



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง
การเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการ
ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์เพื่อสร้างอาหารปลอดภัย
และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ปีที่ 2)

Catfish (*Ictalurus punctatus*) Culture in an Integrated Cage-Cum-Pond
with Hydroponics Systems for Food Safety and
Minimizing Environmental Impacts (2)

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การผลิตสัตว์น้ำเศรษฐกิจเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มความ
ปลอดภัยด้านอาหาร

โดย

สุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย และ ประจวบ ฉายบุญ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2556



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การเลี้ยงปลาคอดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการ
ปลูกพืชไฮโดรโพนิกส์เพื่อสร้างอาหารปลอดภัย
และลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม (ปีที่ 2)
*Catfish (*Ictalurus punctatus*) Culture in an Integrated Cage-Cum-Pond
with Hydroponics Systems for Food Safety and Minimizing
Environmental Impacts (2)*

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การผลิตสัตว์น้ำเศรษฐกิจเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม
ความปลอดภัยด้านอาหาร

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2555
จำนวน 200,000 บาท

หัวหน้าโครงการ

นายสุทธธี สมบูรณ์ชัย

ผู้ร่วมโครงการ

นายประจวบ ฉายบุญ

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

28 กุมภาพันธ์ 2556

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย เรื่อง การเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ เพื่อสร้างอาหารปลอดภัยและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Catfish (*Ictalurus punctatus*) Culture in an Integrated Cage-Cum-Pond with Hydroponics Systems for Food Safety and Minimizing Environmental Impacts) โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การผลิตสัตว์น้ำเศรษฐกิจเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มความปลอดภัยด้านอาหาร ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 จำนวน 200,000 บาท ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์เรื่องสถานที่และอุปกรณ์บางอย่างที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ผู้วิจัย



Abstract

Channel catfish (*Ictalurus punctatus*) cultivation in an integrated recirculating system with different types of vegetables in hydroponics system including head lettuce, Pak Choy (Chinese white cabbage), Cos Lettuce and Morning glory was carried out. Catfish were raised in 3 m³ at stocking density of 200 fishes/m³ with 30 plants per pond. The initial body weights of catfish in treatments 1, 2, 3 and 4 were 2.85±0.06, 2.80±0.06, 2.90±0.04 and 2.75±0.04 g/fish and initial heights of plants in treatment 1, 2, 3 and 4 were 6.88±0.04, 5.83±0.02, 6.26±0.03 and 6.80±0.03 cm, respectively. The experiment was conducted for 90 days. The results showed that Final body weight, Weight gain, 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 vegetables were significant differences (P<0.05). Water temperature, Dissolved oxygen and Phosphorus in ponds were not significant differences (p>0.05), while pH, Ammonia-nitrogen, Nitrite-nitrogen, Nitrate-nitrogen, BOD, Chlorophyll-a, and conductivity were significant differences (P<0.05). In summary, Channel catfish cultivation with Morning glory had the highest production due to the best Channel catfish and plant growth efficiencies.

Keywords: Channel catfish (*Ictalurus punctatus*) Chinese white cabbage (*Brassica campestris* ssp.) Cos (*Lactuca sativa* Var. longifolia) Lettuce (*Lactuca sativa*) Morning glory (*Ipomoea aquatica* Forsk.) Recirculating system Hydroponics system

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
สารบัญภาพผนวก	ง
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	24
ผลการวิจัย	29
วิจารณ์ผลการวิจัย	36
สรุปผลการวิจัย	39
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	44

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาการของผักกาดขาวต้งหนัก 100 กรัม	10
2	คุณค่าทางอาหารของผักบั้งจีนส่วนที่กินได้ 100 กรัม	11
3	การเจริญเติบโตของปลากดหลวงที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับ การเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ ตลอดจนการทดลอง	30
4	การเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อ ผักกาดขาวต้ง ผักสลัดคอส และผักบั้งจีน ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ร่วมกับการเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำ ตลอดการทดลอง	33
5	คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการเปรียบเทียบ ชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ ตลอดจนการทดลอง	34

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	น้ำหนักปลาตลอดการทดลอง น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอด และน้ำหนักผลผลิต รวมของปลาคดหลวงที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการเปรียบเทียบ ชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ ตลอดการทดลอง	31
2	ความสูงพืชตลอดการทดลอง ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความสูงที่เพิ่มขึ้น อัตราการรอด และน้ำหนักผลผลิตรวมของผักกาดหอมห่อ ผักกาดขาวตั้ง ผักสลัดคออส และผักบุ้งจีนที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ร่วมกับการเลี้ยง ปลาคดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำ ตลอดการทดลอง	33
3	อุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส บีโอดี คลอโรฟิลล์-เอ และการนำไฟฟ้าจำเพาะในบ่อเลี้ยงปลาคดหลวง ระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกใน ระบบไฮโดรโปนิกส์ ตลอดการทดลอง	35

สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวกที่		หน้า
1	โรงเรียนที่ใช้ในการศึกษา	45
2	การเตรียมระบบการเลี้ยงปลาแบบหมุนเวียนน้ำ	45
3	ตู้ปลาทดลองที่ใช้ในการทดลอง	45
4	การเพาะต้นกล้าพืชที่ใช้ในการศึกษา	46
5	การเลี้ยงปลาทดลองระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิกส์	46
6	ปลาทดลองเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	47



คำนำ

ปลาคดหลวงหรือปลาคดอเมริกัน (Channel Catfish) เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่งในครอบครัว Ictaluridae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ictalurus punctatus* เป็นปลาน้ำจืดชนิดเดียวที่นิยมเลี้ยงกันอย่างกว้างขวางในประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากมีอัตราการเจริญเติบโตสูง อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดี รวมทั้งเนื้อปลามีรสชาติดี มีเนื้อมาก มีก้างน้อย เป็นปลาที่มีความอดทนสูง โตเร็ว และสามารถเพาะขยายพันธุ์ในบ่อเลี้ยงได้ไม่ยากนัก ทำให้ปลาชนิดนี้เป็นที่นิยมเลี้ยงจนกลายเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ในมลรัฐทางภาคใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะที่มลรัฐมิสซิสซิปปีซึ่งสามารถผลิตปลาคดหลวงได้มากที่สุดในประเทศสหรัฐอเมริกา (กรมประมง, 2552) ปลาคดหลวงได้เข้ามาประเทศไทยเป็นครั้งแรกโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) โดยนำสายพันธุ์ที่ได้จากมลรัฐแคลิฟอร์เนียเข้ามาทดลองเลี้ยงพบว่าอัตราการเจริญเติบโตดี และได้มอบพันธุ์ปลาคดอเมริกันอายุ 18 เดือน จำนวนหนึ่งแก่ศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืดเชียงใหม่ เมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ.2534 ศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืดเชียงใหม่ได้ทำการศึกษาโดยเพาะขยายพันธุ์อนุบาลลูกปลาและทดลองเลี้ยง พบว่าปลาชนิดนี้มีอัตราการเจริญเติบโตดีมากในภูมิอากาศของประเทศไทย ซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงเกือบตลอดปี อีกทั้งรสชาติของปลาชนิดนี้ก็เป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภคในประเทศเป็นอย่างดี (กิตติพันธ์ และคณะ, 2537)

ปัจจุบันปัญหาน้ำเน่าเสียจากแหล่งเกษตรกรรมส่วนหนึ่งมาจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงปลาแบบหนาแน่น (intensive culture) เพื่อลดต้นทุนการผลิต ทำให้น้ำจากการเพาะเลี้ยงปลาของเสียจากการขับถ่ายของปลาและอาหารที่เหลือในปริมาณมาก (Raul, 2003) ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ (organic matter) และแร่ธาตุ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุอื่นๆ (Ghaly, A.E. et al., 2005) เมื่อมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำจึงมีการปล่อยของเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์จำนวนมากลงสู่แหล่งน้ำ ส่งผลให้เกิดการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายขนาดเล็กจำนวนมาก (Joyner, 1992) ซึ่งสาหร่ายเหล่านี้มีช่วงชีวิตสั้น เมื่อเกิดการตายพร้อมๆ กัน ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ส่งผลเสียต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำเน่าเสียแบบเฉียบพลัน จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนานำระบบการหมุนเวียนน้ำมาใช้ในการเลี้ยงปลามากขึ้น ซึ่งระบบนี้จะช่วยลดปริมาณการปล่อยน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงปลา อีกทั้งยังเป็นการประหยัดน้ำเพราะน้ำจากการเลี้ยงปลาจะผ่านกระบวนการบำบัดโดยวิธีการต่างๆ และนำน้ำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง (water reuse or recycle system) ในระบบการหมุนเวียนน้ำจะมีการสะสมแร่ธาตุต่างๆ โดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจน พวกอามโมเนีย (ในรูปไอออนในแอมโมเนีย และอัลไอออนในแอมโมเนีย) ไนเตรต (Van Rijn, J. et al., 2006) และฟอสฟอรัส (Rafiee and Saad, 2005) เป็นต้น

การเลี้ยงปลา ร่วมกับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ เกิดจากการทำงานร่วมกันของระบบการเลี้ยงปลาและการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในระบบหมุนเวียนน้ำ ซึ่งการทำงานของทั้ง 2 ระบบจะมีความสัมพันธ์กัน โดยการเลี้ยงปลาจะมีการสะสมของแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช และระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์เป็นระบบที่พืชสามารถนำธาตุอาหารจากอาหารสัตว์ไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ดังนั้นจากแนวคิดการนำน้ำจากการเพาะเลี้ยงปลามาใช้ในการปลูกพืช นอกจากจะเป็นประโยชน์จากธาตุอาหารที่สะสมอยู่แล้วยังเป็นการบำบัดน้ำเพื่อให้มีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้นอีกด้วย (Rakocy, J.E. et al.,) อีกทั้งเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ และเป็นการเพิ่มรายได้แก่ผู้เลี้ยงปลา โดยได้รายได้เสริมจากการปลูกพืชด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาชนิดของพืชที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลาควบวงจรระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์
2. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของปลาควบวงจรที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์
3. เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาควบวงจรระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มในการศึกษาการเลี้ยงลูกปลากดหลวงของเกษตรกร
2. เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงลูกปลากดหลวง และเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรที่มีทางเลือกในการสร้างอาชีพเกษตรกรรมตัวใหม่
3. เพื่อเป็นองค์ความรู้ในการทำวิจัยต่อไป
4. เป็นแนวทางที่จะพัฒนาผลผลิตทางการประมงเพื่อเป็นอาหารปลอดภัยและสร้างมูลค่าเพิ่มต่อไปในอนาคต

การเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการ
ปลูกพืชไฮโดรโพนิกส์เพื่อสร้างอาหารปลอดภัย
และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ปีที่ 2)

*Catfish (Ictalurus punctatus) Culture in an Integrated Cage-Cum-Pond with
Hydroponics Systems for Food Safety and
Minimizing Environmental impacts (2)*

สุฤทธิ สมบูรณ์ชัย และ ประจวบ ฉายบุ

¹Surit Somboonchai and ¹Prachaub Chaibu

¹คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

การศึกษากการเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ 4 ชนิด คือ ผักกาดหอมห่อ, ผักกาดกวางตุ้ง, ผักสลัดคอส และผักบุ้งจีนตามลำดับ ทำการเลี้ยงปลากดหลวงในบ่อซีเมนต์ขนาด 3 ลบม.² ปล่อยปลาที่อัตราความหนาแน่น 200 ตัวต่อบ่อ และปลูกพืชจำนวน 30 ต้นต่อบ่อ น้ำหนักปลาเริ่มต้นเฉลี่ยในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 2.85 ± 0.06 , 2.80 ± 0.06 , 2.90 ± 0.04 และ 2.75 ± 0.04 กรัมต่อตัว และความสูงพืชเริ่มต้นเฉลี่ยในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 6.88 ± 0.04 , 5.83 ± 0.02 , 6.26 ± 0.03 และ 6.80 ± 0.03 เซนติเมตร ตามลำดับ ระยะเวลาการทดลอง 90 วัน ผลจากการศึกษาการเจริญเติบโตของปลากดหลวง พบว่า น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอด และผลผลิตรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 4 ชนิด พบว่า ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความสูงที่เพิ่มขึ้น อัตราการรอด และผลผลิตรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และคุณภาพน้ำในบ่อทดลอง พบว่า อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และฟอสฟอรัส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน บีโอดี คลอโรฟิลล์-เอ และการนำไฟฟ้าจำเพาะ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังนั้นจากผลการทดลองสรุปได้ว่า ปลากดหลวงเลี้ยงร่วมกับการปลูกผักบุ้งจีนมีการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อพิจารณาถึงข้อมูลการเจริญเติบโตของปลาและพืช

คำสำคัญ: ปลากดหลวง ผักกาดหอมห่อ ผักกาดกวางตุ้ง ผักสลัดคอส ผักบุ้งจีน ระบบหมุนเวียนน้ำ ระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิกส์

การตรวจเอกสาร

ปลากดหลวง (Channel catfish)

ปลากดหลวงหรือปลากดอเมริกัน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ictalurus punctatus* เป็นปลาน้ำจืดชนิดเดียวที่นิยมเลี้ยงกันอย่างกว้างขวางในประเทศสหรัฐอเมริกา จากการคัดเลือกพันธุ์มาตลอดระยะเวลา 30 ปี ทำให้ได้พันธุ์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตเร็ว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดี รวมทั้งเนื้อปลามีรสชาติดี ทำให้ปลาชนิดนี้เป็นที่นิยมเลี้ยงจนกลายเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ในมลรัฐทางภาคใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะที่มลรัฐมิสซิสซิปปี ซึ่งสามารถผลิตปลากดหลวงได้มากที่สุดในประเทศสหรัฐอเมริกา (กรมประมง, 2552) ปลากดหลวงได้เข้ามาในประเทศไทยเป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2533 โดยกรมประมงและสถาบันพัฒนาแห่งเอเชีย (AIT) ปลากดหลวงเป็นปลาหนึ่งเมื่อเทียบกับปลาไทยแล้วจะมีลักษณะคล้ายปลากดแก้วหรือปลากดก้าง แต่หัวปลากดหลวงจะเล็กกว่าปลากดไทย เนื้อปลามีสีขาวใส รสหวาน สามารถนำมาปรุงอาหารไทยได้ดีทุกชนิด ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดเชียงใหม่ได้รับพันธุ์ปลาและได้นำมาเลี้ยงจนสามารถเพาะพันธุ์จนได้ลูกที่เกิดในเมืองไทย ซึ่งทางศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดเชียงใหม่ได้ทดลองเลี้ยงในเขตภาคเหนือโดยใช้อาหารปลาสำเร็จรูปชนิดเม็ดเปอร์เซ็นต์โปรตีน 30% (อาหารปลาคูเล็ก) พบว่าลูกปลาเจริญเติบโตได้ดี อัตราการรอดสูง และมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดี (โกมุท, 2552) ปลากดหลวงมีการจัดลำดับทางอนุกรมวิธานดังนี้

Kingdom : Animalia

Phylum : Chordata

Class : Osteichthyes

Order : Cypriniformes

Family : Ictaluridae

Genus : *Ictalurus*

Species : *punctatus*

ลักษณะทั่วไป

ปลากดหลวงจัดอยู่ในพวกปลาหนังมีลักษณะคล้ายปลากดก้าง คือ ลำตัวไม่มีเกล็ดปกคลุม คูเรียบลื่นเป็นมัน ลำตัวมีขนาดโตได้ถึง 1.10 เมตร ลำตัวยาวเรียว หัวกว้างและแบนราบ มีหนวด 4 คู่ คู่แรกตั้งอยู่ด้านหลังรูจมูก คู่ที่สองมีความยาวที่สุดอยู่บนริมฝีปากบน และอีก 2 คู่อยู่ใต้คาง ตาโตอยู่ก่อนไปทางด้านข้างของส่วนหัว ลำตัวด้านหลังมีตั้งแต่สีน้ำตาลอ่อนไปจนถึงสีเขียวอมเทาเข้ม ใต้ท้องมีสีออกน้ำตาลอ่อนจนถึงสีขาว บางครั้งพบมีจุดสีดำเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วสีข้าง ครีบกมีลักษณะใสและมักมีขอบสีดำ ครีบหลังสั้นและมนตั้งอยู่ก่อนไปทางด้านหัว ครีบหลังและครีบกมีเงี่ยงแหลม ครีบกันยาว

