สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระดับการประเมินคุณภาพ

☐ ดีเยี่ยม ☑ ดีมาก

☐ ดี ☐ ปานกลาง

การเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียน ร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์

สุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง
สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง

ชื่อเรื่อง

การเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียน
ร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์

โดย

สุฉุทธิ์ สมบูรณ์ชัย

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา ✓ .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ฉายบุ)
วันที่ 19 เดือน ม.ค. พ.ศ. 2552

กรรมการที่ปรึกษา .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)
วันที่ 19 เดือน ม.ค. พ.ศ. 2552

กรรมการที่ปรึกษา .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.อานัฐ ตันโช)
วันที่ 19 เดือน ม.ค. พ.ศ. 2552

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)
วันที่ 19 เดือน ม.ค. พ.ศ. 2552

สำนักงานบัณฑิตศึกษารับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เทพ พงษ์พานิช)
ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา
วันที่ 19 เดือน มี.ค. พ.ศ. 2552

ชื่อเรื่อง การเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์

ชื่อผู้เขียน นายสุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง

ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ฉายบุ

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ โดยหมุนเวียนน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาเข้าสู่ระบบกำจัดตะกอน และระบบกรองชีวภาพ ระยะเวลาทดลอง 195 วัน โดยทำการศึกษาอายุ และขนาดของปลาดุก ลูกผสมที่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารของพืชในบ่อเลี้ยงปลาระบบหมุนเวียน พบว่า อายุและขนาดของปลาดุกลูกผสมไม่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในบ่อเลี้ยงปลา ปริมาณธาตุอาหารของพืชสะสมอยู่ในปริมาณมากพอ มีระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ สำหรับการปรียบเทียบวัสดุกรองที่ใช้กับระบบกรองชีวภาพจากบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม สรุปได้ว่า วัสดุกรองอิฐ มีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการผลิต อัตรารอดของปลาดุกลูกผสม และผักกาดหอมห่อ ดีที่สุด มีผลทำให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงไม่เป็นอันตรายต่อปลา และช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน ในบ่อเลี้ยงได้ดีกว่าวัสดุกรองชนิดอื่น ส่วนการศึกษาสัดส่วนระหว่างการปลูกผัก และการเลี้ยงปลาที่เหมาะสมพบว่า สัดส่วน 1 ต่อ 10 มีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการผลิต น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอดของปลาดุกลูกผสมดีที่สุด และทำให้การเจริญเติบโต อัตรารอดของผักกาดหอมห่อดีที่สุดเช่นกัน ดังนั้น สัดส่วน 1 ต่อ 10 มีความเหมาะสมต่อระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสม

Title Cultivation of Hybrid Catfish in Recirculating Concrete Pond with Hydroponics System

Author Mr. Surit Somboochai

Degree of Master of Science in Fisheries Technology

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Prachaub Chaibu

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the cultivation of hybrid catfish in recirculating concrete ponds with hydroponics system which consisted of water from the rearing ponds being recirculated through sedimentary control system and biofilter for 195 days of the cultivation period, by considering the influence of age and size of hybrid catfish on the amount of nutrient accumulation in rearing ponds. Results showed that the age and size of catfish did not have any effect on soluble nutrients in the pond. The amount of plant nutrients accumulated in the pond, was found to be sufficient and the concentration level was almost similar to the hydroponics system. Comparison of materials used with biofilter from hybrid catfish cage showed that adobe blocks tended to provide efficiency in production, survival rate and lettuce as hydroponic crop at the highest value, and also affected water quality in ponds to be much safer for catfish while also helping to reduce the amount of ammonia-nitrogen, nitrite-nitrogen and nitrate-nitrogen in ponds, much better than compared with other materials. As for the study on the ratio between vegetable production and suitability of fish cultivation, results showed that the ratio of 1:10 tended to give highest production efficiency, weight gain, feed convertion ratio and survival rate of hybrid catfish and led similarly to highest growth rate and survival rate of vegetables. Thus, the ratio of 1:10 is considered to be the best ratio that suited plant production system of hydroponics integrated with hybrid catfish raising.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจากคณาจารย์ทุกท่านที่เกี่ยวข้อง คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ฉายบุ ประธานกรรมการที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน รองศาสตราจารย์ ดร.อานัฐ ตันโช กรรมการที่ปรึกษาที่ให้ความกรุณาชี้แนะแนวทางการวิจัย การแก้ไขปัญหา การให้คำปรึกษาในการวางแผนการดำเนินงานวิจัย การวิเคราะห์ข้อมูล และตรวจสอบแก้ไขผลงานการวิจัย ตลอดจนการตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้อง เพื่อความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณพระคุณ ดร.มนัส แสวงทอง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณโครงการวิจัยเรื่องกลยุทธ์การเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในการผลิตปลานิล ในเขตภาคเหนือเพื่อเป็นอาหารปลอดภัย โดยสำนักวิจัยและส่งเสริมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้สนับสนุนงบประมาณทางด้านวัสดุอุปกรณ์ และโรงเรือน ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้อนุเคาะห์ให้ใช้สถานที่ในการวิจัย และขอขอบคุณบุคลากรทุกท่าน ในคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน

กราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิดที่ให้ความรัก ความเมตตา อบรมสั่งสอน ขอบคุณผู้บังคับบัญชาที่เห็นความสำคัญต่อการพัฒนาของบุคลากร ขอบคุณเป็นพิเศษ คุณสุรีย์ คุณสถิตย์ เด็กหญิงสุลักษิกา และเด็กหญิงสุนันทิชา สมบูรณ์ชัย ที่ช่วยเป็นกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาในการศึกษาวิจัย

สุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย

มีนาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพ	(10)
สารบัญภาพผนวก	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการทำวิจัย	3
กรอบความคิดในการวิจัย	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดในประเทศไทย	4
ระบบการเลี้ยงปลาดุก	6
ระบบการเลี้ยงปลาแบบปิดหรือระบบหมุนเวียนน้ำ	6
ระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิกส์	7
ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์	11
ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย	13
ความสำคัญของธาตุอาหาร	16
คุณสมบัติของน้ำในระบบการเลี้ยงปลา	18
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	27
อุปกรณ์และเครื่องมือทำการวิจัย	27
การวางแผนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	27
การเตรียมการวิจัย	29
การวิเคราะห์ข้อมูล	34
สถานที่ทำการวิจัย	34

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 35
การวิจัยที่ 1 35
ประสิทธิภาพการผลิตของปลาดุกลูกผสม 35
ปริมาณธาตุอาหารในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม 37
คุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม 40
การวิจัยที่ 2 51
ประสิทธิภาพการผลิตของปลาดุกลูกผสม 51
ประสิทธิภาพการผลิตของผักกาดหอมห่อ 53
คุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม 56
การวิจัยที่ 3 62
ประสิทธิภาพการผลิตของปลาดุกลูกผสม 62
ประสิทธิภาพการผลิตของผักกาดหอมห่อ 65
คุณสมบัติของน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม 68
วิจารณ์ผลการทดลอง 70
อายุและขนาดของปลาดุกลูกผสม 70
วัสดุกรองชีวภาพ 74
สัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างการปลูกผักและการเลี้ยงปลา 76
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 80
สรุปผลการวิจัย 80
ข้อเสนอแนะ 81
บรรณานุกรม 82
ภาคผนวก 89
ภาคผนวก ก รูปแบบการทดลอง 90
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (%) ของอาหารปลาดุก 95
ภาคผนวก ค ประวัติผู้วิจัย 101

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารอาหารในอาหารปลาดุก	30
2	องค์ประกอบทางเคมี (%) ของอาหารปลาดุกที่ใช้ในการทดลอง	30
3	การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำ	31
4	การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารของพืชในบ่อเลี้ยงปลา	33
5	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	36
6	ประสิทธิภาพการผลิตของการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมอายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	37
7	ปริมาณธาตุอาหารของพืชในบ่อเลี้ยงปลาเฉลี่ยในชุดบ่อควบคุม ชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	39
8	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำในชุดบ่อควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	50
9	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของปลาดุกลูกผสมในบ่อที่ใช้วัสดุกรองอิฐ, ถ่าน,โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง	52
10	ประสิทธิภาพการผลิตของการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง	53
11	ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมห่อในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง	54
12	ประสิทธิภาพการผลิตของผักกาดหอมห่อในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง	55
13	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง	61
14	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในสัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ 4, 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง	64
15	ประสิทธิภาพการผลิตของการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในสัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ 4, 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง	64

ตาราง หน้า

16 ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมห่อในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสม ที่สัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ 4, 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง 66

17 ประสิทธิภาพการผลิตของผักกาดหอมห่อในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่สัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ 4, 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง 67

18 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่สัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ 4, 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง 69

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	กรอบความคิดในการวิจัย	3
2	ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์	11
3	การหมุนเวียนของไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ	18
4	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	44
5	ความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	44
6	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	45
7	ปริมาณไนไตรท์–ไนโตรเจนของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	45
8	ปริมาณไนเตรท–ไนโตรเจนของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	46
9	ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	46
10	ปริมาณบีโอดีของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	47
11	ปริมาณสารที่ตกตะกอนของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	47
12	ปริมาณสารแขวนลอยของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	48
13	ปริมาณการนำไฟฟ้าจำเพาะของน้ำในบ่อควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	48
14	ปริมาณคลอโรฟิล-เอ ของน้ำในบ่อควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง	49

ภาพ หน้า

15 ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมห่อในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง 55
16 ปริมาณไนไตรท์–ไนโตรเจนของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง 58
17 ปริมาณไนเตรท–ไนโตรเจนของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง 58
18 ปริมาณบีโอดีของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง 59
19 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง 59
20 ปริมาณคลอโรฟิลล์- เอ ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟมและไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง 60
21 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของปลาดุกลูกผสมในบ่อเลี้ยงปลาที่สัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ 4, 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง 65
22 ความสูงของผักกาดหอมห่อในบ่อเลี้ยงปลาที่สัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ 4, 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง 67

สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวก	หน้า
1 โรงเรือนระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์	91
2 ระบบหมุนเวียนน้ำและระบบกรองชีวภาพ	91
3 วัสดุกรองที่ใช้ในระบบกรองชีวภาพ	92
4 วิธีการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมห่อ	92
5 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกผักกาดหอมอายุ 2 สัปดาห์	93
6 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกผักกาดหอมอายุ 4 สัปดาห์	93
7 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกผักกาดหอม อายุ 6 สัปดาห์	94
8 ปลาดุกลูกผสมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	94
9 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น	96
10 การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า	97
11 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน	98
12 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน	99
13 การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย	100

บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเริ่มมีบทบาทสำคัญมากขึ้น เนื่องจากการจับสัตว์น้ำในแหล่งน้ำ ตามธรรมชาติมีปริมาณไม่แน่นอน และมีแนวโน้มสูงขึ้นทำให้ปริมาณสัตว์น้ำในแหล่งน้ำลดลง อันเนื่อง มาจากปัญหาทางด้านสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ ปัญหาความตื้นเขินของแม่น้ำลำคลอง ประกอบกับความต้องการทางด้านการอุปโภคและบริโภคของสัตว์น้ำที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณสัตว์น้ำไม่เพียงพอกับความต้องการ อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำยังมีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น ปัญหาทางด้านเทคโนโลยี ปัญหาด้านระบบการเพิ่มผลผลิต ปัญหาการคัดเลือกพ่อ-แม่พันธุ์ ปัญหาด้านต้นทุน การผลิต ปัญหาด้านพื้นที่ใช้ในการผลิต ตลอดจนปัญหาทางด้านการตลาด ดังนั้นการเพิ่มเทคโนโลยีและ การเพิ่มเทคนิค รวมถึงการสร้างระบบผสมผสานระหว่างการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของเกษตรกรที่มีพื้นที่ทำกินขนาดเล็กหรือมีปัญหา พื้นที่ขาดความอุดมสมบูรณ์ การศึกษาการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์เป็นระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียน ร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ซึ่งมีการศึกษามากว่า 3 ทศวรรษ บนความแตกต่างของ การออกแบบในระบบความหลากหลายของชนิดสัตว์น้ำและชนิดพืช รวมถึงวิธีการทดลองที่แตกต่างกัน เป็นระบบที่ประยุกต์มาจากความสัมพันธ์ของปลากับสิ่งแวดล้อม โดยการทำให้ของเสียจากการเลี้ยงปลาซึ่งอยู่ในรูปของไนโตรเจนประมาณ 70-75 เปอร์เซ็นต์ถูกกำจัดออกภายในระบบ และถูกนำไปเป็นสารอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของพืช แทนการถ่ายเทน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาเพื่อกำจัดของเสียออกไป ในระบบบำบัดน้ำพืชจะทำหน้าที่ดึงไนโตรเจนด้วยกลไกลต่าง ๆ เช่น การดูดซึมแอมโมเนีย หรือไนเตรต การระเหยของแอมโมเนีย การตกตะกอนของอนุภาคไนโตรเจน ขบวนการ Nitrification และ Denitrification (นงนุช, 2544) ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบระบบปิดหรือระบบหมุนเวียน เป็นระบบที่เหมาะสมกับการผสมผสานระหว่างการเลี้ยงปลาและการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์มากที่สุด เพราะระบบดังกล่าวสามารถรักษาความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชให้อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อความต้องการ ของระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ได้ โดยในทางทฤษฎีปริมาณธาตุอาหารในอาหารสัตว์สามารถปรับปรุงเพื่อให้เกิดความสมดุลกับพืชได้ อาหารสัตว์ดังกล่าวนี้จะคงสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างปลากับพืช และความเข้มข้นของสารอาหารที่พืชใช้เหมาะสมที่สามารถรักษาไว้ได้ในระยะเวลาที่ยาวนาน โดยไม่จำเป็นต้องมีการเติมธาตุอาหารเสริม อย่างไรก็ตามอาหารสัตว์ที่ใช้จะต้องทำให้ปลามีการเติบโตได้ในอัตราที่ยอมรับได้

ดังนั้น การศึกษาในระบบดังกล่าวนี้จึงจำเป็นที่จะต้องทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของน้ำจากการเลี้ยงปลาที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำ ต้องทราบถึงอายุและขนาดของปลาที่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารจากบ่อเลี้ยงปลาที่ผ่านระบบกำจัดตะกอนเข้าสู่ระบบกรองชีวภาพ ต้องทราบถึงวัสดุกรองที่เหมาะสมที่ใช้ในระบบกรองชีวภาพ และต้องทราบสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างการปลูกผักไฮโดรโพนิคส์กับการเลี้ยงปลา เพื่อนำมาซึ่งข้อมูลที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางของการศึกษาระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอายุ และขนาดของปลาที่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์
2. เพื่อศึกษาวัสดุกรองชีวภาพที่มีผลต่อระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์
3. เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมที่มีผลต่อระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์

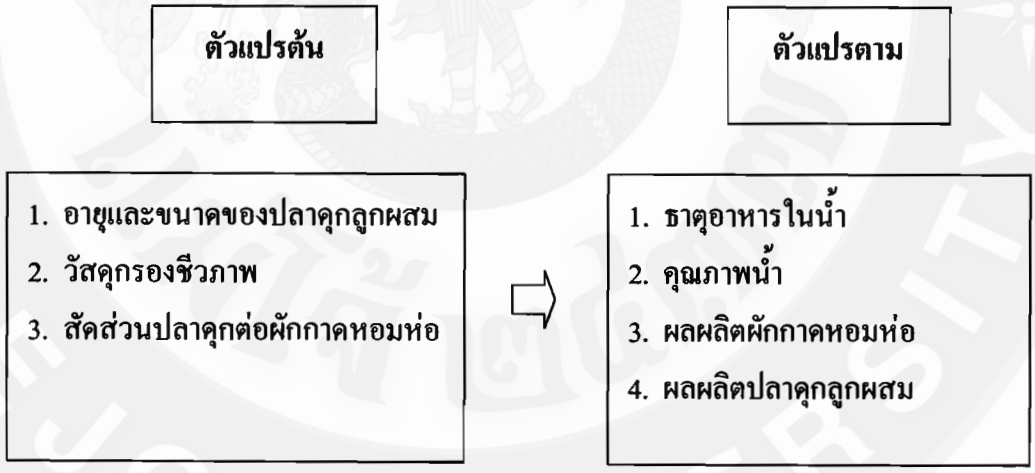
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำองค์ความรู้ที่ได้มาเปรียบเทียบระหว่างการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างเดียวกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิคส์
2. เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลทางวิชาการในการส่งเสริมความรู้แก่เกษตรกร และบุคคลทั่วไปที่สนใจ
3. เพื่อเป็นแนวทางในการประกอบอาชีพให้แก่เกษตรกร

ขอบเขตการทำวิจัย

การเลี้ยงปลาดุกลูกผสมระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ โดยเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ ความจุ 3 ลูกบาศก์เมตร ร่วมกับการปลูกพืชในระบบ Nutrient film technique (NFT) ใช้น้ำที่ได้จากบ่อเลี้ยงปลาผ่านระบบกรองชีวภาพ ส่งผ่านเข้าระบบปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ใช้ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ความยาว 15 เซนติเมตรต่อท่อน ประกอบด้วยข้อต่อ ข้องอ และสามทาง เรียงต่อกันเป็นแถว ๆ ละ 5 หลุม จำนวน 5 แถว ปลูกผักจำนวน 25 ต้นต่อบ่อทดลอง ขณะทดลองทำการเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำ เปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุและขนาดต่างกัน เปรียบเทียบวัสดุกรองชีวภาพที่ต่างชนิดกัน เปรียบเทียบสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างปลาและผักกาดหอมห่อ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตของปลาและผักกาดหอมห่อที่ปลูก

กรอบความคิดในการวิจัย



ภาพ 1 กรอบความคิดในการวิจัย

บทที่ 2
การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดในประเทศไทย

ปริมาณผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเห็นได้ว่า ตลอดระยะเวลา 20 กว่าปีที่ผ่านมา ปริมาณผลผลิตมวลรวมมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2524 มีปริมาณผลผลิตมวลรวมของการเพาะเลี้ยงสัตว์จืดเท่ากับ 48,000 ตัน และเมื่อในปี 2543 มีปริมาณผลผลิตมวลรวมของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเพิ่มขึ้นเป็น 271,012 ตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นเกือบ 6 เท่าตัว โดยชนิดสัตว์น้ำจืดที่เลี้ยงจะเป็นปลาดุก ปลานิล ปลาช่อน และกุ้งก้ามกราม (กรมประมง, 2546)

ประเทศไทยมีการผลิตปลาน้ำจืดในปริมาณที่สูง โดยสัตว์น้ำที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในปี พ.ศ. 2545 มีปริมาณเท่ากับ 294,500 ตัน โดยปลาดุกถือว่าเป็นสัตว์น้ำที่มีการเพาะเลี้ยงมากที่สุดมีปริมาณสูงถึง 86,475 ตัน รองลงมาได้แก่ ปลานิลซึ่งมีปริมาณสูงถึง 83,780 ตัน (ศูนย์สารสนเทศ , 2547) ปลาดุกเป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากชนิดหนึ่ง ในปี พ.ศ. 2543 ปริมาณ ปลาดุกที่ได้จากการเพาะเลี้ยงมีปริมาณถึง 76,000 ตัน หรือร้อยละ 28.04 ของปริมาณการผลิต ทั้งหมดมูลค่า 1,395.1 ล้านบาท (กรมประมง, 2546)

ปลาดุกเป็นปลาที่อยู่ในสกุล *Clarias* ลักษณะโดยทั่วไปเป็นปลาที่ไม่มีเกล็ด ตัวเรียวยาว ครีบหลังยาว ไม่มีกระโดง ครีบท้องยาวเกือบถึงโคนหาง มีหนวด 2 คู่ และมีอวัยวะช่วยในการหายใจ ซึ่งช่วยให้ปลาดุกอดทนและสามารถอยู่พ้นน้ำได้นาน แหล่งอาศัยของปลาดุกมีอยู่ทั่วไปในน่านน้ำจืด เขตร้อนแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ประเทศไทย พม่า ลาว กัมพูชา เวียดนาม อินโดนีเซีย หมู่เกาะบอร์เนียว ฟิลิปปินส์ อินเดีย สำหรับในประเทศไทยพบตามลำคลอง หนอง บึงทั่วทุกภาคของประเทศ (ชาติชาย, 2533)

Panayolou *et al.* (1985) การเลี้ยงปลาดุกในประเทศไทยมีมาก่อนปี พ.ศ. 2495 ในระยะแรกจะนำลูกปลาที่รวบรวมได้จากธรรมชาติ มาปล่อยลงในนาปลาสลิดแล้วจับพร้อมปลาสลิด ประเทศไทยพบว่ามีปลาดุกอยู่ 2 ชนิด เป็นที่รู้จักกันดีในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำคือ ปลาดุกด้าน (*Clarias batrachus*) และปลาดุกอุย (*Clarias macrocephalus*) ทั้งสองชนิดมีการแพร่กระจายและสามารถอยู่รอดได้ในทุกสภาพแหล่งน้ำ

อุทัยรัตน์ (2544) กล่าวว่า การเลี้ยงปลาดุกเป็นการค้าในประเทศไทยมีอยู่ 3 ชนิด ปลาดุกอุยเป็นชนิดที่คนไทยนิยมบริโภคมากที่สุด เพราะเนื้อสีเหลืองน่ารับประทาน และมีคุณภาพดีไม่เหนียวหรือนุ่มจนเกินไปทำให้ขายได้ราคาดี แต่ผู้เลี้ยงไม่นิยมเลี้ยงเนื่องจากโตช้าและเป็นโรคง่าย ปลาดุกด้าน

เป็นชนิดที่เกษตรกรนิยมเลี้ยงกันมาก ในระยะก่อน พ.ศ. 2529 เพราะโตเร็วและต้านทานโรคได้ดีกว่าปลาดุกอุย แต่เนื่องจากลักษณะเนื้อด้อยกว่าปลาดุกอุย คือ ไม่เหลือง และค่อนข้างเหนียวจึงขายไม่ได้ราคา จนกระทั่ง ปี 2530 เกษตรกรได้นำปลาดุกรัสเซียมาจากประเทศลาว มาผสมพันธุ์กับปลาดุกอุย ได้ปลาดุกลูกผสมที่มีรสชาติคล้ายปลาดุกอุยเจริญเติบโตได้ดีมาก และทนทานต่อโรค เกษตรกรจึงหันมาเลี้ยงปลาดุกลูกผสมหรือเรียกกันว่าปลาดุกบิ๊กอุยตั้งแต่นั้นมา โดยประมาณกันว่าเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาดุกประมาณ 90 % ที่เลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยและมีเพียง 10 % ที่เหลือเท่านั้นที่เลี้ยงปลาดุกยักษ์หรือปลาดุกอุยแท้ (อุทัยรัตน์, 2544)

ชาติชาย (2533) กล่าวว่า การเลี้ยงปลาดุกในบ่อซีเมนต์กลมระบบหมุนเวียนมีความได้เปรียบกว่าการเลี้ยงปลาดุกในบ่อดินขนาดใหญ่ ซึ่งปล่อยปลาเป็นจำนวนมากให้ปลาเป็ดบดผสมรำละเอียดเป็นอาหาร น้ำในบ่อจึงเน่าเสียได้ง่ายทำให้ปลาเป็นโรคอยู่เสมอ การใส่ยารักษาโรคจึงทำได้ยากเพราะน้ำในบ่อมีมากทำให้สิ้นเปลืองตัวยา การถ่ายเทน้ำก็ลำบากและสังเกตอาการของปลาได้ยาก เนื่องจากพื้นที่บ่อกว้าง แต่เมื่อเลี้ยงปลาในบ่อซีเมนต์ปัญหาดังกล่าวนั้นจะหมดไปเพราะบ่อที่ใช้เลี้ยงมีพื้นที่น้อยทำให้สามารถดูแลปลาได้ง่าย การถ่ายเทน้ำ การใช้ยารักษาโรคสะดวก และสามารถปล่อยปลาลงเลี้ยงได้เป็นจำนวนมาก

วิเศษ (2536) กล่าวว่า ปลาดุกบิ๊กอุยตามปกติมีความทนทานต่อโรคพยาธิมาก แต่ถ้าคุณภาพน้ำไม่ดีก็สามารถเกิดโรคได้เช่นกัน สาเหตุของการเกิดน้ำเสียที่สำคัญมาจากการให้อาหารมากเกินไปจนอาหารเหลือและเกิดการเน่าเสียขึ้น ดังนั้นจึงต้องคอยหมั่นสังเกตการกินอาหารของปลา ในขณะให้อาหารเมื่อปลาหยุดกินอาหารแสดงว่าปลาอิ่มแล้วจะต้องหยุดให้อาหารทันที เพราะปลาดุกลูกผสมมีนิสัยชอบกินอาหารที่ให้ใหม่อีก โดยคายอาหารเก่าออกทิ้ง หรือถ้าปลากินอาหารมากไปปลาจะแสดงอาการท้องอืดลอยขึ้นมา จึงควรให้อาหารปลาประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวปลาเท่านั้น นอกจากนี้การถ่ายน้ำบ่อย ๆ และการใช้สารเคมีบางชนิดจะช่วยป้องกันการเกิดโรคได้อีกทางหนึ่ง

กมลพร และคณะ (2538) รายงานว่า ปลาดุกบิ๊กอุยเป็นปลาดุกลูกผสมระหว่างปลาดุกยักษ์กับปลาดุกอุย ลักษณะรูปร่างจึงอยู่กึ่งกลางระหว่างปลาทั้งสองพันธุ์ กล่าวคือ ลักษณะภายนอกและนิสัยการกินอาหารคล้ายปลาดุกอุยมาก มีผิวค่อนข้างเหลือง โดยเฉพาะลำตัวและหางจะเห็นลายจุดประสีขาวของปลาดุกอุยชัดเจนมาก แต่เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จุดนี้จะหายไป ลักษณะรูปร่างและลำตัวบางส่วนคล้ายปลาดุกยักษ์ เช่น กะโหลกท้ายทอยแหลมเป็นหยัก 3 หยัก หัวมีขนาดใหญ่ และคอดหางมีจุดประสีขาวเรียงตามขวางขณะที่ปลายังเล็ก

ระบบการเลี้ยงปลาดุก

Tarnchalanukit *et al.* (1982) รายงานว่า การเจริญเติบโตของปลาดุกด้าน (*Clarias batrachus*) ขนาด 1 กรัม โดยเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบระบบน้ำหมุนเวียนอัตราความหนาแน่นแตกต่างกันคือ 330, 500 และ 666 ตัวต่อตารางเมตร เป็นเวลา 84 วัน ผลการทดลองพบว่า ให้ผลผลิตดังนี้ 381.49, 607.32 และ 775.04 กิโลกรัมต่อ 15 ตารางเมตร ตามลำดับ

