการรอด และผลผลิตรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลองสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 150 และ 100 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 22.73±0.03, 22.51±0.02, 21.33±0.31 และ 21.20±0.03 เซนติเมตร ตามลำดับ ความสูงที่เพิ่มขึ้น พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 250 และ 200 ตัวต่อบ่อ มีความสูงที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 150 และ 100 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 14.10±0.03, 14.07±0.03, 12.84±0.03 และ 12.77±0.03 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่มีความใกล้เคียงกันแตกต่างกันไม่มากนัก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตของผักที่นิยมปลูกในฤดูหนาว พบว่าผักไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร โดยผักที่ปลูกในหน้าร้อนมักแคระแกรน โตช้า มีรสขม และเก็บเกี่ยวได้ช้า เพราะผักในหน้าร้อนมักเจอกับปัญหาสารละลายร้อนเกินไป เนื่องจากอุณหภูมิน้ำแปรผกผันกับอัตราการละลายตัวของออกซิเจน (ยงยุทธ, 2548) อัตราการรอด พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีอัตราการรอดสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ผักกาดหอมห่อที่ปลูกร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่น 150 และ 100 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 96.66±0.05 และ 93.33±0.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่มีความใกล้เคียงกัน เพราะในแต่ละบ่อมีสภาพแวดล้อมทั้งแสงแดดและอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน และในช่วงที่อากาศร้อนจัดผักไม่สามารถเจริญเติบโตได้ทำให้ผักบางส่วนตายไป และผลผลิตรวม พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการ

เลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีผลผลิตรวมสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำที่สัดส่วนความหนาแน่น 150 และ 100 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 6.67±0.03, 6.38±0.03, 6.16±0.03 และ 5.80±0.03 กิโลกรัม ตามลำดับ

และคุณภาพน้ำในบ่อทดลอง พบว่า อุณหภูมิของน้ำ บีโอดี และการนำไฟฟ้าจำเพาะ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคลอโรฟิลล์-เอ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ พบว่า บ่อเลี้ยงปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100 ตัวต่อบ่อ มีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ บ่อเลี้ยงปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่น 150, 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 6.59±0.028, 6.50±0.028, 6.23±0.028 และ 6.21±0.028 ตามลำดับ ประเทือง (2538) กล่าวว่า ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะอยู่ระหว่าง 6.5-9 หากคุณภาพน้ำในบ่อมีปริมาณสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้สัตว์น้ำมีผลผลิตต่ำ มีการเจริญเติบโตช้าหรืออาจตายได้ และอานัฐ (2548) รายงานว่า ความเป็นกรด-ด่างมีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของพืชควรอยู่ในช่วง 5.5-6.5 เป็นช่วงที่เหมาะสมคือ ธาตุอาหารอยู่ในรูปที่พืชใช้ได้มากที่สุด ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ พบว่า บ่อเลี้ยงปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100 ตัวต่อบ่อ มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ บ่อเลี้ยงปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่น 150,200 และ 250 ตัว มีค่าเท่ากับ 7.74±0.028, 7.31±0.028, 7.32±0.028 และ 6.78±0.028 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ถาวร (2530) ได้รายงานว่า การเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีต พบว่า ปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.685-19.45 มิลลิกรัมไนโตรเจน จันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด พบว่า ปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.010-16.395 มิลลิกรัมไนโตรเจน ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน พบว่า บ่อเลี้ยงปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100 ตัวต่อบ่อ มีปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนต่ำที่สุด รองลงมาได้แก่ บ่อเลี้ยงปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่น 150, 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 1.41±0.028, 1.40±0.028, 1.62±0.060 และ 1.82±0.028 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ประเทือง (2538) รายงานว่า เมื่อปลากินอาหารจะขับถ่ายของเสียออกมาซึ่งจะเป็นสารประกอบไนโตรเจนจะส่งผลต่อปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ธำรง (2528) ได้รายงานว่า การเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีตมีปริมาณไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.005-0.300 มิลลิกรัมไนโตรเจน และได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด พบว่า ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงมีปริมาณไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.001-0.45 มิลลิกรัมไนโตรเจน ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน พบว่า บ่อเลี้ยงปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่น 100 ตัวต่อบ่อ มีปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนต่ำที่สุด รองลงมาได้แก่ บ่อเลี้ยง

ปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่น 150, 200 และ 250 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 1.42±0.028, 1.41±0.028, 1.66±0.060 และ 1.82±0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ประเทือง (2538) กล่าวว่า ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนไม่ถือว่าเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยตรงนอกเสียจากมีความเข้มข้นมาก แต่จะทำให้เกิดปัญหาทางอ้อมในกรณีที่ไนเตรทเปลี่ยนสภาพเป็นไนไตรท์ และแอมโมเนีย ปริมาณฟอสฟอรัส พบว่า บ่อเลี้ยงปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่น 250 ตัวต่อบ่อ มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ บ่อเลี้ยงปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่น 200, 150 และ 100 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 0.45±0.028, 0.42±0.028, 0.34±0.028 และ 0.30±0.028 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ประเทือง (2538) กล่าวว่า เกณฑ์คุณภาพน้ำสำหรับสัตว์น้ำควรมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ พบว่า บ่อเลี้ยงปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่น 250 ตัวต่อบ่อ มีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอมากที่สุด รองลงมาได้แก่ บ่อเลี้ยงปลากดหลวงที่สัดส่วนความหนาแน่น 200, 150 และ 100 ตัวต่อบ่อ มีค่าเท่ากับ 115.82±0.028, 34.90±0.028, 11.10±0.028 และ 7.93±0.028 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสัตส่วนที่เหมาะสมระหว่างการเลี้ยงปลากดหลวงระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลากดหลวง พบว่า น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอด และผลผลิตรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อ พบว่า ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความสูงที่เพิ่มขึ้น อัตราการรอด และผลผลิตรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และคุณภาพน้ำในบ่อทดลอง พบว่า อุณหภูมิของน้ำ บีโอดี และการนำไฟฟ้าจำเพาะ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคลอโรฟิลล์-เอ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ดังนั้นจากผลการทดลองสรุปได้ว่า ปลากดหลวงเลี้ยงที่สัดส่วนความหนาแน่น 200 ตัวต่อบ่อ มีความเหมาะสมต่อการเลี้ยงปลากดหลวงในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการปลูกผักกาดหอมห่อในระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์มากที่สุด ซึ่งเปรียบเทียบได้จากข้อมูลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลากดหลวงและประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อ

เอกสารอ้างอิง

โกมุท อุ่นศรี และปรีชา เชียรเจริญ. 2536. **การเลี้ยงปลากดหลวงอเมริกันในคอก.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 27/2536 กองประมงน้ำจืด. กรมประมง. 24 หน้า

กิตติ บุญเลิศนิรันดร์. 2547. **เทคโนโลยีการปลูกพืชไม่ใช้ดิน.** ศูนย์คลินิกเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา หันตรา. 81 น.

จันทร์ส่วาง งามผ่องใส. 2538. **คุณภาพน้ำและการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 115 น.

ถาวร จิระโสภณรักษ์. 2530. **การเลี้ยงปลาดุกด้านในบ่อคอนกรีตแบบน้ำไหลผ่าน.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 1.ระยอง: สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดระยอง กรมประมง.16 น.

ธำรงค์ อมรสกุล. 2528. **คุณสมบัติของน้ำในบ่อคอนกรีตกลมระบบน้ำหมุนเวียนที่เลี้ยงปลาดุกด้านในระบบการปล่อยที่แตกต่างกัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 90 น.

ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2538. **คุณภาพน้ำทางการประมง.** ลำปาง : แผนกประมง คณะสัตว์ศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตลำปาง. 86 น.

ยงยุทธ เจียมไชยศรี. 2548. **สารละลายธาตุอาหารพืช.** เอกสารประกอบการบรรยายในการฝึกอบรม เรื่อง การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน รุ่นที่ 13. 29-30 ตุลาคม 2548 โรงแรมมิราเคิลแกรนด์. กรุงเทพฯ: ธรรมรักษ์การพิมพ์.

สมควร ตีรัศมี. 2542. **การเลี้ยงปลาเบญจพรรณ.** กรุงเทพฯ: เลิฟแอนดลิมเพรส. 85 น.

อานัฐ ตันโช. 2548. **การศึกษาการจัดการธาตุอาหารพืช: พืชในระบบปลูกพืชผักไร้ดิน.** เชียงใหม่: Trio Advertising & Media Co., Ltd. 167 น.