และกว้าง ครีบหางเว้าลึกเป็นสองแฉก ปลาอายุน้อยมีจุดบนตัวชัดเจนจุดนี้จะค่อยๆ จางหายไปเมื่อมีขนาดโตขึ้น (โกมุท, 2552)

อาหารและการให้อาหาร

ปลาคดหลวงกินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์มีนิสัยชอบหาอาหารกินตอนพลบค่ำ โดยปกติจะอาศัยอยู่พื้นบ่อเพราะเป็นปลาที่หากินตามพื้น บริเวณที่ให้อาหารในแต่ละครั้งควรให้อาหารในทีเดียวกัน และควรให้อาหารเป็นเวลาเพื่อเป็นการฝึกให้ปลารู้เวลาและกินอาหารเป็นที่ ปริมาณการให้อาหารควรให้อาหาร 5%ของน้ำหนักตัวต่อวัน (โกมุท, 2552)

การเพาะและขยายพันธุ์ปลาคดหลวง

ปลาคดหลวงที่ใช้เป็นพ่อแม่พันธุ์ควรมีอายุประมาณ 20 เดือนขึ้นไป น้ำหนักระหว่าง 2.2-3.8 กิโลกรัม เพาะพันธุ์ในบ่อดินขนาด 120 ตารางเมตร อุณหภูมิประมาณ 18-21 องศาเซลเซียส ปล่อมพ่อแม่พันธุ์คอกละ 10 คู่ ตรวจเช็คไข่ในกล่องสำหรับวางไข่ทุก 3 วัน แม่ปลาจะวางไข่ได้ 50% ไข่ปลาจะมีลักษณะเป็นไข่ติด สีของไข่จะเริ่มเข้มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อวางไข่วันแรกไข่ปลาจะสีเหลืองอ่อนเริ่มเข้มจนเป็นสีน้ำตาลแดงก่อนฟักเป็นตัว ขนาดของไข่ 3.3 มิลลิเมตร ไข่ที่เก็บได้จากบ่อเพาะนำไปฟักในรางฟักไข่ปลา ใช้เวลาฟักไข่ 9 วัน ที่อุณหภูมิ 18-21 องศาเซลเซียส ไข่ฟักเป็นลูกปลาประมาณ 2-3 วัน ลูกปลาที่ฟักใหม่จะมีสีชมพู จะมีถุงไข่ใหญ่สีเหลือง ระยะแรกควรอนุบาลด้วยไรแดง ลูกปลาจะกินอาหารเมื่ออายุ 6 วัน เริ่มให้อาหารเมื่อลูกปลาเริ่มว่ายน้ำขึ้นผิวน้ำ โดยให้อาหารสำเร็จรูป ในระยะ 2 สัปดาห์แรกให้อาหารทุก 2 ชั่วโมง จึงเปลี่ยนอาหารเม็ดเล็ก 40% โปรตีน อัตรา 10-15% ลูกปลาอายุ 1 เดือน สามารถนำไปเลี้ยงในบ่อดินได้ (กรมประมง, 2552)

อัตราการปล่อยปลา บ่ออนุบาลลูกปลาควรปล่อยลูกปลาตัวอายุ 7 วัน ในอัตรา 50,000-80,000 ตัวต่อไร่ เลี้ยงในบ่ออนุบาล 3 เดือน จะได้ลูกปลาขนาด 5 นิ้ว แล้วย้ายไปเลี้ยงในบ่อเลี้ยงต่อไป สำหรับในบ่อเลี้ยงจะปล่อยลูกปลาขนาด 5 นิ้ว ในอัตรา 1,000 ตัวต่อไร่ ในอัตรานี้สามารถเลี้ยงได้จนถึงปลาขนาด 800-1,000 กรัม หากต้องการปล่อยให้หนาแน่นขึ้น ควรเพิ่มเครื่องเป่าลมหรือเครื่องตีน้ำในบ่อ สำหรับเครื่องเป่าลมขนาด 1.5 แรงม้า จะสามารถใช้ในบ่อขนาด 1 ไร่ ได้ 3 บ่อ เพื่อรักษาระดับออกซิเจนในน้ำให้เพียงพอตลอดเวลาเลี้ยงปลา

การให้อาหาร วันที่ปล่อยลูกปลายังไม่ต้องให้อาหารลูกปลาเพราะลูกปลาจะยังไม่กินอาหาร เนื่องจากอ่อนเพลียจากการลำเลียงและการเปลี่ยนแปลงสถานที่ทำให้ลูกปลายังตื่นอยู่ สำหรับปลาลูกตัวปลาจะรวมกันอยู่ที่พื้นบ่อ 2-3 สัปดาห์ จะสังเกตเห็นได้เป็นครั้งคราวบริเวณใต้หลังคารถมंगाที่เตรียมไว้ตามมุมบ่อ โดยลูกปลาจะรวมกันเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ ดังนั้นการให้อาหารในบ่ออนุบาลจึงต้องเป็นอาหารชนิดจม ให้ในปริมาณที่เพียงพอวันละ 4 ครั้ง ปริมาณอาหารที่ให้จะเปลี่ยนแปลงทุกสัปดาห์ตามขนาดของปลาที่ใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิลดลงในฤดูหนาว ปลาจะกินอาหารน้อยลง

เช่นเดียวกับในฤดูร้อนที่มีอากาศร้อนจัดปลาที่จะกินอาหารน้อยลงเช่นกัน ดังนั้นผู้เลี้ยงปลาต้องคอยระมัดระวังในระหว่างการให้อาหารหากมีอาหารเหลือจะต้องรีบตักออกในวันต่อมาจะต้องลดปริมาณอาหารให้น้อยลงต้องให้อาหารตามปริมาณที่ปลาต้องการ โดยสังเกตเมื่อปลาหยุดกินอาหารจะว่ายลงพื้นก้นบ่อก็หยุดให้อาหาร เพราะปลากดหลวงจะอาศัยอยู่พื้นบ่อเพราะเป็นปลาที่หากินตามพื้น เมื่อฝึกให้ขึ้นมากินอาหารที่ลอยผิวน้ำปลาจะว่ายขึ้นมากินอาหาร จึงเป็นโอกาสที่ดีของเกษตรกรจะได้เห็นขนาดและสภาพของปลาว่ามีขนาดเท่าใด มีบาดแผลตามลำตัวที่เกิดจากการเป็นโรคหรือไม่ จะได้แก้ไขปัญหาเรื่องโรคได้ทันทั่วทั้ง

อัตราการผลิตปลาปลากดหลวงขนาด 1 นิ้ว จำนวน 1,000 ตัว ที่เลี้ยงในบ่อดินขนาด 1 ไร่ พบว่า โดยทั่วไปปลากดหลวงเพศผู้จะโตเร็วกว่าปลากดหลวงเพศเมีย ใช้เวลาเลี้ยง 6 เดือน จะได้ลูกปลาน้ำหนักเฉลี่ย 766 กรัม ปลากดหลวงเพศผู้จะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 5.63 กรัมต่อวัน ปลากดหลวงเพศเมียจะมีน้ำหนักเพิ่ม 4.83 กรัมต่อวัน โดยมีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเฉลี่ยตลอดการเลี้ยง 1.5 หมายความว่า เมื่อให้อาหารที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 30 % (อาหารปลาลูกเล็ก) จำนวน 1.5 กิโลกรัม จะสามารถเปลี่ยนเป็นเนื้อปลาได้ประมาณ 1 กิโลกรัม (กรมประมง, 2552)

อัตราการรอด ปลากดหลวงเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว และไม่กินกันเอง ดังนั้นอัตราการรอดตายจึงพบว่า มีอัตราการรอดตายเฉลี่ยสูงประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียระหว่างการเลี้ยง พบว่า ปลากดหลวงมีศัตรูเพียงชนิดเดียว คือ “งูกินปลา” ที่สร้างความเสียหายให้แก่เกษตรกรผู้เลี้ยง (กรมประมง, 2552) นอกจากนี้ข้อมูลจาก กรมประมง (2552) พบว่าข้อควรระวังในการเลี้ยงปลากดหลวง คือ ต้องรักษาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำให้เพียงพอกับที่ปลาต้องการ โดยการสังเกตง่ายๆ คือ ในเวลาเช้ามืดก่อนพระอาทิตย์ขึ้น ผู้เลี้ยงจะต้องสังเกตว่ามีปลาขึ้นมาว่ายลอยหัวบนผิวน้ำหรือไม่ หากพบปลาลอยหัวแสดงว่าปลาขาดอากาศหายใจในน้ำต้องขึ้นมาหายใจที่ผิวน้ำ ผู้เลี้ยงจะต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำออกประมาณครึ่งหนึ่งแล้วเติมน้ำใหม่ที่สะอาดเข้าให้เต็มบ่อ หากวันต่อมาอีกวันหนึ่งยังลอยหัวอีกแสดงว่าปล่อยปลาแน่นบ่อเกินไป ต้องแบ่งไปเลี้ยงในบ่ออื่นให้เบาลง และปลากดหลวงเป็นปลาที่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ น้ำไม่สูงมาก ดังนั้น ในช่วงฤดูร้อนที่อากาศร้อนจัดควรจะเปลี่ยนเวลาให้อาหารที่เคยให้ในตอนบ่ายที่อากาศร้อนจัด เป็นการให้ในช่วงเย็นที่ผิวน้ำน้ำไม่ร้อนจนเกินไป เพื่อป้องกันไม่ให้ปลาที่อาศัยอยู่พื้นบ่อขึ้นมากินอาหารผิวน้ำที่อากาศร้อนเกินไป ทำให้ปลา กินอาหารได้น้อยลง

พืชที่ใช้ในการศึกษา

ผักกาดหอมหัว (Head Lettuce)

ผักกาดหอมหัวมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* L. เป็นพืชฤดูเดียวจัดอยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae) ประกอบด้วยพืช 800 สกุล จำนวนกว่า 20,000 ชนิด ผักกาดหอมหัวมีการจัดลำดับทางอนุกรมวิธานดังนี้

Kingdom : Plantae

Division : Magnoliophyta

Class : Magnoliopsida

Order : Asterales

Family : Asteraceae

Genus : *Lactuca*

Species : *L. sativus*

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก ผักกาดหอมหัวมีรากแก้วที่แข็งแรง อวบอ้วน และเจริญอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อปลูกในดินร่วนปนทรายที่มีความชื้นเพียงพอ รากแก้วสามารถหยั่งลึกลงไปใต้ดินได้ถึง 60 เซนติเมตร หรือมากกว่าแต่รากแก้วจะเสียหายในขณะที่ย้ายปลูก รากแขนงและรากฝอยจะแผ่กระจายอยู่ใต้ผิวดินประมาณ 30 เซนติเมตรโดยปริมาณของรากจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มหนาแน่น ไม่ค่อยแผ่กว้างออกไปมากนักและปริมาณจะลดลงตามระดับความลึกของดิน ทำให้การดูดซับธาตุอาหารพืชส่วนมากเกิดบริเวณดินบนใกล้ชั้นผิวดิน (Jackson, 1995)

ลำต้น ลำต้นของผักกาดหอมหัวมีลักษณะตั้ง ขอบสัน แต่ละข้อจะเป็นที่เกิดของใบ ลำต้นจะมีลักษณะอวบอ้วน ถ้าปลูกในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์มากๆ จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ถึง 2 นิ้ว และเห็นได้ชัดเจนในระยะแทงช่อดอก

ใบ ใบแตกออกมาจากลำต้นโดยรอบ สีใบมีตั้งแต่เขียวอ่อน เขียวปนเหลือง จนถึงสีเขียวแก่ บางพันธุ์มีสีแดงหรือน้ำตาลปนอยู่ ทำให้มีสีแดง บรอนซ์ หรือน้ำตาลปนเขียว พันธุ์ที่ห่อเป็นหัวจะมีใบหนา เนื้อใบอ่อนนุ่ม ใบจะห่อหัวอัดกันแน่นคล้ายกะหล่ำปลี ใบที่ห่ออยู่ข้างในจะเป็นมัน บางชนิดมีใบม่วงอปรามีเส้นใบเห็นได้ชัด ขอบใบมีลักษณะเป็นหยัก ขนาดและรูปร่างของใบผักกาดหอมจะแตกต่างกันตามชนิด

ดอกและช่อดอก ดอกผักกาดหอมหัวมีลักษณะเป็นช่อ (panicle) ประกอบด้วยกลุ่มของดอกที่อยู่เป็นกระจุกตรงบนยอด แต่ละกระจุกประกอบด้วยดอกย่อย 15-25 ดอกหรือมากกว่า ก้านช่อดอกจะยาวประมาณ 60 เซนติเมตร ช่อดอกแรกจะเกิดที่ยอดอ่อน จากนั้นจะเกิดช่อดอกข้างตรงมุมใบขึ้นภายหลัง ช่อ

ดอกที่เกิดจากส่วนยอดโดยตรงจะมีอายุมากที่สุด ส่วนช่อดอกอื่น จะมีอายุรองลงมา ดอกเป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลีบดอกสีเหลือง ตรงโคนเชื่อมติดกัน รังไข่มี 1 ห้อง เกสรตัวเมียมี 1 อัน มีลักษณะเป็น 2 แฉก เกสรตัวผู้ 5 อัน รวมกันเป็นช่อดอกยาวห่อหุ้มก้านเกสรตัวเมียและยอดเกสรตัวเมียไว้

เมล็ด เมล็ดฝักกาดหอมเป็นชนิดเมล็ดเดี่ยว (achene) ซึ่งเจริญมาจากรังไข่อันเดียว เมล็ดจะมีเปลือกหุ้มเมล็ดบาง เปลือกเมล็ดจะไม่แตกเมื่อเมล็ดแห้ง เมล็ดของฝักกาดหอมห่อหุ้มลักษณะแบนยาว หัวท้ายแหลมเป็นรูปหอก มีเส้นเล็ก ๆ ลาดยาวไปตามด้านยาวของเมล็ดที่ผิวเปลือกหุ้มเมล็ด เมล็ดมีสีเทาปนครีม ความยาวของเมล็ดประมาณ 4 มิลลิเมตร และกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของฝักกาดหอมห่อ

อุณหภูมิ ฝักกาดหอมห่อเจริญเติบโตได้ดีในดินในสภาพอากาศเย็น ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ฝักกาดหอมมีรสขม เกิดการแทงช่อดอกเร็ว (FAO, 1961; Knott and Deanon, 1970) ในสภาพอุณหภูมิต่ำการเจริญเติบโตของฝักกาดหอมจะช้าลงกว่าในช่วงที่อุณหภูมิสูง (Bakker, 1980) ซึ่งนับว่าอุณหภูมิมีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโต อุณหภูมิที่เหมาะสมในการห่อหัวของฝักกาดหอมควรเป็นช่วงอุณหภูมิในช่วง 15-20 องศาเซลเซียส (Knott, 1950)

ช่วงแสง แสงมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตมาก พื้นที่ปลูกฝักกาดหอมห่อควรได้รับแสงเต็มที่ตลอดวัน ถ้าฝักกาดหอมห่อได้รับช่วงแสงต่อวันยาว และมีความเข้มของแสงต่ำ จะทำให้พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น (Kalloo, 1981) ระดับแสงเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 18-31 จะทำให้ความยาวของลำต้น จำนวนข้อเพิ่มขึ้น (Krizek and Ormond, 1980) ช่วงแสงเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งที่มีอิทธิพลต่อการออกดอกของฝักกาดหอมห่อ การเปลี่ยนแปลงของตาดอก (Iwana and Motai, 1954) เช่นเดียวกัน ในฝักกาดหอมพันธุ์ Butterhead ช่วงแสงมีบทบาทต่อการกำเนิดดอก แต่มีผลเล็กน้อยในฝักกาดหอมประเภทใบ (Rappaport and Wittwer, 1956a) และยังพบว่าอิทธิพลของช่วงแสงมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นต่อการพัฒนาของก้านดอก (Knott and Deanon, 1970)

ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ถ้าในช่วงปลูกฝักกาดหอมห่อมีความชื้นสัมพัทธ์สูงตั้งแต่ร้อยละ 85 ขึ้นไปจะทำให้ฝักกาดหอมห่อมีการเจริญเติบโตดีกว่าการปลูกในช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ หากได้รับอุณหภูมิเพียง 20 องศาเซลเซียส และได้รับช่วงแสง 16 ชั่วโมงต่อวันแล้ว จะทำให้จำนวนใบเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 15 (Tibbitts and Bottenberg, 1976)

ผักกาดกวางตุ้ง (Pak Choy (Chinese white cabbage))

ผักกาดกวางตุ้ง (*Brassica rapa* L. cv. Group Caisin) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชีย ผักกวางตุ้งเป็นพืชล้มลุก แบ่งออกเป็นหลายสายพันธุ์ ที่นิยมปลูกมากได้แก่ ผักกาดขาวกวางตุ้ง ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ และผักกวางตุ้งดอก ผักกวางตุ้งเป็นผักที่ปลูกง่าย เจริญเติบโตเร็ว ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ระยะเวลาตั้งแต่ปลูกถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 35-45 วัน ปลูกได้ในดินทุกชนิดที่มีความสมบูรณ์ มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี มีค่าความเป็นกรดค้างอยู่ระหว่าง 6.0-6.5 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 20-25 องศาเซลเซียส (สุนทร และคณะ, 2547)

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของผักกวางตุ้งหนัก 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการ	
พลังงาน (แคลอรี)	17.00
ไขมัน (กรัม)	0.20
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	3.10
โปรตีน (กรัม)	0.70
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	102.00
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	46.00
เหล็ก (มิลลิกรัม)	2.60
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.80
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.7
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.13
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	53.00

ที่มา: ระพีพรรณ (2544)

ผักบุ้งจีน (Morning glory)

ผักบุ้งจีนจัดอยู่ในตระกูล Convolvulaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea aquatica* เป็นผักพื้นเมืองของทวีปเอเชียเขตร้อน แอฟริกา และออสเตรเลีย แล้วกระจายไปยังเขตร้อนต่างๆ ของโลก ผักบุ้งจีนเป็นผักที่โตเร็ว มีใบสีเขียว ก้านสีเหลืองหรือขาว ก้านดอกและดอกสีขาว สามารถปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ทุกฤดูกาล อายุการเก็บเกี่ยวสั้น จึงนิยมปลูกเป็นการค้าอย่างแพร่หลายทั้งการปลูกเพื่อบริโภคสดในส่วนของใบและลำต้น และการผลิตเป็นเมล็ดพันธุ์

ผักบุ้งจีน เป็นผักที่นิยมรับประทานกันมากเนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูงประกอบไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกายโดยเฉพาะวิตามินเอ ซึ่งเชื่อว่าช่วยบำรุงสายตา มีปริมาณสูงถึง

9,550 หน่วยสากล ในส่วนที่รับประทานสด 100 กรัม หรือ 6,750 หน่วยสากล ในส่วนที่รับประทานสุก 100 กรัม นอกจากนี้ยังมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินซีเป็นองค์ประกอบสำคัญด้วย (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 คุณค่าทางอาหารของผักบุงจีนส่วนที่กินได้ 100 กรัม

คุณค่าทางอาหาร	
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	23.00*
โปรตีน (กรัม)	2.70*
ไขมัน (กรัม)	0.30*
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	2.40*
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	51.00*
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	31.00*
เหล็ก (มิลลิกรัม)	3.30*
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.02*
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.14*
ไนอาซีน (มิลลิกรัม)	0.00*
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	9.00*
เบต้า-แคโรทีน (RE)	420.32*
ใยอาหาร (กรัม)	2.40*

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย, 2535
มหาวิทยาลัยมหิดล และมูลนิธิโตโยต้าประเทศไทย, 2540, น. 196.

* กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, ตารางคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม, 2530.

** วิเคราะห์โดยสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

RE ไมโครกรัมเทียบหน่วยเรตินัล

- ไม่มีการวิเคราะห์

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ราก ผักบุงจีนมีรากเป็นแบบรากแก้ว มีรากแขนงแตกออกทางด้านข้างของรากแก้ว และยังสามารถแตกรากฝอยออกมาจากข้อของลำต้นได้ด้วย โดยมีกึ่งกลางตามข้อที่อยู่แถวๆ โกลนเถา

ลำต้น ผักบุงจีนเป็นไม้ล้มลุก ในระยะแรกของการเจริญเติบโตจะมีลำต้นตั้งตรง ในระยะต่อไปจะเลื้อยทอดยอดไปตามพื้นดินหรือลำน้ำ ลำต้นมีสีเขียว มีข้อและปล้องข้างในกลวง รากจะเกิดที่ทุกข้อที่สัมผัสกับพื้นดินหรือน้ำ ที่ข้อมักมีตาแตกออกมาทั้งตาใบและตาดอก โดยตาใบจะอยู่ด้านนอก ส่วนตาดอกจะอยู่ด้านใน

ใบ เป็นใบเดี่ยว รูปคล้ายหอก โคนใบกว้างค่อยๆ เรียวเล็กไปตอนปลาย ปลายใบแหลม ที่โคนใบเป็นรูปหัวใจ ขอบใบเรียบหรือเป็นคลื่น ใบมีความยาวประมาณ 7-15 เซนติเมตร ก้านใบยาว 3-8 เซนติเมตร

ดอกและช่อดอก ดอกเป็นดอกสมบูรณ์ มีลักษณะเป็นช่อ มีดอกตรงกลาง 1 ดอก และดอกด้านข้างอีก 2 ดอก โดยดอกตรงกลางจะเจริญก่อน แต่ละดอกประกอบด้วยกลีบเลี้ยงสีเขียว 5 อัน กลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นรูปกรวย ด้านนอกมีสีขาว ด้านในมีสีม่วง ในช่วงฤดูวันสั้น (วันละ 10-12 ชั่วโมง) จะออกดอกมีฝักและติดเมล็ด ในช่วงฤดูวันยาวจะเจริญเติบโตทางลำต้น ฝักบ่งจิ้นมีการผสมเกสรเป็นแบบผสมตัวเอง และมีการผสมข้ามดอกบ้าง เนื่องจากลมและแมลง ดอกฝักบ่งจิ้นจะเริ่มบานในเวลาเช้า ละอองเกสรตัวผู้และยอดเกสรตัวเมียพร้อมที่จะผสมเวลา 10.00-15.00 น. ช่วงเวลาของการผสมพันธุ์นานประมาณ 3-4 วัน และหลังจากเกิดกระบวนการผสมเกสรจนถึงเมล็ดแก่ใช้เวลา 40-50 วัน

ผล เป็นผลเดี่ยวรูปทรงค่อนข้างกลม มีขนาดใหญ่ที่สุดอายุประมาณ 30 วัน หลังดอกบานพบว่า มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.42 ซม. หลังจากนั้นผลจะมีขนาดเล็กลง ลักษณะผิวภายนอกหยาบขรุขระ ไม่แตกเมื่อแห้ง สีของผลเมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลเข้ม มีเมล็ด 4-5 เมล็ดต่อ 1 ผล

เมล็ด มีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยมฐานมน สีน้ำตาล สีขนาดเล็ก ความกว้างโดยเฉลี่ย 0.4 เซนติเมตร ยาว 0.5 เซนติเมตร ฝักบ่งจิ้นเป็นพืชที่มีอัตราการพักตัวสูง โดยจะพักตัวในลักษณะของเมล็ดแข็ง (hard seed) หรือที่เรียกว่าเมล็ดหิน จากการศึกษาพบว่าเมล็ดที่แช่ขี้เถ้าจะมีเปอร์เซ็นต์เมล็ดแข็งสูงกว่า (สุนทร, 2540; ศรีนันท์, 2549; กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

พันธุ์ฝักบ่งจิ้น

พันธุ์ฝักบ่งจิ้นที่ปลูกในประเทศไทยในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นพันธุ์การค้าที่ผลิตออกจำหน่ายโดยบริษัทเอกชน ทั้งที่ผลิตเมล็ดพันธุ์ในประเทศไทยและนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น ได้หวัน เป็นต้น ซึ่งมีการตั้งชื่อพันธุ์ตามบริษัทผู้แทนจำหน่าย เช่น พันธุ์ตราครุฑ พันธุ์ตราเครื่องบิน พันธุ์ตราปลา พันธุ์ตราช้างคู่ และพันธุ์ตราสิงโต เป็นต้น พันธุ์จากบางบริษัทยังมีลักษณะแปรปรวนทางพันธุกรรมอยู่มาก บางบริษัทส่งเมล็ดพันธุ์โดยตรงจากประเทศไต้หวัน ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของฝักบ่งจิ้น

ฝักบ่งจิ้นสามารถปลูกได้ทั้งบนบกและในน้ำ และสามารถปลูกได้ในดินแทบทุกชนิดแต่จะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในดินร่วนปนดินทราย ชอบดินที่ชื้นแฉะ และต้องการความชื้นในดินสูงมาก โดยเฉพาะเมื่อมีน้ำมากฝักบ่งจิ้นจะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว แต่ถ้าปริมาณน้ำไม่เพียงพอจะชะงักการเจริญเติบโตทำให้ลำต้นแข็งแรงด่าง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ในช่วงที่สูงกว่า 25 องศา

เซลเซียส ต้องการแสงแดดเต็มที่ ซึ่งในประเทศไทยสามารถปลูกผักบั้งจีนได้ตลอดทั้งปี (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

ลักษณะการเจริญเติบโต

ผักบั้งจีนใช้เวลาในการงอกเพียง 48 ชั่วโมง ระยะแรกของการเจริญเติบโตจะให้ลำต้นตั้งตรง หลังจากงอกได้ 5-7 วัน จะมีใบเลี้ยงโผล่ออกมา 2 ใบ มีลักษณะปลายใบเป็นแฉก ไม่เหมือนใบจริง เมื่อต้นโตในระยะสองสัปดาห์แรกจะมีการเจริญเติบโตทางลำต้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งอายุประมาณ 30-45 วัน การเจริญเติบโตจะเปลี่ยนไปเป็นการทอดยอดและแตกกอ (กรมส่งเสริมการเกษตร, ม.ป.ป.)

ผักสลัดคอส (Cos Lettuce)

ผักสลัดคอสมีชื่อสามัญว่า Cos Lettuce เป็นพืชในวงศ์ Asteraceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* Var. *longifolia* ผักสลัดคอสเป็นพืชล้มลุก ลำต้นเป็นกอ ลักษณะใบยาวรี ช้อนกันเป็นช่อ ใบบางกลม การปลูกดูแลรักษาล้ำยผักกาดหอมห่อ แต่จะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปบ้างตามสายพันธุ์ นิยมปลูกเฉพาะ ในฤดูหนาว และฤดูฝน โดยเฉพาะตอนบนของภาคเหนือ มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 30-50 วันหลังจากเพาะเมล็ด

การเลี้ยงปลาแบบปิดหรือระบบหมุนเวียนน้ำ

Landau (1992) ได้ให้ความหมายของระบบปิดไว้ว่าเป็นระบบที่ไม่มีการเติมน้ำใหม่เข้าในระบบ โดย 95-100 เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ น้ำในส่วนที่หายไปนั้นเนื่องมาจากการระเหยและการเดินระบบซึ่งอาจมีการเติมน้ำเข้ามาทดแทนในส่วนนี้ได้ น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลาจะถูกกรองเอาเศษอาหารที่เหลือจากการกินของปลา สิ่งขับถ่ายของปลาและของเสียอื่นๆ ออกจากน้ำ แล้วจึงนำกลับมาใช้ใหม่

ระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์

สุภาพร (2544) กล่าวว่า การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์เป็นลักษณะของการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินแยกเป็น 2 ประเภทคือ การปลูกพืชในน้ำยาเรียกว่า ไฮโดรโปนิคส์ และการปลูกผักในวัสดุปลูกชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่ดินเรียกว่า ซอยเลส การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินเป็นการปลูกพืชโดยไม่ให้รากอยู่ในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดินได้แก่ การปลูกให้รากแช่อยู่ในน้ำ ปลูกให้รากอยู่ในอากาศ และปลูกให้รากอยู่ในวัสดุปลูกอื่นๆ ได้แก่ วัสดุอินทรีย์ เช่น ขุยมะพร้าว จี๊ถั่วกลบ จี๊ถั่ว วาสผสมต่างๆ และวัสดุอนินทรีย์ เช่น ทราย กรวด ฟองน้ำ โยหิน เพอไลต์ และเวอร์มิคูไลต์ เป็นต้น ซึ่งการปลูกในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดินเหล่านี้ต้องให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชอย่างพอเหมาะ และต่อเนื่องจึงจะทำให้พืชเจริญเติบโต การปลูกพืชในลักษณะนี้ถือเป็นการปลูกพืชแบบไร้ดินอีกวิธีหนึ่ง ไฮโดรโปนิคส์ เป็นการปลูกพืชไร้ดินใน

รูปแบบของการปลูกพืชให้รากพืชแช่อยู่ในน้ำ หรือสารละลายธาตุอาหารพืช การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (hydroponics) เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูกเป็นการปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหาร โดยให้รากพืชสัมผัสกับสารอาหารโดยตรง ซึ่งระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีหลายหลายระบบดังนี้

1. ระบบเอ็นเอฟที (Nutrient Film Technique, NFT) เป็นระบบที่ให้สารละลายไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบางๆ เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างมากเป็นการปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายจะไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ (โดยทั่วไปมักกำหนดให้น้ำที่ไหลผ่านมีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) สารละลายจะไหลหมุนเวียนผ่านรากตลอดเวลา ระบบเอ็นเอฟทีสามารถแบ่งได้เป็น การปลูกในราง ปลูกในร่อง ปลูกในท่อ

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

3. ระบบไดอาร์เอฟ (Dynamic Root Floating, DRF) เป็นระบบการปลูกพืชที่พัฒนามาจากระบบของ ดร.เกอร์ริก (Prof. Dr. William F. Gericke) ที่เน้นการปลูกพืชให้รากพืชแช่อยู่ในน้ำส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งสร้างรากอากาศเพื่อช่วยในการหายใจ โดยจะทำให้พืชที่ปลูกในระบบนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิของสารละลายที่สูงมากกว่าระบบอื่นๆ (อิทธิสุนทร และคณะ, 2544)

ข้อดีและข้อเสียของระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์

ข้อดี

1. วางแผนการผลิตได้แน่นอนตามความต้องการของตลาด เนื่องจากสามารถปลูกได้ทุกฤดูกาล ทั้งยังควบคุมธาตุอาหารและปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ได้ทั่วถึง ทำให้ผลผลิตที่ได้สม่ำเสมอ มีขนาดและน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน

2. สามารถปลูกพืชได้ในสภาพดินที่ไม่เหมาะสม เช่น ดินที่แห้งแล้ง ดินขาดธาตุอาหาร ดินเค็ม ดินกรด เป็นต้น หรือในพื้นที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการใช้ประโยชน์ เช่น ในทะเลทราย หรือในพื้นที่ที่เป็นหินในแถบภูเขาสูง เป็นต้น และยังสามารถปลูกในสถานที่ที่มีพื้นดินน้อยหรือชุมชนในเมืองที่ไม่มีดินสำหรับปลูกพืช

3. ควบคุมธาตุอาหารพืชได้แน่นอนกว่าการปลูกพืชในดินโดยพืชได้ธาตุอาหารในรูปแบบอินทรีย์หรืออินทรีย์ชนิดน้ำโดยตรง ดังนั้นพืชจึงสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วกว่าพืชที่ปลูกในดิน