วิทย์ และคณะ (2525) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกด้านในบ่อคอนกรีตกลมระบบน้ำหมุนเวียน โดยใช้ระยะเวลาเลี้ยง 90 วัน ปล่อยปลาน้ำหนักเฉลี่ย 1 กรัม ในอัตราความหนาแน่น 5,000, 7,500 และ 10,000 ตัวต่อ 15 ลูกบาศก์เมตร เมื่อเลี้ยงครบกำหนดปรากฏว่าปลาดุกด้านที่ปล่อยเลี้ยงในอัตรา 5,000 ตัวต่อ 15 ลูกบาศก์เมตร มีน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุด 96.09 กรัม รองลงมาได้แก่ ปลาที่ปล่อยเลี้ยงในอัตรา 7,500 และ 10,000 ตัวต่อ 15 ลูกบาศก์เมตร ได้ปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 89.00 และ 85.51 กรัม ตามลำดับ

จันทร์สว่าง (2538) ทดลองเลี้ยงปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) ขนาด 1.57 กรัม ในอัตราความหนาแน่น 200 ตัวต่อตารางเมตร ปรากฏว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ามีอัตราการรอด 89.11 % ผลผลิต 336.7 กิโลกรัมต่อ 15 ลูกบาศก์เมตร และอัตราการแลกเนื้อ 1.28

Sethteethunyathan (1998) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) ร่วมกับปลานิลแปลงเพศ เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการหมุนเวียนน้ำ โดยเลี้ยงในระบบปิดที่มีการเลี้ยงปลาดุกเพียงอย่างเดียว และระบบหมุนเวียนที่การเปลี่ยนถ่ายน้ำจากถังเลี้ยงปลาดุกไปเลี้ยงปลานิลทุก ๆ 3 และ 7 วัน ก่อนหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 90 วัน ปรากฏว่า ไม่พบความแตกต่าง ในแง่ของอัตราการรอด และปริมาณผลผลิตทั้งหมดของปลาดุกลูกผสมในระบบการเลี้ยงแบบต่าง ๆ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 90.37-98.52 เปอร์เซ็นต์ และ 2.66-2.97 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

ระบบการเลี้ยงปลาแบบปิดหรือระบบหมุนเวียนน้ำ

มงคล (2548) กล่าวว่า ระบบปิดเป็นการจัดให้มีการใช้น้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลาดุกแล้วนำกลับมาใช้เลี้ยงใหม่ได้อีก โดยจะต้องมีบ่อเก็บน้ำขนาดใหญ่ จำนวน 1 บ่อ ที่สามารถจะสูบน้ำกลับไปใส่บ่อที่เลี้ยงปลาดุกได้ และน้ำที่ปล่อยออกจากบ่อเลี้ยงปลาจะไหลลงสู่บ่อเก็บน้ำนั้นตามเดิม การใช้ระบบนี้ไม่ค่อยถูกสุขลักษณะนัก แต่สามารถใช้ได้กับการเลี้ยงปลาให้เติบโตแบบผสมผสาน คือ ในบ่อเก็บน้ำดังกล่าวควรปล่อยปลาชนิดกินแพลงก์ตอนพืชหรือปลาสัตว์หน้าดินเช่น ปลานิล

ปลาซ่ง ปลาเล่ง ลงไปด้วย ทั้งนี้เพราะว่านอกจากแสงแดด แบคทีเรีย และช่วงวลาพักน้ำจะช่วยให้คุณสมบัติของน้ำดีขึ้น ก่อนที่จะนำกลับมาใช้หมุนเวียนเลี้ยงปลาดุกต่อเนื่อง โดยไม่เกิดปัญหาเรื่องน้ำเสีย แล้วปลาที่ปล่อยลงเลี้ยงในบ่อเก็บกักน้ำจะช่วยกินของเสียที่ระบายมาจากบ่อเลี้ยงปลาดุกด้วย นอกจากจะทำให้ไม่เกิดปัญหาเรื่องน้ำเสียแล้ว ยังช่วยให้เกิดผลพลอยได้เพิ่มขึ้นอีกด้วย

สมควร (2542) กล่าวว่า ระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนเป็นแนวคิดที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากทั้งในสหรัฐอเมริกาและทั่วโลก แต่ส่วนใหญ่ปลาที่เลี้ยงในบ่อกระชังและรูปแบบการเลี้ยงอื่น ๆ นั้น สามารถติดตั้งระบบหมุนเวียนในระดับการค้าได้ แต่ความเป็นไปได้ทางวงเศรษฐศาสตร์นั้นยังมีความไม่แน่นอน การสร้างระบบหมุนเวียนทั่วไปมีราคาแพงซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ความท้าทายของนักออกแบบหมุนเวียน คือ การให้ผลผลิตสูงสุดต่อเงินที่ใช้ลงทุน ต้องมีการออกแบบ องค์ประกอบที่ใส่เข้าไปในระบบที่สมบูรณ์เพื่อลดต้นทุน ขณะเดียวกันยังคงความน่าเชื่อถือของระบบ ไว้ได้อย่างดีหรือเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม การวิจัยและการพัฒนาระบบหมุนเวียนมีมากว่า 30 ปี ซึ่งทำให้เทคโนโลยีทางเลือกต่าง ๆ มากมาย การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ สาธารณูปการต่าง ๆ ในพื้นที่การผลิตความเชี่ยวชาญในการจัดการผลิตและปัจจัยอื่น ๆ ในมุมมองของผู้ใช้ระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำระบบหมุนเวียนนั้นต้องการความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการบำบัดและปรับปรุงคุณภาพน้ำที่เหมาะสม และองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในกระบวนการนั้น รวมถึงเทคโนโลยีภูมิหลังขององค์ประกอบนั้น ๆ ระบบหมุนเวียนจะช่วยรักษาสภาพแวดล้อมที่ดีเยี่ยมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในขณะเดียวกันก็ให้อาหารอย่างเพียงพอต่อความต้องการของระบบ การรักษาคุณภาพน้ำให้ดีอยู่ตลอดเวลา เป็นหลักการสำคัญของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในขณะที่คุณสมบัติน้ำแย่อาจไม่ทำให้สัตว์น้ำถึงตายทั้งระบบ แต่จะเป็นสาเหตุให้การเจริญเติบโตลดลง และเสี่ยงต่อการเกิดโรคได้

ระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิกส์

1. ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีหลายหลายระบบ ได้แก่

1.1 ระบบเอ็นเอฟที (Nutrient Film Technique, NFT) เป็นระบบที่ให้สารละลายไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบาง ๆ เป็นเทคนิคที่ได้รับความสนใจอย่างมากเป็นการปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายโดยตรง สารละลายจะไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ (โดยทั่วไปมักกำหนดให้น้ำที่ไหลผ่านมีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) สารละลายจะไหลหมุนเวียนผ่านรากตลอดเวลา ระบบเอ็นเอฟทีสามารถแบ่งได้เป็น การปลูกในราง ปลูกในร่อง ปลูกในท่อ

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

1.3 ระบบดีอาร์เอฟ (Dynamic Root Floating, DRF) เป็นระบบการปลูกพืชที่พัฒนามาจากระบบของ ดร.เกอริค (Prof. Dr.William F.Gericke) ที่เน้นการปลูกพืชให้รากพืชแช่อยู่ในน้ำส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งสร้างรากอากาศเพื่อช่วยในการหายใจ โดยจะทำให้พืชที่ปลูกในระบบนี้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิของสารละลายที่สูงมากกว่าระบบอื่น ๆ (อิทธิสุนทร และคณะ, 2544)

สุภาพร (2544) กล่าวว่า การปลูกผักแบบไฮโดรโพนิคส์เป็นลักษณะของการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินแยกเป็น 2 ประเภทคือ การปลูกพืชในน้ำยาเรียกว่า ไฮโดรโพนิคส์ และการปลูกผักในวัสดุปลูกชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช้ดินเรียกว่า ซอยเลส การปลูกผักโดยไม่ใช้ดินเป็นการปลูกผักโดยให้รากอยู่ในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดินได้แก่ การปลูกให้รากแช่อยู่ในน้ำ ปลูกให้รากอยู่ในอากาศ และปลูกให้รากอยู่ในวัสดุปลูกอื่น ๆ ได้แก่ วัสดุอินทรีย์ เช่น ขุยมะพร้าว ขี้เถ้าแกลบ ขี้เลื่อย วัสดุผสมต่าง ๆ และวัสดุอนินทรีย์ เช่น ทราย กรวด ฟองน้ำ ใยหิน เพอไลท์ และเวอร์มิคูไลท์ เป็นต้น ซึ่งการปลูกในวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดินเหล่านี้ ต้องให้สารละลายธาตุอาหารแก่พืชอย่างพอเหมาะ และต่อเนื่องจึงจะทำให้พืชเจริญเติบโต การปลูกผักในลักษณะนี้ถือเป็นการปลูกพืชแบบไร้ดินอีกวิธีหนึ่ง ไฮโดรโพนิคส์ เป็นการปลูกพืชไร้ดินในรูปแบบของการปลูกพืชให้รากพืชแช่อยู่ในน้ำ หรือสารละลายธาตุอาหารพืช การปลูกพืชไม่ใช้ดิน (hydroponics) เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูกเป็นการปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหาร โดยให้รากพืชสัมผัสกับสารอาหารโดยตรง

นภดล (2538) กล่าวว่า ดร.เกา (Kao Te Chen) นักวิจัยและนักพัฒนาระบบไฮโดรโพนิคส์ชาวไต้หวันได้พัฒนาระบบของ ดร.เกอริค โดยเพิ่มระบบท่อรับน้ำในกระบะที่ช่วยให้ระดับน้ำสูงขึ้นหรือลดลงได้ตามความต้องการของพืชโดย ดร.เกา ได้กำหนดให้ระดับน้ำควรสูงเพียงพอที่จะทำให้รากพืชแช่อยู่ในน้ำได้ประมาณ 4 เซนติเมตร โดยรากส่วนนี้จะเป็นรากที่ดูดอาหาร (Nutrient root) และรากส่วนเหนือจากนี้จะเป็นรากที่หายใจ และดูดออกซิเจนเข้าสู่รากเรียกรากส่วนนี้ว่ารากอากาศ (Aero root) ดังนั้นระบบดีอาร์เอฟก็คือ ระบบที่สามารถปรับความสูงต่ำของน้ำในกระบะปลูกได้ตามความต้องการของรากพืชแต่ละชนิด และเพื่อให้รากพืชลอยอยู่ในน้ำในระดับเพียง 4 เซนติเมตร ระบบ ดีอาร์เอฟได้มีการพัฒนาหลายครั้งและปัจจุบันได้จดสิทธิบัตรในไต้หวัน

2. ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์

2.1 อุณหภูมิ พืชแต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันทำให้สามารถจำแนกพืชผักตามนิสัยการเจริญเติบโตในสภาพอุณหภูมิที่ต่างกันเป็น 2 พวก คือ พืชผักฤดูร้อนและพืชผักฤดูหนาว อุณหภูมิมีผลต่อสรีรวิทยาของพืช กระบวนการหายใจ และ การสังเคราะห์แสง ในสภาพอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปมีผลต่อเอนไซม์ในปฏิกิริยาต่าง ๆ ในพืช อุณหภูมิที่ต่ำทำให้พืชผักมีการสะสมน้ำตาลสูงขึ้นปริมาณเส้นใยลดลง ในทางตรงกันข้ามที่อุณหภูมิสูงพืชผักจะเจริญเติบโตเร็วเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีสูงขึ้นผักจึงแก่เร็ว

2.2 แสง มีลักษณะเป็นอนุภาค แต่ละอนุภาคเรียกว่า โฟตอน ซึ่งให้พลังงานในระดับต่าง ๆ กันตามความยาวคลื่นของแสง แสงส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400-700 นาโนมิเตอร์ (nm) ซึ่งเป็นแสงที่มองด้วยตาเปล่า เมื่อแสงตกกระทบใบพืชจะถูกดูดซับไว้โดยคลอโรฟิลล์ และพืชมีความสามารถดูดซับแสงสีต่าง ๆ ไม่เท่ากัน เมื่อคลอโรฟิลล์ดูดซับแสงไว้จะเปลี่ยนโฟตอนไปเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างอาหารโดยเปลี่ยนจากโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำไปเป็นคาร์โบไฮเดรต คือ แป้ง และน้ำตาล รวมทั้งปลดปล่อยออกซิเจนออกมา

2.3 ปริมาณน้ำที่พืชได้รับ การใช้น้ำของพืชเป็นผลมาจากการเปิด-ปิดของปากใบ หรือพืชต้องการน้ำเพื่อการคายน้ำและลำเลียงธาตุอาหาร พืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ฤดูกาลมีผลต่อการใช้น้ำของพืช ในสภาพอากาศร้อนและมีแสงแดดจัดพืชมีการคายน้ำมากกว่าในสภาพที่แสงน้อยและอุณหภูมิต่ำ ในการปลูกพืชไม่ใช้ดินในระบบปิดการคายน้ำของพืชจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร ในสภาพที่พืชคายน้ำมากแต่มีการใช้ธาตุอาหารน้อยสารละลายในระบบจะมีควมเข้มข้นสูงขึ้น ในทางกลับกันหากในช่วงที่พืชคายน้ำน้อยแต่มีความต้องการธาตุอาหารมากทำให้ความเข้มข้นของสารอาหารน้อยลง

2.4 ความชื้นในอากาศ ในสภาพโรงเรือนที่อากาศถ่ายเทไม่ดี ความชื้นภายในโรงเรือนจะสูงกว่าภายนอก ทำให้ปากใบปิดพืชคายน้ำน้อยลง การดูดใช้ธาตุอาหารและการสังเคราะห์แสงจึงลดลง และภายใต้สภาพดังกล่าวยังเหมาะสม สำหรับการการเจริญและการแพร่กระจายของเชื้อสาเหตุโรคหลายชนิด ทำให้เกิดการระบาดของโรคอย่างรุนแรงโดยเฉพาะโรคทางใบ

2.5 ลม และการถ่ายเทอากาศ ในกระบวนการเจริญเติบโตของพืช พืชตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศใช้ในกิจกรรมการสังเคราะห์แสง เพื่อให้ได้แป้งและน้ำตาลและปลดปล่อยออกซิเจนสู่อากาศ ขณะเดียวกันยังใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจ เพื่อให้ได้พลังงานและปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ในช่วงเวลากลางวันพืชมีการสังเคราะห์และใช้คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าที่ปลดปล่อยออกมา อัตราความเร็วลมที่เหมาะสมทำให้เกิดการถ่ายเท

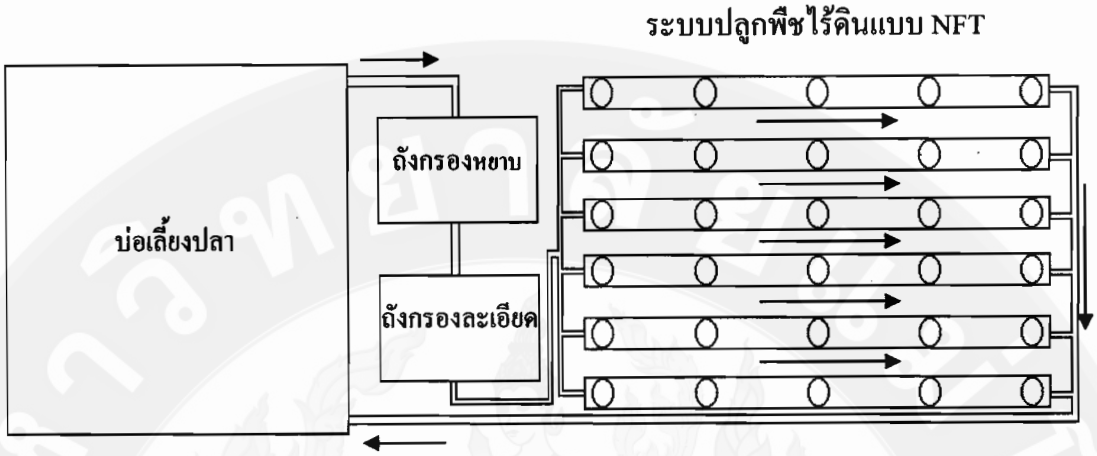
อากาศบริเวณต้นพืช ไม่ให้มีการสะสมของก๊าซที่ปลดปล่อยออกมา แต่หากกระแสลมแรงเกินไปทำให้เกิดความเสียหายแก่ต้นพืช หรือทำความเสียหายแก่โรงเรือนได้

2.6 ออกซิเจน พืชต้องการออกซิเจนเพื่อการหายใจให้ได้พลังงานสำหรับดึงดูดธาตุอาหาร และน้ำในสภาพการปลูกในดินหรือปลูกในวัสดุ เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินหรือวัสดุปลูก ทำให้สามารถระบายถ่ายเทอากาศได้ รากพืชจึงมีอากาศหายใจแต่สำหรับการปลูกในสารละลายรากพืชแช่อยู่ในน้ำตลอดเวลา การหายใจต้องอาศัยออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อยและหมดได้รวดเร็ว ทำให้เกิดความเสียหายแก่รากพืชได้หากไม่ได้รับการเติมอากาศแก่สารละลายอย่างเพียงพอ สำหรับการเติมอากาศในสารละลายทำได้โดยการใช้ปั๊มปั่นลมเป่าอากาศเข้าในสารละลาย แต่ไม่จำเป็นสำหรับระบบที่มีการไหลหมุนเวียนสารละลายผ่านรากพืชและระบบแอโรโพนิคส์

2.7 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 ส่วนธาตุอื่น ๆ ที่เหลือพืชได้จากดิน หากเป็นการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินจะต้องเตรียมให้แก่พืช ในรูปสารละลายธาตุอาหาร

2.8 บทบาทของโรงเรือน ในการปลูกพืชไม่ใช้ดินปัจจัยภายนอกที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช หากสามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ เหล่านั้นให้เหมาะสมกับชนิดและพันธุ์ ทำให้พืชแสดงศักยภาพของพันธุกรรมได้อย่างสมบูรณ์ ปัจจัยของแสง อุณหภูมิ และอากาศมีความสำคัญต่อการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน โดยเฉพาะในเขตหนาวซึ่งมีข้อจำกัดทั้ง 3 ปัจจัย จึงทำให้มีผู้ให้ความสนใจศึกษากันมาก เพื่อหาแนวทางการส่งเสริมให้พืชได้ผลผลิตสูงขึ้น (กิตติ, 2547)

ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์



ภาพ 2 ระบบเลี้ยงปลาร่วมกับปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์
ที่มา: นันทิมา (2546)

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

Rakocy *et al.* (1993) พบว่า การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนแบบปิดที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยมาก หรือแทบไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเลย พวกธาตุอาหารในรูปที่ละลายในน้ำจะมีการสะสมอยู่ในปริมาณที่มาก และมีระดับความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกับระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ใช้กัน ในสารละลายสำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน และยังรายงานอีกว่าการเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนแบบปิดจะเกิดการสะสมของสารประกอบไนโตรเจนในปริมาณที่สูง สอดคล้องกับการศึกษาของ Chen and Lin. (1995) ที่พบว่าสัตว์น้ำจะขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของสารละลายต่างกันหลายรูป แต่ที่ขับถ่ายออกมามากที่สุดจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยคิดเป็น 60-70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ยูเรีย ยูริค ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและไนไตรท์-ไนโตรเจนมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แต่ไนเตรต-ไนโตรเจนจะมีความเป็นพิษต่ำ และยังเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับพืชชั้นสูงได้ด้วย

Mc Murtry *et al.* (1997) ได้ศึกษาผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปลานิล และต้นมะเขือเทศต่อปริมาตรน้ำหนึ่งลิตรคือ 0.67, 1.00, 1.50 และ 2.25 พบว่า ที่อัตราส่วนที่สูงขึ้น อัตราการบำบัดจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นและปริมาณผลผลิตจะเพิ่มขึ้นด้วย เช่นเดียวกับ Naegel (1977) ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล (*Tilapia mossambica*) และปลาคาร์พ (*Cyprinus carpio*) ร่วมกับผักกาดหอมและมะเขือเทศ พบว่าการเจริญเติบโตของปลานิลใน 3 เดือนแรก มีการเจริญเติบโตเร็วกว่าปลาคาร์พ แต่เมื่ออายุ 4 เดือน น้ำหนักปลาคาร์พเฉลี่ยไม่แตกต่างกับปลานิล ซึ่งในระบบ ecirculating system อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ปลาคาร์พ มีน้ำหนัก 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) ทดลองเลี้ยง ปลาคาร์พร่วมกับการปลูกข้าวแบบไม่ใช้ดินในระบบปิด โดยใช้พื้นที่ของระบบปลูกข้าวร้อยละ 15 พบว่า ได้ผลผลิตปลาคาร์พ 1,680 กิโลกรัม/เฮกตาร์ และปลาคาร์พ มีอัตราการตายเท่ากับร้อยละ 9.6 ได้ผลผลิตข้าว เท่ากับ 8.46 ตัน / เฮกตาร์ (น้ำหนักสด) และมวลชีวภาพ เท่ากับ 16.78 ตัน / เอกตาร์ (น้ำหนักสด) และ Watten and Bush (1984) ทำการทดลองเลี้ยงปลาหมอเทศ (*Sarotherodon aurea*) ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศ (*Lycopersion esculentum*) แบบไม่ใช้ดิน เป็นเวลา 181 วัน พบว่าได้ผลผลิตปลา 63.6 กิโลกรัมต่อปริมาตรน้ำ 9.72 ลูกบาศก์เมตร อัตราการรอดของปลาร้อยละ 97.5 ได้ผลผลิตมะเขือเทศทั้งหมด เท่ากับ 87.0 กิโลกรัม (น้ำหนักสด)

Lewis *et al.* (1978) ได้เลี้ยงปลาในระบบกรองชีวภาพ และการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (มะเขือเทศ) มารวมเข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นระบบการเลี้ยงหมุนเวียนน้ำแบบปิดขึ้น โดยทำการเลี้ยงปลา Chanel catfish พบว่า ระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพดีทุกด้านไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำ ผลผลิตของมะเขือเทศ การเจริญเติบโต และอัตราการรอดของปลา และยังกล่าวว่าระบบกรองชีวภาพนั้นเป็นตัวช่วยของเสียต่าง ๆ ให้เป็นไนเตรต-ไนโตรเจน และฟอสเฟต ซึ่งจะถูกนำไปใช้โดยมะเขือเทศต่อไป ปริมาณผลผลิตของมะเขือเทศที่จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าสูงกว่าการปลูกมะเขือเทศโดยวิธีการทั่ว ๆ ไป

Nair *et al.* (1985) กล่าวว่า การพัฒนานำวิธีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมาผสมผสานกับระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด ถือว่าเป็นวิธีการที่เหมาะสมอย่างยิ่ง เพราะธาตุอาหารที่เกิดจากของเสียจะถูกพืชนำไปใช้ในขบวนการเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี แต่ยังพบว่าบ่อยครั้งจะเกิดปัญหาการขาดแคลนธาตุอาหารและพืชให้ผลผลิตต่ำ ในช่วงระยะเวลาที่ศึกษาโดยสาเหตุมาจากปริมาณธาตุอาหารในสารละลายไม่เพียงพอ และเกิดการสะสมของสารประกอบในรูปของเกลือมากเกินไป

เพราะฉะนั้นการจะควบคุมระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารในสารละลายที่ใช้ปลูกพืชจะทำได้ยาก ถ้าคุณภาพของอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่แน่นอน (Rakocy *et al.*, 1993)

สุขุม (2531) รายงานว่า ระหว่างการเลี้ยงปลามักเกิดการเน่าเสียของน้ำในบ่อเลี้ยงอันเกิดจากการหมักหมมของเศษอาหารที่มีโปรตีนสูง ซึ่งเกษตรกรนำมาเลี้ยง และเกิดจากการจัดการบ่อที่ขาดประสิทธิภาพ ซึ่งยังไม่มีแนวทางการแก้ไขที่จริงจัง นอกจากนี้ น้ำเสียที่ถูกถ่ายเทจากบ่อเลี้ยงยังมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติอย่างมาก เมื่อมีการทิ้งน้ำเสียอย่างต่อเนื่องจนเกินระดับความสามารถในการรองรับน้ำของแหล่งน้ำธรรมชาติ ส่งผลให้ความสามารถในการบำบัดตัวเองลดน้อยลง ผลกระทบร้ายแรงที่ตามมาคือคุณภาพของแหล่งน้ำในธรรมชาติจะเสื่อมโทรมลง

Chen and Lin (1995) กล่าวว่า การเลี้ยงปลาระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดสามารถผสมผสานร่วมกับการปลูกพืชไม่ใช้ดินที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ ในสารละลายที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช รวมกันเรียกได้ว่า Aquaponics system น้ำในบ่อเลี้ยงปลาจะไหลมาพักในถังตกตะกอน จากนั้นดูดน้ำจากถังตกตะกอนผ่านระบบกรองชีวภาพโดยผ่านใยแก้วกรอง จากนั้นจะไหลผ่านวัสดุกรองที่ใช้น้ำที่ผ่านระบบกรองชีวภาพจะไหลไปตามท่อเพื่อผ่านรากพืชแล้ว รากพืชจะดูดธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตน้ำที่ผ่านไปยังรากพืชจะถูกส่งต่อไปยังบ่อเลี้ยงปลาอีกครั้ง (Lewis *et al.*, 1978)

นภดล (2538) กล่าวว่า ผักกาดหอมห่อ ชื่อสามัญ Red coral ชื่อวิทยาศาสตร์ *Lactuca sativa* Linn. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ผักกาดหอมห่อเป็นพืชล้มลุก จัดอยู่ในตระกูล ผักกาดหอมพันธุ์ใบไม่ห่อหัวชนิดหนึ่ง ลำต้นเป็นกอ ใบสีเขียวปนแดงหยักเป็นคลื่น แหล่งที่ปลูก ผักกาดหอมปลูกได้ดีในภูมิประเทศที่อากาศหนาวใช้กินใบเป็นผัก วิธีควบคุมโรคและแมลง สำหรับพืชในระบบผสมผสานนั้นมีข้อจำกัดอยู่ที่ต้องเป็นวิธีควบคุมทางชีวภาพ เช่น การใช้ *Bacillus thuringiensis* การใช้สายพันธุ์พืชที่มีความต้านทานโรค การกางมุ้งหรือการดูแลเป็นพิเศษ ควรหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีพวกยาฆ่าแมลงหรือยาฆ่าเชื้อโรคต่าง ๆ เพราะเป็นพิษต่อปลา และระบบกรองชีวภาพที่สารเคมีปนเปื้อนลงในน้ำภายในระบบ