อิทธิสุนทร นันทกิจ และคณะ. 2544. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการปลูกพืชไม่ใช้ดิน. น 1-10. ใน **เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินรุ่นที่ 4.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Anon. 2001. **Greenhouse and Hydroponic System.** [Online] Available: http://www.adumfarmine.com/fag.html. (10 August 2008).

Franco-Nava, J. P. Blancheton, G. Deviller and J.Y. Le-Gall. 2004. Particulate matter dynamics and transformations in a recirculating aquaculture system: application of stable isotope tracers in seabass rearing **Aquacult. Eng. 31**: 135–155.

McMurty, M. R .D. C. Sanders, S. D .Cure and R.G. Hodson. 1997. Effect of biofilter/culture tank volume ratio on productivity of a recirculating fish/ vegetable co-culture system. **Journal of Applied Aquaculture** 7(4): 33-51.

Naegel, L.C.A. 1977. Combined production of fish and plants in recirculating water. **Aquaculture** 10: 17-24.

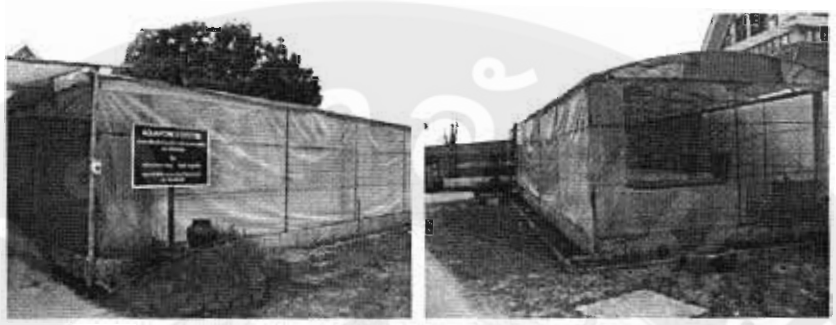
Tarnchalanukit, W.,W. Chuapoehuk, P. suraniranat and U.N.Nakron. 1982. Pla Duk Dan culture in circulation contrete pond with water recirculating system. pp. 56-73. In **The Seminar on inland and Coastal Aquaculture** 6-9 April, 1982 Food and Fertilized Technology Center for the Asian and Pacific Region. Bangkok: Kasetsart University.

Watten, B.J. and Bush, R.L. 1984. Tropical production of tilapia (*Sarotherodon aorea*) and Tomato (*Lycopersicon esculentum*) in a small-scale recirculating water system. **Aquaculture** 41: 271-283.

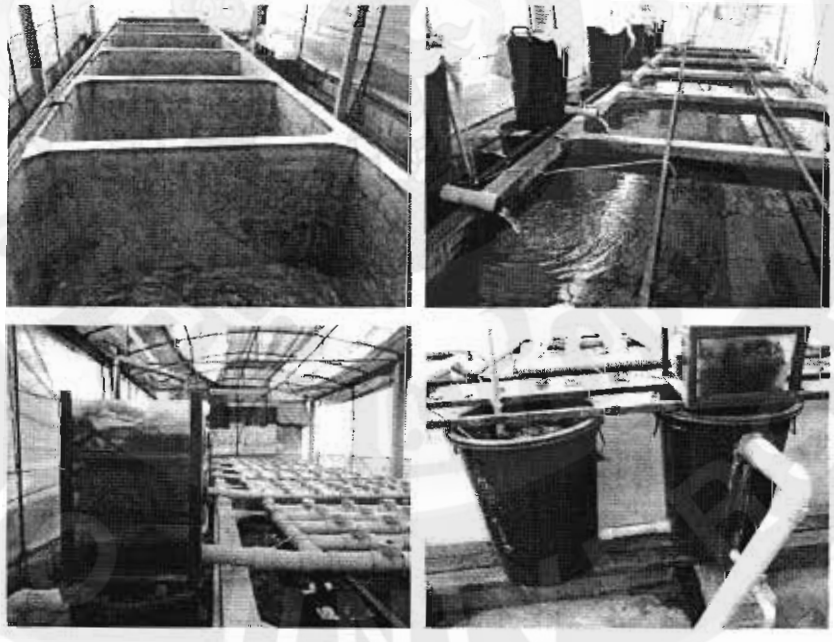
Xiangfu, S. *et al.* 2000. **Study of Aqriculture-Aquaculture Ecological Economic System with Nutrient Flow Analysis.** [Online]. Available: http://www.ias.unu.edu/proceedings/ic-ibs/icmfa/song/paperv2.html. (10 August 2008).