4. ควบคุมปัญหาโรคพืชและแมลงได้ง่าย ปกติดินที่ใช้ในการเพาะปลูกอาจมีเชื้อโรค และยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของแมลงชนิดต่าง ๆ จากการที่ไม่ต้องใช้ดินในการปลูก จึงเป็นข้อได้เปรียบอย่างหนึ่ง แต่ก็สามารถหลีกเลี่ยงการใช้อย่างปราศศัตรูพืชได้ด้วยการใช้ตาข่ายป้องกันแทนจึงสามารถลดปัญหาการใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงต่าง ๆ ได้ พืชผักที่ปลูกโดยวิธีนี้จึงปลอดภัยจากสารเคมีกำจัดโรคแมลง นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์ทางอ้อมในการรักษาสภาพ แวดล้อมให้มีปริมาณสารเคมีปราบศัตรูพืชน้อยลง

5. ให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าการปลูกพืชในดิน พืชที่ปลูกสามารถเก็บเกี่ยวได้รวดเร็วและสม่ำเสมอ เช่น มะเขือเทศจะเจริญเติบโตเต็มที่ในระยะเวลา 4 เดือนนับจากช่วงของการเพาะเมล็ด และผักกาดหอมใช้เวลาในการปลูกเพียง 6-10 สัปดาห์ เป็นต้น อีกทั้งผลผลิตที่ได้ยังได้ราคาสูงกว่าการปลูกในดิน

6. ใช้พื้นที่เพาะปลูกน้อยกว่าการปลูกในดิน สามารถปลูกได้ในระยะที่ชิดกว่าและในเนื้อที่จำกัดได้

7. ลดปริมาณน้ำที่ต้องให้กับพืชลงไม่น้อยกว่า 10 เท่าต่อพื้นที่ปลูกเดียวกัน

8. ลดค่าใช้จ่ายค่าขนส่งระยะเวลาในการนำไปสู่ตลาด เนื่องจากสามารถปลูกได้ในบริเวณชุมชนใกล้โรงงานอุตสาหกรรม ศูนย์การค้า ฯลฯ

ข้อเสีย

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรกค่อนข้างสูง ทั้งในด้านอุปกรณ์และโรงเรือน ถ้าปลูกเพื่อการค้าในระยะแรกอาจจะไม่คุ้มทุน แต่ในระยะยาวจะให้ผลตอบแทนที่สูงกว่า

2. ผู้ปลูกต้องมีความรู้พื้นฐานทางด้านการจัดการด้านปุ๋ยเคมี น้ำ สรีรวิทยาของพืช รวมทั้งเทคนิคการควบคุมเครื่องมือและอุปกรณ์ได้เป็นอย่างดี ต้องมีการดูแลและบำรุงรักษาพืชที่ปลูกให้ปราศจากโรคและแมลง มิฉะนั้นจะเกิดข้อจำกัดในการบริหารจัดการการปลูกพืชไร้ดิน

3. ระบบนี้ต้องการการดูแลบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่อง จะปล่อยเหมือนเช่นที่ปลูกพืชในดินไม่ได้ เพราะหากเกิดการผิดพลาดขึ้น ผลเสียหายจะเกิดมากกว่าการปลูกพืชในดิน

4. ผู้ปลูกอาจใช้วัสดุปลูกบางชนิดที่สลายตัวยาก เมื่อเลิกใช้กลายเป็นขยะที่สร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อม (ถวัลย์, 2534)

หลักการเลือกชนิดของพืชที่เหมาะสมเพื่อปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์

การปลูกพืชในระบบการปลูกพืชไร้ดินนั้นสามารถใช้กับพืชได้เกือบทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นผัก ผลไม้ ไม้ดอก ไม้ประดับ หรือแม้กระทั่งข้าว ซึ่งในการปลูกแต่ละชนิดจะมีความยากง่ายในการปลูกและการดูแลรักษาแตกต่างกันไป การเลือกพืชเพื่อปลูกในระบบนี้จึงต้องคำนึงถึงสิ่งต่างๆ ดังนี้

1. อายุการเก็บเกี่ยว การเลือกพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยวน้อยจะเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ เนื่องจากการปลูกพืชในระบบนี้ต้องมีการลงทุนสูงและต้องมีการดูแลอย่างใกล้ชิด

2. ฤดูปลูก เนื่องจากการปลูกพืชผักในระบบนี้ต้องอาศัยปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ เพื่อช่วยในการเจริญเติบโตของพืช เช่น แสง อุณหภูมิ เป็นต้น ทำให้ในช่วงฤดูกาลซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมปริมาณผลผลิตจะลดน้อยลง ซึ่งในการปลูกพืชในระบบนี้จะสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมและปัจจัยอื่นๆ ในโรงเรือนให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชได้ตลอดทั้งปี ดังนั้นในการเลือกชนิดของพืชเพื่อนำมาปลูกในระบบการปลูกพืชไร้ดินจึงต้องคำนึงถึงฤดูกาล เช่น ในช่วงฤดูฝนจะมีผลจากการปลูกโดยวิธีดั้งเดิมออกมาเป็นคู่แข่งในตลาดน้อยกว่าในช่วงฤดูหนาว เป็นต้น

3. ราคาขายในท้องตลาด การปลูกพืชในระบบนี้จะต้องเลือกพืชที่มีราคาสูงเนื่องจากการผลิตผักในระบบนี้จะต้องลงทุนสูงและมีเทคโนโลยีต่างๆ ซึ่งต่างจากการปลูกพืชในวิธีดั้งเดิมซึ่งถ้าเลือกพืชผักที่มีขายในท้องตลาดและราคาต่ำจะทำให้ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์

กิตติ (2547) กล่าวว่า ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของการปลูกพืชระบบไฮโดรโพนิกส์ ได้แก่

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

แสง มีลักษณะเป็นอนุภาค แต่ละอนุภาคเรียกว่า โฟตอน ซึ่งให้พลังงานในระดับต่างๆ กันตามความยาวคลื่นของแสง แสงส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400-700 นาโนเมตร (nm) ซึ่งเป็นแสงที่มองด้วยตาเปล่า เมื่อแสงตกกระทบใบพืชจะถูกดูดซับไว้โดยคลอโรฟิลล์ และพืชมีความสามารถดูดซับแสงสีต่างๆ ไม่เท่ากัน เมื่อคลอโรฟิลล์ดูดซับแสงไว้จะเปลี่ยนโฟตอนไปเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างอาหารโดยเปลี่ยนจากโมเลกุล

ของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำไปเป็นคาร์โบไฮเดรต คือ แป้ง และน้ำตาล รวมทั้งปลดปล่อยออกซิเจนออกมา

ปริมาณน้ำที่พืชได้รับ การใช้น้ำของพืชเป็นผลมาจากการเปิด-ปิดของปากใบ หรือพืชต้องการน้ำเพื่อการคายน้ำและลำเลียงธาตุอาหาร พืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ฤดูกาลมีผลต่อการใช้น้ำของพืช ในสภาพอากาศร้อนและมีแสงแดดจัด พืชมีการคายน้ำมากกว่าในสภาพที่แสงน้อยและอุณหภูมิต่ำ ในการปลูกพืชไม่ใช้ดินในระบบปิดการคายน้ำของพืชจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ในสภาพที่พืชคายน้ำมาก แต่มีการใช้ธาตุอาหารน้อยสารละลายในระบบจะมีความเข้มข้นสูงขึ้น ในทางกลับกันหากในช่วงที่พืชคายน้ำน้อยแต่มีความต้องการธาตุอาหารมากทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารน้อยลง

ความชื้นในอากาศ ในสภาพโรงเรือนที่อากาศถ่ายเทไม่ดี ความชื้นภายในโรงเรือนจะสูงกว่าภายนอก ทำให้ปากใบปิดพืชคายน้ำน้อยลง การดูดใช้ธาตุอาหารและการสังเคราะห์แสงจึงลดลง และภายใต้สภาพดังกล่าวยังเหมาะสม สำหรับการเจริญและการแพร่กระจายของเชื้อสาเหตุโรคหลายชนิด ทำให้เกิดการระบาดของโรคอย่างรุนแรงโดยเฉพาะโรคทางใบ

ลมและการถ่ายเทอากาศ ในกระบวนการเจริญเติบโตของพืช พืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศใช้ในกิจกรรมการสังเคราะห์แสง เพื่อให้ได้แป้งและน้ำตาลและปลดปล่อยออกซิเจนสู่อากาศ ขณะเดียวกันยังใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจเพื่อให้ได้พลังงานและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ในช่วงเวลากลางวันพืชมีการสังเคราะห์และใช้คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าที่ปลดปล่อยออกมา อัตราความเร็วลมที่เหมาะสมทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศบริเวณต้นพืช ไม่ให้มีการสะสมของก๊าซที่ปลดปล่อยออกมา แต่หากกระแสลมแรงเกินไปทำให้เกิดความเสียหายแก่ต้นพืช หรือทำความเสียหายแก่โรงเรือนได้

ออกซิเจน พืชต้องการออกซิเจนเพื่อการหายใจให้ได้พลังงานสำหรับดึงดูด ธาตุอาหาร และน้ำในสภาพการปลูกในดินหรือปลูกในวัสดุ เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินหรือวัสดุปลูก ทำให้สามารถระบายถ่ายเทอากาศได้ รากพืชจึงมีอากาศหายใจ แต่สำหรับการปลูกใน สารละลายรากพืชแช่อยู่ในน้ำตลอดเวลา การหายใจต้องอาศัยออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อยและหมดได้รวดเร็ว ทำให้เกิดความเสียหายแก่รากพืชได้หากไม่ได้รับการเติมอากาศแก่สารละลายอย่างเพียงพอ สำหรับการเติมอากาศในสารละลายทำได้โดยการใช้ปั๊มลมเป่าอากาศเข้าในสารละลาย แต่ไม่จำเป็นสำหรับระบบที่มีการไหลหมุนเวียนสารละลายผ่านรากพืชและระบบแอโรโพนิกส์

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) โมลิบดีนัม (Mo) คลอรีน (Cl) โดย 3 ธาตุแรกพืชได้จากน้ำและอากาศ ส่วนธาตุอื่นๆ ที่เหลือพืชได้จากดิน หากเป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะต้องเตรียมให้แก่พืชในรูปสารละลายธาตุอาหาร

บทบาทของโรงเรือน ในการปลูกพืชไม่ใช้ดินปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช หากสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ เหล่านั้นให้เหมาะสมกับชนิดและพันธุ์ ทำให้พืชแสดงศักยภาพของพันธุกรรมได้อย่างสมบูรณ์ ปัจจัยของแสง อุณหภูมิ และอากาศมีความสำคัญต่อการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินโดยเฉพาะในเขตนาวซึ่งมีข้อจำกัดทั้ง 3 ปัจจัย จึงทำให้มีผู้ให้ความสนใจศึกษากันมากเพื่อหาแนวทางการส่งเสริมให้พืชได้ผลผลิตสูงขึ้น

ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

Wilson (2006) กล่าวว่า ระบบ aquaponic เกิดจากการรวมของระบบการเลี้ยงปลา (aquaculture) ร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (hydroponic) ระบบ aquaponic ปัจจุบันเป็นที่นิยมอย่างมากในต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศที่มีปริมาณน้ำใช้อย่างจำกัด หรือมีเนื้อที่ในการเพาะปลูกจำกัด เช่น อเมริกา แคนาดา ออสเตรเลีย เม็กซิโก เป็นต้น

Kehdi (2005) กล่าวว่า การเลือกชนิดปลาที่เหมาะสมกับการเลี้ยงในระบบ aquaponic ควรเลือกชนิดที่เป็นปลาน้ำจืดจะดีที่สุด โดยปลาที่นิยมเลี้ยงในระบบ คือ ปลานิล (tilapia) ปลาทาบิมา (red tilapia) ปลาดุก (catfish) ปลาคะเพียน (carp) และปลาซวงงาม เช่น ปลาทอง (goldfish) ปลาการ์ฟ (koi) ปลาซันฟิช (sunfish) ปลาเทวดา (angelfish) ปลาหางนกยูง (guppy) ปลาเตทรา (tetra) ปลากระดี่ (gourami) ปลาสอร์ด (swordfish) เป็นต้น (Nelson, 2006b)

Kehdi (2005) กล่าวว่า การเลือกชนิดพืช ควรเป็นพืชที่ต้องการปริมาณไนโตรเจนสูง สำหรับพืชที่สามารถปลูกได้ในระบบ aquaponic ได้แก่ พืชผัก เช่น มะเขือเทศ ผักโขม กรีนโอ๊ค บัตเตอร์เฮด เรดโอ๊ค ไม้ผล เช่น สตรอเบอร์รี่ แคนตาลูป แตงกวา สมุนไพร เช่น วังหางจระเข้ พริกไทย พืชผักสวนครัวต่างๆ เช่น โหระพา แมงลัก พืชอาหารสัตว์ เช่น หญ้า ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น (Anonymous, 2003 ; Nelson, 2006b)

Rakocy, J.E. *et al.* (2004) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล และปลาทาบิมา ร่วมกับการปลูกโหระพา และกระเจี๊ยบ น้ำหนักเริ่มต้นของปลานิล และปลาทาบิมาเฉลี่ยต่อตัว 79.2 กรัม และ 58.8 กรัม เลี้ยงที่ความหนาแน่น 77 และ 154 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลานิล 813.8 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.7 อัตราการรอด 98.3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเฉลี่ยของปลาทาบิมา 512.5 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.8 อัตราการรอด 89.9 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นสูงมีผลต่อการเจริญเติบโตที่ลดลง และอัตราการรอดลดลงเช่นกัน

Anonymous (2002) รายงานว่า ผลผลิตปลาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำและความหนาแน่นที่เลี้ยง ปลาจะมีการเจริญเติบโตช้า และอัตราการตายสูงถ้าเลี้ยงในความหนาแน่นที่สูง

Rakocy and Masser (1992) และ (Miao, X. *et al.* (2002) กล่าวว่า ในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ พืชสามารถใช้ธาตุอาหารจากน้ำเลี้ยงปลาได้ส่วนหนึ่ง แต่ยังไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช จึงควรมีการปรับปรุงก่อนนำไปใช้ โดยมีการเติมจุลธาตุอาหาร โดยเฉพาะเหล็ก เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้เป็นไปตามปกติ

การจัดการคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์

คุณภาพน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่สำคัญอย่างยิ่งที่ผู้เลี้ยงสัตว์น้ำควรพิจารณาเพื่อควบคุมให้เหมาะสม เพราะน้ำเป็นตัวกลางในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ การกินอาหาร การเจริญเติบโต ความแข็งแรง ความทนทานต่อการเกิดโรค ความเครียดของสัตว์น้ำ (ไมตรี, 2532) อีกทั้งคุณภาพน้ำยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และแบคทีเรียซึ่งถือว่าเป็นสิ่งสำคัญของระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์เช่นกัน ดังนั้นจึงควรควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของปลา พืช และแบคทีเรียด้วย (Anonymous, 2002)

อุณหภูมิ

อุณหภูมิของน้ำมีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ โดยปกติอุณหภูมิจะแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิอากาศ ปลาจะสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ในช่วงจำกัด โดยปกติอุณหภูมิในตัวปลาจะแตกต่างจากอุณหภูมิของน้ำเพียง 0.5-1 องศาเซลเซียส โดยเหงือกปลาจะเป็นอวัยวะที่ช่วยในการถ่ายเทและปรับระดับอุณหภูมิในร่างกาย (ประเทือง, 2534) การเลี้ยงปลาในที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากๆ จะทำให้ปลาอ่อนแอ เจริญเติบโตช้าและมีความต้านทานโรคลดลง อุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้นยังจะทำให้ออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง แต่ขณะเดียวกันขบวนการเมตาบอลิซึมจะเพิ่มสูงขึ้นทำให้ต้องการปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในน้ำก็ต้องการออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงอาจทำให้เกิดการขาดแคลนออกซิเจนซึ่งทำให้น้ำเสียได้ นอกจากนี้อุณหภูมียังมีผลในทางอ้อม เช่น อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้พืชของสารพิษประเภทต่างๆ มีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงช่วยเร่งการดูดซึมและการแพร่กระจายของพิษเข้าสู่ร่างกายได้เร็วขึ้น แต่บางครั้งสารพิษบางชนิดจะมีพิษลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิไปทำให้เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายและกำจัดพิษออกนอกร่างกายได้เร็วกว่าปกติ (ไมตรี และจารุวรรณ, 2528)