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

พายัพ (2543) กล่าวว่า เชื้อจุลินทรีย์มีค่าช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เช่น ราไมคอร์ไรซัล (Mycorrhizal fungi) เจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่า pH ระหว่าง 4-8 ขณะที่แบคทีเรียที่ช่วยเปลี่ยนแอมโมเนีย ไปเป็นไนเตรต เจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่า pH ที่เกิน 6 แต่ไม่เกิน 7.5

พุทธ (2548) กล่าวว่า ไนโตรเจนที่อยู่ในตัวของสัตว์น้ำเกิดมาจากสิ่งขับถ่าย หรือซากของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว รวมทั้งเศษอาหารที่เหลือตกค้างในบ่อล้วนแต่เป็นสารประกอบของโปรตีน

หรือเป็นสารอินทรีย์ไนโตรเจน เมื่อมีการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ก็จะเกิดแอมโมเนียขึ้นมา เรียกขบวนการนี้ว่า Ammonification โดยแบคทีเรียพวก Heterotroph เกิดได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูก แบคทีเรียในกลุ่ม Nitrifying Bacteria เปลี่ยนไปเป็นไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งจะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจน และจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแหล่งคาร์บอน โดยแบคทีเรียที่ชื่อ *Nitrosomonas* และ *Nitrococcus* จะเปลี่ยนแอมโมเนีย (NH_3) ให้เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) จากนั้น แบคทีเรียที่ชื่อ *Nitrobacter* ก็จะเปลี่ยนไนไตรท์ ให้เป็นไนเตรต เรียกขบวนการนี้ว่า Nitrification ดังสมการ

$$NH_3 + H^+ \text{----------}> NH_4^+$$

$$2NH_4{+}{+}3O_2 \text{----------}> 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$$

$$2NO_2^- + O_2 \text{----------}> 2NO_3^-$$

นิสากร (2546) กล่าวว่า ไนเตรตจะถูกพืชนำไปใช้โดยตรงในที่สุดจะถูกสร้างไปเป็นกรดอะมิโนและโปรตีนในพืชใหม่ จากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อเป็นไนโตรเจนในบรรยากาศได้ใหม่ โดยการกระทำของ *Denitrifying bacteria* เช่น *Pseudomonas, Thiobacillus* การเปลี่ยนแปลงจากไนไตรท์ และไนเตรต ไปเป็นกาซไนโตรเจน ในบรรยากาศใหม่นี้เรียกว่า Denitrification

Ridha and Cruz (2001) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้เป็นระบบกรองชีวภาพ 2 ชนิด (Polypropylene plastic และ Polyethylene) ในการลี้ยงปลานิล (*Oreochomis niloticus*) ในระบบน้ำหมุนเวียนพบว่า วัสดุที่ใช้เป็นระบบกรองชีวภาพ 2 ชนิดนี้ มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกัน คือ สามารถกำจัดและควบคุมแอมโมเนียให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยไม่มีผลต่ออัตราการรอด และอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลได้ตลอดระยะเวลาการเลี้ยง โดยที่วัสดุกรอง 1 ลูกบาศก์เมตร จะสามารถให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตปลานิลถึง 215.0 กิโลกรัม

Van Rijn and Rivera (1990) ได้ศึกษากระบวนการออกซิเดชันและรีดักชันของสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยใช้ Trickling filters ซึ่งเป็นระบบแอโรบิก และ fluidized bed columns ซึ่งเป็นระบบแอโรบิก พบว่า หน่วยบำบัด Trickling filters สามารถกำจัดแอมโนเนียได้ 0.43 กรัมของแอมโมเนีย-ไนโตรเจนต่อตารางเมตรต่อวัน และไนไตรท์จะถูกกำจัดเมื่อปริมาณแอมโมเนียอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

Greiner and Timmons (1998) ได้ทดลองเลี้ยงปลานิลที่ความหนาแน่น 168 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดโดยใช้แผ่นกรองลอยน้ำจำพวก Polystyrene bead และ trickling media พบว่าที่ปริมาณ Total ammonia-nitrogen ระหว่าง 0.81-4.63 มิลลิกรัมต่อลิตร แผ่นกรองลอยน้ำจำพวก Polystyrene bead จะมีอัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชั่นอยู่ที่ 0.94-3.92

กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน เฉลี่ยแล้วสามารถลดปริมาณ Totall ammonia-nitrogen ได้ 8.6 + 2.6 % และ 9.3 + 4.6 % ตามลำดับ

Reyes and Lowson (1996) ได้ศึกษาผลของการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลานิลในระบบหมุนเวียนน้ำโดยหน่วยบำบัดประกอบด้วย Floating bead filter และ RBC ปรากฏว่า ทั้งสองหน่วยบำบัดสามารถกำจัด 60.6 กรัมของ Totall ammonia-nitrogen ต่อวัน และ 59.6 กรัมของ NO_2-N ต่อวัน หรือคิดเป็น 30.7 และ 51.7 % ของปริมาณทั้งหมด

Losordo (1999) ให้คำจำกัดความระบบกรองชีวภาพว่าเป็นระบบที่ต้องมีวัสดุยึดเกาะที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะต่อหน่วยพื้นที่ค่อนข้างมาก เพื่อเอื้อประโยชน์ต่อการเกาะติดของแบคทีเรียโดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่ม *Nitrifying bacteria* จนสามารถเจริญเติบโต และเพิ่มมวลชีวภาพในอัตราค่อนข้างสูง เพื่อดูดซับอันอิออนไนซ์แอมโมเนียออกจากระบบ โดยเกิดกระบวนการออกซิไดซ์จากแอมโมเนีย-ไนโตรเจนไปเป็นไนไตรท์-ไนโตรเจน โดยแบคทีเรียสกุล *Nitrosomona* และออกซิไดซ์ไนไตรท์-ไนโตรเจนไปเป็นไนเตรต-ไนโตรเจน โดยแบคทีเรียสกุล *Nitrobacter* ตามลำดับ

Tardiff, (1992) รายงานว่า การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้มีการนำเอาระบบกรองชีวภาพเข้ามาใช้กันมากขึ้น ซึ่งระบบการกรองชีวภาพนี้ไม่ได้ออกแบบมา เพื่อกำจัดวัตถุที่มีขนาดใหญ่ที่แขวนลอยในน้ำ แต่ถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดสารอาหารที่ละลายในน้ำมีอนุภาคขนาดเล็ก โดยระบบจะเปลี่ยนสารอาหารในรูปที่เป็นพิษไปเป็นสารอาหารในรูปที่ไม่มีพิษ เช่น เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรต โดยประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น แสง อุณหภูมิ ปริมาณแอมโมเนียในน้ำ ค่าความสกปรกในระบบ ปัจจัยเหล่านี้ มีผลต่ออัตราเมตาบอลิซึมของแบคทีเรีย นอกจากนี้ ยังมีการออกแบบรูปทรงของถังกรองขนาด และปริมาตรของวัสดุกรอง ปริมาตรน้ำที่บำบัด และอัตราการไหลผ่านวัสดุกรองด้วย

Quillere *et al.* (1993) ได้ทดลองเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศ (*Lycopersion esculentum*) ในระบบนิเวศแบบปิดพบว่า ในช่วงที่มะเขือเทศมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ในระบบมีไนเตรต (NO_3) แอมโมเนีย (NH_4) และฟอสเฟต (PO_4^3) เหลืออยู่น้อยมาก หลังจากนั้น ไนเตรต (NO_3) แอมโมเนีย (NH_4) และฟอสเฟต (PO_4^3) ในระบบจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากพืชมีอัตราการเจริญเติบโตน้อยลง ส่วนธาตุไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัส (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) ที่สะสมอยู่ในใบมะเขือเทศเท่ากับ 3.4 และ 1.1 ตามลำดับ ส่วนในผลของมะเขือเทศ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) เท่ากับ 2.7 และ 0.7 ตามลำดับ และในน้ำที่มีค่าพีเอช (pH) มากขึ้น แต่ในน้ำมี ค่าพีเอชสูงจะทำให้ปริมาณไนเตรต แอมโมเนีย และไดไฮโดรเจนฟอสเฟตน้อยลง

Rakocy *et al.* (1993) กล่าวว่า สัตว์น้ำจะขับถ่ายของเสียในรูปของสารละลายต่าง ๆ กันอยู่หลายรูป แต่ที่ขับถ่ายออกมามากที่สุดจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยคิดเป็นร้อยละ 60-70

รองลงมาคือ ยูเรีย ยูริค ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจน มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แต่ไนเตรต-ไนโตรเจนจะมีความเป็นพิษต่ำ และยังเป็นแหล่งไนโตรเจน สำหรับพืชชั้นสูงได้ด้วย

ความสำคัญของธาตุอาหาร

1. ความสำคัญของธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช ปริมาณธาตุต่าง ๆ ในดินที่พืชมีความต้องการในปริมาณน้อย ได้แก่

1.1. ไนโตรเจน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญหลายชนิดของสารประกอบอินทรีย์ โดยเฉพาะกรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิค โคเอนไซม์ และคลอโรฟิลล์

1.2 ฟอสฟอรัส เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ของสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด เช่น น้ำตาลฟอสเฟต ATP กรดนิวคลีอิค โคเอนไซม์ฟอสโฟลิปิด

1.3 โพแทสเซียม ทำหน้าที่เหมือนโคเอนไซม์ หรือเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์หลายชนิด (เช่น ไพรเวทไคเนส) นอกจากนี้ในการสังเคราะห์โปรตีน ต้องการโพแทสเซียมในระดับสูง โพแทสเซียมไม่อยู่ในรูปที่เสถียรในโครงสร้างของโมเลกุลหลายชนิดภายในเซลล์พืช

1.4 ซัลเฟอร์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะกรดอะมิโน และโปรตีน โคเอนไซม์ วิตามิน ไทอามิน และไบโอที ที่ประกอบด้วยซัลเฟอร์

1.5 แมกนีเซียม เป็นส่วนประกอบสำคัญของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ และใช้ในการกระตุ้นเอนไซม์หลายชนิด โดยเฉพาะขั้นตอนของ AIP ที่ซับซ้อนออกจากกัน และจำเป็นใช้ในการรักษาโครงสร้างของไรโบโซม (Ribosome)

1.6 แคลเซียม มักจะตกตะกอนเป็นผลึก คริสตัลของแคลเซียมออกซาเลกในแวลคิวโอล พบในเซลล์พืช ได้แก่ แคลเซียมเพคเตรท รวมกับผนังซีเมนต์ของผนังชั้นแรกที่ติดกับเซลล์ และใช้รักษาเนื้อเยื่อเป็นส่วนประกอบของ Enzyme-&-amylase บางครั้งจะเชื่อมกับแมกนีเซียม เพื่อกระตุ้นเอนไซม์ให้เกิดปฏิกิริยา

1.7 เหล็ก พืชต้องการใช้ในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นในไซโตโครม ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวนำพาอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และกระบวนการหายใจของพืช เป็นส่วนประกอบที่จำเป็นในเฟอรี่ดอกซิน และใช้เป็นเอนไซม์ในปฏิกิริยาไนเตรตรีดักเตส (nitrate reductase) และกระตุ้นเอนไซม์ชนิดอื่น ๆ

1.8 คลอรีน จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงซึ่งคลอรีนจะทำหน้าที่เหมือนกับเอนไซม์ เป็นตัวกระตุ้นระหว่างการผลิตออกซิเจนจากน้ำ และทำหน้าที่อีกอย่างคือป้องกันผลของการขาดแคลนของราก

1.9 แมงกานีส เป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์ 1 ชนิดหรือมากกว่าในกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมัน ซึ่งเอนไซม์จะต้องตอบสนองต่อ DNA RNA และเอนไซม์ไอโซซิเตรท ดีไฮโดรจีเนส ในวัฏจักรเครบ และเข้าร่วมในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ในการผลิตออกซิเจนในน้ำ และบางครั้งจะอยู่ในรูปของคลอโรฟิลด์

1.10 โบรอน บทบาทในพืชยังไม่แน่ชัดบางครั้งต้องการ สำหรับการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรต ในโฟลเอ็ม

1.11 สังกะสี พืชต้องการใช้ในรูปฮอร์โมน Indoleacetic acid ใช้กระตุ้นเอนไซม์แอลกอฮอล์ ดีไฮโดรจีเนส เลคติก แอซิดดีไฮโดรจีเนส กูตามิคแอซิดกีไฮโดรจีเนส และคาร์บอกซีเปบทีเดส

1.12 ทองแดง ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ของพลาสโตไซนานิน ซึ่งใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และในโพลีฟีนอลออกซิเดรตกับไนเตรททรีดักเตส อยู่ในกระบวนการตรึงไนโตรเจน

1.13 โมลิบดีนัม เป็นตัวนำพาอิเล็กตรอนในกระบวนการเปลี่ยนไนเตรตเป็นแอมโมเนียม และกระบวนการตรึงไนโตรเจน

1.14 คาร์บอน เป็นส่วนประกอบของสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมดที่พบในพืช

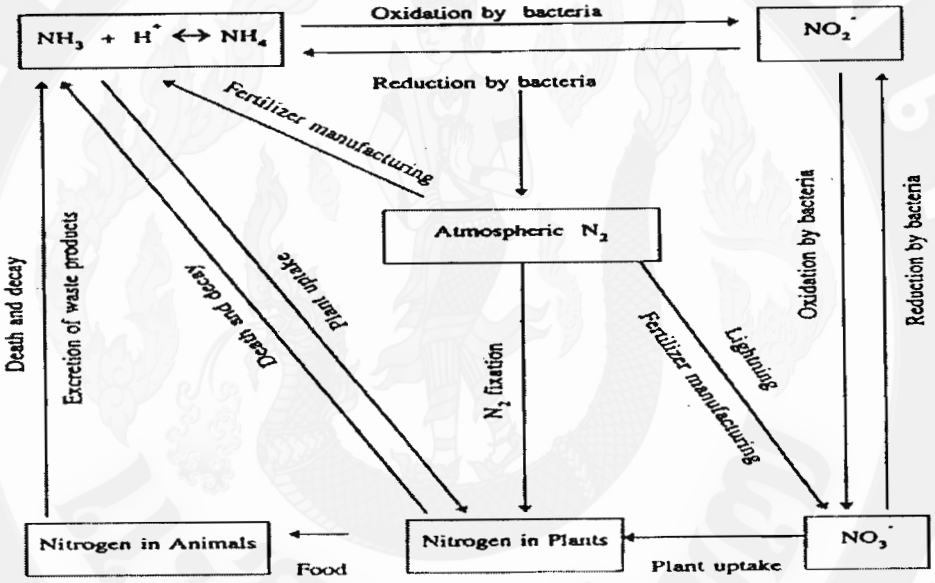
1.15 ไฮโดรเจน เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ทั้งหมดที่พบในพืชเหมือนคาร์บอน และมีความสำคัญในการแลกเปลี่ยนแคทไอออนระหว่างพืชกับดิน

1.16 ออกซิเจน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสารประกอบอินทรีย์หลายชนิดในพืช และมีสารประกอบอินทรีย์บางชนิดที่ไม่มีส่วนประกอบของออกซิเจน เช่น แคโลทีน รวมถึงการแลกเปลี่ยนแอนไอออนระหว่างรากกับวัสดุปลูกภายนอก และเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายในกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจน (อานัฐ, 2548)

อารักษ์ (2544) กล่าวว่า ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมากได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน โดยธาตุอาหารทั้ง 6 ชนิดนี้ เป็นกลุ่มที่พืชต้องการในปริมาณมากสำหรับการเจริญเติบโต ดังนั้นในดินจึงมักขาดธาตุเหล่านี้บ่อยมากโดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งในดินจะมีอยู่จำกัด และขาดบ่อยกว่าธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถัน ทำให้เกิดการคิดค้นปุ๋ยเคมีขึ้น โดยประกอบด้วยธาตุ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จึงอาจเรียกธาตุอาหารนี้ว่า อาหารปุ๋ย หรือธาตุหลัก สำหรับธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม

และกำมะถัน อาจเรียกได้ว่า เป็นธาตุรอง บางครั้งธาตุแคลเซียม และแมกนีเซียม อาจเรียกว่าเป็นธาตุปูน หมายถึง ธาตุที่มักใส่ลงไปในดินในรูปของปูน ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย ได้แก่ เหล็ก สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดินัม และคลอรีน ซึ่งเป็นธาตุที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าธาตุอาหารอื่น ๆ ที่พืชต้องการแต่คิดเป็นปริมาณที่น้อยกว่าในกลุ่มแรกอาจเรียกธาตุทั้ง 7 ว่า จุลธาตุ

คุณสมบัติของน้ำในระบบการเลี้ยงปลา



ภาพ 3 การหมุนเวียนของไนโตรเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ
ที่มา: Boyd (1982)

1. แอมโมเนีย-ไนโตรเจน

มั่นสิน และไพพรรณ (2544) กล่าวว่า สัตว์น้ำทุกชนิดขับถ่ายของเสียที่เป็นสารไนโตรเจนซึ่งมากกว่า 50% อยู่ในรูปของแอมโมเนีย แอมโมเนียเข้าสู่น้ำโดยผ่านทางปุ๋ย อาหารปลาสิ่งขับถ่ายของปลา และการเน่าเปื่อยของสารประกอบไนโตรเจน การให้อาหารปริมาณมากในบ่อปลาที่มีการเลี้ยงอย่างหนาแน่นอาจทำให้เกิดแอมโมเนียสูงเกินไป

Boyd (1982) กล่าวว่า แอมโมเนียมาจากการเติมปุ๋ยการขับถ่าย และจุลชีพที่อาศัยในน้ำมีสารประกอบไนโตรเจนอยู่ แอมโมเนียสามารถสลายได้โดยการดูดซึมของพืช และการออกซิไดซ์แอมโมเนียให้กลายเป็นไนเตรต อย่างไรก็ตาม ในบ่อปลาที่มีการเลี้ยงอย่างหนาแน่นจะทำให้ปริมาณแอมโมเนียมีค่าสูงขึ้นตาม

ธรรมรักษ์ (2541) กล่าวว่า แอมโมเนียในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่ได้จากการขับถ่ายของปลา และพวกครัสตาเซียนซึ่งประมาณได้จากเปอร์เซ็นต์ของโปรตีน ในอาหารกับประสิทธิภาพการนำโปรตีนไปใช้ประโยชน์สุทธิ (Net protein utilization, NPU) ค่า NPU หาได้จากการนำปริมาณโปรตีนที่คงเหลืออยู่ในตัวปลาหลังจากกินอาหารแล้วลบออกจากปริมาณโปรตีนในอาหารที่ให้ปลากิน อาหารปลาที่ดีจะมีค่าประมาณ 0.4

Naegel (1977) ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล (*Tilapia mossambica*) และปลาคาร์พ (*Cyprinus carpio*) ร่วมกับผักกาดหอม และมะเขือเทศ ปริมาตรน้ำที่ใช้ในระบบประมาณ 200 ลิตร โดยเลี้ยงปลานิล และปลาคาร์พ อย่างละ 5 กิโลกรัมต่อปริมาตรน้ำ 250 ลิตร โดยให้อาหาร 5 เปอร์เซนต์ต่อน้ำหนักตัวต่อวัน พบว่าในช่วงเวลา 7 สัปดาห์แรก ความเข้มข้นของ NO_3^+-N สูงถึง 1200 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากเกิดขบวนการ nitrification

2. ไนไตรท์-ไนโตรเจน

ธรรมรักษ์ (2541) กล่าวว่า ไนไตรท์เป็นสารประกอบไนโตรเจนรูปหนึ่ง ที่เกิดขึ้นจากการหมุนเวียนของไนโตรเจนในแหล่งน้ำ เกิดจากกึ่งกลางระหว่างการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียเป็นไนเตรต (Nitrification) และไนเตรตเปลี่ยนกลับเป็นแอมโมเนีย (Denitrification) ถ้าในน้ำมีออกซิเจนเพียงพอ ไนไตรท์จะเปลี่ยนไปเป็นไนเตรตอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าน้ำขาดออกซิเจนพวกจุลินทรีย์จะรีดิวซ์ไนเตรตไปเป็นไนไตรท์ ทำให้เป็นพิษต่อสัตว์น้ำความเป็นพิษที่ 96-hr LC50 สำหรับปลาน้ำจืดทั่วไปประมาณ 0.66-200 mg/l ในขณะที่ความเป็นพิษสำหรับพวกครัสตาเซียนน้ำจืดประมาณ 8.5-15.4 mg/l และกุ้งก้ามกราม (Giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*) เจริญเติบโตลดลง ถ้ามีความเข้มข้นไนไตรท์ 1.8-6.2 mg/l

มั่นสิน และไพพรรณ (2544) กล่าวว่า ไนไตรท์ทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ได้เมทธิโมโกลบิน (Methemogloboin) ซึ่งไม่สามารถขนถ่ายออกซิเจนในปลาได้ ปลาที่ได้รับไนไตรท์จึงมีเมทธิโมโกลบินในเลือดซึ่งเห็นได้เป็นสีน้ำตาล ปลาที่มีอาการเช่นนี้จะไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้เนื่องจากไม่สามารถใช้ออกซิเจนได้ การสะสมของไนไตรท์เชื่อว่าเกิดจากความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น บ่อปลาอาจพบไนไตรท์ได้สูงถึง 0.5-5 มก./ล.N สอดคล้องกับการศึกษาของ Boyd (1982) รายงานว่า เมื่อไนไตรท์ถูกดูดซึมเข้าไปในร่างกายของปลา ไนไตรท์จะเปลี่ยนฮีโมโกลบินเป็น

เมทธีโมโกลบินซึ่งไม่สามารถรับออกซิเจนได้ นอกจากนั้น ยังทำให้เลือดกลายเป็นสีน้ำตาลจึงเรียกพิษที่เกิดจากไนไตรท์ในปลาว่า "brown blood disease"

3. ไนเตรต-ไนโตรเจน

ธรรมรักษ์ (2541) กล่าวว่า ไนเตรตเป็นสารประกอบไนโตรเจนรูปหนึ่ง ซึ่งอาจเพิ่มขึ้นได้จากจุลินทรีย์ในน้ำ เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรตแล้วถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ โดยพืชน้ำ โดยปกติความเป็นพิษของไตรเตรตต่อสัตว์น้ำมีน้อยมาก นอกจากสภาวะที่บ่อขาดออกซิเจนจุลินทรีย์จะรีดิวซ์ไนเตรตไปเป็นไนไตรท์ทำให้เกิดเป็นพิษกับสัตว์น้ำขึ้นมา

ประเทือง (2538) กล่าวว่า ทางด้านการประมงไนเตรตไม่ถือว่าเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยตรง นอกเสียจากมีความเข้มข้นสูงมากแต่จะทำให้เกิดปัญหาทางอ้อม ในกรณีที่ไนเตรตได้เปลี่ยนสภาพมาจากไนไตรท์และแอมโมเนีย ถ้าหากบริโภคน้ำที่มีไนเตรตสูงจะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายโดยจะทำให้เกิดโรคต่อระบบโลหิต ซึ่งเรียกว่า Methemoglobinemia

Welch (1980) รายงานว่า ไนเตรตจะถูกพืชนำไปใช้ประโยชน์โดยตรง และในที่สุดจะถูกสร้างเป็นกรดอะมิโน และโปรตีนในพืชใหม่ นอกจากนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นไนโตรเจนในอากาศได้ใหม่ โดยการกระทำของแบคทีเรีย เช่น *Pseudomonas, Thiobacillus* และ*Micrococcus* การเปลี่ยนแปลงจากไนไตรท์ และไนเตรต ไปเป็นก๊าซไนโตรเจน ในบรรยากาศใหม่เรียกว่า denitrification โดย Thiobacillus denitrification เปลี่ยนไนเตรตไปเป็นไนโตรเจนดังสมการ

$$5S + 6NO_3 + 2H_2O \longrightarrow 5SO_4 + 3N + {}_4H + \text{พลังงาน}$$

นันทนา (2536) กล่าวว่า ไนเตรตปกติจะมีอยู่ค่อนข้างน้อยในธรรมชาติโดยปกติจะพบความเข้มข้นของไนเตรตไม่เกิน 10 mg/l และบ่อยครั้งที่น้อยกว่า 1 mg/l ในบางช่วงเวลาที่มีผลผลิตอันดับแรกสูง ถ้าความเข้มข้นสูงเกินกว่า 20 mg/l จะเป็นอันตรายต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมได้

4. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

ศิริเพ็ญ (2543) กล่าวว่า กาซออกซิเจนเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีวิตสิ่งมีชีวิตในน้ำสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ด้วยการอาศัยกาซออกซิเจนที่ละลายน้ำ ซึ่งได้มาจากการละลายของออกซิเจนจากอากาศและกระบวนการสังเคราะห์แสง ปริมาณออกซิเจนมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับสิ่งมีชีวิตโดยจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการต่าง ๆ ของปฏิกิริยาทางชีวเคมีปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้แก่ อุณหภูมิ อัตราการหายใจ อัตราการสังเคราะห์แสง ความลึกของน้ำ

ความดันบรรยากาศ ช่วงเวลาของวัน ฤดูกาล ปริมาณอินทรีย์สาร และประสิทธิภาพการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของเกรียงศักดิ์ (2539) ที่พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการละลายตัวของออกซิเจน นอกจากช่วงเวลาของวัน ความลึก อัตราการสังเคราะห์ และการหายใจ ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่สำคัญ เช่น ความเข้มของแสง อุณหภูมิ ความสูง ความกดดันของบรรยากาศและมลพิษที่ปล่อยสู่แหล่งน้ำ

ประเทือง (2538) กล่าวว่า กาซออกซิเจนมีความสำคัญอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิตแทบทุกชนิด เพราะต้องถูกนำไปใช้ในขบวนการต่าง ๆ เพื่อก่อให้เกิดพลังงาน ขบวนการต่าง ๆ ที่ต้องใช้ออกซิเจนเรียกว่า Aerobic process กาซออกซิเจนเป็นกาซที่ละลายน้ำได้น้อยมาก เนื่องจากว่าไม่ได้ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำ ดังนั้นการละลายจึงขึ้นอยู่กับความกดดันของบรรยากาศ อุณหภูมิของน้ำ และปริมาณเกลือแร่ที่มีอยู่ในน้ำ