ภาคผนวก

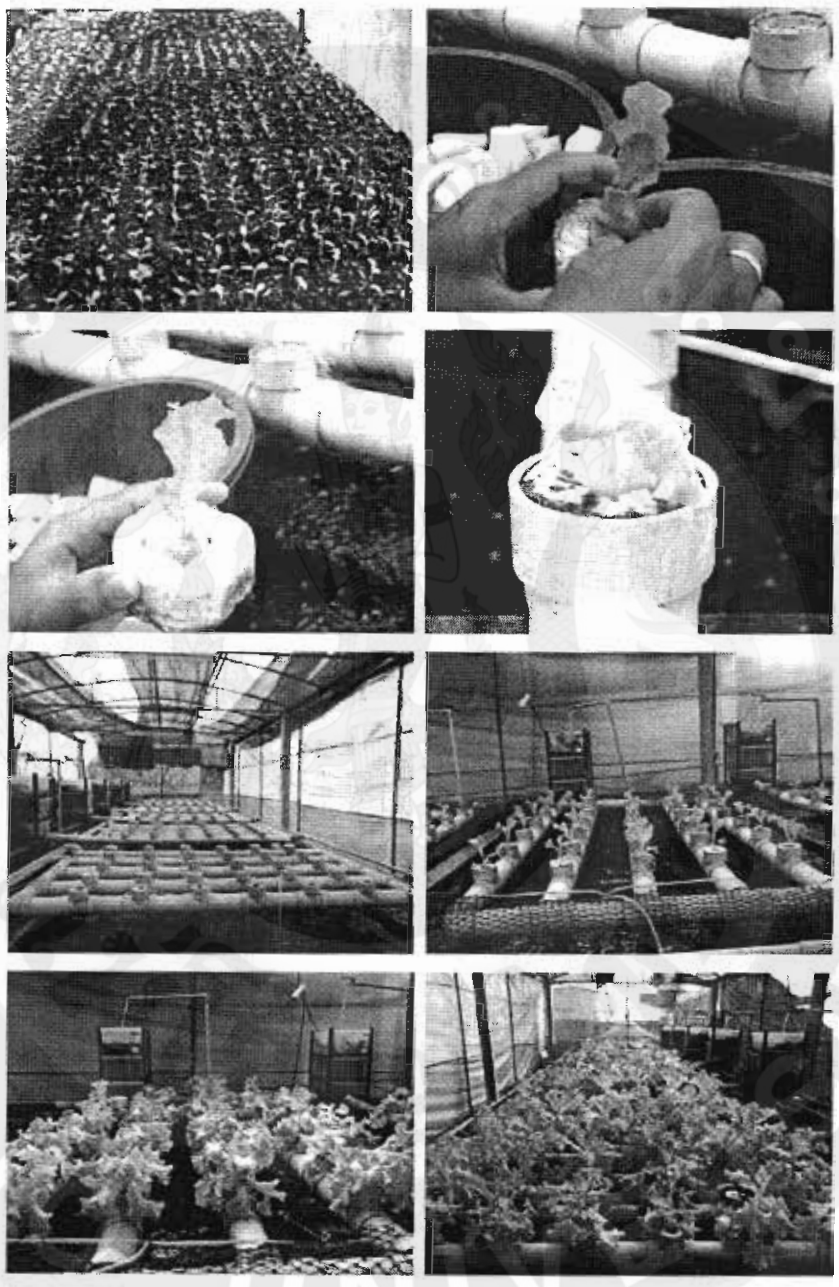
ภาพผนวกที่ 1 โรงเรือนระบบการเลี้ยงปลากดหลวงในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์



ภาคผนวกที่ 2 ระบบหมุนเวียนน้ำและระบบกรองชีวภาพของการเลี้ยงปลากดหลวงในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์



ภาพผนวกที่ 3 วิธีการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมห่อและระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์



ภาพผนวกที่ 4 ระบบการเลี้ยงปลากดหลวงร่วมกับระบบการปลูกผักกาดหอมห่อ