ความเป็นกรด-ด่าง

ค่าพีเอชหรือความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำจะมีผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ซึ่งระดับของพีเอชที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำจะอยู่ระหว่าง 6.5-9 (ไมตรี และจรรววรรณ, 2528; Boyd, 1982) พีเอชที่สูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้ปลาเกิดอาการเครียดและมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของปลา (มันสิน และไพพรรณ, 2539) นอกจากนี้ระดับของพีเอชยังมีผลในทางอ้อม เช่น ทำให้สารพิษชนิดต่างๆ มีการแตกตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลง และมีผลต่อการแทรกซึมของสารพิษเข้าสู่ร่างกายสัตว์น้ำ

ออกซิเจนละลายน้ำ

ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำมีความสำคัญต่อสัตว์น้ำมากเพราะจะต้องใช้ในขบวนการต่างๆ เพื่อก่อให้เกิดพลังงาน การละลายของออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับความกดดันของบรรยากาศ อุณหภูมิ น้ำ และปริมาณเกลือแร่ที่มีอยู่ในน้ำ อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลง แต่การย่อยสลายและปฏิกิริยาต่างๆ ที่ต้องใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ของปลาคือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Conroy และ Hermann, 1970; Alabaster และ Lloyd, 1980) และเมื่อมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 1-5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลาจะมีชีวิตอยู่ได้ แต่ถ้าเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องปลาจะเจริญเติบโตช้าและไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ดี และถ้ามีปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลานานปลาอาจตายเพราะขาดออกซิเจนได้ (Boyd, 1982) ปลาแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการทนออกซิเจนต่ำไม่เท่ากัน ปลาบางชนิดอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้หลายชั่วโมง แต่ปลาบางชนิดทนอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่ได้ต่ำเพียง 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่น ปลาทองจะมีระดับออกซิเจนที่ละลายน้ำที่เป็นอันตรายอยู่ในช่วง 0.1-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

แอมโมเนียมาจากการเติมปุ๋ยการขับถ่าย และจุลชีพที่อาศัยในน้ำมีสารประกอบไนโตรเจนอยู่ แอมโมเนียสามารถสลายได้โดยการดูดซึมของพืช และการออกซิไดซ์แอมโมเนียให้กลายเป็นไนเตรท (Boyd, 1982)

แอมโมเนียเป็นพิษต่อปลาทำให้ปลาไม่สามารถขับถ่ายแอมโมเนียออกจากกระแสเลือด ถ้า NH_3 ในน้ำมีปริมาณสูงเกินไปมีผลทำให้ความเป็นกรด-ด่างของเลือดสูงขึ้นและเป็นผลเสียต่อปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ และต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้นพร้อมทั้งทำอันตรายต่อเหงือกและลดความสามารถของเลือดในการขนถ่ายออกซิเจนทำให้ปลามีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อเพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตลดลง (มันสิน และไพพรรณ, 2539; Colt, 2006) โดยปริมาณแอมโมเนียในรูปของ NH_3 ที่ทำให้ปลาน้ำจืดหลายชนิดตายในเวลาอันสั้นอยู่ที่ 0.2-2 มิลลิกรัมต่อลิตร (EIFAC, 1973) และความเป็นกรดเป็นด่างที่เพิ่มขึ้นมีผลให้

แอมโมเนียเปลี่ยนรูปจาก NH_4^+ ไปอยู่ในรูป NH_3 ซึ่งมีผลสูงกว่า (Lewbart, 1998) ซึ่งปริมาณแอมโมเนียรวมเพียง 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถทำให้ปลา Channel catfish ตามหมดภายใน 24 ชั่วโมง

ไนโตรท-ไนโตรเจน

ไนโตรทที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากกระบวนการไนตริฟิเคชันซึ่งเชื้อแบคทีเรียจะออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนโตรทและไนเตรทในสภาพที่มีอากาศ และยังอาจเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันไนเตรทให้กลับไปเป็นไนโตรทโดยแบคทีเรียในสภาพที่ไม่มีอากาศได้อีกด้วย ไนโตรทจะพบมากในการเลี้ยงปลาที่มีการให้อาหารโปรตีนสูงและมีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ เมื่อเกิดการสะสมของไนโตรทจนถึงระดับหนึ่งจะมีความเป็นพิษต่อปลา ความเป็นพิษของไนโตรทจะอยู่ในรูปของไนโตรทที่ไม่แตกตัว (unionized nitrite) และรูปของกรดไนตริก (HNO_2) ซึ่งค่าพีเอชของน้ำจะมีผลต่อความเป็นพิษของไนโตรท โดยในสภาวะที่มีค่าพีเอชต่ำจะมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนสูง ไฮโดรเจนไอออนจะทำปฏิกิริยากับไนโตรทเกิดเป็นกรดไนตริก (nitrous acid) ขึ้น ซึ่งกรดไนตริกจะมีความเป็นพิษสูงกว่าไนโตรท (ประเทือง, 2534)

ไนโตรทจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเลือดและระบบเลือด โดยจะทำให้กล้ามเนื้อเรียบในเส้นเลือดฝอยคลายตัว ทำให้เกิดเลือดคั่งและทำให้เกิดเมธิโมโกลบินีเมีย (methemoglobinemia) โดยไปออกซิไดซ์เหล็กในรูปของเฟอร์รัส (Fe^{++}) ในโมเลกุลของฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ซึ่งไม่สามารถรวมกับออกซิเจนได้ จึงทำให้เลือดไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ และเกิดภาวะการขาดออกซิเจนจนทำให้ปลาตายได้ (ช่วยชูศรี, 2524)

Zweig และคณะ (1999) ได้แนะนำระดับของไนโตรทไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลาทั่วไปว่าต้องมีค่าต่ำกว่า 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ความเข้มข้นที่สามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้จะต้องมีปริมาณไนโตรทไนโตรเจนต่ำกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความเข้มข้นของไนโตรทที่ปลอดภัยต่อสัตว์น้ำควรมีค่า 0.3599 มิลลิกรัมไนโตรทไนโตรเจนต่อลิตร (มันสิน และ ไพพรรณ, 2539)

ไนเตรท-ไนโตรเจน

ไนเตรทเป็นสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่มีพิษน้อยที่สุด โดยความเป็นพิษของไนเตรทต่ำมากเมื่อเทียบกับไนโตรทและแอมโมเนีย ปกติแล้วจะไม่ถือว่าเป็นพิษต่อปลาแต่อย่างไรก็ตามไนเตรทที่มีความเข้มข้นสูงเป็นพิษต่อปลาบางชนิด Zweig และคณะ (1999) รายงานว่า เมื่อไนเตรทเกิดการสะสมถึงระดับหนึ่งจะมีผลต่อ osmoregulation การขนส่งออกซิเจนและจะเป็นพิษต่อดับ นอกจากนี้ไนเตรทยังอาจทำให้เกิดเมธิโมโกลบินีเมียได้ Balderston (1974) รายงานว่า ไนเตรทไนโตรเจนเป็นพิษต่อปลาที่ระดับความเข้มข้น 181 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้น 69 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นสาเหตุของ anorexia และทำให้ปลาติดโรคง่ายขึ้น

Zweig และคณะ (1999) ได้แนะนำระดับของไนเตรทไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงปลาทั่วไปไว้ว่า ต้องมีค่าต่ำกว่า 23 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ความเข้มข้นที่สามารถปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้ จะต้องมีความไนเตรทต่ำกว่า 11 มิลลิกรัมต่อลิตร

ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสหรือฟอสเฟตในแหล่งน้ำธรรมชาติมีความสำคัญต่อการประมง เนื่องจากมีความจำเป็นต่อการดำรงชีพของพืชและสัตว์โดยเฉพาะพืชชั้นต่ำซึ่งจะใช้ในการสังเคราะห์แสงในน้ำธรรมชาติเราพบฟอสเฟตอยู่ในรูปของสารละลายน้ำหรืออยู่ในรูปของซากพืชซากสัตว์โดยปกติฟอสฟอรัสจะสะสมอยู่ในดิน หิน แร่ หรือแหล่งสะสมอื่นๆ ปลดปล่อยออกมาในรูปที่ละลายน้ำโดยการชะล้าง พืชและสัตว์จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้าง Protoplasm เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อพืชโดยเฉพาะแปลงกักตุนพืชสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเป็นการสร้างความอุดมสมบูรณ์แก่แหล่งน้ำ แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดสถานะเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ มีผู้รายงานว่าหากแหล่งน้ำมีฟอสฟอรัสสูงเกินกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่าแหล่งน้ำนั้นมีความเสื่อมโทรมมากเกินไป และแหล่งน้ำที่มีปัญหามลภาวะจะมีฟอสฟอรัสสูงถึง 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตามปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำไม่ได้ทำให้เกิดความเป็นพิษเพียงแต่เป็นตัวการในการทำให้เกิดอัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำสูง ในการควบคุมป้องกันปัญหามลภาวะการเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำจึงกำหนดไว้ว่าไม่ควรมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประเทือง, 2538)

บีโอดี

กรรณิการ์ (2544) รายงานว่า BOD ย่อมาจาก Biochemical Oxygen Demand เป็นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ (Decomposable) ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน คำว่า decomposable หมายถึงสารอินทรีย์ที่สามารถเป็นสารอาหารของแบคทีเรียจากการออกซิเดชันนี้จะได้พลังงานซึ่งแบคทีเรียจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและแบ่งตัวต่อไป ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการออกซิเดชันสารอาหารเหล่านี้อาจเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำหรือแอมโมเนียขึ้นอยู่กับสารอาหาร

ปริมาณบีโอดีที่ไม่เป็นอันตรายในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ในช่วง 10-30 มิลลิกรัมต่อลิตร (มันสิน และไพพรรณ, 2539; Xinglong and Boyd, 2005) หากปริมาณบีโอดีสูงกว่านี้อาจทำให้น้ำขาดแคลนออกซิเจนได้ (ไมตรี และจารุวรรณ, 2528 อ้างโดย ประทีป, 2544)

การนำไฟฟ้าจำเพาะ

วิรัช (2540) กล่าวว่า การนำไฟฟ้า (Conductivity) หรือการนำไฟฟ้าจำเพาะของน้ำคือความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าของน้ำมักจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของแข็งที่ละลายซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเกลือแร่ต่างๆ ระดับการแตกตัวเป็นไอออนของเกลือแร่ต่างๆ ในน้ำ จำนวนประจุของ

ไอออนแต่ละตัว การเคลื่อนที่ของไอออน และอุณหภูมิของน้ำล้วนมีอิทธิพลต่อความนำไฟฟ้าของน้ำ ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ หน่วยวัดเป็นไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (μScm^{-1}) และค่าความนำไฟฟ้าของแหล่งน้ำแต่ละแห่งจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมด (Total dissolved solid) และไอออนหลักที่อยู่ในน้ำ ดังนั้นค่าของปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมดเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ความนำไฟฟ้าของน้ำจึงมีส่วนใหญ่จะมีค่าระหว่าง 10-1,000 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร โดยเฉพาะน้ำเสีย ดังนั้นค่าความนำไฟฟ้าของน้ำจึงเป็นครุฑชนิดอย่างหยาบที่ใช้ประเมินปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ในน้ำหรือเป็นค่าที่ใช้ประเมินความเน่าเสียของน้ำเบื้องต้นได้ปกติค่าความนำไฟฟ้ามักวัดโดยตรงในแหล่งน้ำด้วยเครื่องมือวัด

คลอโรฟิลล์-เอ

ศิริเพ็ญ (2543) กล่าวว่า คลอโรฟิลล์-เอเป็นรงควัตถุที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชหรือสาหร่ายทุกชนิดโดยจัดเป็นสารสีสำหรับการสังเคราะห์แสงเบื้องต้น (primary photosynthetic pigment) สามารถดึงดูดแสงได้ด้วยตัวเอง คุณสมบัติของมันคือ มีสีเขียวไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่เป็นอินทรีย์สาร โดยทั่วไปคลอโรฟิลล์-เอที่พบในแพลงก์ตอนพืชมีประมาณ 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์

1. โรงเรือน
2. บ่อซีเมนต์ ขนาด 3 ลูกบาศก์เมตร
3. ลูกปลากดหลวง
4. เมล็ดผักสลัดคอส
5. เมล็ดผักกาดหอมห่อ
6. เมล็ดผักกาดกวางตุ้ง
7. เมล็ดผักบุ้งจีน
8. สายยาง
9. หัวทราย
10. ฟองน้ำ
11. โฟม
12. ถาดพลาสติก
13. ถังพลาสติก
14. กระละมั่ง
15. สวิงตักลูกปลา
16. เครื่องชั่งไฟฟ้า
17. pH meter
18. Spectrophotometer
19. Conductivity meter
20. อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำทางกายภาพและเคมี

วิธีการวิจัย

การทดลองที่ 2 (ปีที่ 2) การเลี้ยงลูกปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิคส์

โดยทำการเลี้ยงปลากดหลวงในบ่อซีเมนต์ขนาด 3 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 12 บ่อ รักษาระดับน้ำให้ได้ 1 เมตร ปล่อยปลากดหลวงอัตราความหนาแน่นที่เหมาะสม การทดลองที่ 1 และปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอมห่อ, ผักกาดกวางตุ้ง, ผักสลัดคอส และผักบุ้งจีน จำนวน 30 ต้นต่อบ่อ ระยะเวลาในการเลี้ยง 3 เดือน ทำการทดลอง 2 รอบ

การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลองตามชนิดของพืช ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ คือ ชุดการทดลองที่ 1 ปลูกผักกาดหอมห่อ ชุดการทดลองที่ 2 ปลูกผักกาดกวางตุ้ง ชุดการทดลองที่ 3 ปลูกผักสลัดคอส และชุดการทดลองที่ 4 ปลูกผักบุ้งจีน ตามลำดับ อัตราการปลูก 30 ต้นต่อบ่อ และปล่อยปลากดหลวงที่อัตราความหนาแน่น 200 ตัวต่อบ่อ ให้อาหารปลากดเลี้ยงสำเร็จรูปที่ระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ให้อาหารอัตรา 3-5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักปลาต่อวัน ระยะเวลาการทดลอง 90 วัน

การเตรียมระบบการเลี้ยงปลาแบบหมุนเวียนน้ำ

ใช้บ่อซีเมนต์ ขนาด 3 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 12 บ่อ โดยทำการล้างทำความสะอาดบ่อ และตากบ่อทิ้งไว้ประมาณ 2 วัน จากนั้นทำการเติมน้ำลงในบ่อระดับความสูง 1 เมตร พร้อมใส่อุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำทิ้งไว้ประมาณ 3-4 วัน ก่อนเริ่มการทดลอง

การเตรียมระบบกรองชีวภาพ

ใช้กล่องพลาสติก ขนาด 30×30×10 เซนติเมตร นำมาเรียงซ้อนกัน 3 ชั้นต่อบ่อ จำนวน 12 ชุด ทำการเจาะรูขนาดเล็กด้านล่างของกล่องชั้นที่ 3 และ 2 เพื่อให้ น้ำไหลลงมายังชั้นที่ 1 โดยใช้ใยสังเคราะห์วางบนตะกร้าพลาสติกที่ขนาดพอดีกับกล่องพลาสติก วางตะกร้าในกล่องพลาสติกชั้นที่ 3 เพื่อใช้กรองตะกอนน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลา กล่องพลาสติกชั้นที่ 2 บรรจุวัสดุกรองชีวภาพโดยใช้ไบโอบอล และใช้ปั้มน้ำพร้อมอุปกรณ์สำหรับดูดน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาผ่านใยสังเคราะห์กรองส่วนที่เป็นตะกอนออกในชั้นที่ 3 จากนั้นจะไหลลงสู่วัสดุกรองชีวภาพชั้นที่ 2 ผ่านลงชั้นที่ 1 น้ำจะไหลผ่านระบบปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์และไหลกลับลงในบ่อเลี้ยงปลาตามเดิม

การเตรียมระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์

เตรียมท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว จำนวน 12 ชุด ประกอบด้วยข้อต่อ สามทาง ถึงเก็บน้ำ รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้กรองน้ำและใช้บำบัดน้ำเสีย ทำการล้างท่อ PVC เพื่อทำความสะอาด แล้วประกอบเข้ากับระบบโดยต่อท่อ PVC จากบ่อเลี้ยงปลาปล่อยลงในถังพักน้ำใช้ปั้มน้ำดูดน้ำจากถังพักดูดขึ้นไปที่ชุดอุปกรณ์กรองตะกอนน้ำจะผ่านชั้นกรองตะกอนและผ่านชั้นกรองชีวภาพเพื่อทำการบำบัดและจะไหลกลับไปยังบ่อซีเมนต์ที่ใช้เลี้ยงปลา

การเตรียมปลาทดลอง

ปลาคอดหลวงที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ซื้อมาจากฟาร์มเอกชน จังหวัดเชียงใหม่ โดยนำปลาคอดหลวงมาพักให้ปรับตัวในบ่อซีเมนต์ อัตราการปล่อย 200 ตัวต่อบ่อ ให้อาหารปลาคอดเม็ดสำเร็จรูปที่ระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 7 วัน ก่อนเริ่มทำการทดลอง เพื่อให้ปลาคอดหลวงปรับสภาพและทำการสูบน้ำหนักปลาคอดหลวงเริ่มต้นการทดลอง

การเตรียมต้นกล้าพืชและการปลูกพืช

ใช้ฟองน้ำความหนา ขนาด 1 นิ้ว โดยตัดฟองน้ำให้ได้ขนาดพอดีกับถาดที่ใช้สำหรับเพาะต้นกล้าพืช ทำการกรีดฟองน้ำให้ได้ขนาด 1×1 นิ้ว และกรีดไม่ให้ขาดออกจากกันทำเป็นรอยบากทแยงมุม ความลึกกึ่งกลางของฟองน้ำ จากนั้นนำฟองน้ำไปแช่น้ำก่อนหยอดเมล็ดพืช เมื่อหยอดเมล็ดเสร็จให้นำฟองน้ำใส่ในถาดเพาะเมล็ด ทำการปิดฝาหรือเก็บไว้ในที่มีดประมาณ 3 วัน เมล็ดพืชจะเริ่มออกเป็นต้นกล้า จากนั้นปล่อยต้นกล้าให้มีใบจริงประมาณ 3 ใบ จึงทำการปลูกพืช โดยตัดแผ่นโฟมให้ได้ขนาดพอดีกับท่อ PVC โดยทำการเจาะรูตรงกลางแผ่นโฟม ขนาด 1×1 นิ้ว จากนั้นทำการฉีกฟองน้ำพร้อมต้นกล้าลงในแผ่นโฟมที่เจาะรูแล้วนำไปวางบนท่อ PVC โดยให้รากพืชแช่ในน้ำที่ผ่านระบบกรองชีวภาพตลอดเวลา

อาหารและการให้อาหาร

ใช้อาหารปลาคอดเม็ดสำเร็จที่รูระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ให้วันละ 2 ครั้ง คือ เวลา 8.00 น. และ 16.00 น. อัตราการให้อาหาร 3-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวปลาต่อวัน โดยหว่านให้ทั่วบ่อและทำการปรับปริมาณการให้อาหารทุกๆ 15 วัน จนถึงสิ้นสุดการทดลอง

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเริ่มต้นการทดลองและทุกๆ 7 วัน จนถึงสิ้นสุดการทดลอง โดยวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ดังนี้ อุณหภูมิของน้ำ โดยใช้ DO meter (YSI model 59) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โดยใช้ pH meter (HI 9812) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ โดยใช้ DO meter (YSI model 59) ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยวิธี Phenol method ปริมาณไนโตรท-ไนโตรเจน โดยวิธี Coupling method ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน โดยวิธี Cadmium reduction method ปริมาณฟอสฟอรัส โดยวิธี Stannous chloride method ปริมาณบีโอดี โดยวิธี Modified alkalized iodide ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ โดยวิธี Acetone 90% และค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะ โดยใช้ Conductivity metre ตามวิธีของ Boyd, C.E. (1982)

การเก็บข้อมูล

ทำการสุ่มชั่งน้ำหนักปลาคชหลวงเมื่อเริ่มต้นการทดลองและทุกๆ 15 วัน จำนวน 20 ตัวต่อบ่อ ทำการบันทึกข้อมูล เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเปรียบเทียบเพื่อหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอด ดังนี้

- 1) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain)
= น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักเมื่อเริ่มการทดลอง
- 2) อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (ADG) กรัม/วัน
= (น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักเมื่อเริ่มการทดลอง) / ระยะเวลาการทดลอง
- 3) อัตราการแลกเนื้อ (FCR)
= น้ำหนักของอาหารที่ปลากิน / น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น
- 4) อัตราการรอด (Survival Rate) เปอร์เซ็นต์
= จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง / จำนวนปลาเมื่อเริ่มการทดลอง $\times 100$

และทำการสุ่มวัดความสูงของพืชเมื่อเริ่มต้นการทดลองและทุกๆ 7 วัน จำนวน 15 ต้นต่อบ่อ ทำการบันทึกข้อมูล เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเปรียบเทียบเพื่อหาความสูงที่เพิ่มขึ้น และอัตราการรอด ดังนี้

- 1) ความสูงที่เพิ่มขึ้น
= ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – ความสูงเมื่อเริ่มการทดลอง
- 2) อัตราการรอด (Survival Rate) เปอร์เซ็นต์
= จำนวนต้นผักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง / จำนวนต้นผักเมื่อเริ่มการทดลอง $\times 100$

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละชุดการทดลอง จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของชุดการทดลองโดยวิธีของ Tukey's Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $P < 0.05$ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5



ผลการวิจัย

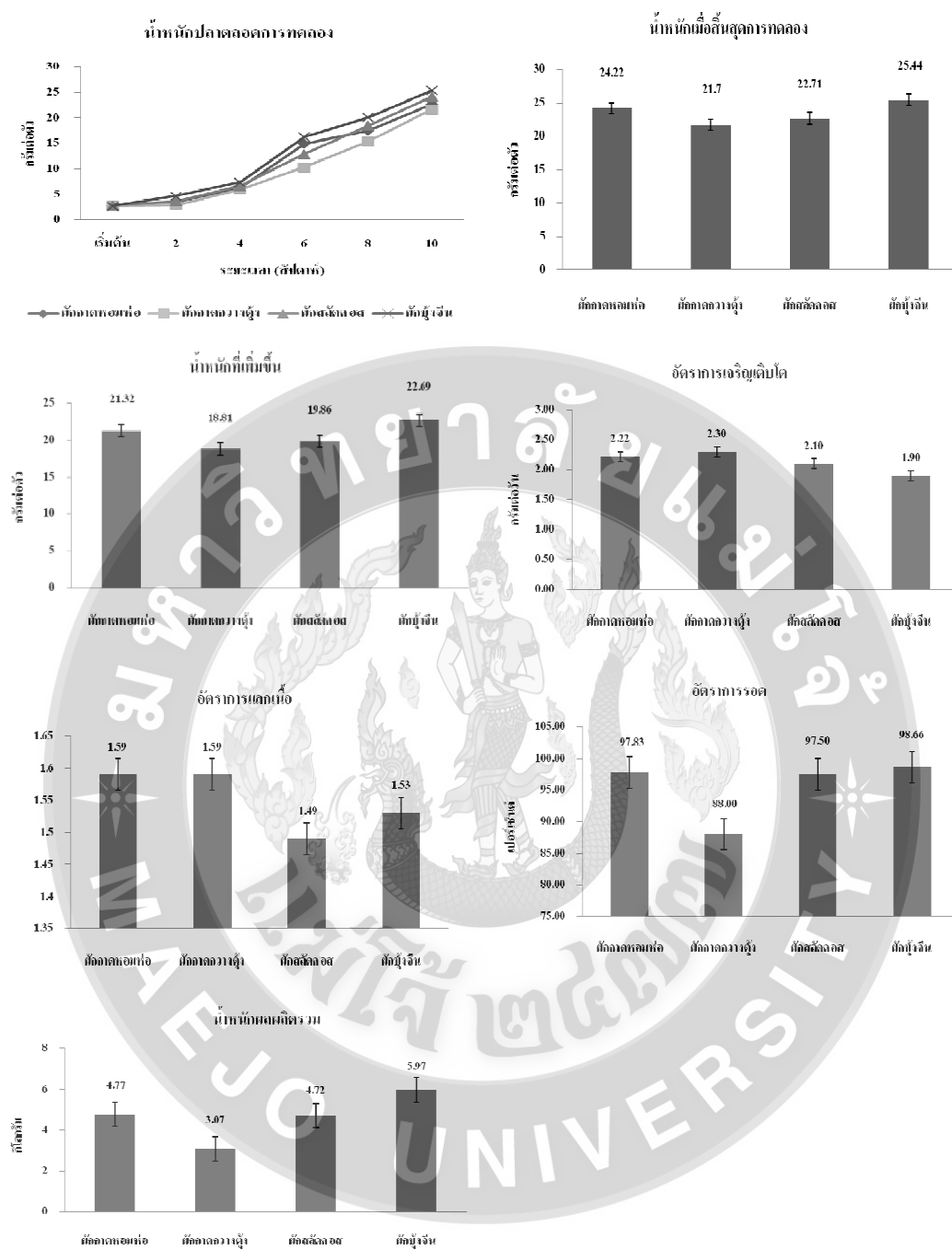
การเจริญเติบโตของปลากดหลวง

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของปลากดหลวงที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ คือ ชุดการทดลองที่ 1 ปลูกผักกาดหอมห่อ ชุดการทดลองที่ 2 ปลูกผักกาดกวางตุ้ง ชุดการทดลองที่ 3 ปลูกผักสลัดคอส และชุดการทดลองที่ 4 ปลูกผักบุ้งจีน ตามลำดับ ทำการเลี้ยงปลากดหลวงในบ่อซีเมนต์ ขนาด 3 ลูกบาศก์เมตร ปลอ่ยปลาที่อัตราการความหนาแน่น 200 ตัวต่อบ่อ และปลูกพืช จำนวน 30 ต้นต่อบ่อ น้ำหนักปลาเริ่มต้นเฉลี่ยในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 2.85 ± 0.06 , 2.80 ± 0.06 , 2.90 ± 0.04 และ 2.75 ± 0.04 กรัมต่อตัว และความสูงพืชเริ่มต้นเฉลี่ยในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 6.88 ± 0.04 , 5.86 ± 0.02 , 6.26 ± 0.03 และ 6.80 ± 0.03 เซนติเมตร ตามลำดับ ระยะเวลาการทดลอง 90 วัน ผลจากการศึกษาการเจริญเติบโตของปลากดหลวง พบว่าน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอด และน้ำหนักผลผลิต มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าปลากดหลวงที่เลี้ยงร่วมกับการปลูกผักบุ้งจีนมีแนวโน้มน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองดีกว่าปลูกผักสลัดคอส ผักกาดหอมห่อ และผักกาดกวางตุ้ง มีค่าเท่ากับ 25.44 ± 0.02 , 24.22 ± 0.05 , 22.71 ± 0.21 และ 21.70 ± 0.03 กรัมต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น พบว่าปลากดหลวงที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการปลูกผักบุ้งจีนมีแนวโน้มน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นดีกว่าปลูกผักสลัดคอส ผักกาดหอมห่อ และผักกาดกวางตุ้ง มีค่าเท่ากับ 22.69 ± 0.01 , 21.32 ± 0.10 , 19.86 ± 0.15 และ 18.81 ± 0.12 กรัมต่อตัว อัตราการเจริญเติบโต พบว่าปลากดหลวงที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการปลูกผักกาดกวางตุ้งมีแนวโน้มอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าปลูกผักกาดหอมห่อ ผักสลัดคอส และผักบุ้งจีน มีค่าเท่ากับ 2.30 ± 0.03 , 2.22 ± 0.01 , 2.10 ± 0.08 และ 1.90 ± 0.02 กรัมต่อวัน อัตราการแลกเนื้อ พบว่าปลากดหลวงที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการปลูกผักสลัดคอสและผักบุ้งจีนมีแนวโน้มอัตราการแลกเนื้อดีกว่าปลูกผักกาดหอมห่อ และผักกาดกวางตุ้ง มีค่าเท่ากับ 1.53 ± 0.00 , 1.59 ± 0.00 และ 1.59 ± 0.02 อัตราการรอด พบว่าปลากดหลวงที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการปลูกผักบุ้งจีนและผักกาดหอมห่อมีแนวโน้มอัตราการรอดดีกว่าปลูกผักสลัดคอส และผักกาดกวางตุ้ง มีค่าเท่ากับ 98.66 ± 0.16 , 97.83 ± 0.16 , 97.50 ± 0.50 และ 88.00 ± 0.50 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักผลผลิตรวม พบว่าปลากดหลวงที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการปลูกผักบุ้งจีนมีแนวโน้มน้ำหนักผลผลิตรวมดีกว่าปลูกผักกาดหอมห่อ ผักสลัดคอส และผักกาดกวางตุ้ง มีค่าเท่ากับ 5.97 ± 0.01 , 4.77 ± 0.01 , 4.72 ± 0.03 และ 3.07 ± 0.01 กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตของปลากดหลวงที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ ตลอดการทดลอง

การเจริญเติบโต	ชุดการทดลอง			
	ผักกาดหอมห่อ	ผักกาดกวางตุ้ง	ผักสลัดคอส	ผักบุ้งจีน
น้ำหนักเริ่มต้นการทดลอง (กรัม/ตัว)	2.85±0.06	2.80±0.06	2.90±0.04	2.75±0.04
น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม/ตัว)	22.71±0.21 ^c	21.70±0.03 ^d	24.22±0.05 ^b	25.44±0.02 ^a
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	19.86±0.15 ^c	18.81±0.12 ^d	21.32±0.10 ^b	22.69±0.01 ^a
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	2.22±0.01 ^b	2.30±0.03 ^a	2.10±0.08 ^c	1.90±0.02 ^d
อัตราการแลกเนื้อ	1.59±0.05 ^b	1.59±0.02 ^b	1.49±0.08 ^a	1.53±0.00 ^a
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	97.83±0.16 ^a	88.00±0.76 ^c	97.50±0.50 ^b	98.66±0.16 ^a
น้ำหนักผลผลิตรวม (กิโลกรัม)	4.77±0.01 ^b	3.07±0.01 ^c	4.72±0.03 ^b	5.97±0.01 ^a

หมายเหตุ ± SE, ตัวอักษรที่เหมือนกันคือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ตัวอักษรที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 1 น้ำหนักปลาตลอดการทดลอง น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอด และน้ำหนักผลผลิตรวมของปลาทดลองที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียน น้ำร่วมกับการเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ ตลอดการทดลอง