Boyd (1982) กล่าวว่า น้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่เต็มที่ในรูปสมดุลกับบรรยากาศเรียกว่า การอิ่มตัว (Saturated) น้ำที่มีออกซิเจนอยู่น้อยกว่าเรียกว่า การยังไม่อิ่มตัว (Under saturated) น้ำที่มีออกซิเจนมากกว่านี้เรียกว่า การอิ่มตัวเกินไป (Supersaturated)

มั่นสิน และไพพรรณ (2544) กล่าวว่า บ่อปลาที่มีอ๊อกซิเจนละลายอยู่น้อยเป็นเวลานาน ๆ อาจเป็นอันตรายต่อปลาได้ภายใต้สภาวะดังกล่าวปลาอาจติดเชื้อโรคจากแบคทีเรียได้ง่าย ในทางตรงกันข้ามปลาที่เลี้ยงอยู่ในน้ำที่มีออกซิเจนละลายอยู่สูงเกินระดับอิ่มตัวก็เป็นโรคได้ง่าย โรคที่เกิดจากการที่มีออกซิเจนละลายอยู่มากเกินไป เรียกว่า Gas Bubble Disease ซึ่งทำให้เกิดฟองกาซในเลือด ในขณะที่ปลาเคลื่อนตัวมาจากน้ำที่มีออกซิเจนสูงมายังที่มีออกซิเจนอยู่น้อย โรคดังกล่าวทำให้ปลาตายในขณะที่เคลื่อนตัวมาจากน้ำที่มีออกซิเจนสูงมายังน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่น้อย ในบ่อปลาที่มีแพลงก์ตอนพืชสมบูรณ์น้ำตอนบนจะมีออกซิเจนละลายอยู่สูงมาก ปลาจะหนีลงไปอาศัยอยู่ในน้ำตอนล่างที่มีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าจึงไม่เป็นอันตราย

5. บีโอดี

มั่นสิน (2543) กล่าวว่า ปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในขวดบีโอดีเกิดจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งมีการกินอาหารซึ่งเป็นสารอินทรีย์ในน้ำเสียการกินอาหารเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้อากาศ ทำให้มีการใช้หรือบริโภคออกซิเจนในขวดบีโอดี การย่อยสลายสารอินทรีย์จนหมดมิได้เกิดขึ้นทันที โดยทั่วไปพบว่า ต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 20 วัน นั่นคือ ในแต่ละวันแบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ไปบางส่วน ซึ่งอาจวัดได้เป็นปริมาณความเข้มข้นของ COD และ COD ที่ลดลง ในแต่ละวันเมื่อต้องการทราบว่าแหล่งน้ำนั้นมีความสกปรกมากน้อยเพียงใดสามารถ

วัดได้โดยการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ BOD ในน้ำ ถ้าวัดพบ BOD เข้มข้นมาก แสดงว่ามีความสกปรกมาก ถ้าวัดพบ BOD เข้มข้นต่ำแสดงว่ามีความสกปรกน้อย ความสกปรกในที่นี้หมายถึงความสกปรกที่เกิดจากสารอินทรีย์ซึ่งทำให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเหม็นได้

กรรณิการ์ (2544) รายงานว่า BOD ย่อมากจาก Biochemical Oxygen Demand เป็นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ (Decomposable) ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน คำว่า decomposable หมายถึงสารอินทรีย์ที่สามารถเป็นสารอาหารของแบคทีเรีย จากการออกซิเดชันนี้จะได้พลังงานซึ่งแบคทีเรียจะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและแบ่งตัวต่อไป ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการออกซิเดชันสารอาหารเหล่านี้ อาจเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ หรือแอมโมเนีย ขึ้นอยู่กับสารอาหาร

ประเทือง (2538) รายงานว่า ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารเพื่อการดำรงชีวิตจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอินทรีย์สาร..ปริมาณของแบคทีเรียและอุณหภูมิ ถ้ามีมากออกซิเจนก็ต้องการใช้มากตามไปด้วย

จุลินทรีย์ที่อยู่ในของเสียนั้นปกติจะประกอบด้วย heterotrophic bacteria และจุลินทรีย์อื่นย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นจำนวนมากซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ และออกซิเจนในการวิเคราะห์ BOD นอกจากจุลินทรีย์ในกลุ่มดังกล่าว ยังมีจุลินทรีย์ในกลุ่ม nitriflying bacteria ซึ่งจะออกซิไดซ์แอมโมเนียและไนไตรท์เพื่อให้ได้พลังงาน แต่จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้จะมีปริมาณค่อนข้างน้อย และอัตราการเจริญเติบโตแพร่พันธุ์ที่ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะอยู่ในระดับที่ยังไม่มีประชากรมากเพียงพอ ที่จะมีความต้องการใช้ออกซิเจนมากพอที่จะส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ BOD ตามปกติจนกว่าจะถึงเวลา 8-10 วัน ถึงจะมีการออกซิไดซ์ แอมโมเนีย และไนไตรท์ ในปริมาณที่ทำให้เกิดปัญหาในการวัดค่า BOD ทั้งหมด ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า BOD ที่ระยะ 5 วัน ในการวิเคราะห์ (ยนต์, 2539)

6. ความเป็นกรด-ด่าง

มั่นสิน และมั่นรักษ์ (2545) กล่าวว่า พีเอช เป็นพารามิเตอร์ที่วัดง่ายที่สุดอย่างหนึ่ง แต่มีบทบาทและความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ เช่น โคแอกูเลชั่น การตกผลึก การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาเป็นต้น ระดับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการต่าง ๆ นั้นมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากขึ้นอยู่กับปัจจัยทางเคมีหรือชีวภาพของกระบวนการ

Seawright *et al.* (1998) ทำการทดลองเลี้ยงปลานิลร่วมกับการปลูกผักกาดหอม พบว่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 7.5 จะทำให้เกิดขบวนการ nitrification และพืชสามารถใช้ประโยชน์จากฟอสฟอรัส และเหล็กมากขึ้น

ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำนอกจากจะมีผลต่อสัตว์น้ำโดยตรงแล้ว ยังมีผลทางอ้อม เช่น ทำให้สารพิษชนิดอื่น ๆ มีการแตกตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลง ตัวอย่างเช่น ค่า pH ที่สูงขึ้นจะทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้น การแทรกซึมสารพิษบางชนิดเข้าสู่ร่างกายของสัตว์น้ำยังขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลายนั้น ๆ อีกด้วย นอกจากนี้การใส่ปุ๋ยในบ่อปลา หากน้ำหรือดินมีสภาพเป็นกรดมากเกินไป การใส่ปุ๋ยก็ไม่เกิดประโยชน์ ฉะนั้นต้องมีการปรับปรุงค่า pH ของน้ำหรือดิน เสียก่อน จึงจะทำให้ปุ๋ยละลายและถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์โดยสิ่งมีชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ประเทือง, 2536)

7. ฟอสฟอรัส

เกรียงศักดิ์ (2539) กล่าวว่า สารประกอบฟอสฟอรัสที่พบในแหล่งน้ำมีอยู่ 3 แบบ คือ

1) พวกอินทรีย์ฟอสเฟต (Ortho Phosphates) ได้แก่ สารประกอบฟอสฟอรัสที่เกิดจากขบวนการทางชีวะ และฟอสเฟตที่รวมอยู่กับสารอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น และรวมทั้งฟอสฟอรัสที่อยู่กับซากพืชซากสัตว์

2) พวกอนินทรีย์ฟอสเฟต (Inorganic Phosphate) ได้แก่ สารประกอบฟอสเฟตที่พบในแหล่งน้ำทั่ว ๆ ไปซึ่งได้มาจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมต่าง ๆ แบ่งออกได้เป็น สารประกอบออโธฟอสเฟต (Ortho Phosphates) ได้แก่สารประกอบพวก PO_4^{-3} HPO_4^{-2} และ $H_2PO_4^{-1}$ สารประกอบพวกนี้ละลายน้ำได้ดี และแพลงก์ตอนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สารประกอบออโธฟอสเฟตนี้บางทีเรียก Soluble Reactive Phosphorus ซึ่งถือว่ามีความสำคัญทางด้านการประมง

3) พวกโพลีฟอสเฟต (Polyphosphates) ได้แก่ สารประกอบที่พบในน้ำทิ้งจากบ้านเรือน ที่อยู่อาศัย เนื่องจากเป็นส่วนผสมของผงซักฟอก (Detergent) ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สารประกอบพวกโพลีฟอสเฟตสามารถเปลี่ยนแปลงมาเป็นออโธฟอสเฟตได้ โดยขบวนการไฮโดรไลซีส (Hydrolysis) เมื่ออยู่ในน้ำ และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือ pH ลดลงก็จะช่วยเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวให้ เร็วขึ้น ซึ่งพวกออโธฟอสเฟตจะมีอิทธิพลต่อการแพร่พันธุ์เจริญเติบโตของพืชน้ำและแพลงก์ตอนพืช

ประเทือง (2538) กล่าวว่า ฟอสฟอรัสหรือฟอสเฟตในแหล่งน้ำธรรมชาติ มีความสำคัญต่อการประมง เนื่องจากมีความจำเป็นต่อการดำรงชีพของพืชและสัตว์ โดยเฉพาะพืชชั้นต่ำซึ่งจะใช้ในการสังเคราะห์แสง ในน้ำธรรมชาติเราพบฟอสเฟตอยู่ในรูปของสารละลายน้ำ หรืออยู่ในรูปของซากพืชซากสัตว์โดยปกติฟอสฟอรัสจะสะสมอยู่ในดิน หิน แร่ หรือแหล่งสะสมอื่น ๆ ปลดปล่อยออกมาในรูปที่ละลายน้ำโดยการชะล้าง พืชและสัตว์จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และสร้าง Protoplasm เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อพืช โดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืช

สามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วเป็นการสร้างความอุดมสมบูรณ์แก่แหล่งน้ำ แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดสภาวะเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ มีผู้รายงานว่า หากแหล่งน้ำมีฟอสฟอรัสสูงเกินกว่า 0.1 mg/l จัดว่าแหล่งน้ำนั้นมีอาหารธรรมชาติมากเกินไป และแหล่งน้ำที่มีปัญหามลภาวะจะมีฟอสฟอรัสสูงถึง 0.6 mg/l แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำไม่ได้ทำให้เกิดความเป็นพิษเพียงแต่เป็นตัวการในการทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชน้ำสูง ในการควบคุมป้องกันปัญหาสภาพการเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ จึงกำหนดไว้ว่าไม่ควรมีปริมาณของฟอสฟอรัสเกิน 0.03 mg/l

ไมตรี (2530) กล่าวว่า ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะพบฟอสเฟตในปริมาณต่ำเนื่องจากสามารถตกตะกอนกับเหล็ก แคลเซียม อะลูมิเนียม โซเดียมได้ และบางส่วนจะถูกดูดซับโดยดินเหนียวใต้ท้องน้ำ ดังนั้น จะพบฟอสเฟตที่ก้นน้ำมากกว่าที่ผิวน้ำ ในน้ำที่มี pH อยู่ในช่วง 6.3–6.9 จะเป็นช่วงที่มีอินทรีย์ฟอสเฟต อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มากที่สุด

Rakocy *et al.* (1993) ทดลองเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis aureus*) ร่วมกับการปลูกผักใบเขียว มะเขือเทศ และผักกาดแบบไม่ใช้ดิน พบว่า มีการสะสมของธาตุอาหารต่าง ๆ ดังนี้ การสะสมฟอสเฟตและซัลเฟตมีระดับต่ำ โพแทสเซียมมีอัตราการสะสมมากที่สุด ในจำนวนแร่ธาตุทั้งหมด เนื่องจากมีอัตราการนำไปใช้ประโยชน์ของโพแทสเซียมต่ำกว่าอัตราการสะสม

8. สภาพการนำไฟฟ้า

Boyd (1982) กล่าวว่า น้ำมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ตามความเข้มข้นของอิออนต่าง ๆ น้ำที่มีอิออนมากจะนำไฟฟ้าได้ดีกว่าน้ำที่มีอิออนน้อย น้ำกลั่นจะมีสภาพนำไฟฟ้าเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้น ค่าสภาพการนำไฟฟ้าจึงมีความสัมพันธ์กับค่า TDS หรือ DS ของน้ำ แต่ความสัมพันธ์นี้ไม่มีค่าตายตัวหรือคงที่ อัตราส่วนระหว่างสภาพการนำไฟฟ้าต่อ TDS จะมีค่าสูง สำหรับน้ำที่มี pH สูงมาก (เป็นด่าง) หรือ pH ต่ำมาก (เป็นกรด) และมีค่าลดลงสำหรับน้ำที่มี pH อยู่ในช่วงเป็นกลาง (ระหว่าง 6–8)

มั่นสิน (2543) กล่าวว่า สภาพการนำไฟฟ้าของสารละลาย หมายถึง ความสามารถในการนำไฟฟ้าซึ่งแปรตรงกับจำนวนและชนิดของอิออนที่อยู่ในสารละลาย การวัดสภาพนำไฟฟ้าของสารกระทำโดยจุ่มขั้วอิเล็กโทรด 2 อัน ไว้ในสารละลายที่ต้องการวัดผ่านกระแสไฟฟ้า (I) จนทำให้เกิดความต่างศักย์ (แรงเคลื่อนไฟฟ้า) หรือ E ขึ้น ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของอิออนต่าง ๆ ไม่เท่ากัน อิออนที่มีค่าสภาพนำไฟฟ้ามากสุดคือไฮโดรเจน (H^+) มีค่า 350 ไมโครโมห์/ซม.

วิรัช (2540) กล่าวว่า ความนำไฟฟ้า (Conductivity) หรือ ความนำไฟฟ้าจำเพาะของน้ำ คือ ความสามารถในการนำกระแสไฟฟ้าของน้ำ มักจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของแข็งที่ละลายซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเกลือแร่ต่าง ๆ ระดับการแตกตัวเป็นไอออนของเกลือแร่ต่าง ๆ ในน้ำ จำนวนประจุของไอออนแต่ละตัว การเคลื่อนที่ของไอออน และอุณหภูมิของน้ำล้วนมีอิทธิพลต่อความนำ

ไฟฟ้าของน้ำ ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ หน่วยวัดเป็นไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร (μScm^{-1}) และค่าความนำไฟฟ้าของแหล่งน้ำแต่ละแห่งจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมด (Total dissolved solid) และอิออนหลักที่อยู่ในน้ำ ดังนั้นค่าของปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมดเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ความนำไฟฟ้าของน้ำจืดส่วนใหญ่จะมีค่าระหว่าง 10-1,000 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร โดยเฉพาะน้ำเสีย ดังนั้น ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ จึงเป็นดรรชนีอย่างหยาบที่ใช้ประเมินปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำ หรือเป็นค่าที่ใช้ประเมินความเน่าเสียของน้ำเบื้องต้นได้ ปกติค่าความนำไฟฟ้ามักวัดโดยตรงในแหล่งน้ำด้วยเครื่องมือวัด

9. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

วิรัช (2540) กล่าวว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Total dissolved solids) หมายถึงปริมาณของไอออนทั้งหมดที่ละลายในน้ำ การวัดทำโดยการชั่งปริมาณของแข็งที่เหลือหลังจากนำตัวอย่างน้ำที่ผ่านการกรองเพื่อแยกปริมาณสารแขวนลอยออกด้วยกระดาษกรองแล้ว นำมาอบให้ส่วนที่เป็นน้ำระเหยจนหมด แต่ถ้าเป็นตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ผ่านการกรองปริมาณของแข็งที่เหลือหลังจากการอบจะเป็นปริมาณของแข็งรวม (Totol solids) ในน้ำซึ่งเกิดจากสารประกอบหลักที่แตกตัว ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำจะเป็นค่าที่บ่งบอกความเค็มของน้ำก็ได้ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

10. ปริมาณสารที่ตกตะกอนได้

ปริมาณสารแขวนลอยที่ตกตะกอนภายใต้ภาวะปกติ (Settleable matter) คือ ปริมาณของสารแขวนลอยที่ตกตะกอนเอง เมื่อทิ้งไว้ภายใต้ภาวะปกติโดยไม่มีการปั่นแยกตะกอนหรือใช้วิธีทางเคมีด้วยการเติมสารใด ๆ ลงไปในตัวอย่างน้ำเพื่อเร่งให้เกิดการตกตะกอน ปริมาณสารดังกล่าวนี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสกปรกของน้ำโดยเฉพาะน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ถ้าน้ำทิ้งมีปริมาณของตะกอนประเภทนี้มาก แสดงว่า ปริมาณของเสียที่เกิดจากเศษอาหารที่สัตว์น้ำกินไม่หมด ของเสียจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำ หรือแพลงก์ตอนที่ตายมาก ซึ่งสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ เหล่านี้อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเกิดการเน่าเสียซึ่งต้องมีการแก้ไข โดยการถ่ายน้ำให้มากขึ้นหรือควบคุมการให้อาหาร (Boyd, 1982)

11. คลอโรฟิล-เอ

ศิริเพ็ญ (2543) กล่าวว่า คลอโรฟิล-เอ เป็นรงควัตถุที่สำคัญ ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชหรือสาหร่ายทุกชนิด โดยจัดเป็นสารสีสำหรับการสังเคราะห์แสงเบื้องต้น (Primary photosysthetic pigment) สามารถดึงดูดแสงได้ด้วยตัวเอง คุณสมบัติของมันคือ มีสีเขียว

ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่เป็นอินทรีย์สาร โดยทั่วไปคลอโรฟิล-เอ ที่พบในแพลงก์ตอนพืชมีประมาณ 0.5-1.5 % ของน้ำหนักแห้ง

นงนุช (2544) ได้ศึกษา ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดินในระบบปิด ควรมีการหมุนเวียนน้ำในระบบก่อนทำการเลี้ยงปลาสวยงามและพรรณไม้น้ำ ประมาณ 3-4 สัปดาห์ เพื่อเพิ่มจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม *nitrification* ให้มากพอที่จะทำหน้าที่อย่างสมบูรณ์ในระบบกรองชีวภาพ และทำให้คุณภาพน้ำมีความเหมาะสมกับความต้องการของพรรณไม้น้ำที่ใช้ในการเจริญเติบโต

นิสากร (2546) กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลต่อขบวนการไนตริฟิเคชั่น มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ทำให้ขบวนการนี้เกิดขึ้นได้เร็วค่าอยู่ที่ 7-8 หากสูงหรือต่ำกว่านี้จะเกิดขึ้นช้า แบคทีเรียกลุ่ม *Nitrifying Bacteria* จะทำงานได้ดีเมื่อมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ อุณหภูมิช่วงที่เหมาะสมอยู่ที่ระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส ความเป็นพิษของแอมโมเนียเนื่องจากแอมโมเนียมีฤทธิ์เป็นด่าง ถ้าหากมีแอมโมเนียมาก ๆ ค่า pH จะสูงขึ้นและจะไปยับยั้งการทำงานของ *Nitrobacter Bacteria* ขบวนการนี้ก็จะไม่สมบูรณ์

มุทิตา และคณะ (2546) กล่าวว่า ผลของตัวกรองชีวภาพต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาทับทิมระบบปิดในบ่อดินพบว่า ตัวกรองชีวภาพสามารถช่วยลดแอมโมเนียในน้ำ ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในบ่อชุดทดลองต่ำกว่าชุดควบคุม ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน แต่ประสิทธิภาพของตัวกรองยังไม่เพียงพอที่จะบำบัดแอมโมเนียทั้งหมด ส่วนคุณภาพน้ำทั้งสองบ่ออยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ และผลผลิตจากบ่อทดลองทั้งสองบ่อไม่แตกต่างกัน

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือทำการวิจัย

1. โรงเรือน
2. บ่อซีเมนต์ ขนาด 3 ลูกบาศก์เมตร
3. ปลาดุกลูกผสม
4. เมล็ดผักกาดหอมห่อ
5. อุปกรณ์สำหรับเพาะต้นกล้า
6. อุปกรณ์สำหรับปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์
7. อุปกรณ์สำหรับกรองชีวภาพ
8. อุปกรณ์สำหรับเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ
9. ถังสำหรับพักน้ำพร้อมอุปกรณ์
10. ปั๊มสำหรับดูดน้ำพร้อมอุปกรณ์
11. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของน้ำ
12. สารเคมีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของน้ำ
13. ตาข่ายพลาสติก
14. เครื่องชั่งไฟฟ้า
15. pH meter
16. DO meter YSI Model 57
17. Spectrophotometer
18. Conductivity meter

การวางแผนการวิจัย และวิธีการดำเนินงาน

การวางแผนการวิจัยแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) เป็นการวิจัยโดยเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์ แบ่งการวิจัยออกเป็น 3 การทดลองดังนี้

1. การวิจัยที่ 1 การศึกษาอายุ และขนาดของปลาดุกลูกผสมที่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารและคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียน

ทำการทดลองเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุและขนาดต่างกันในบ่อซีเมนต์ อัตราความหนาแน่นคงที่ให้อาหารในอัตราส่วนที่เหมาะสม มีระบบการหมุนเวียนน้ำจากบ่อเลี้ยงเข้าสู่ระบบกำจัดตะกอน และระบบกรองชีวภาพในอัตราที่เหมาะสม ระยะเวลาในการวิจัย 60 วัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลองตามระดับอายุของปลาดุกลูกผสมที่นำมาทดลองคือ 1 ชุดควบคุมไม่มีการเลี้ยงปลา 2 ชุดเลี้ยงปลาดุกลูกผสมอายุ 30 วัน 3 ชุดเลี้ยงปลาดุกลูกผสมอายุ 60 วัน และ 4 ชุดเลี้ยงปลาดุกลูกผสมอายุ 90 วัน ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเริ่มการทดลอง และทุก ๆ สัปดาห์ วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชในน้ำภายหลังจากการทดลองเลี้ยงปลา 1 เดือน โดยวิเคราะห์ทุก ๆ สัปดาห์ จำนวน 4 ครั้ง และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตของปลาก่อนเริ่มทำการทดลอง และทุก ๆ 15 วัน จนสิ้นสุดการทดลอง

2. การวิจัยที่ 2 การศึกษาวัสดุกรองชีวภาพที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิคส์

ทำการทดลองเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่ขนาดไม่ต่างกัน ในบ่อซีเมนต์อัตราความหนาแน่นที่เหมาะสมและมีระบบการหมุนเวียนน้ำ จากบ่อเลี้ยงเข้าสู่ระบบกำจัดตะกอนและผ่านระบบกรองชีวภาพที่มีการใช้วัสดุกรองต่างชนิดกันในปริมาณและขนาดที่เท่ากัน ระยะเวลาในการทดลอง 60 วัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ตามชนิดของวัสดุกรองคือ ชุดการทดลองที่ 1 วัสดุกรองอิฐ ชุดการทดลองที่ 2 วัสดุกรองถ่าน ชุดการทดลองที่ 3 วัสดุกรองโฟม และชุดการทดลองที่ 4 วัสดุกรองไม้ไผ่ ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเริ่มทำการทดลอง และทุก ๆ สัปดาห์ วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตของปลาก่อนเริ่มทำการทดลองและทุก ๆ 15 วัน จนสิ้นสุดการทดลอง วิเคราะห์ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของผักก่อนเริ่มทำการทดลอง และทุก ๆ 7 วัน จนสิ้นสุดการทดลอง

3. การวิจัยที่ 3 การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างการปลูกผักและการเลี้ยงปลาในระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์

ทำการทดลองเลี้ยงปลาดุกลูกผสมขนาดไม่ต่างกันในบ่อซีเมนต์ระบบการหมุนเวียนจากบ่อเลี้ยงเข้าสู่ระบบกำจัดตะกอน และผ่านระบบกรองชีวภาพที่ใช้วัสดุกรองที่เหมาะสม จากผลการทดลองที่ 2 ระยะเวลาในการทดลอง 75 วัน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ระดับ การทดลองตามสัดส่วนระหว่างการปลูกผักกาดหอมห่อและการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมดังนี้คือ ชุดการทดลองที่ 1 สัดส่วน 1 : 4 ชุดการทดลองที่ 2 สัดส่วน 1 : 6 ชุดการทดลองที่ 3 สัดส่วน 1 : 8 และชุดการทดลองที่ 4 สัดส่วน 1 : 10 ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเริ่มทำการทดลอง และทุก ๆ สัปดาห์ วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตของปลาก่อนเริ่มทำการทดลองและทุก ๆ 15 วัน จนสิ้นสุดการทดลอง วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตของผักกาดหอมห่อก่อนเริ่มทำการทดลอง และทุก ๆ 7 วัน จนสิ้นสุดการทดลอง

การเตรียมการวิจัย

1. ขั้นตอนการเตรียมระบบการเลี้ยงปลาแบบหมุนเวียน

1.1 การเตรียมบ่อทดลอง ใช้บ่อซีเมนต์ ขนาด 1.5 X 2 เมตร จำนวน 8 บ่อ ทำ การล้างทำความสะอาด และตากบ่อทิ้งไว้ ประมาณ 3-5 วัน จากนั้น เติมน้ำ และใส่อุปกรณ์เพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ทิ้งไว้ประมาณ 1-2 วัน ก่อนเริ่มการทดลอง

1.2 การเตรียมอาหารทดลอง โดยใช้อาหารปลาดุกเม็ดสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีน 25- 30 เปอร์เซ็นต์ ให้ในอัตราส่วน 3-5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัวต่อวัน ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง คือ เวลา 8.00 น. และ 16.00 น. โดยหว่านให้ทั่วบ่อ และปรับปริมาณการให้อาหารทุก ๆ 15 วัน ตลอดการทดลอง ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารอาหารในอาหารปลาดุกโดยวิธีการดังนี้

ตาราง 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

ตาราง 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

1.3. การจัดการระบบน้ำ ทำการปรับปริมาตรของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาในกรณีที่ปริมาณน้ำลดต่ำกว่า 100 เซนติเมตร วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนทำการทดลอง และทุก ๆ สัปดาห์ โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดังนี้

ตาราง 3 การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำ

ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ	วิธีการวิเคราะห์
อุณหภูมิของน้ำ (°C)	DO meter (YSI model 59)/Thermometer
ความเป็นกรด-ด่าง	pH meter (HI 9812)
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/l)	DO meter (YSI model 59)
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg/l)	Phenol method
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (mg/l)	Coupling method
ไนเตรต-ไนโตรเจน (mg/l)	Cadmium reduction method
ฟอสฟอรัส (mg/l)	Stannous chloride method
บีโอดี (mg/l)	Modified alkalinized iodide
สารที่สามารถตกตะกอน (mg/l)	Imhoffe cone
ปริมาณสารแขวนลอย (mg/l)	GF/C อบด้วย Hot air oven
การนำไฟฟ้าจำเพาะ (mS/cm)	Conductivity meter
คลอโรฟิลล์-เอ (mg/l)	Acetone 90%