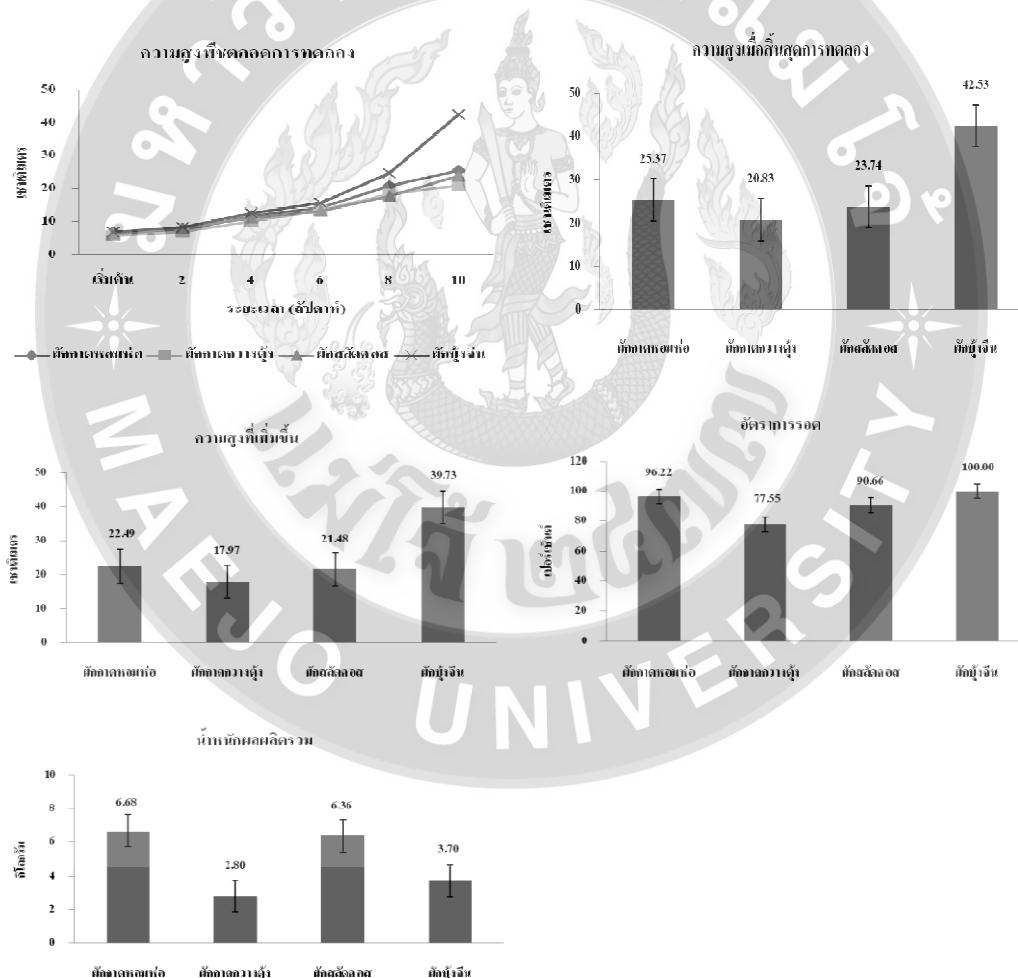
การเจริญเติบโตของพืช

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อ ผักกาดกวางตุ้ง ผักสลัดคอส และผักบุ้งจีน ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ร่วมกับการเลี้ยงปลาจืดในระบบหมุนเวียนน้ำ วางแผนการทดลองแบบ CRD โดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ คือ ชุดการทดลองที่ 1 ปลูกผักกาดหอมห่อ ชุดการทดลองที่ 2 ปลูกผักกาดกวางตุ้ง ชุดการทดลองที่ 3 ปลูกผักสลัดคอส และชุดการทดลองที่ 4 ปลูกผักบุ้งจีน ตามลำดับ ทำการเลี้ยงปลาจืดในระบบหมุนเวียนน้ำ ขนาด 3 ลูกบาศก์เมตร ปล่อยปลาที่อัตราความหนาแน่น 200 ตัวต่อบ่อ ปลูกพืชจำนวน 30 ต้นต่อบ่อ น้ำหนักปลาเริ่มต้นเฉลี่ยในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 2.85 ± 0.06 , 2.80 ± 0.06 , 2.90 ± 0.04 และ 2.75 ± 0.04 กรัมต่อตัว และความสูงพืชเริ่มต้นเฉลี่ยในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 6.88 ± 0.04 , 5.86 ± 0.02 , 6.26 ± 0.03 และ 6.80 ± 0.03 เซนติเมตร ตามลำดับ ระยะเวลาการทดลอง 90 วัน ผลจากการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 4 ชนิด พบว่าความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความสูงที่เพิ่มขึ้น อัตราการรอด และน้ำหนักผลผลิตรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าผักบุ้งจีนที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ร่วมกับการเลี้ยงปลาจืดในระบบหมุนเวียนน้ำมีแนวโน้มความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลองดีกว่าปลูกผักกาดหอมห่อ ผักสลัดคอส และผักกาดกวางตุ้ง มีค่าเท่ากับ 42.53 ± 0.93 , 23.70 ± 0.17 , 22.74 ± 0.05 และ 20.83 ± 0.02 เซนติเมตร ความสูงที่เพิ่มขึ้น พบว่าผักบุ้งจีนที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ร่วมกับการเลี้ยงปลาจืดในระบบหมุนเวียนน้ำมีแนวโน้มความสูงที่เพิ่มขึ้นดีกว่าปลูกผักกาดหอมห่อ ผักสลัดคอส และผักกาดกวางตุ้ง มีค่าเท่ากับ 35.73 ± 0.96 , 16.82 ± 0.19 , 16.47 ± 0.07 และ 14.97 ± 0.04 เซนติเมตร อัตราการรอด พบว่าผักบุ้งจีน ผักกาดหอมห่อ และผักสลัดคอสที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ร่วมกับการเลี้ยงปลาจืดในระบบหมุนเวียนน้ำมีแนวโน้มอัตราการรอดดีกว่าปลูกผักกาดกวางตุ้ง มีค่าเท่ากับ 100 ± 0.01 , 96.22 ± 0.11 , 90.66 ± 0.38 และ 77.55 ± 0.25 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักผลผลิตรวม พบว่าผักกาดหอมห่อ และผักสลัดคอสที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ร่วมกับการเลี้ยงปลาจืดในระบบหมุนเวียนน้ำมีแนวโน้มน้ำหนักผลผลิตรวมดีกว่าปลูกผักบุ้งจีน และผักกาดกวางตุ้ง มีค่าเท่ากับ 6.68 ± 0.38 , 6.36 ± 0.22 , 3.70 ± 0.17 และ 2.80 ± 0.15 กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อ ผักกาดกวางตุ้ง ผักสลัดคอส และผักบุ้งจีนที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลาคพลวงระบบหมุนเวียนน้ำ ตลอดจนการทดลอง

การเจริญเติบโต	ชุดการทดลอง			
	ผักกาดหอมห่อ	ผักกาดกวางตุ้ง	ผักสลัดคอส	ผักบุ้งจีน
ความสูงเริ่มต้นการทดลอง (เซนติเมตร)	6.88±0.04	5.83±0.02	6.26±0.03	6.80±0.03
ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (เซนติเมตร)	23.70±0.17 ^b	20.83±0.02 ^c	22.74±0.05 ^b	42.53±0.93 ^a
ความสูงที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	16.82±0.19 ^b	14.97±0.04 ^b	16.47±0.07 ^b	35.73±0.96 ^a
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	96.22±0.11 ^a	77.55±0.25 ^b	90.66±0.38 ^a	100.00±0.01 ^a
น้ำหนักผลผลิตรวม (กิโลกรัม)	6.68±0.38 ^a	2.80±0.15 ^c	6.36±0.22 ^a	3.70±0.17 ^b

หมายเหตุ ± SE, ตัวอักษรที่เหมือนกันคือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05) ตัวอักษรที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05)



ภาพที่ 2 ความสูงพืชตลอดการทดลอง ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความสูงที่เพิ่มขึ้น อัตราการรอด และน้ำหนักผลผลิตรวมของผักกาดหอมห่อ ผักกาดกวางตุ้ง ผักสลัดคอส และผักบุ้งจีนที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ร่วมกับการเลี้ยงปลาคพลวงระบบหมุนเวียนน้ำ ตลอดจนการทดลอง

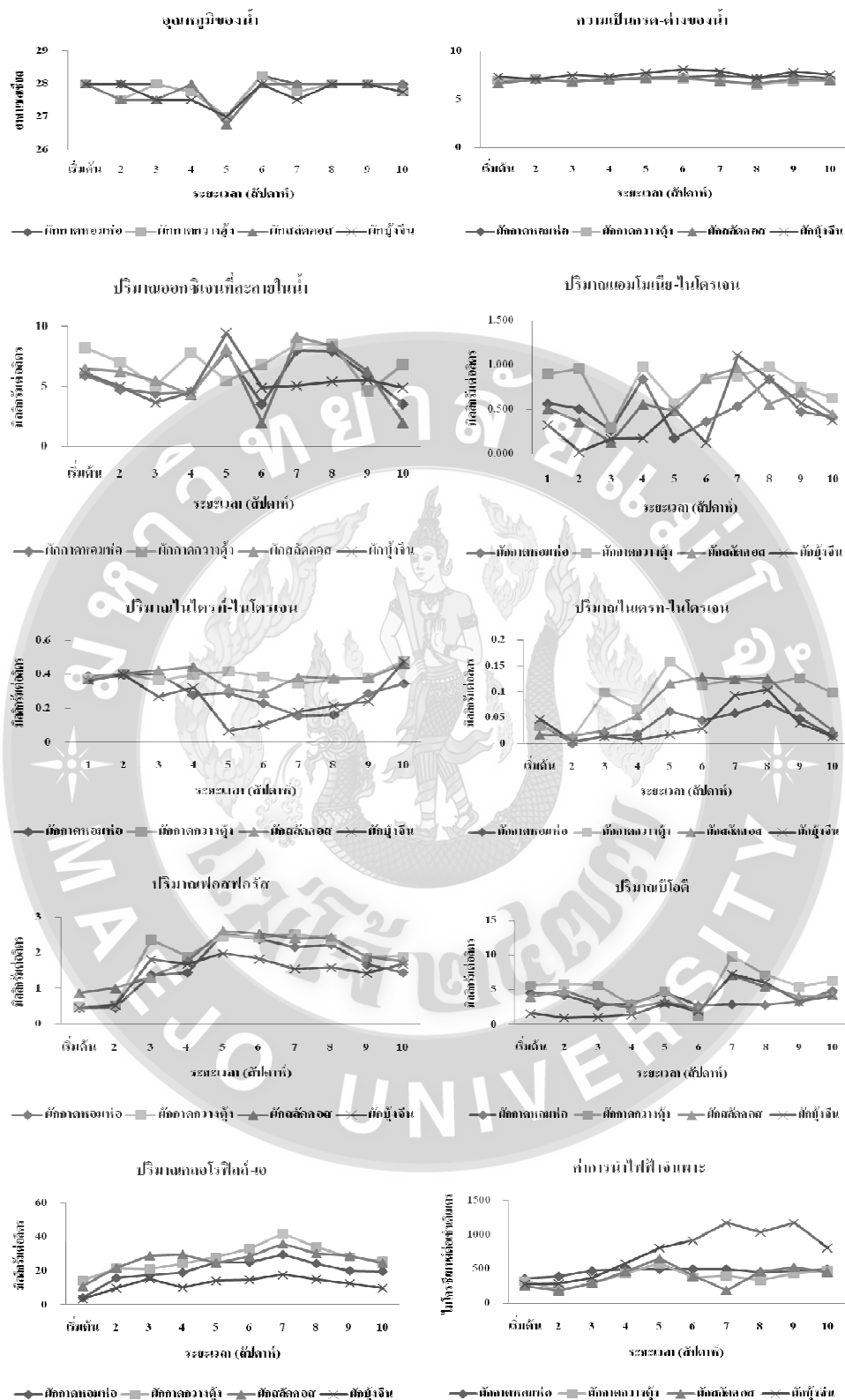
คุณภาพน้ำในบ่อดทดลอง

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ ผลจากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อดทดลอง พบว่า อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และฟอสฟอรัส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน บีโอดี คลอโรฟิลล์-เอ และค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 5 คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ ตลอดการทดลอง

พารามิเตอร์	ชุดการทดลอง			
	ผักกาดหอมห่อ	ผักกาดกวางตุ้ง	ผักสลัดคออส	ผักบุ้งจีน
อุณหภูมิของน้ำ ($^{\circ}\text{C}$)	27.75 $\pm$ 0.14	27.80 $\pm$ 0.37	27.88 $\pm$ 0.35	27.72 $\pm$ 0.36
ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH)	7.17 $\pm$ 0.07 ^b	6.92 $\pm$ 0.06 ^b	6.94 $\pm$ 0.07 ^b	7.56 $\pm$ 0.11 ^a
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/l)	6.26 $\pm$ 0.73	5.53 $\pm$ 0.53	5.89 $\pm$ 0.56	6.91 $\pm$ 0.51
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg/l)	0.553 $\pm$ 0.08 ^{cd}	0.406 $\pm$ 0.10 ^a	0.463 $\pm$ 0.06 ^b	0.757 $\pm$ 0.07 ^d
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (mg/l)	0.239 $\pm$ 0.03 ^a	0.377 $\pm$ 0.01 ^b	0.382 $\pm$ 0.07 ^b	0.288 $\pm$ 0.03 ^a
ไนเตรท-ไนโตรเจน (mg/l)	0.127 $\pm$ 0.02 ^b	0.040 $\pm$ 0.08 ^a	0.039 $\pm$ 0.01 ^a	0.075 $\pm$ 0.01 ^a
ฟอสฟอรัส (mg/l)	1.877 $\pm$ 0.22	1.434 $\pm$ 0.18	1.637 $\pm$ 0.26	1.892 $\pm$ 0.27
บีโอดี (mg/l)	3.59 $\pm$ 0.33 ^{ab}	5.49 $\pm$ 0.86 ^b	4.09 $\pm$ 0.52 ^{ab}	3.08 $\pm$ 0.83 ^a
คลอโรฟิลล์-เอ (mg/l)	20.10 $\pm$ 2.45 ^b	27.28 $\pm$ 2.76 ^c	26.38 $\pm$ 2.32 ^{bc}	12.62 $\pm$ 1.42 ^a
การนำไฟฟ้าจำเพาะ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	380.00 $\pm$ 53.27 ^a	388.88 $\pm$ 36.11 ^b	465.66 $\pm$ 17.31 ^b	740.00 $\pm$ 21.84 ^b

หมายเหตุ $\pm$ SE, ตัวอักษรที่เหมือนกันคือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) ตัวอักษรที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 3 อุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนโตรที่-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส บีโอดี คลอโรฟิลล์-เอ และการนำไฟฟ้าเฉพาะในบ่อเลี้ยงปลาคาร์พระบบหมุนเวียนน้ำ ร่วมกับการเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ ตลอดจนการทดลอง

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาการเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ ทั้ง 4 ชนิด คือ ผักกาดหอมห่อ ผักกาดกวางตุ้ง ผักสลัดคอส และผักบุ้งจีน ตามลำดับ ผลจากการศึกษาการเจริญเติบโตของปลากดหลวง พบว่ามีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทั้งในด้านน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอด และน้ำหนักผลผลิตรวม โดยพบว่าปลากดหลวงที่เลี้ยงร่วมกับการปลูกผักบุ้งจีนมีการเจริญเติบโตดีที่สุด ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปลากดหลวงที่เลี้ยงร่วมกับการปลูกผักกาดกวางตุ้งมีการเจริญเติบโตน้อยกว่าการปลูกผักกาดหอมห่อ ผักสลัดคอส และผักบุ้งจีน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากช่วง 1 เดือนแรกหลังจากปล่อยปลากดหลวงลงในบ่อเลี้ยงเกิดน้ำเป็นไขที่ผิวน้ำ และมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำมาก (2 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่งผลให้ปลาตายเป็นจำนวนมาก เนื่องจากปลาที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็ก ทำให้มีการปล่อยปริมาณแอมโมเนียออกมามากกว่าปลาขนาดใหญ่ (Ng, W.J. *et al.*, 1993) เป็นสาเหตุให้ต้องใช้ใช้ออกซิเจนปริมาณมากเพื่อออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนเตรท ประกอบกับในช่วงสัปดาห์ที่ 6 อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (จาก 28 เป็น 32 องศาเซลเซียส) ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ในขณะที่ความต้องการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ทั้งจากการหายใจของปลา พืช และแบคทีเรีย เมื่อมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอกับกระบวนการ Nitrification จึงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียและไนไตรท์ในระบบ เมื่อมีปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์สูงมากส่งผลให้ปลาเกิดการระคายเคืองจึงขับเมือกออกมา และกินอาหารลดลง ทำให้อาหารเหลือ จึงเกิดคราบไขมันจากอาหารลอยอยู่บริเวณผิวน้ำ ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนในน้ำลดลง

ส่วนการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 4 ชนิด คือ ผักกาดหอมห่อ ผักกาดกวางตุ้ง ผักสลัดคอส และผักบุ้งจีน ผลจากการศึกษาพบว่า ผักกาดหอมห่อ ผักกาดกวางตุ้ง ผักสลัดคอส และผักบุ้งจีนที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เร็วที่ระยะเวลาเพียง 35-40 วัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ถวัลย์ (2534) กล่าวว่า การปลูกพืชระบบไฮโดรโปนิคส์พืชจะเจริญเติบโตได้รวดเร็วและให้ผลผลิตได้มาก เนื่องจากสามารถควบคุมสารอาหารได้ดีกว่าการปลูกในดิน และพืชยังได้ใช้ปุ๋ยในรูป อนินทรีย์โดยตรงจึงสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เร็วขึ้น เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 4 ชนิด พบว่าพืชทั้ง 4 ชนิด มีการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยพบว่าผักบุ้งจีนมีการเจริญเติบโตดีที่สุด ขณะที่ผักกาดกวางตุ้งมีการเจริญเติบโตน้อยกว่าพืชชนิดอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำในบ่อเลี้ยงปลากดหลวงมีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของผักกาดกวางตุ้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ

Quillert, I. *et al.* (1993) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงในส่วนประกอบของแร่ธาตุอาหารของน้ำที่หมุนเวียนเกิดจากการขับถ่ายของเสียซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุของปลา การดูดซับแร่ธาตุโดยพืช และการเพิ่มของน้ำที่ใส่ทดแทนน้ำที่สูญเสียไปโดยการระเหย การเอาตะกอนออก การหายใจ การกระเด็น หรือการทำความสะอาดเครื่องกรอง (Rakocy, J.E. *et al.*, 2004) โดยสารละลายธาตุอาหารที่ไหลออกจากถังเลี้ยงปลาจะมีปริมาณไนเตรท และฟอสเฟตจากของเสียของปลาเพิ่มขึ้น ซึ่งของเสียจากปลาดังกล่าวเป็นปุ๋ยของพืช (Quillert, I. *et al.*, 1993) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายอาหารมาตรฐาน พบว่าสารอาหารที่ไหลออกจากถังเลี้ยงปลา มีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ดังนั้น Rakocy, *et al.* (1992) กล่าวว่าในระบบ aquaponic พืชสามารถใช้ธาตุอาหารจากน้ำเลี้ยงปลาได้ส่วนหนึ่งแต่ยังไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงควรมีการเติมจุลธาตุอาหาร โดยเฉพาะเหล็กเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ Quillert, I. *et al.*, (1993) พบว่าน้ำจะถูกเปลี่ยนใหม่ทุกวันประมาณ 0.1-0.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ใช้ทั้งหมดในระบบหมุนเวียน หรือ 3.5-9 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมดของระบบ และตะกอนที่สะสมอยู่ในระบบควรมีการถ่ายออก 2-3 ครั้งต่อวัน เนื่องจากเมื่อมีตะกอนสะสมปริมาณมากจะเกิดการย่อยสลายและดึงออกซิเจนจากปลาและพืชมาใช้ อีกทั้งยังทำให้อัตราการไหลของน้ำในระบบไหลช้า ตะกอนจะไปจับรากพืช และทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำ และธาตุอาหารลดลง (Zweig, 1986) Nelson (2006a) แนะนำว่าควรมีการเปลี่ยนน้ำ 10-15 เปอร์เซ็นต์ของทุกเดือน

และคุณภาพน้ำในบ่อทดลอง พบว่าอุณหภูมิของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และฟอสฟอรัส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน บีโอดี คลอโรฟิลล์-เอ และค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ มีค่าเท่ากับ 7.17 ± 0.07 , 6.92 ± 0.06 , 6.94 ± 0.07 และ 7.56 ± 0.11 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ประเทือง (2538) รายงานว่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะอยู่ระหว่าง 6.5-9 หากคุณภาพน้ำในบ่อมีปริมาณสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้สัตว์น้ำมีผลผลิตต่ำ มีการเจริญเติบโตช้าหรืออาจตายได้ และ อานัฐ (2548) รายงานว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างมีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของพืช ควรอยู่ในช่วง 5.5-6.5 เป็นช่วงที่เหมาะสมคือ ธาตุอาหารอยู่ในรูปที่พืชใช้ได้มากที่สุด ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 0.463 ± 0.06 , 0.757 ± 0.07 , 0.553 ± 0.08 และ 0.406 ± 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จันทรสว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด พบว่า ปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.010-16.395 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 0.288 ± 0.03 , 0.382 ± 0.07 , 0.377 ± 0.01 และ 0.239 ± 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ประเทือง (2538) กล่าวว่า เมื่อปลากินอาหารจะขับถ่ายของเสียออกมา ซึ่งจะเป็นสารประกอบไนโตรเจนจะส่งผลต่อปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน มีค่าเท่ากับ 0.040 ± 0.08 , 0.127 ± 0.02 ,

0.075±0.01 และ 0.039±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ประเทือง (2538) กล่าวว่าปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน ไม่ถือว่าเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยตรงนอกเสียจากมีความเข้มข้นมาก แต่จะทำให้เกิดปัญหาทางอ้อมในกรณีที่ไนเตรทเปลี่ยนสภาพเป็นไนไตรท์ และแอมโมเนีย (ประเทือง, 2538) ปริมาณบีโอดี มีค่าเท่ากับ 3.59±0.33, 5.49±0.86, 4.09±0.52 และ 3.08±0.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มั่นสิน และ ไพพรรณ (2544) กล่าวว่า ค่าบีโอดีที่เหมาะสมมีค่าไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และสูงสุดไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ มีค่าเท่ากับ 20.10±2.45, 27.28±2.76, 26.38±2.32 และ 12.62±1.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะ มีค่าเท่ากับ 388.88±36.11, 740.00±21.84, 465.66±17.31 และ 380.00±53.27 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ วิรัช (2540) กล่าวว่า ความนำไฟฟ้าของน้ำจืดส่วนใหญ่จะมีค่าระหว่าง 10-1,000 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร โดยเฉพาะน้ำเสีย ดังนั้น ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำจึงเป็นครุชนี้อย่างหายากที่ใช้ประเมินปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ในน้ำ



สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการเปรียบเทียบชนิดของพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ ทั้ง 4 ชนิด คือ ผักกาดหอมห่อ ผักกาดกวางตุ้ง ผักสลัดคอส และผักบุ้งจีน ผลจากการศึกษาการเจริญเติบโตของปลากดหลวง พบว่าน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอด และน้ำหนักผลผลิตรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 4 ชนิด พบว่าความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความสูงที่เพิ่มขึ้น อัตราการรอด และน้ำหนักผลผลิตรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และคุณภาพน้ำในบ่อทดลอง พบว่าอุณหภูมิของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ และฟอสฟอรัส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน บีโอดี คลอโรฟิลล์-เอ และการนำไฟฟ้าเฉพาะ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ดังนั้นผลจากการศึกษาสรุปได้ว่า การเลี้ยงปลากดหลวงร่วมกับการปลูกผักบุ้งจีนมีการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อพิจารณาถึงการเจริญเติบโตของปลาและพืช ($P < 0.05$)

เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. 2552. **ชีววิทยาปลากดหลวง**. ค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2556, จาก <http://www.fisheries.go.th>
- กรมส่งเสริมการเกษตร. ม.ป.ป. **การปลูกผักบุ้งจีน**. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมการเกษตร, กรมส่งเสริมพืชสวน, กลุ่มพืชผัก.
- กรณีการ์ สิริสิงห์. 2544. **เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ประชุมรังศ์. 369 น.
- กิตติ บุญเลิศนิรันดร์. 2547. **เทคโนโลยีการปลูกพืชไม่ใช้ดิน**. ศูนย์คลินิกเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา หันตรา. 81 น.
- กิตติพันธ์ จาปจินดา โกมุท อุณศรีสง และ ปรีชา เขียวเจริญ. 2537. **การศึกษาการเลี้ยงปลากดอเมริกันในกระชังในอ่างเก็บน้ำ**. รายงานวิชาการศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืดเชียงใหม่. 24 น.
- โกมุท อุณศรีสง. 2552. **การเลี้ยงปลากดหลวง**. ค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2556, จาก http://www.fisheries.go.th/fpo-uthaithani/Images/Ictalurus_handbook.doc
- ช่วยชูศรี ศรีภูมิ. 2524. **พืชเจียบพลันของแอมโมเนียและไนไตรท์ที่มีต่อปลาอุกด้านและความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นพิษของสารทั้งสองกับสารประกอบคลอไรด์บางชนิด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ถวัลย์ พัฒนาเสถียรพงศ์. 2534. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน**. พรวนนการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 127 น.
- ประทีป ส่องแก้ว. 2544. **การบำบัดน้ำทิ้งจากการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon* Fabricius) โดยใช้หอยตะไกรกรมขาว (*Crassostrea belcheri* Sowerby)**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประเทือง เขาว์วันกลาง. 2534. **คุณภาพน้ำทางการประมง**. หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ. 86 น.
- ประเทือง เขาว์วันกลาง. 2538. **คุณภาพน้ำทางการประมง**. ลำปาง : แผนกประมง คณะสัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตลำปาง. 86 น.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2532. **การควบคุมคุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา**. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. 2528. **คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง**. ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ, สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 124 น.

- มันสิน ดันทุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ. 214 น.
- มันสิน ดันทุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2544. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่ม 1. กรุงเทพฯ : การจัดการคุณภาพน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 319 น.
- วิรัช จิวแฮมม. 2540. คุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและวิธีวิเคราะห์. ขอนแก่น : ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 166 น.
- ศรานนท์ เจริญสุข. 2549. ผักสวนครัว. กรุงเทพฯ : ส่งเสริมอาชีพธุรกิจเพชรกะรัต จำกัด.
- สุนทร เรืองเกษม. 2540. ผักกินใบ. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ และคณะ. 2544. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการปลูกพืชไม่ใช้ดิน. น 1-10. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินรุ่นที่ 4. กรุงเทพฯ : ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Alabaster, J.S. and R. Lloyd. 1980. **Water Quality Criteria for Freshwater Fish**. Butterworth (Publishers) Inc., Houston. 297 p.
- Anonymous. 2002. **“An Integrated Fish Culture and Vegetable Hydroponic Production System.”** [Online]. Available : <http://rps.uvi.edu/AES/Aquaculture/aquaponics.html>.
- Anonymous. 2003. **“Hydroponics.”** [Online]. Available : <http://ns.yupparaj.ac.th/web2003/401-21/product1.html>.
- Bakker, J.P. 1980. Planting density for lettuce. **Hort. Abstracts**. 51: 301.
- Balderston, W.L. 1974. **Denitrification in closed-system aquaculture**. Ph.D. thesis. University of Rhode Island, Rhode Island.
- Boyd, C.E. 1982. **Water Quality Management for Pond Fish Culture**. Elsevier Scientific Publishing Co., New York. 318 p.
- Colt, J. 2006. **Water quality requirement for reuse system**. *Aquacultural Engineering*. 34: 143-156.
- Conroy, D.A. and R.L. Hermann. 1970. **Textbook of Fish Disease**. T.F.H. Publications, Inc., New Jersey. 310 p.
- EIFAC. 1973. Water quality criteria for European freshwater fish. **Report on Ammonia and Inland Fisheries**. *Water Res.* 7 : 1010-1022.
- FAO. 1961. **Agriculture and Horticulture Seed: Their Production**. Rome, Italy.

- Ghaly, A.E., Kamal, M. and Mahmoud, N.S. 2005. "Phytoremediation of Aquaculture Wastewater for Water Recycling and Production of Fish Feed." **Environment International**. 31(1) : 1-13.
- Golombieski, J. I., L. V. F. Silva, B. Baldisserotto and J. H. S. da Silva. 2003. Transport of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fingerlings at different times, load densities, and temperatures. **Aquaculture**. 216 : 95-102.
- Grommen, R., I. V. Hauteghem, M. V. Wambeke and W. Verstraete. 2002. An improved nitrifying enrichment to remove ammonium and nitrite from freshwater aquaria system. **Aquaculture**. 211 : 115-124.
- Iwana, S. and Motai. 1954. Ecological studies of vegetable in region of difference altitude. 7 Ecological behavior of lettuce in hot season. **Hort. Abstract** 24 : 394.
- Jackson, L.E. 1995. Root architecture in cultivated and wild lettuce (*Lactuca* spp.). **Plant, Cell and Environment**. 18 : 885-897.
- Joyner, D. 1992. **Aquaculture Effluent Regulation : State Regulatory Perspective**. ASAE Publication. 3 : 31-227.
- Kehdi, N. 2005. "Aquaponics : a perfect eco-system of plants and fish." [Online]. Available : http://www.eurohydro.com/aquaponics_gb.pdf#search=%22aquaponic%22
- Knott, J.E. 1950. **Vegetable Growing**. Lea & Febiger, Philadelphia.
- Knott, J.E. and R. Deanon. 1970. **Vegetable Production in South East Asia**. Los Bonos: College of Agriculture, Univ. Philippines.
- Krizek, D.T. and D.P. Ormond. 1980. Growth response of Grand Rapid lettuce and First Lady Marigold to increase far-red and infrared radiation under controlled environment. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 68: 261-270.
- Landau, M. 1992. **Introduction to Aquaculture**. John & Sons, Inc., USA.
- Lewbart, G. A. 1998. **Clinical Nutrition of Ornamental Fish**. Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine 7 : 154-158.
- Miao, X., Cui, S.R. and Miao, Z.W. 2002. "Utilization of Aquaculture Waste Water in Vegetable Hydroponic Production System." **Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering**. 18(5) : 131-133.
- Nelson, R. 2006b. "Crops Recommended for Aquaponics." [Online]. Available : <http://www.aquaponicsjournal.com/>

- Rafiee, G. and Saad, C.R. 2005. "Nutrient Cycle and Sludge Production During Different Stages of Red Tilapia (*Oreochromis sp.*) Growth in a Recirculating Aquaculture System." **Aquaculture**. 244(1-4) : 109-118.
- Rakocy, J.E., Losordo, T.M. and Masser, M.P. 1992. **Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Integrating Fish and Plant Culture**. SRAC Publication. Southern Region Aquaculture Center, Mississippi State University. 454 : 6.
- Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, R.C. and Thoman, E.S. 2004. "Update on Tilapia and Vegetable Production in The UVI Aquaponic System." p. 676-690. In : New Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Manila, Philippines. [Online]. Available : <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/html>.
- Rappaport, L. and S.H. Wittwer. 1956a. Flowering in head lettuce as influenced by seed vernalization, temperature and photoperiod. **Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.** 67: 429-437.
- Raul, H.P. 2003. "Reducing the Potential Environmental Impact of Tank Aquaculture Effluents Through Intensification and Recirculation." **Aquaculture**. 226 : 35-44.
- Tibbitts, T.W. and G. Bottenberg. 1976. Growth of lettuce under controlled humidity levels. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 101 (1): 70-73.
- Van Rijn, J., Yossi, T. and Schreier, H.J. 2006. "Denitrification in Recirculating Systems : Theory and Applications." **Aquacultural Engineering**. 34 : 364-376.
- Wilson, G. 2006. "Aquaponics Miserly Water Use." [Online]. Available : <http://www.aquaponicsjournal.com/>
- Xinglong, J. and C. E. Boyd. 2005. Measurement of 5-day biochemical oxygen demand without sample dilution or bacterial and nutrient enhancement. **Aquaculture. Eng.** 33 : 250-257.
- Zweig, D.R., J.D. Morton and M.M. Stewart. 1999. **Source Water Quality for Aquaculture : A Guide for Assessment**. Environmentally and Socially Sustainable Development, The World Bank, Washington, D.C. 533 p.



ภาพผนวกที่ 1 โรงเรือนที่ใช้ในการศึกษา



ภาพผนวกที่ 2 การเตรียมระบบการเลี้ยงปลาแบบหมุนเวียนน้ำ



ภาพผนวกที่ 3 ลูกปลากดหลวงที่ใช้ในการทดลอง



ภาพผนวกที่ 4 การเพาะต้นกล้าพืชที่ใช้ในการศึกษา



ภาพผนวกที่ 5 การเลี้ยงปลากดหลวงระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์



ภาพผนวกที่ 6 ปลากดหลวงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