1.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตปลาโดยตรวจสอบอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการรอดของปลาดุกลูกผสม ทำการสุ่มชั่งน้ำหนัก จำนวน 20 ตัวต่อบ่อ เพื่อหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลาต่อตัวเมื่อเริ่มต้นการทดลองและทุก ๆ 15 วัน เก็บข้อมูลเมื่อสิ้นสุดการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการผลิต จากนั้นบันทึกและคำนวณข้อมูลเมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำข้อมูลมาคำนวณเปรียบเทียบน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด และอัตราการแลกเนื้อดังนี้

1) น้ำหนักที่เพิ่มเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Weight Gain)
   = น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง-น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง
2) อัตราการเจริญเติบโต (ADG) กรัม/วัน
   = น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง-น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง/ระยะเวลาทำการทดลอง
3) อัตราการรอด (Survival Rate) เปอร์เซ็นต์
   = จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง/จำนวนปลาเมื่อเริ่มการทดลอง X 100
4) อัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)
   = น้ำหนักของอาหารที่ปลากิน/น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น

2. ขั้นตอนการเตรียมระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์

2.1 การเตรียมอุปกรณ์ระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิคส์ จำนวน 8 ชุดการทดลอง ประกอบด้วย ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ความยาว 15 ซม. ข้องอ ข้อต่อ สามทาง ถังพักน้ำเสีย อุปกรณ์สำหรับระบบกรองตะกอน และระบบกรองชีวภาพ ล้างทำความสะอาดท่อ PVC จากนั้นทำการประกอบระบบปลูกพืช ใช้ปั๊มสำหรับดูดน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาจากถังพักน้ำที่ต่อท่อ PVC จากบ่อซีเมนต์ที่ใช้เลี้ยงปลาผ่านระบบกรองตะกอน โดยใช้ใยสังเคราะห์เป็นวัสดุกรอง น้ำเลี้ยงปลาที่ผ่านระบบกรองตะกอนจะไหลผ่านชั้นกรองชีวภาพลงมาที่ชั้นพักน้ำผ่านระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ และไหลไปยังบ่อซีเมนต์ที่ใช้เลี้ยงปลา

2.2 การเตรียมต้นกล้าผัก โดยใช้แผ่นฟองน้ำขนาดความหนา 1 นิ้ว ตัดให้มีขนาดพอดีกับถาดพลาสติกที่ใช้เพาะต้นกล้า จากนั้นใช้มีดกรีดฟองน้ำให้มีขนาดเท่ากับ 1 x 1 นิ้ว โดยกรีดไม่ให้ขาดออกจากกัน และทำรอยบากทแยงมุมโดยความลึกประมาณกึ่งกลางของฟองน้ำ นำฟองน้ำมาแช่น้ำก่อนทำการหยอดเมล็ดผักลงในช่องที่บาก เสร็จแล้วนำฟองน้ำที่หยอดเมล็ดผักใส่ในถาดเพาะเมล็ด ทำการปิดฝา หรือเก็บไว้ในที่มืดประมาณ 3 วัน เมล็ดผักจะเริ่มงอกเป็นต้นกล้า จากนั้นปล่อยต้นกล้าให้มีใบจริง 2-3 ใบ จึงสามารถนำมาปลูกได้

2.3 การเตรียมอุปกรณ์ปลูกผักและการปลูกผัก โดยเตรียมแผ่นโฟม ความหนา 1 นิ้ว ตัดเป็นรูปวงกลม หรือรูป 8 เหลี่ยม ให้พอดีกับท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ทำการเจาะรูตรงกึ่งกลางโฟมตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาดเท่ากับ 1 x 1 นิ้ว วางบนระบบปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ที่มีท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว จากนั้นเมื่อต้นกล้าผักบนฟองน้ำ มีใบจริง 2-3 ใบ ให้ฉีกฟองน้ำพร้อมต้นกล้าผักใส่ลงในโฟมที่ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม และวางไว้ในท่อ PVC ที่เตรียมไว้ โดยให้รากของต้นกล้าผักแช่น้ำที่ไหลผ่านชั้นกรองตะกอน และกรองชีวภาพ อยู่ตลอดเวลาตั้งแต่เริ่มปลูกจนสิ้นสุดการทดลอง

2.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตของผัก ทำการบันทึก และคำนวณข้อมูลเมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลมาคำนวณปรียบเทียบความสูงเฉลี่ย อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด และน้ำหนักผลผลิตรวมดังนี้

1) ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

= ความสูงเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง- ความสูงเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง

2) อัตราการเจริญเติบโต(ADG) ซม/วัน

= ความสูงเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง- ความสูงเฉลี่ยเมื่อเริ่มการทดลอง/ระยะเวลาในการทดลอง

3) อัตราการรอด (Survival Rate) เปอร์เซ็นต์

= จำนวนต้นผักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง/จำนวนต้นผักเมื่อเริ่มการทดลอง x 100

3. ขั้นตอนการเตรียมระบบกรองชีวภาพ

3.1 การเตรียมระบบกรอง โดยใช้กล่องพลาสติก ขนาด 30 x 30 x 10 ซม. เรียงซ้อนกัน 3 ชั้นต่อบ่อ จำนวน 8 ชุด แต่ละชุดมีขนาดและระบบที่เหมือนกัน โดยการเจาะรูขนาดเล็กด้านล่างของกล่องชั้นที่ 3 และ 2 เพื่อให้น้ำไหลลงมายังชั้นที่ 1 ใช้ใยสังเคราะห์ วางบนตะกร้าพลาสติกที่ขนาดพอดีกับกล่องพลาสติกชั้นที่ 3 เพื่อใช้กรองตะกอนน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงปลา กล่องพลาสติกชั้นที่ 2 ใช้วัสดุกรองชีวภาพ โดยใช้ปั๊มน้ำพร้อมอุปกรณ์สำหรับดูดน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาผ่านชั้นกรองใยสังเคราะห์กรองส่วนที่เป็นตะกอนออกในชั้นที่ 3 จากนั้นจะไหลลงสู่วัสดุกรองชีวภาพในชั้นที่ 2 และผ่านลงมาชั้นที่ 1 จากนั้นน้ำจะไหลกลับลงในบ่อซีเมนต์ที่ใช้เลี้ยงปลาตามเดิม

3.2 การบันทึก และคำนวณข้อมูลเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ภายหลังจากการทดลองเลี้ยงปลาดุกลูกผสม 1 เดือน นำน้ำตัวอย่างจากบ่อเลี้ยงปลาไป วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารพืชในน้ำ โดยวิเคราะห์ทุก ๆ สัปดาห์ จำนวน 4 ครั้ง นำข้อมูลมาคำนวณเปรียบเทียบปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในน้ำทั้งธาตุอาหารหลัก ได้แก่ N, P, K, Ca, Mg และธาตุอาหารรอง ได้แก่ B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo โดยวิธีการดังนี้

ตาราง 4 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารของพืชในบ่อเลี้ยงปลา

ดัชนีชี้วัด	วิธีการวิเคราะห์
ไนโตรเจน(เปอร์เซ็นต์)	Kjeldahl method
ฟอสฟอรัส(mg/l)	Bray II
โปแตสเซียม(mg/l)	Atomic absorption spectrophotometer
แคลเซียม(mg/l)	Atomic absorption spectrophotometer
แมกนีเซียม (mg/l)	Atomic absorption spectrophotometer
เหล็ก (mg/l)	DTPA method
แมงกานิส (mg/l)	DTPA method
สังกะสี (mg/l)	DTPA method
คอปเปอร์ (mg/l)	DTPA method
คลอไรด์ (mg/l)	DTPA method

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยมาวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ONE-WAY ANOVA) เพื่อศึกษาความแตกต่างของแต่ละทรีตเมนต์ จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละทรีตเมนต์ โดยวิธีของ Tukey's Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $P< 0.05$ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 12.5

สถานที่ทำการวิจัย

โรงเพาะฟักของคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

การวิจัยที่ 1 การศึกษาอายุและขนาดของปลาดุกลูกผสม ที่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหาร และคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาในระบบหมุนเวียนน้ำ

1.1 ประสิทธิภาพการผลิตของปลาดุกลูกผสม

การเจริญเติบโตของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยง ในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนน้ำที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยงแตกต่างกัน 3 ระดับอายุ จำนวน 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดเลี้ยงปลาดุกลูกผสมอายุ 30, 60 และ 90 วัน และชุดควบคุมที่ไม่มีการเลี้ยงปลา โดยขนาดของปลาที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยงที่แตกต่างกัน 3 ระดับอายุมีน้ำหนักเฉลี่ย 30±00, 102±2.5 และ 189.5±14.5 กรัมต่อตัว ตามลำดับ ปล่อยในอัตรา 67 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ให้อาหาร 3-5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัวต่อวัน วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตของปลาก่อนเริ่มทำการทดลองและทุก ๆ 15 วัน จนสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนน้ำหนักผลผลิตรวม น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองและอัตราการแลกเนื้อ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังนี้

น้ำหนักปลาดุกลูกผสมเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองทั้ง 3 ชุด คือ ปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30, 60 และ 90 วัน เท่ากับ 90±2.0, 199±0.5 และ 275±15.0 กรัม ตามลำดับ ปลาดุกอายุ 90 วัน มีน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลาดุกอายุ 60 และ 30 วัน ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยของปลาดุกลูกผสมทั้ง 3 ชุด คือ ปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30, 60 และ 90 วัน เท่ากับ 60±2, 97±2 และ 85.5±0.5 กรัมต่อตัว ตามลำดับ ปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 60 วัน ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 90 และ 30 วัน ตามลำดับ

สำหรับน้ำหนักผลผลิตรวมของปลาดุกลูกผสมทั้ง 3 ชุด คือ ปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30, 60 และ 90 วัน เท่ากับ 12.74±5.26, 24.25±0.70 และ 42.49±0.49 กิโลกรัม ตามลำดับ ปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 90 วัน ให้ผลผลิตดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 60 และ 30 วัน ตามลำดับ เช่นเดียวกับอัตราแลกเนื้อของปลาดุกลูกผสมทั้ง 3 ชุด คือ ปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30, 60 และ 90 วัน เท่ากับ 1.51±0.21, 1.82±0.1 และ 2.57±0.111 ตามลำดับ ปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 90 วัน มีอัตราแลกเนื้อสูงที่สุดรองลงมาได้แก่ ปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 60 และ 30 วัน ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ

Franco-Nava *et al.* (2004) พบว่า ขนาดของปลาที่นำมาเลี้ยงมีผลต่อน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดเฉลี่ยโดย ปลาที่มีขนาดเล็กจะให้น้ำหนักสิ้นสุดเฉลี่ยต่ำกว่าปลาที่มีขนาดใหญ่ จันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด โดยใช้บ่อคอนกรีตกลมขนาด 5 ลบม. ปล่อยปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) ขนาด 1.57 กรัม ในอัตรา 200 ตัวต่อตารางเมตร ปรากฏว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีอัตรารอด 89.11 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิต 336.7 กิโลกรัมต่อ 15 ลูกบาศก์เมตร และอัตราแลกเนื้อ 1.28 และ Tarnchalanukit *et al.* (1982) ได้รายงานว่าการเจริญเติบโตของปลาดุกด้าน (*Clarias batrachus*) ขนาด 1 กรัม เลี้ยงในระบบบ่อคอนกรีตแบบน้ำหมุนเวียนที่อัตราความหนาแน่นแตกต่างกันคือ 330, 500 และ 666 ตัวต่อตารางเมตร เป็นเวลา 84 วัน ผลการทดลองพบว่า ได้ผลผลิตเท่ากับ 381.49, 607.32 และ 775.04 กิโลกรัมต่อ 15 ตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้ โดยอัตราการปล่อยและอายุของปลาจะไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด แต่จะมีผลต่อผลผลิตรวมของปลา น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตราการแลกเนื้อ (ตาราง 5 และ ตาราง 6)

ตาราง 5 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง

ระยะเวลา (วัน)	ปลาดุกอายุ 30 วัน (กรัม)	ปลาดุกอายุ 60 วัน (กรัม)	ปลาดุกอายุ 90 วัน (กรัม)
เริ่มทดลอง	30.0	102.5	189.5
15	52.5	137.5	212.0
30	70.0	170.0	240.0
45	80.0	187.5	260.0
60	90.0	199.5	275.0

ตาราง 6 ประสิทธิภาพการผลิตของการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมอายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง

ประสิทธิภาพการผลิต	อายุปลาดุก (วัน)		
	30	60	90
น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว)*	30.0±0.00^{c}	102.5±2.50^{b}	189.5±14.50^{a}
น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดเฉลี่ย(กรัม/ตัว)*	90.0±20.0^{c}	199.5±0.50^{b}	275.0±15.00^{a}
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว)*	60.0±20.00^{c}	97.0±2.00^{a}	85.5±0.50^{b}
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)^{ns}	0.93±0.10	1.52±0.11	1.34±0.23
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)^{ns}	72.0±2.80	79.5±1.00	97.8±2.25
อัตราการแลกเนื้อ*	1.51±0.21^{a}	1.82±0.10^{b}	2.58±0.11^{c}
น้ำหนักผลผลิตรวม (กก./3 ลบ.ม.)*	12.7±5.26^{c}	24.3±0.70^{b}	42.5±0.49^{a}

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

1.2 ปริมาณธาตุอาหารในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม

การศึกษาปริมาณธาตุอาหารของพืชในน้ำจากการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนน้ำที่มีอายุแตกต่างกัน 3 ระดับอายุ จำนวน 3 ชุดการทดลอง คือ ชุดเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุ 30, 60 และ 90 วัน และชุดควบคุมที่ไม่มีการเลี้ยงปลา โดยทำการปล่อยปลา ทั้ง 3 ระดับอายุที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 30±00, 102±2.5 และ189.5±14.5 กรัมต่อตัว ตามลำดับ ที่อัตรา การปล่อย 67 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ให้อาหาร 3-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวันวิเคราะห์ปริมาณ ธาตุอาหารพืชในน้ำ ในระหว่างการทดลองเลี้ยงปลาเป็นเวลา 1 เดือน โดยวิเคราะห์ทุก ๆ สัปดาห์ รวมเป็นจำนวน 4 ครั้ง จนสิ้นสุดการทดลอง นำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุอาหารพืช ในน้ำจำนวนทั้งหมด 10 ชนิด ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โบรอน (B) คลอไรด์ (Cl) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ตาราง 7 ดังนี้

ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน (N) จากการทดลองเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยงแตกต่างกัน 3 ระดับอายุและขนาดคือ ชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30, 60 และ 90 วัน และชุดควบคุมที่ไม่มีการเลี้ยงปลาพบว่า ปริมาณไนโตรเจนในน้ำของแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 90 วันมีค่าสูงสุด คือ 150±40.0 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือปริมาณไนโตรเจนในน้ำ

ของชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30 และ 60 วัน ที่มีปริมาณเท่ากัน คือ 40.0 ± 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และชุดควบคุมมีปริมาณต่ำสุด คือ 37.0±30.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับปริมาณโพแทสเซียม (K) ในน้ำของแต่ละชุดการทดลองพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 90 วัน มีปริมาณโปแทสเซียมสูงสุดคือ 67.75±10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ ชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 60 วัน และชุดควบคุมที่มีปริมาณโปแทสเซียมไม่ต่างกันคือ 62.50±13.44 และ 59.00±17.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30 วัน มีปริมาณโปแทสเซียมต่ำสุด คือ 50.50±12.84 มิลลิกรัมต่อลิตร

ส่วนธาตุอาหารหลักได้แก่ ฟอสฟอรัส (P) แคลซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับปริมาณธาตุอาหารรองได้แก่ โบรอน (B) คลอไรด์ (Cl) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) สอดคล้องกับ Rakocy *et al.* (1993) ที่ได้รายงานว่า การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนแบบปิด ที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยมากหรือแทบไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเลย พวกธาตุอาหารในรูปที่ละลายในน้ำจะมีการสะสมอยู่ในปริมาณมาก และมีระดับความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกับระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ใช้กันในสารละลาย สำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน และยังรายงานอีกว่า การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนแบบปิดจะเกิดการสะสมของสารประกอบไนโตรเจนในปริมาณที่สูง ซึ่งสอดคล้องกับ Chen and Lin. (1995) ที่รายงานว่า สัตว์น้ำจะขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของสารละลายต่างกันหลายรูป แต่ที่ขับถ่ายออกมามากที่สุดจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจนโดยคิดเป็น 60-70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ยูเรีย ยูริค ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจนมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แต่ไนเตรต-ไนโตรเจนมีความเป็นพิษต่ำและยังเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับพืชชั้นสูงได้ด้วย และWiley (1992) ได้รายงานว่า การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการนำเอาระบบกรองชีวภาพมาใช้มากขึ้น ซึ่งระบบการกรองชีวภาพไม่ได้ออกแบบมาเพื่อกำจัดวัตถุขนาดใหญ่ที่แขวนลอยในน้ำ แต่ถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดสารอาหารที่ละลายในน้ำมีอนุภาคขนาดเล็ก โดยระบบจะเปลี่ยนสารอาหารที่เป็นพิษไปเป็นสารอาหารในรูปที่ไม่มีพิษ เช่น เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรต

ตาราง 7 ปริมาณธาตุอาหารของพืชในบ่อเลี้ยงปลาเฉลี่ยในชุดบ่อควบคุม ชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง

	ชุดควบคุม	ปลาดุกลูกผสม อายุ 30 วัน	ปลาดุกลูกผสม อายุ 60 วัน	ปลาดุกลูกผสม อายุ 90 วัน
ไนโตรเจน (mg/l)*	37.0±30.0^{b}	40.0±10.0^{c}	40.0 ± 10.0^{c}	150±40.0^{a}
ฟอสฟอรัส (mg/l)ns	37.38±12.69	38.13±11.77	40.63±11.28	48.88±13.76
โปแตสเซียม (mg/l)*	59.00±17.35^{b}	50.50±12.84^{c}	62.50±13.44^{b}	67.75±10.42^{a}
แคลเซียม (mg/l)ns	84.00±16.56	82.00±17.22	74.00±15.47	87.00±14.14
แมกนีเซียม (mg/l)ns	14.13±4.48	11.38±2.43	13.50±2.97	24.75±5.87
เหล็ก (mg/l)ns	0.795±0.37	1.498±0.99	0.665±0.37	0.768±0.33
แมงกานิส (mg/l)ns	1.011±0.409	1.150±0.387	0.575±0.183	1.193±0.424
สังกะสี (mg/l)ns	1.855±0.763	1.818±0.812	2.675±0.608	2.380±0.629
คอปเปอร์ (mg/l)ns	0.363±0.211	0.168±0.107	0.368±0.178	0.438±0.187
คลอไรด์ (mg/l)ns	0.001±0.001	0.002±0.001	0.002±0.001	0.001±0.001

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

1.3 คุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในชุดทดลองทั้ง 4 ชุดทดลอง คือ ชุดควบคุมที่ไม่มีการเลี้ยงปลา และชุดเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ ที่มีการปล่อยปลาน้ำหนักเฉลี่ย 30±00, 102±2.5 และ 189.5±14.5 กรัมต่อตัว ตามลำดับ อัตราการปล่อย 67 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ให้อาหาร 3-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวัน ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเริ่มทำการทดลอง และทุก ๆ สัปดาห์ จนสิ้นสุดการทดลอง พบว่า อุณหภูมิของน้ำ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 27.7–27.8 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด- ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส บีโอดี สารที่สามารถตกตะกอน ปริมาณสารแขวนลอย การนำไฟฟ้าจำเพาะ และคลอโรฟิลล์-เอ พบว่า มีความแตกต่างอย่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ (P< 0.05) (ตาราง 9) ดังนี้

ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำพบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของชุดควบคุมมีค่าสูงสุด รองลงมาคือชุดบ่อเลี้ยงปลาลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30 วัน ส่วนชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 60 วันและ 90 วัน มีค่าไม่ต่างกันและมีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองอื่น ๆ โดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของแต่ละชุดทดลองมีค่า เท่ากับ 6.77±0.35, 3.32±0.50, 2.0±0.38 และ 1.25±0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งคล้องกับผลการศึกษาของสุชาติ และคณะ (2535) ที่รายงานว่า ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ตรวจพบในบ่อเลี้ยงปลาดุกจะอยู่ในช่วง 0.2-3.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่สุจิตต์ (2535) ได้รายงาน การเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีตมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำอยู่ในช่วง 0.0-5.4 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองดังกล่าวอาจทำให้สรุปได้ว่า อายุของปลาดุกลูกผสมที่นำมาเลี้ยงในบ่อคอนกรีตแบบหมุนเวียนน้ำมีผลต่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ โดยปลาที่มีอายุมาก (60-90 วัน) มีการใช้ออกซิเจนมากกว่าปลาที่มีอายุน้อยกว่า (30 วัน)

ปริมาณความเป็นกรด-ด่างพบว่า ค่าความเป็นกรด–ด่างของแต่ละชุดทดลองมีความแตกต่างกันกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างในชุดควบคุมมีค่าสูงสุดรองลงมา คือ ชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30 วัน ส่วนชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 60 และ 90 วัน มีค่าความเป็นกรด–ด่าง ไม่ต่างกันและมีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดทดลองอื่น ๆ โดยค่าความเป็นกรด–ด่าง ของแต่ละชุดทดลองมีค่าเท่ากับ 7.60±0.08 7.15±0.05, 6.90±0.06 และ 6.88±0.07 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรด–ด่างของชุดทดลอง ในการศึกษายังคงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะอยู่ระหว่าง 6.5-9.0 หากคุณภาพน้ำในบ่อมีปริมาณสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้สัตว์น้ำมีผลผลิตต่ำมีการ

เจริญเติบโตช้าหรืออาจตายได้ (ประเทือง, 2538) จากผลการศึกษาข้างต้นสอดคล้องกับผลการศึกษาในหัวข้อก่อนหน้าคือ ปลาที่มีการใช้ออกซิเจนในการหายใจสูงกว่าจะมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้มากกว่า มีผลทำให้สภาพน้ำมีค่าความเป็นกรดสูง ดังนั้นชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุ เมื่อเริ่มเลี้ยง 60 และ 90 วัน จึงมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ

ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน พบว่า ปริมาณแอมโมเนียไน-โตรเจนของแต่ละชุดทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 90 วัน มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนสูงสุด รองลงมาคือ ชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมอายุ 30 วัน และ 60 วัน ตามลำดับ ส่วนชุดควบคุมมีค่าต่ำสุด โดยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของชุดทดลองต่าง ๆ มีค่าเท่ากับ 0.77±0.036 0.691±0.056, 0.556±0.053, และ 0.429±0.063 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ถาวร (2530) ได้รายงานว่า การเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีต พบว่า ปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.685-19.45 มิลลิกรัมไนโตรเจน จันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิดพบว่า ปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.010-16.395 มิลลิกรัมไนโตรเจน และนันทิมา (2546) รายงานว่า ปลานิลและปลาคาร์พที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงจะมีการขับถ่ายของเสียออกมาในปริมาณสูงซึ่งส่วนมากอยู่ในรูปแอมโมเนีย ยูเรีย ไนไตรท์ และไนเตรต-ไนโตรเจน

ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนพบว่า ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนของแต่ละชุดทดลองมีความแตกต่างอย่างกันมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 90 วัน มีปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนสูงสุด รองลงมาคือ ชุดควบคุม ส่วนชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 60 และ 30 วัน มีค่าไม่ต่างกันและมีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับชุดทดลองอื่น ๆ โดยปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ของแต่ละชุดทดลองมีค่าเท่ากับ 0.179±0.089, 0.128±0.005, 0.063±0.025, และ 0.053±0.013 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ประเทือง (2538) รายงานว่า เมื่อปลากินอาหารจะขับถ่ายของเสียออกมาซึ่งจะเป็นสารประกอบไนโตรเจนจะส่งผลต่อปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ธำรง (2508) ได้รายงาน การเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีตมีปริมาณไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.005-0.300 มิลลิกรัมไนโตรเจน มีการทดลองเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิดพบว่า ตลอดระยะเวลาการเลี้ยงมีปริมาณไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.001-0.45 มิลลิกรัมไนโตรเจน

ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนพบว่า ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนของแต่ละชุดทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 90 และ 60 วัน มีค่าไนเตรต-ไนโตรเจนไม่แตกต่างกันและมีค่าสูงสุด รองลงมาคือชุดบ่อเลี้ยง

ปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30 วัน ส่วนชุดควบคุมมีค่าไนเตรตไนโตรเจนต่ำสุด ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนของแต่ละชุดทดลองเท่ากับ 0.035±0.005, 0.034±0.006, 0.026±0.006 และ 0.008±0.001 ตามลำดับ ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนไม่ถือว่าเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยตรง นอกเสียจากมีความเข้มข้นมาก แต่จะทำให้เกิดปัญหาทางอ้อมในกรณีที่ไนเตรตเปลี่ยนสภาพเป็นไนไตรท์และแอมโมเนีย (ประเทือง, 2538) และจันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด พบว่า ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงมีปริมาณไนเตรตอยู่ในช่วง 0.000-15.150 มิลลิกรัมไนโตรเจน

Chen and Lin (1995) รายงานว่า สัตว์น้ำจะขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของสารละลายต่างกันหลายรูป แต่ที่ขับถ่ายออกมามากที่สุดจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจนโดยคิดเป็น 60-70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ยูเรีย ยูริค ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจน มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำแต่ไนเตรต-ไนโตรเจน มีความเป็นพิษต่ำและยังเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับพืชชั้นสูงได้ด้วย

ปริมาณฟอสฟอรัสพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสของแต่ละชุดทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 90 วัน มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุด รองลงมาคือชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 60 และ 30 วัน ส่วนชุดควบคุมมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำสุด เมื่อเทียบกับชุดารทดลองอื่น ๆ โดยปริมาณฟอสฟอรัสของแต่ละหน่วยทดลองเท่ากับ 1.692±0.19, 0.955±0.15, 0.831±0.16 และ 0.330±0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยเกณฑ์คุณภาพน้ำสำหรับสัตว์น้ำ ควรมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.6 มก/ลิตร (ประเทือง, 2538) ขณะที่ถาวร (2530) ได้รายงานว่า การเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีตพบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.5-5.7 มิลลิกรัมไนโตรเจน และจันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิดพบว่า ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.003-6.211 มิลลิกรัมต่อลิตร

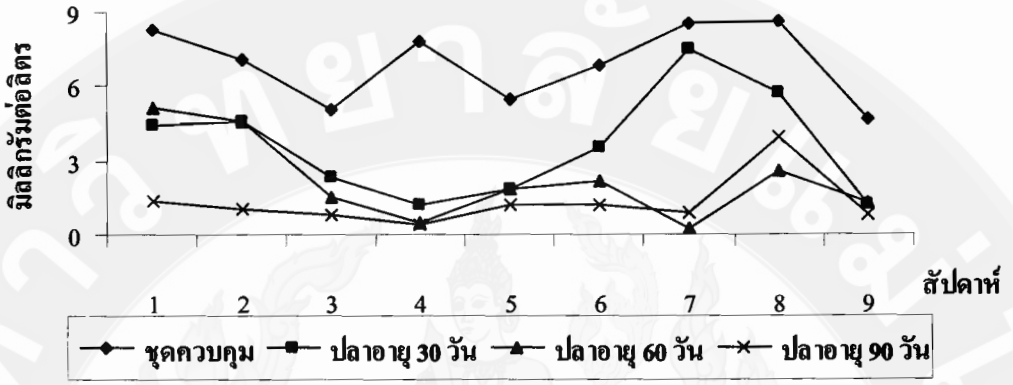
ปริมาณบีโอดีพบว่า ปริมาณบีโอดีของแต่ละชุดทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยค่าบีโอดีของชุดควบคุมมีค่าสูงสุด รองลงมาคือค่าบีโอดีของชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30 วัน และ 60 วัน ส่วนค่าบีโอดีของชุดเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 90 วัน มีค่าต่ำสุด ซึ่งค่าบีโอดีของแต่ละชุดการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.68±0.37, 1.30±0.21, 0.76±0.18 และ 0.39±0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร..ตามลำดับ ค่าบีโอดีที่เหมาะสมมีค่าไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และสูงสุดไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร (มั่นสิน และไพพรรณ, 2544) และจันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิดพบว่า ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงมีปริมาณบีโอดีอยู่ในช่วง 1.6-252.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนพบว่า ปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนของแต่ละชุดทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนของชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเริ่มเลี้ยง 60 วันมีค่าสูงสุด รองลงมาคือชุดควบคุม และชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30 วัน และ 90 วัน ซึ่งปริมาณสารที่สามารถตกตะกอนของแต่ละชุดทดลองมีค่าเท่ากับ 0.132±0.014, 0.094±0.012, 0.087±0.013 และ 0.027±0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

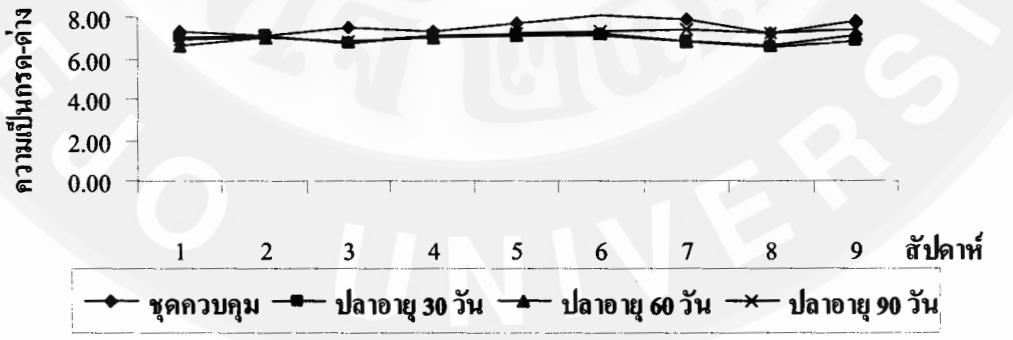
ปริมาณสารแขวนลอยพบว่า ปริมาณสารแขวนลอยของแต่ละชุดทดลองนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 60 วัน มีค่าสูงสุด รองลงมาคือชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 30 วัน และชุดควบคุม ขณะที่ชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 90 วัน มีค่าต่ำสุด โดยปริมาณสารแขวนลอยของแต่ละชุดทดลองมีค่าเท่ากับ 1.86±0.226, 1.12±0.229, 0.72±0.163 และ 0.04±0.11 มิลลิรัมต่อลิตร ตามลำดับ ถาวร (2530) ได้รายงานว่าการเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีตพบว่ามีปริมาณสารแขวนลอยอยู่ในช่วง 16.0-153 มิลลิกรัมต่อลิตร

ค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะของชุดทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 90 วันมีค่าสูงสุด รองลงมาคือบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 60 วัน 30 วัน และชุดควบคุม ตามลำดับ โดยแต่ละชุดทดลองมีค่าเท่ากับ 788.5±82.61, 431.0±32.66, 395±23.00, และ 145.5±2.35 ไมโครซีเมนต์ต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

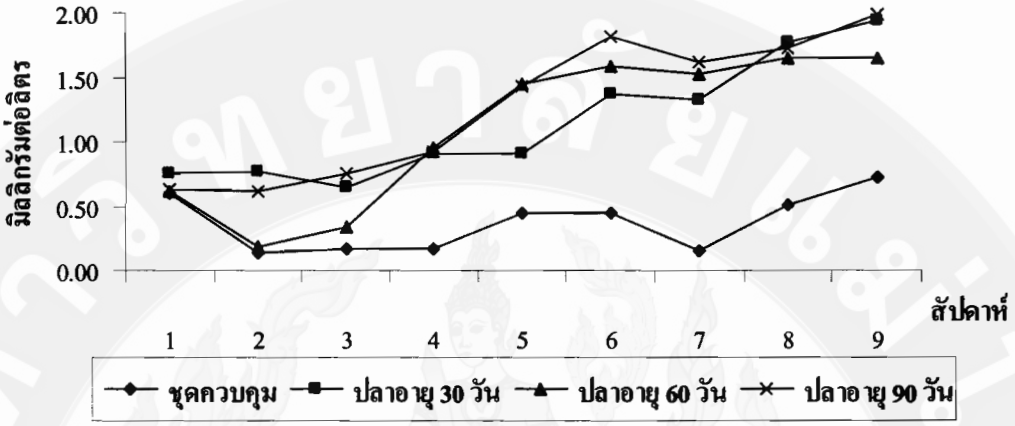
ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ของชุดทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยชุดบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 90 วันมีค่าสูงสุด รองลงมาคือบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีอายุเมื่อเริ่มเลี้ยง 60 วัน 30 วัน และชุดควบคุม ตามลำดับ โดยแต่ละชุดทดลองมีค่าเท่ากับ 65.33±5.73, 58.46±7.81, 51.88±6.09 และ 21.12±3.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



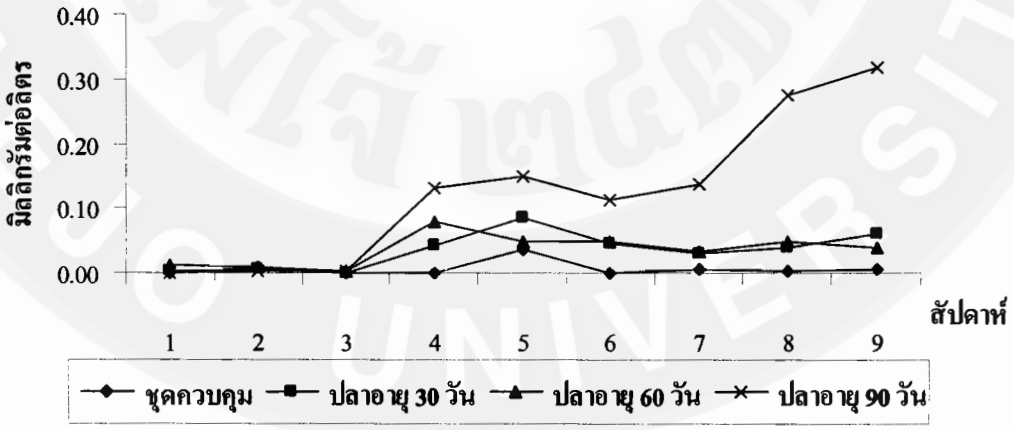
ภาพ 4 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง



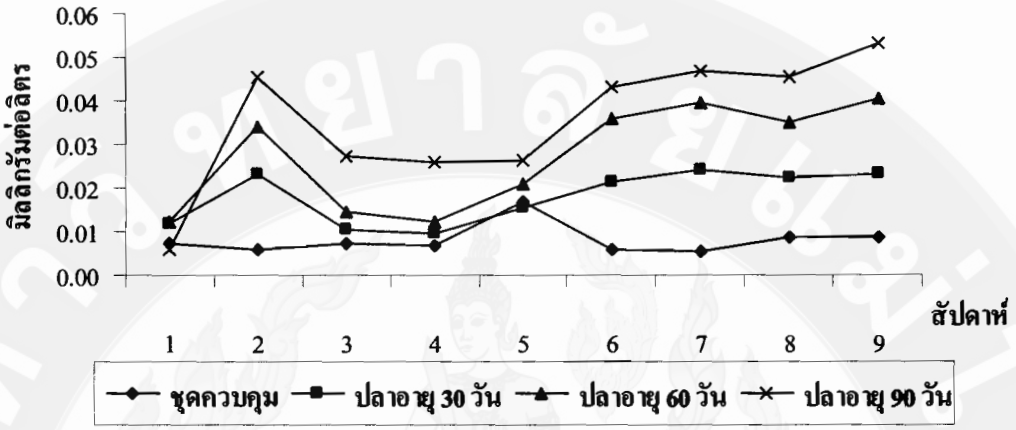
ภาพ 5 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำในชุดบ่อควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง



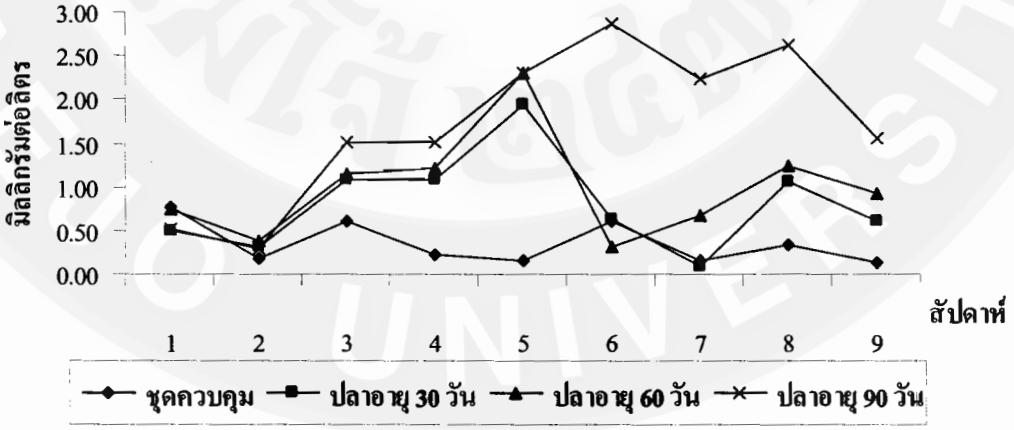
ภาพ 6 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมอายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง



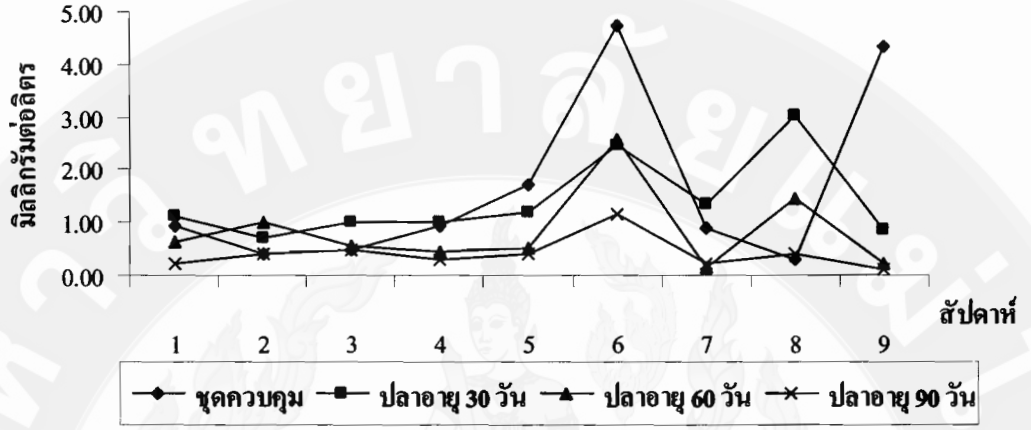
ภาพ 7 ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมอายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง



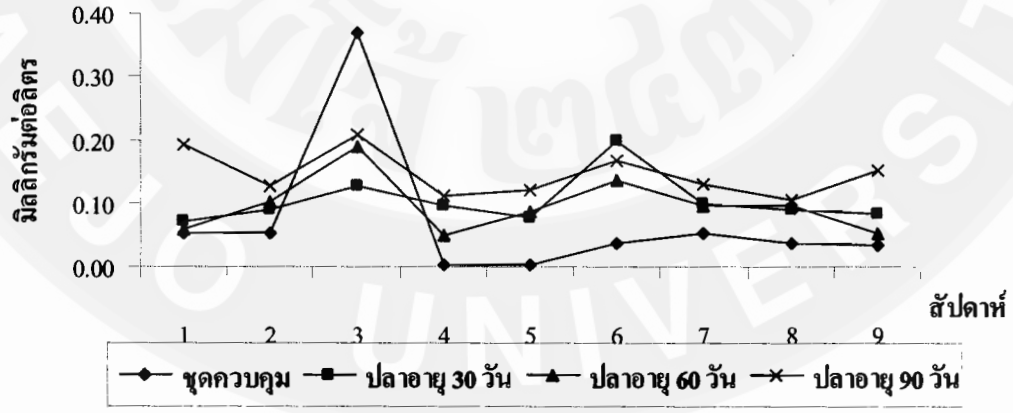
ภาพ 8 ปริมาณไนเตรท–ไนโตรเจนของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมอายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง



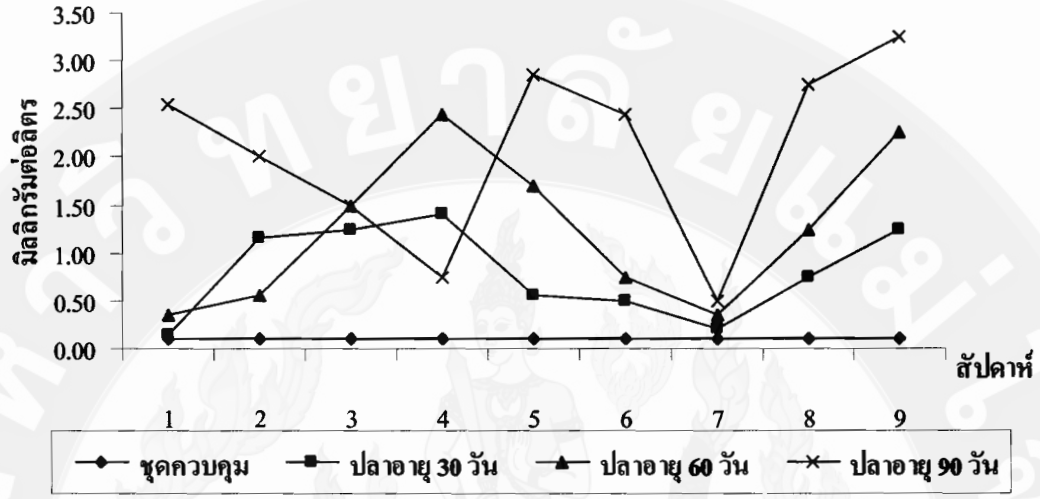
ภาพ 9 ปริมาณฟอสฟอรัสของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง



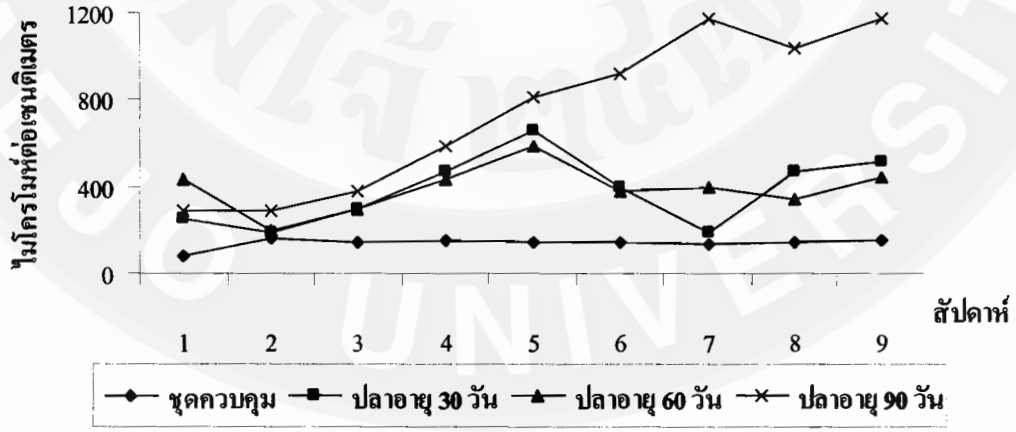
ภาพ 10 ปริมาณบีโอดีของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง



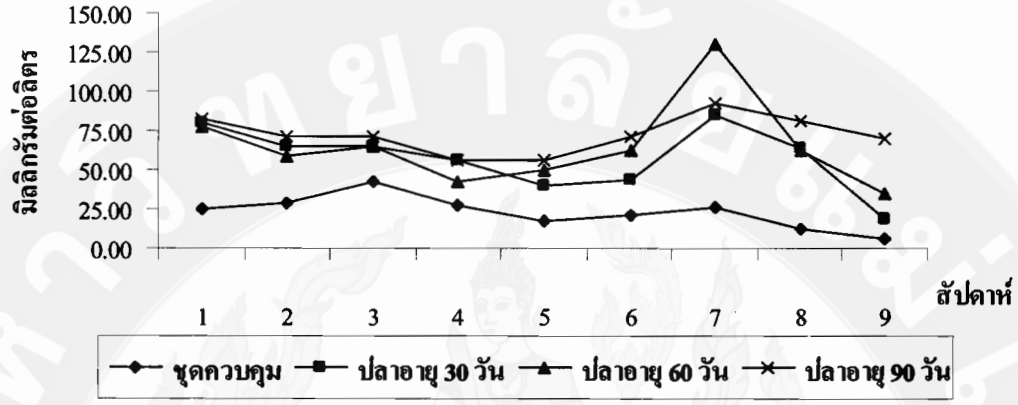
ภาพ 11 ปริมาณสารที่ตกตะกอนของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง



ภาพ 12 ปริมาณสารแขวนลอยของน้ำในบ่อชุดควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง



ภาพ 13 ปริมาณการนำไฟฟ้าจำเพาะของน้ำในบ่อควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมอายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง



ภาพ 14 ปริมาณคลอโรฟิล-เอของน้ำในบ่อควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30, 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง

ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำในชุดบ่อควบคุม บ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม อายุ 30 , 60 และ 90 วัน ตลอดการทดลอง

	ชุดควบคุม	ปลาดุกลูกผสม อายุ 30 วัน	ปลาดุกลูกผสม อายุ 60 วัน	ปลาดุกลูกผสม อายุ 90 วัน
อุณหภูมิของน้ำ (°C) ns	27.7±0.10	27.7±0.09	27.8±0.10	27.8±0.10
ความเป็นกรด-ด่าง*	7.60±0.08^{a}	7.15±0.05^{b}	6.88±0.07^{c}	6.90±0.05^{c}
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/l)*	6.77±0.35^{a}	4.32±0.50^{b}	4.07±0.38^{c}	3.25±0.24^{c}
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg/l)*	0.429±0.063^{a}	0.691±0.055b^{c}	0.556± 0.053^{ab}	0.77±0.036^{c}
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (mg/l)*	0.128±0.005^{a}	0.053±0.013^{a}	0.063±0.025^{a}	0.179±0.090^{b}
ไนเตรท-ไนโตรเจน (mg/l)*	0.008±0.001^{a}	0.026±0.006^{b}	0.034± 0.006^{b}	0.035±0.005^{b}
ฟอสฟอรัส (mg/l)*	0.330±0.05^{a}	0.831±0.16^{b}	0.955± 0.15^{b}	1.692±0.19^{c}
บีโอดี (mg/l)*	1.68±0.373^{c}	1.30±0.213^{bc}	0.76±0.184^{ab}	0.394±0.072^{a}
ปริมาณสารที่ตกตะกอน (mg/l)*	0.094±0.012^{b}	0.087±0.013^{b}	0.132±0.014^{c}	0.027±0.006^{a}
ปริมาณสารแขวนลอย (mg/l)*	0.72±0.163^{b}	1.12±0.229^{b}	1.86±0.226^{c}	0.04±0.11^{a}
การนำไฟฟ้าจำเพาะ (mS/cm)*	145.5±2.348^{a}	395± 23^{b}	431±32.66^{b}	788.5±82.61^{c}
คลอโรฟิลล์-เอ (mg/l)*	21.12±3.1^{a}	51.88±6.088^{b}	58.46± 7.797^{b}	65.33±5.726^{b}

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

การวิจัยที่ 2 การศึกษาวัสดุกรองชีวภาพ เพื่อใช้ในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสม ร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์

2.1 ประสิทธิภาพการผลิตของปลาดุกลูกผสม

การเจริญเติบโตของปลาดุกลูกผสมในระบบบ่อเลี้ยงคอนกรีตแบบหมุนเวียนน้ำที่มีการใช้วัสดุกรองชีวภาพ 4 ชนิด คือ อิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตามลำดับ ในการปรับคุณภาพน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ โดยทำการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีขนาดไม่แตกต่างกันที่อัตราความหนาแน่นที่เหมาะสม เป็นระยะเวลา 60 วัน วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตของปลาก่อนเริ่มทำการทดลอง และทุก ๆ 15 วัน จนสิ้นสุดการทดลองพบว่า อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ ($P>0.05$) โดยอัตราการแลกเนื้อมีค่าระหว่าง 1.10–1.51 สอดคล้องกับ (อุทัยรัตน์, 2544) ที่รายงานว่า ปลาดุกลูกผสมที่มีการเจริญเติบโตได้ดี อัตราการแลกเนื้อ ไม่แตกต่างกัน อัตราการแลกเนื้อสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของอาหาร ส่วนอัตราการรอดพบว่า ปลาที่เลี้ยงในวัสดุกรองอิฐ มีอัตราการรอดสูงสุด ค่าอัตราการรอดเท่ากับ 97.50 เปอร์เซ็นต์ อัตราการรอดของแต่ละชุดทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 78.00–97.50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตรวมพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตาราง 11) ดังนี้

น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในระบบที่ใช้วัสดุกรองอิฐมีน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในระบบที่ใช้วัสดุกรองถ่าน ไม้ไผ่ และโฟม ตามลำดับ โดยค่าน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในระบบที่ใช้วัสดุกรองแต่ละชนิดมีค่าเท่ากับ 47.77±0.12, 41.29±2.96, 40.55±0.80 และ 39.07±3.57 กรัมต่อตัว ตามลำดับ

อัตราการเจริญเติบโตพบว่า ปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในระบบที่ใช้วัสดุกรองอิฐ มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุกรองอื่น โดยมีค่าอัตราการเจริญเติบโตของปลาดุกลูกผสมเท่ากับ 0.36±0.01 กรัมต่อวัน รองลงมาได้แก่ อัตราการเจริญเติบโตของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในระบบที่ใช้วัสดุกรองโฟม ถ่าน และไม้ไผ่ ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 0.30±0.05, 0.26±0.04 และ 0.22±0.01 กรัมต่อวัน ตามลำดับ สอดคล้องกับจันทร์สว่าง (2538) ทดลองเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิดโดยใช้บ่อคอนกรีตกลมขนาด 5 ลบ.ม. ปล่อยปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) ขนาด 1.57 กรัม ในอัตรา 200 ตัวต่อตารางเมตร ปรากฏว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีอัตราการรอด 89.11 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิต 336.7 กิโลกรัมต่อ 15 ลูกบาศก์เมตร และอัตราแลกเนื้อ 1.28

ผลผลิตรวมพบว่า ปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในระบบที่ใช้วัสดุกรองอิฐมีผลผลิตรวมสูงสุด รองลงมาคือ ปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในระบบที่ใช้วัสดุกรองไม้ไผ่ ถ่าน และโฟม ตามลำดับ โดยปริมาณผลผลิตรวมของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในระบบที่ใช้วัสดุกรองแต่ละชนิดมีค่าเท่ากับ 9.71±0.40, 8.52±0.34, 7.58±0.12 และ 5.97±0.87 กิโลกรัมต่อ 3 ลบ.ม. ตามลำดับ

Tarnchalanukit *et al.* (1982) ได้รายงานว่า การเจริญเติบโตของปลาดุกด้าน (*Clarias batrachus*) ขนาด 1 กรัม เลี้ยงในระบบบ่อคอนกรีตแบบน้ำหมุนเวียนที่อัตราความหนาแน่นแตกต่างกันคือ 330, 500 และ 666 ตัวต่อตารางเมตร เป็นเวลา 84 วัน ผลการทดลองพบว่า ผลผลิตดังนี้ 381.49, 607.32 และ 775.04 กิโลกรัมต่อ 15 ตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้ โดยวัสดุกรองแต่ละชนิดจะไม่มีผลต่อ อัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด แต่จะมีผลต่อผลผลิตรวมของปลาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองและอัตราแลกเนื้อ

Ridha and Cruz (2001) รายงานว่า ชนิดของวัสดุกรองชีวภาพไม่มีผลต่อน้ำหนักตัว อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราแลกเนื้อและอัตรารอดของปลานิลที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียน แต่มีส่วนสำคัญในการควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยและเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Tardiff, (1992) ที่อธิบายว่า การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการนำเอาระบบกรองชีวภาพมาใช้มากขึ้นซึ่งระบบการกรองชีวภาพไม่ได้ออกแบบมาเพื่อกำจัดวัตถุขนาดใหญ่ที่แขวนลอยในน้ำ แต่ถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดสารอาหารที่ละลายในน้ำมีอนุภาคขนาดเล็ก โดยระบบจะเปลี่ยนสารอาหารที่เป็นพิษไปเป็นสารอาหารในรูปที่ไม่มีพิษเช่น เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรท

ตาราง 9 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของปลาดุกลูกผสมในบ่อที่ใช้วัสดุกรองอิฐ, ถ่าน, โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง

ระยะเวลา (วัน)	วัสดุกรอง อิฐ	วัสดุกรองถ่าน	วัสดุกรองโฟม	วัสดุกรองไม้ไผ่
เริ่มทดลอง	25.60	25.55	20.55	22.60
15	25.88	26.03	20.90	23.08
30	35.35	35.63	31.00	32.50
45	40.75	39.65	35.05	37.20
60	47.78	41.29	39.08	40.55

ตาราง 10 ประสิทธิภาพการผลิตของการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง

ประสิทธิภาพการผลิต	วัสดุกรองอิฐ	วัสดุกรองถ่าน	วัสดุกรองโฟม	วัสดุกรองไม้ไผ่
น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว)*	25.60±0.10[a]	25.55±0.45[b]	20.55±0.40[d]	22.60±0.07[c]
น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดเฉลี่ย (กรัม/ตัว)*	47.77±0.12[a]	41.29±2.96[b]	39.07±3.57[d]	40.55±0.80[c]
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว)*	22.17±0.22[a]	15.74 ±2.51[d]	18.52±3.17[b]	17.95±0.72[c]
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)*	0.36±0.01[a]	0.26±0.04[c]	0.30±0.05[b]	0.22±0.01[d]
อัตราการแลกเนื้อ*	1.10±0.034[a]	1.52±0.15[d]	1.13±0.19[b]	1.49±0.49[c]
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)[ns]	97.5±2.0[a]	78.00±18.0[d]	94.0±1.0[b]	88.75±0.25[c]
น้ำหนักผลผลิตรวม (กก./3 ลบ.ม.)[ns]	9.71±0.40[a]	7.58±0.12[c]	5.97±0.87[d]	8.52±0.34[b]

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2.2 ประสิทธิภาพการผลิตของผักกาดหอมห่อ

การเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อของระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อคอนกรีตแบบหมุนเวียนน้ำที่มีการใช้วัสดุกรองชีวภาพ 4 ชนิด คือ อิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตามลำดับ ในการปรับคุณภาพน้ำร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ โดยทำการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีขนาดไม่แตกต่างกันที่อัตราความหนาแน่นที่เหมาะสม ระยะเวลาในการทดลอง 60 วัน วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตของผักก่อนเริ่มทำการทดลอง และทุกๆ 7 วัน จนสิ้นสุดการทดลองพบว่า อัตราการเจริญเติบโต ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนความสูงของผักกาดหอมห่อเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อัตราการรอด และผลผลิตรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตาราง 12 และตาราง 13) ดังนี้

ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบที่ใช้วัสดุกรองอิฐมีความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลองสูงที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 24.48±1.61 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ ผักสลัดที่ปลูกในระบบที่ใช้วัสดุกรองไม้ไผ่ ถ่าน และโฟม ตามลำดับ ค่าความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 19.87±0.26, 19.21±0.52 และ 16.09±1.34 เซนติเมตร ตามลำดับ

ส่วนอัตราการรอดพบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบที่ใช้วัสดุกรองอิฐ มีอัตราการรอดสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 94.00±2.00 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบที่ใช้วัสดุกรองไม้ไผ่ ถ่าน และโฟม ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราการรอดเท่ากับ 92.00±0.00, 80.00±4.00 และ 74.00±6.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ส่วนผลผลิตรวมพบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในระบบที่ใช้วัสดุกรองอิฐมีผลผลิตรวมสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 9.71±0. กิโลกรัม รองลงมาได้แก่ โฟม ไม้ไผ่ และถ่าน ตามลำดับ ค่าอัตราการรอดเท่ากับ 7.35±0.87, 7.20±0.34 และ 6.44±0.12 กิโลกรัม ตามลำดับ สอดคล้องกับ Nair *et al.* (1985) รายงานว่า ชนิดของวัสดุกรองในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียน อาจมีผลต่อปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในระบบ เช่น การใช้กรวดหรือหินปูนเป็นวัสดุกรองชีวภาพ อาจเป็นแหล่งสนับสนุนแคลเซียมให้กับระบบการเพาะเลี้ยง และอาจมีผลต่อประสิทธิภาพของการผลิตพืชผักได้ ขณะที่ Seawright *et al.* (1998) รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุอาหารในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนร่วมกับการปลูกพืชไร้ดินนั้น พบว่า ปริมาณแร่ธาตุอาหารบางชนิดมีปริมาณลดลงเกือบ 100% ดังนั้น การเติมแร่ธาตุอาหารพืชชดเชยในระหว่างการเพาะเลี้ยงจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องปฏิบัติ โดยในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุอาหารในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำร่วมกับระบบปลูกพืชไร้ดินพบว่า ในช่วงปลายของการทดลองตรวจพบอาการใบไหม้ของพืชผักอันเป็นสัญญาณที่แสดงถึงการขาดแร่ธาตุแคลเซียม เป็นต้น

ตาราง 11 ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมห่อในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง

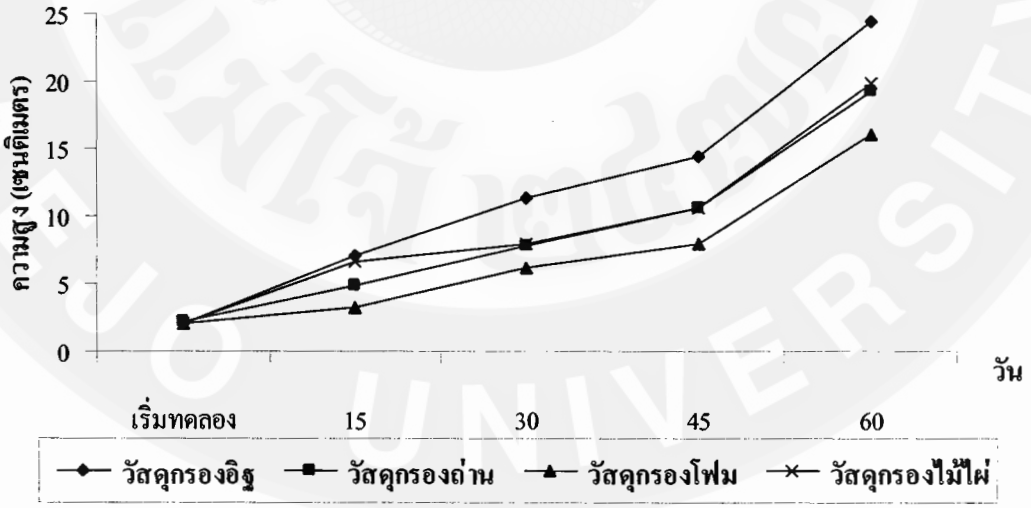
อายุของผักกาดหอมห่อ (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมห่อ			
	วัสดุกรองอิฐ	วัสดุกรองถ่าน	วัสดุกรองโฟม	วัสดุกรองไม้ไผ่
เริ่มทดลอง	2.09	2.14	2.10	2.06
15	7.12	4.78	3.18	6.69
30	11.39	7.79	6.15	7.94
45	14.44	10.64	8.01	10.54
60	24.48	19.20	16.09	19.86

ตาราง 12 ประสิทธิภาพการผลิตของผักกาดหอมห่อ ในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง

	วัสดุกรอง อิฐ	วัสดุกรองถ่าน	วัสดุกรองโฟม	วัสดุกรองไม้ไผ่
ความสูงเมื่อสิ้นสุด (เซนติเมตร)*	24.48±1.61[a]	19.21±0.04[c]	16.09±1.34[d]	19.87± 0.26[b]
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)*	94.00±2.00[a]	80.00±4.00[c]	74.00±6.00[d]	92.00±0.00[b]
น้ำหนักผลผลิตรวม (กิโลกรัม)*	9.71±0.40[a]	6.44±0.12[d]	7.35±0.87[b]	7.20±0.34[c]

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ภาพ 15 ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมห่อในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุกรอง อิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง

2.3 คุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในระบบบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่ใช้วัสดุกรองชีวภาพต่างชนิดกันคือ อิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตามลำดับ ร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ โดยเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่มีขนาดไม่ต่างกันที่อัตราความหนาแน่นที่เหมาะสม ระยะเวลาในการทดลอง 60 วัน แล้วทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเริ่มทำการทดลอง และทุก ๆ สัปดาห์ จนสิ้นสุดการทดลอง พบว่าอุณหภูมิ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และตะกอนแขวนลอย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน บีโอดี การนำไฟฟ้าจำเพาะ และคลอโรฟิลล์-เอ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตาราง 14) ดังนี้

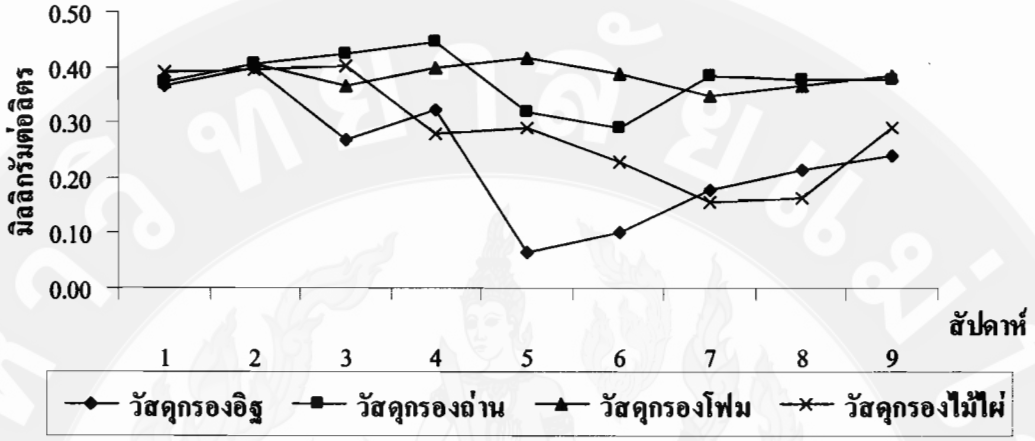
ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนพบว่า ในระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ที่ใช้วัสดุกรองอิฐ มีปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนน้อยที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.240±0.035 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ระบบเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่ใช้วัสดุกรองไม้ไผ่ ถ่าน และโฟม มีปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 0.289±0.03, 0.378±0.015 และ 0.382±0.010 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนพบว่า ระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ที่ใช้วัสดุกรองอิฐมีปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนมากที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 0.134±0.027 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาได้แก่ระบบที่ใช้วัสดุกรองไม้ไผ่ ถ่าน และโฟม ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.072±0.016, 0.049±0.012 และ 0.040±0.011 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับ มุทิตา และคณะ (2546) ได้ศึกษาผลของตัวกรองชีวภาพต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาทับทิมระบบปิดในบ่อดินพบว่าตัวกรองชีวภาพสามารถช่วยลดแอมโมเนียในน้ำ ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในบ่อทดลองต่ำกว่าชุดควบคุม ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน ส่วนคุณภาพน้ำอื่น ๆ ของทั้งสองบ่ออยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ และผลผลิตปลาทับทิมที่ได้จากบ่อทดลองทั้งสองบ่อมีค่าไม่แตกต่างกัน และ Chen and Lin (1995) ได้รายงานว่า สัตว์น้ำจะขับถ่ายของเสียออกมาในรูปของสารละลายต่างกันหลายรูปแต่ที่ขับถ่ายออกมามากที่สุดจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยคิดเป็น 60-70 % รองลงมาคือ ยูเรีย ยูริค ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจน มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แต่ไนเตรต-ไนโตรเจนมีความเป็นพิษต่ำและยังเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับพืชชั้นสูงได้ด้วย

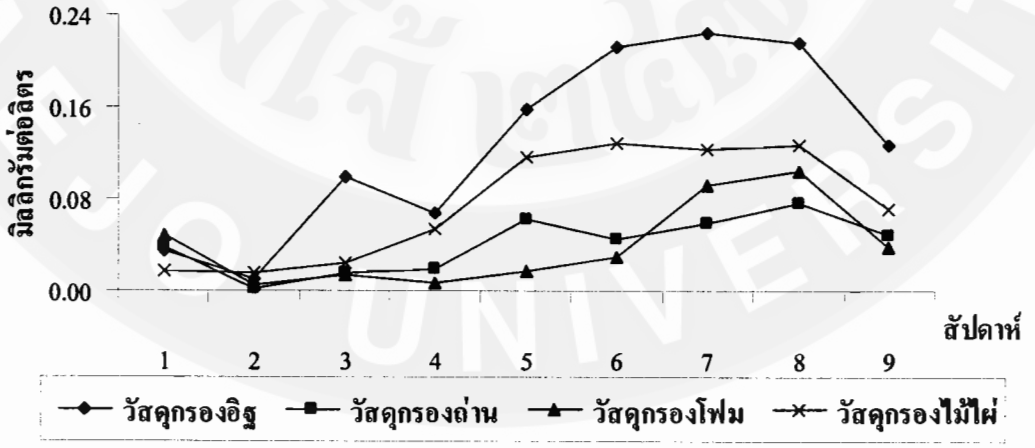
ค่าบีโอดีพบว่า ระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ที่ใช้วัสดุกรองโฟมมีปริมาณบีโอดีน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 3.09±0.693 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะที่ค่าบีโอดีของระบบที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ไม้ไผ่ และถ่านมีค่าสูงขึ้น ตามลำดับ คือ มีค่าเท่ากับ 3.60±0.305, 4.13±0.653 และ 5.49±0.688 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะพบว่า ระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ที่ใช้วัสดุกรองอิฐมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 580.63±11.56 ไมโครซีเมนต์ต่อตารางเซนติเมตร รองลงมาได้แก่ ระบบที่ใช้วัสดุกรองไม้ไผ่ โฟม และถ่าน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 542.50±17.31, 533.75±15.57 และ 471.25±18.03 ไมโครซีเมนต์ต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ อานัฐ (2548) รายงานว่า ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บอกความเข้มข้นของสารละลาย ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าสารละลายมีความเข้มข้นสูง มีธาตุอาหารละลายอยู่มาก การปลูกผักสลัดในระบบเอ็นเอฟทีต้องมีค่าอีซีตั้งแต่ 0.8-2.8 mS/cm

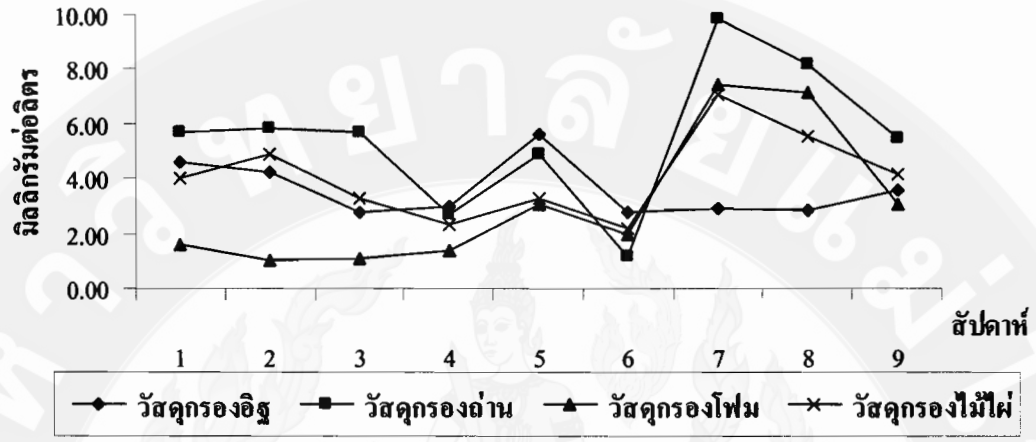
ปริมาณคลอโรฟิล-เอ พบว่า ระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ที่ใช้วัสดุกรองอิฐ มีปริมาณคลอโรฟิล-เอ สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 28.07±2.605 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาได้แก่ ระบบที่ใช้วัสดุกรองไม้ไผ่ โฟม และถ่าน ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 27.62±2.497, 21.31±2.463 และ 13.18± 1.398 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ Ridha and Cruz. (2001) รายงานว่า ความแตกต่างของปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนที่ใช้วัสดุกรองต่างชนิดกัน อาจเกิดจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของ Nitrifying bacteria ในวัสดุกรองชีวภาพแต่ละชนิดและวัสดุกรองชีวภาพชนิดที่เหมาะสมต่อการสร้างโคโลนีของ Nitrifying bacteria จึงมีผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันมีค่าสูงและทำให้ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจน ในระบบมีค่าอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ขณะที่ไนเตรต-ไนโตรเจน ที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำและเป็นประโยชน์ต่อพืชผักจะมีปริมาณสูง ซึ่งจาการศึกษาของเขาพบว่าปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระบบมีค่าลดลงจาก 0.085 มิลลิกรัมต่อลิตร (เมื่อเริ่มต้นทดลอง) เหลือ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในช่วงปลายของการทดลอง)



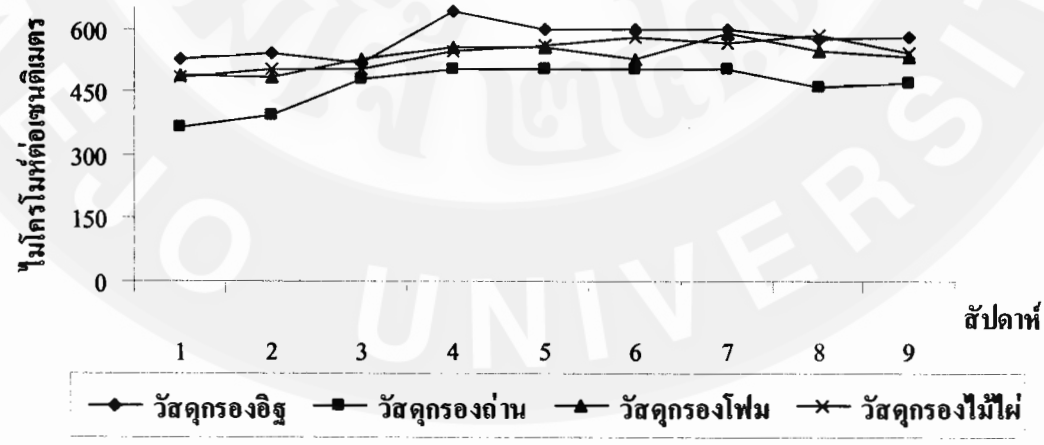
ภาพ 16 ปริมาณไนไตรท์–ไนโตรเจนของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง



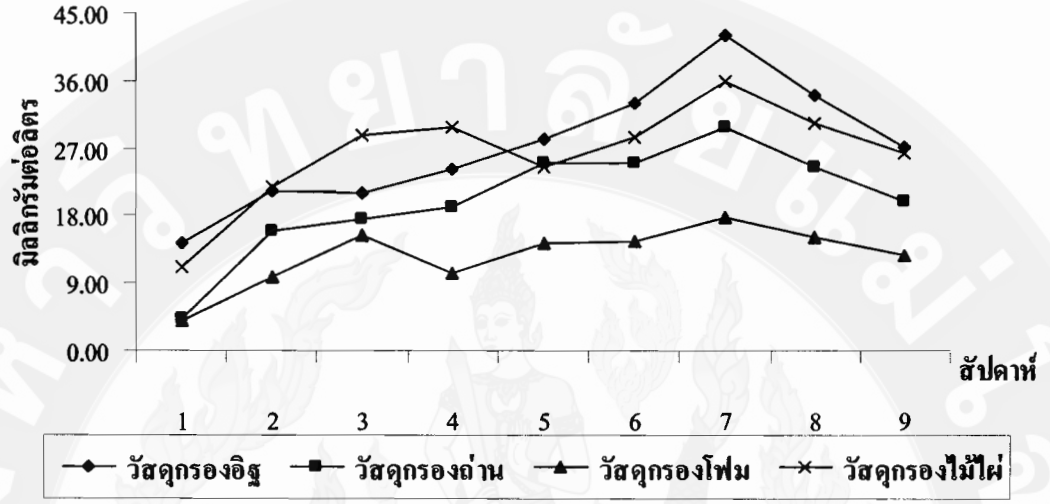
ภาพ 17 ปริมาณไนเตรท–ไนโตรเจนของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง



ภาพ 18 ปริมาณบีโอดีของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง



ภาพ 19 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง



ภาพ 20 ปริมาณคลอโรฟิลล์- เอ ของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง

ตาราง 13 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่ใช้วัสดุกรองอิฐ ถ่าน โฟม และไม้ไผ่ ตลอดการทดลอง

	วัสดุกรอง อิฐ	วัสดุกรอง ถ่าน	วัสดุกรอง โฟม	วัสดุกรอง ไม้ไผ่
อุณหภูมิของน้ำ (mg/l)^{ns}	22.63±0.19	22.71±0.68	22.66±0.21	22.65±0.20
ความเป็นกรดด่าง (mg/l)^{ns}	7.01±0.10	7.10±0.10	7.11±0.12	7.16±0.13
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(mg/l)^{ns}	5.55±0.49	6.27±0.58	5.89±0.47	6.05±0.57
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg/l)^{ns}	0.446±0.089	0.386±0.107	0.416± 0.075	0.634±0.121
ไนไตรท์-ไนโตรเจน (mg/l)*	0.240±0.035^{a}	0.378±0.015^{c}	0.382±0.010^{c}	0.289±0.03^{b}
ไนเตรท-ไนโตรเจน (mg/l)*	0.134±0.027^{c}	0.049±0.012^{a}	0.040± 0.011^{a}	0.072±0.016^{b}
ฟอสฟอรัส (mg/l)ns	1.877±0.181	1.435±0.167	1.638± 0.204	1.892±0.229
บีโอดี (mg/l)*	3.60±0.305^{b}	5.49±0.688^{d}	3.09±0.693^{a}	4.13±0.653^{c}
ปริมาณสารแขวนลอย (mg/l)ns	0.371±0.055	0.287±0.044	0.356±0.040	0.383±0.037
การนำไฟฟ้าจำเพาะ (mS/cm)*	580.63±11.56^{a}	471.25±18.03^{c}	533.75±15.57^{b}	542.50±17.31^{b}
คลอโรฟิลล์-เอ (mg/l)*	28.07±2.605^{a}	21.31±2.463^{b}	13.18± 1.398^{c}	27.62±2.497^{a}

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

การวิจัยที่ 3 การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างการปลูกผักสลัดแก้วและการเลี้ยงปลาดุกในระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์

3.1 ประสิทธิภาพการผลิตของปลาดุกลูกผสม

การเจริญเติบโตของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียนน้ำร่วมกับการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์และระบบกำจัดตะกอนและผ่านระบบกรองชีวภาพที่ใช้วัสดุกรองที่เหมาะสมจากผลการทดลองที่ 2 โดยเลี้ยงปลาขนาดไม่ต่างกันในบ่อคอนกรีตเป็นเวลา 75 วัน ในอัตราที่เหมาะสม โดยแบ่งออกเป็น 4 การทดลอง ตามสัดส่วนระหว่างการปลูกผักกาดหอมห่อและการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมคือ สัดส่วน 1:4 สัดส่วน 1:6 สัดส่วน 1:8 และสัดส่วน 1:10 ตามลำดับ วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตของปลาก่อนเริ่มทำการทดลอง และ ทุกๆ 15 วัน จนสิ้นสุดการทดลอง พบว่าอัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอดตายไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยและน้ำหนักผลผลิตรวมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตาราง 16) ดังนี้

น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปลาดุกลูผสมที่เลี้ยงในการทดลองสัดส่วนผักต่อปลา 1:10 มีน้ำหนักสูงที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 205.84±0.74 กรัมต่อตัว รองลงมาได้แก่ สัดส่วนผักต่อปลา 1:4, สัดส่วน 1:8 และสัดส่วน 1:6 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 198.41±0.21, 189.68±0.85 และ188.78±1.00 กรัมต่อตัว ตามลำดับ

ส่วนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยพบว่า ปลาที่เลี้ยงในสัดส่วนผักต่อปลา 1 : 10 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 160.31±0.74 กรัมต่อตัว รองลงมาได้แก่ สัดส่วน 1:4, สัดส่วน 1:8 และ สัดส่วน 1:6 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 155.96±0.07, 148.12±0.50 และ 147.12±0.18 กรัมต่อตัว ตามลำดับ

น้ำหนักผลผลิตรวมพบว่า ปลาที่เลี้ยงในสัดส่วนผักต่อปลา 1:10 มีค่าสูงที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 46.13±0.33 กิโลกรัมต่อ 3 ลบ.ม. รองลงมาได้แก่ สัดส่วน 1: 8, สัดส่วน 1:6 และสัดส่วน 1:4 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 29.92±1.02, 25.86±0.55 และ12.61±0.1 กิโลกรัมต่อ 3 ลบ.ม. ตามลำดับ

ระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ในสัดส่วนที่ต่างกันพบว่า อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน) อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอดของปลาดุกลูกผสมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยค่าอัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน) มีค่าอยู่ที่ 1.77-2.48 เนื่องจากการให้อาหารเม็ดลอยแก่ปลาดุกในบ่อเลี้ยง ซึ่งกำหนดจากน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวของปลาและให้ในปริมาณที่มากพอทั้งเช้าและเย็นทำให้ปลาดุกสามารถที่จะได้รับอาหารอย่างพอเพียงในการที่จะนำไปเปลี่ยนเป็นเนื้อ ซึ่งสอดคล้องกับการที่ปลาดุกได้รับอาหารที่คุณภาพ

ดีมีสารอาหารครบถ้วนอย่างเพียงพอจะส่งผลให้ปลามีสุขภาพแข็งแรง และให้ผลผลิตสูง (มงคล, 2548) ส่วนอัตราการรอดของปลาดุกมีค่าอยู่ที่ 86.5-91 ซึ่งเป็นค่าอัตราการรอดที่สูง ดังนั้นปัจจัยในการรอดตายของปลาดุกจะขึ้นอยู่กับอาหารที่ให้ ซึ่งมีปริมาณที่พอเพียงทำให้ปลาไม่เกิดการกินกันเอง เนื่องจากปลาดุกเป็นปลากินได้ทั้งเนื้อและผัก (กรมประมง, 2546) ในบ่อที่มีการให้ออกซิเจนแก่ปลาอย่างพอเพียงคุณภาพน้ำในบ่อที่ปล่อยปลา 250 ตัว ถึงแม้จะอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างไม่ดี เนื่องจากการเลี้ยงปลาที่หนาแน่น แต่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอยู่ตลอดเวลทำให้ปลาไม่ตายมาก อัตราการแลกเนื้อมีค่าระหว่าง 0.89–1.20 สอดคล้องกับ (อุทัยรัตน์, 2544) รายงานว่าปลาดุกลูกผสมจะมีการเจริญเติบโตได้ดี อัตราการแลกเนื้อไม่แตกต่างกัน อัตราการแลกเนื้อสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับคุณภาพของอาหาร สำหรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และผลผลิตรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยมีค่าอยู่ที่ 147.1-160.31 (กรัม/ตัว) ซึ่งมีความแตกต่างกันไม่มาก น้ำหนักเมื่อเริ่มต้นมีค่าอยู่ที่ 41.66-46.53 เทียบกับน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองอยู่ที่ 188.78-205.84 เพราะว่าปลาดุกบิ๊กอุยเป็นปลาที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น เมื่อเลี้ยงปลาจากขนาดของลูกปลาในระยะเวลา-3 เดือน ปลาดุกจะมีขนาด 200-400 กรัม/ตัว (กรมประมง, 2541) ปลาดุกบิ๊กอุยต้องการอาหารประเภทโปรตีนในการเจริญเติบโต โดยอาหารที่ให้เป็นอาหารเม็ดที่มีค่าระดับโปรตีนอยู่ที่ 25.80 % ซึ่งทำให้ปลาดุกเจริญเติบโตได้ดี จากที่ปกติปลาดุกต้องการโปรตีนในอาหารประมาณ 25 - 40 % (มงคล, 2548) โดยระยะการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยให้ได้ขนาด 250-300 กรัม จะต้องใช้เวลาอย่างน้อย 4 เดือนและให้อาหารอย่างเหมาะสม มีการศึกษาเกี่ยวกับอัตราการปล่อยปลาลงเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนพบว่า เมื่อเลี้ยงนาน 3 เดือน โดยมีอัตราการปล่อยปลา 5000, 7500 และ 10,000 ตัวต่อบ่อ ตามลำดับ แล้วนั้นมีผลผลิตโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 381.49, 607.32 และ 775.04 ก.ก./บ่อ ตามลำดับ และสามารถนำวิธีการนี้ไปปล่อยปลา 10,000 ตัว/บ่อ เลี้ยงนาน 4-5 เดือน น้ำมีคุณภาพที่ดีและเลี้ยงได้ผลผลิตสูงถึง 1-1.5 ตันต่อบ่อ

ตาราง 14 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในสัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ 4, 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง

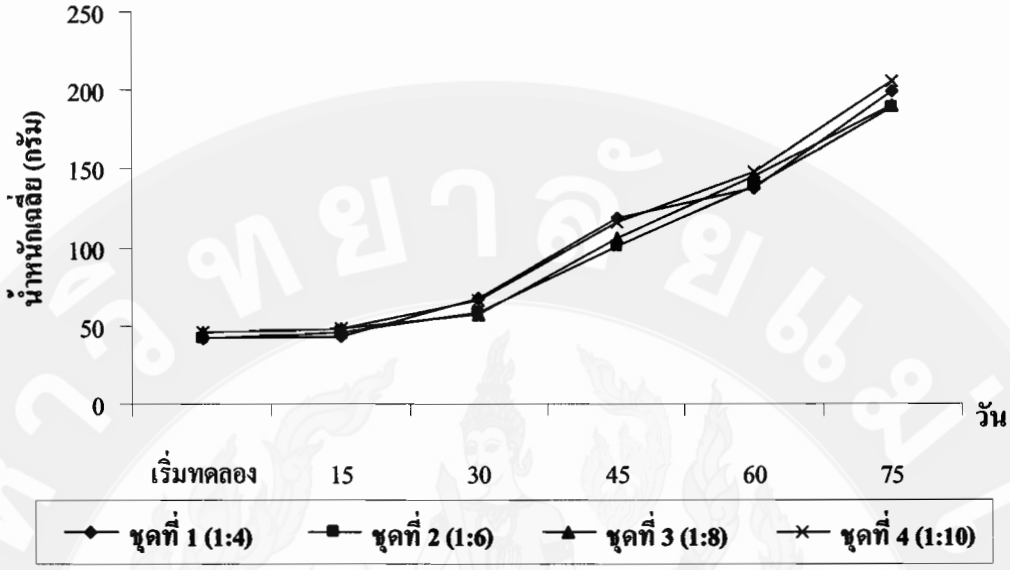
ระยะเวลา (วัน)	ชุดที่ 1 สัดส่วน 1:4	ชุดที่ 2 สัดส่วน 1:6	ชุดที่ 3 สัดส่วน 1:8	ชุดที่ 4 สัดส่วน 1:10
เริ่มทดลอง	42.45	41.66	46.01	46.52
15	43.57	45.44	48.02	48.97
30	67.00	58.99	56.86	66.63
45	119.05	100.56	106.34	116.65
60	138.02	139.33	145.53	147.63
75	198.41	188.78	189.68	205.84

ตาราง 15 ประสิทธิภาพการผลิตของการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่เลี้ยงในสัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ 4, 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง

	ชุดที่ 1 สัดส่วน 1:4	ชุดที่ 2 สัดส่วน 1:6	ชุดที่ 3 สัดส่วน 1:8	ชุดที่ 4 สัดส่วน 1:10
น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว)*	42.45±0.15^{b}	41.66±0.06^{a}	46.01±0.01^{c}	46.53±0.03^{d}
น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดเฉลี่ย (กรัม/ตัว)*	198.41±0.2^{b}	188.78±1.00^{d}	189.68±0.85^{c}	205.84±0.74^{a}
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว)*	155.96±0.07^{b}	147.12±0.18^{c}	148.12±0.50^{c}	160.31±0.74^{a}
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)^{ns}	1.77±0.03	2.45±0.06	2.14±0.30	2.48±0.01
อัตราการแลกเนื้อ^{ns}	1.13±0.10	0.89±0.03	1.20±0.11	1.11±0.12
อัตราการรอด (%)^{ns}	88±1.00	91±4.00	86.5±2.50	91±4.00
น้ำหนักผลผลิตรวม (กก./3 ลบ.ม.)*	12.61±0.19^{d}	25.86±0.55^{c}	29.92±1.02^{b}	46.13±0.33^{a}

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพ 21 น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของปลาดุกลูกผสมในบ่อเลี้ยงปลาที่สัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ 4, 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง

3.2 ประสิทธิภาพการผลิตของผักกาดหอมห่อ

การเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อ ในระบบเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับระบบปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ที่เลี้ยงปลาขนาดไม่ต่างกันในบ่อซีเมนต์มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาด้วยระบบการหมุนเวียนน้ำ ในอัตราที่เหมาะสมจากบ่อเลี้ยงเข้าสู่ระบบกำจัดตะกอน และผ่านระบบกรองชีวภาพที่ใช้วัสดุกรองที่เหมาะสม จากผลการทดลองที่ 2 ระยะเวลาในการทดลอง 75 วัน โดยแบ่งออกเป็น 4 การทดลอง ตามสัดส่วนระหว่างการปลูกผักกาดหอมห่อและการเลี้ยงปลาดุกลูกผสม ดังนี้คือ สัดส่วน 1 : 4 สัดส่วน 1 : 6 สัดส่วน 1 : 8 และ สัดส่วน 1 : 10 ตามลำดับ แล้วทำการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพการผลิตของผักก่อนเริ่มทำการทดลอง และ ทุก ๆ 7 วัน จนสิ้นสุดการทดลองพบว่า ผลผลิตรวม (กิโลกรัม) และอัตราการรอดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตาราง 17 และ ตาราง 18) ดังนี้

ความสูงของผักกาดหอมห่อเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกในสัดส่วนผักต่อปลา 1 : 10 มีค่าสูงที่สุดคือมีค่าเท่ากับ 24.99$\pm$0.11 เซนติเมตร รองลงมาได้แก่ สัดส่วน 1 : 6, สัดส่วน 1 : 8 และ สัดส่วน 1 : 4 ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 22.87$\pm$0.63, 21.76$\pm$0.59 และ 21.27$\pm$0.83 เซนติเมตร ตามลำดับ

ส่วนอัตราการรอด และน้ำหนักผลผลิตรวม (กิโลกรัม) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ค่าอัตราการรอดมีค่าอยู่ที่ 80-92 % เป็นค่าที่มีความใกล้เคียงกันเพราะในแต่ละบ่อมีสภาพแวดล้อมทั้งแสงแดด และอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน และในช่วงที่อากาศร้อนจัดผักไม่สามารถเจริญเติบโตได้ทำให้ผักบางส่วนตายไป น้ำหนักผลผลิตรวมของผักอยู่ที่ 5.56-6.50 กิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างกันมาก ส่วนอัตราการเจริญเติบโตขึ้นอยู่กับความสูงเฉลี่ยของผักพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ค่าความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 21.27-24.99 เป็นค่าที่มีความใกล้เคียงกันแตกต่างกันไม่มากนัก แต่เมื่อเทียบกับการเจริญเติบโตของผักที่นิยมปลูกในฤดูหนาว พบว่าผักไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควรโดยผักที่ปลูกในหน้าร้อนมักแคระแกรน โตช้าและมีรสขม และเก็บเกี่ยวได้ช้า เพราะผักในหน้าร้อนมักเจอกับปัญหาสารละลายร้อนเกินไปมากกว่า 30 องศา-เซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิน้ำแปรผกผันกับอัตราการละลายตัวของออกซิเจน (ยงยุทธ, 2548)

ตาราง 16 ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมห่อในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่สัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ 4, 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง

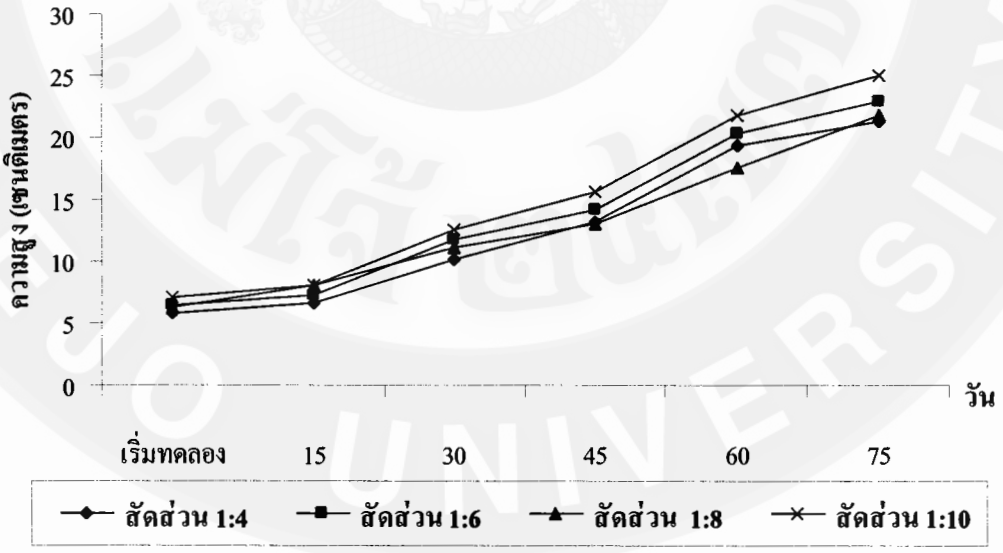
อายุของผักกาดหอมห่อ (วัน)	ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของผักกาดหอมห่อ			
	สัดส่วน 1:4	สัดส่วน 1:6	สัดส่วน 1:8	สัดส่วน 1:10
เริ่มทดลอง	5.8	6.39	6.26	7.12
15	6.69	7.23	8.07	8.14
30	10.16	11.77	11.07	12.53
45	13.29	14.23	13.12	15.58
60	19.29	20.27	17.65	21.71
75	21.27	22.87	21.76	24.99

ตาราง 17 ประสิทธิภาพการผลิตของผักกาดหอมห่อในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่สัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ 4, 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง

การเจริญเติบโตของผัก	ชุดที่ 1 สัดส่วน 1:4	ชุดที่ 2 สัดส่วน 1:6	ชุดที่ 3 สัดส่วน 1:8	ชุดที่ 4 สัดส่วน 1:10
ความสูงเมื่อสิ้นสุด (เซนติเมตร)*	21.27±0.83[b]	22.87±0.63[ab]	21.76±0.59[ab]	24.99±0.11[a]
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)[ns]	80±2.00	88±3.00	84±2.00	92±1.00
น้ำหนักผลผลิตรวม (กิโลกรัม)[ns]	5.56±0.71	6.15±0.20	5.64±0.16	6.50±0.05

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



ภาพ 22 ความสูงของผักกาดหอมห่อในบ่อเลี้ยงปลาที่สัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ 4, 1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง

3.3 คุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมขนาดไม่ต่างกันในบ่อซีเมนต์ มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลามีระบบการหมุนเวียนน้ำในอัตราที่เหมาะสมจากบ่อเลี้ยงเข้าสู่ระบบกำจัดตะกอน และผ่านระบบกรองชีวภาพที่ใช้วัสดุกรองที่เหมาะสมจากผลการทดลองที่ 2 ระยะเวลาในการทดลอง 75 วัน โดยแบ่งออกเป็น 4 การทดลอง ตามสัดส่วนระหว่างการปลูกผักกาดหอมห่อและการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมดังนี้คือ สัดส่วน 1:4 สัดส่วน 1:6 สัดส่วน 1:8 และ สัดส่วน 1:10 ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนเริ่มทำการทดลอง และทุก ๆ สัปดาห์ จนสิ้นสุดการทดลอง พบว่าอุณหภูมิ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส บีโอดี ตะกอนแขวนลอย การนำไฟฟ้าจำเพาะ และคลอโรฟิลล์-เอ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 19) ดังนี้

การเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับระบบการปลูกพืช เป็นการนำน้ำเสียจากการเลี้ยงปลามาบำบัดโดยผ่านการกรองชีวภาพแล้วนำน้ำที่ได้ไปใช้ ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Lewis *et al.*, 1983) เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น เนื่องจากการปลูกพืชในระบบ Hydroponic อย่างเดียวนั้น ต้องใช้ต้นทุนในการปลูกพืชสูงไม่ว่าจะเป็นเรื่องค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์หรือโรงเรือน การเลี้ยงปลาระบบหมุนเวียนจึงเป็นการทดแทนที่ดี เพราะทำให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้นประหยัดในด้านสารอาหาร และน้ำอีกด้วย ซึ่งของเสียจากน้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะไหลเวียนผ่านรากของพืชทำให้พืชสามารถนำธาตุอาหารเหล่านั้นไปใช้ได้ โดยธาตุอาหารที่สำคัญได้แก่ ยูเรีย ยูริค ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนไตรท์- ไนโตรเจน ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีอีกด้วย (Chen and Lin, 1995) แต่บางครั้งพบว่าเกิดการขาดแคลนธาตุอาหารทำให้พืชมีผลผลิตต่ำ นอกจากนี้ระบบกรองชีวภาพจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไม่ใช้ดิน เพราะว่าระบบกรองชีวภาพได้ออกแบบมาเพื่อกำจัดสารอาหารที่เป็นพิษให้อยู่ในรูปไม่เป็นพิษเช่น เปลี่ยนแอมโมเนีย-ไนโตรเจนไปเป็น ไนเตรต-ไนโตรเจน (Tardiff, 1992) ปัจจัยที่สำคัญส่วนหนึ่งของการเลี้ยงปลาผสมผสานร่วมกับการปลูกพืชไม่ใช้ดินก็คือระบบกรองชีวภาพ ซึ่งได้มีการให้คำจำกัดความของระบบกรองชีวภาพว่าเป็นระบบที่ต้องมีวัสดุ ยึดเกาะที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะต่อหน่วยพื้นที่ค่อนข้างมาก เพื่อเอื้อประโยชน์ต่อการเกาะติดของแบคทีเรียโดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่ม nitrifying bacteria จนสามารถเจริญเติบโต และเพิ่มมวลชีวภาพได้ในอัตราที่ค่อนข้างสูง เพื่อดูดสับอิออนไนซ์แอมโมเนียออกจากระบบโดยเกิดกระบวนการออกซิไดซ์จากแอมโมเนีย-ไนโตรเจนไปเป็นไนไตรท์-ไนโตรเจน โดยแบคทีเรียสกุล *Nitrosomona* และ ออกซิไดซ์ไนไตรท์-ไนโตรเจนไปเป็นไนเตรต-ไนโตรเจนโดยแบคทีเรียสกุล *Nitrobacter* ตามลำดับ (Losordo, 1999) แบคทีเรียที่ช่วยเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรตเจริญเติบโตได้ดี

ในช่วงค่า pH ที่เกิน 6 แต่ไม่เกิน 7.5 (พายัพ, 2543) ซึ่งช่วยเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรท ในกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ตลอดการทดลอง คุณภาพน้ำที่ใช้วัสดุกรองที่ให้ผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อได้ดีที่สุดคือ การกรองโดยใช้อิฐซึ่งคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ได้พบว่า การสะสมของธาตุอาหารมีความเข้มข้นสูง ใกล้เคียงกับสารละลายในระบบ Hydroponics มากที่สุด Rakocy *et al.* (1993, 1989) อธิบายว่า การดำเนินระบบแบบผสมผสานระหว่างการเลี้ยงปลาแบบหมุนเวียนและการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ ในสภาวะ Staedy state ที่ไม่มีการเติมธาตุอาหารพืชเสริมให้กับระบบ ความเข้มข้นของธาตุอาหารจะเพิ่มขึ้นลดลงหรือคงที่ ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการนั้นขึ้นกับการผันแปรระหว่างสัดส่วนของผักและปลา อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้ผักกาดหอมห่อที่ได้จากการทดลองไม่แสดงอาการขาดธาตุอาหารแต่อย่างใด และสัดส่วนของผักต่อปลาที่เหมาะสมทำให้ปลาและผักสามารถเติบโตได้ดีมีอัตราการรอดสูงสุดคือ ที่สัดส่วนเท่ากับ 1:10

ตาราง 18 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมที่สัดส่วนผักต่อปลา 1 ต่อ4,1 ต่อ 6, 1 ต่อ 8 และ 1 ต่อ 10 ตลอดการทดลอง

	ชุดที่ 1 สัดส่วน 1:4	ชุดที่ 2 สัดส่วน 1:6	ชุดที่ 3 สัดส่วน 1:8	ชุดที่ 4 สัดส่วน 1:10
อุณหภูมิของน้ำ(mg/l)^{ns}	26.25±0.30	26.48±0.28	26.35±0.87	26.52±0.52
ความเป็นกรดด่าง(mg/l)^{ns}	7.18±0.07	7.30±0.17	7.22±0.02	7.19±0.04
ออกซิเจนละลายในน้ำ(mg/l)^{ns}	5.06±0.53	4.62±0.51	4.97±0.48	4.15±0.25
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน(mg/l)^{ns}	0.47±0.14	0.51±0.13	0.47±0.13	0.63±0.16
ไนไตรท์-ไนโตรเจน(mg/l)^{ns}	0.27±0.0.04	0.29±0.04	0.27±0.05	0.24±0.04
ไนเตรท-ไนโตรเจน(mg/l)^{ns}	0.013±0.005	0.014±0.004	0.044±0.016	0.022±0.007
ฟอสฟอรัส(mg/l)^{ns}	2.11±0.06	1.85±0.22	1.8±0.17	2.57±0.18
บีโอดี (mg/l)^{ns}	2.75±0.21	2.50±0.17	2.64±0.21	2.61±0.12
ปริมาณสารแขวนลอย(mg/l)^{ns}	0.59±0.22	0.96±0.31	0.7±0.16	0.96±0.27
การนำไฟฟ้าจำเพาะ(mS/cm)^{ns}	546.7±7.82	560.4±26.2	522.9±62.5	577.9±28.3
คลอโรฟิลล์-เอ (mg/l)^{ns}	31.7±4.6	28.6±4.7	29.7±4.3	32.1±2.2

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

วิจารณ์ผลการทดลอง

ระดับอายุและขนาดของปลาดุกลูกผสม

ผลการศึกษาอายุและขนาดของปลาดุกที่มีต่อปริมาณธาตุอาหารและคุณภาพน้ำ ในบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบหมุนเวียนน้ำพบว่า อายุของปลาที่นำมาเลี้ยงมีผลต่อประสิทธิภาพของการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบหมุนเวียนได้แก่ น้ำหนักผลผลิตรวม น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตราการแลกเนื้อ โดยน้ำหนักผลผลิตรวม น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตราแลกเนื้อ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของปลาที่นำมาเลี้ยง คือ ปลาที่เลี้ยงอายุ 30, 60 และ 90 วัน ที่มีประสิทธิภาพการผลิตดังนี้ น้ำหนักผลผลิตรวม ปลาที่เลี้ยงอายุ 90 วัน ให้ผลผลิตดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลาที่เลี้ยงอายุ 60 และ 30 วัน ได้ผลผลิตเท่ากับ 42.49±0.49, 24.25±0.70 และ 12.74±5.26 กิโลกรัม ตามลำดับ เช่นเดียวกับน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดเฉลี่ยปลาที่เลี้ยงอายุ 90 วัน น้ำหนักสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลาที่เลี้ยงอายุ 60 และ 30 วัน ได้น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดเฉลี่ยเท่ากับ 275±15.0, 199±0.5 และ 90±2.0 กรัม สำหรับอัตราแลกเนื้อปลาที่เลี้ยงอายุ 90 วัน มีค่าต่ำที่สุดรองลงมาได้แก่ ปลาที่เลี้ยงอายุ 60 และ 30 วัน อัตราแลกเนื้อเท่ากับ 2.57±0.111, 1.82±0.1 และ 1.51±0.21 ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย ปลาที่เลี้ยงอายุ 60 วัน ให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ปลาที่เลี้ยงอายุ 90 และ 30 วัน น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 97±2, 85.5±0.5 และ 60±2 กรัม ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Franco-Nava *et al.* (2004) ที่พบว่า ขนาดของปลาที่นำมาเลี้ยงมีผลต่อน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยปลาที่มีขนาดเล็กจะให้น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดเฉลี่ยต่ำกว่าปลาที่มีขนาดใหญ่ จันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด โดยใช้บ่อคอนกรีตกลมขนาด 5 ลูกบาศก์เมตร ปล่อยปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) ขนาด 1.57 กรัม ในอัตรา 200 ตัวต่อตารางเมตร ปรากฏว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีอัตรารอด 89.11 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิต 336.7 กิโลกรัมต่อ 15 ลูกบาศก์เมตร และอัตราแลกเนื้อ 1.28 และ Tarnchalanukit *et al.* (1982) ได้รายงานว่า การเจริญเติบโตของปลาดุกด้าน (*Clarias batrachus*) ขนาด 1 กรัม เลี้ยงในระบบบ่อคอนกรีตแบบน้ำหมุนเวียนที่อัตราความหนาแน่นแตกต่างกันคือ 330, 500 และ 666 ตัวต่อตารางเมตร เป็นเวลา 84 วัน ผลการทดลองพบว่า ผลผลิตดังนี้ 381.49, 607.32 และ 775.04 กิโลกรัมต่อ15 ตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้โดย อัตราการปล่อยและอายุของปลาจะไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด แต่จะมีผลต่อผลผลิตรวมของปลา น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตราแลกเนื้อ

ส่วนผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารพืชในน้ำตัวอย่างที่ได้จากบ่อเลี้ยงปลา ซึ่งแบ่งตามอายุของปลาดุกลูกผสม โดยวิเคราะห์ทั้งธาตุอาหารหลัก ได้แก่ N, P, K, Ca, Mg และธาตุ

อาหารรอง ได้แก่ B, Cl, Cu, Fe, Mn, และ Mo ผลการทดลอง พบว่าปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ N มีปริมาณ 150±40.0, 40.0 ± 10.0, 40.0 ± 10.0 และ 37.0±30.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ K มีปริมาณ 59.00±17.35, 50.50±12.84, 62.50±13.44 และ 67.75±10.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ปริมาณ N และ K มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนธาตุอาหารหลักได้แก่ P, Ca และ Mg พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับ ปริมาณธาตุอาหารรองได้แก่ Zn, Mn, Fe, Cu และ Cl พบว่าไม่มีความแตกต่าง ปริมาณแร่ธาตุอาหารในน้ำส่วนใหญ่ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม คอปเปอร์ แมงกานีส และสังกะสี มีค่าเพียงพอสำหรับการปลูกพืชไร้ดินร่วมกับการเลี้ยงปลาในบ่อซีเมนต์แบบหมุนเวียน เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานของ Resh 1989 :ซึ่งได้รายงานว่า ปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์คือ โบรอน 0.5 มก./ล. แคลเซียม 197 มก/ล. ทองแดง 0.03 มก./ล. เหล็ก 2.0 มก./ล. โปแทสเซียม 400 มก./ล แมกนีเซียม 44 มก./ล. แมงกานีส 0.5 มก./ล. โมลิบดีนั่ม 0.02 มก./ล. ไนโตรเจน 145 มก./ล. ฟอสฟอรัส 65 มก./ล. ซัลเฟอร์ 179.5 มก./ล. และ สังกะสี 0.14 มก./ล.

Rakocy *et al.* (1993) พบว่า การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนแบบปิดที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำน้อยมาก หรือแทบไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำเลยพวกธาตุอาหารในรูปที่ละลายในน้ำจะมีการสะสมอยู่ในปริมาณมาก และมีระดับความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกับระดับความเข้มข้นของธาตุอาหารที่ใช้กันในสารละลายสำหรับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน และยังรายงานอีกว่า การเลี้ยงสัตว์น้ำในระบบหมุนเวียนแบบปิด จะเกิดการสะสมของสารประกอบตามลำดับดังนี้ K > N > P > Ca > S > Mg ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chen and Lin (1995) ที่รายงานว่า สัตว์น้ำจะขับถ่ายของเสียในรูปของสารละลายต่างกันหลายรูป แต่ที่ขับถ่ายออกมามากที่สุดจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยคิดเป็น 60-70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ยูเรีย ยูริค ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจนและไนไตรท์-ไนโตรเจน มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แต่ไนเตรต-ไนโตรเจนมีความเป็นพิษต่ำ และยังเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับพืชชั้นสูงได้ด้วย

สำหรับผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า อุณหภูมิของน้ำ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส บีโอดี การนำไฟฟ้าจำเพาะ และคลอโรฟิลล์-เอ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P< 0.05$) โดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเท่ากับ 6.77±0.35, 3.32±0.50, 2.0±0.38 และ 1.25± 0.24 ตามลำดับ สุชาติ และคณะ (2535) ได้รายงานปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำที่ตรวจพบในบ่อเลี้ยงปลาดุกจะอยู่ในช่วง 0.2-3.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และอานัฐ (2548) รายงานว่า การปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์รากพืชมักจะมีปัญหาการขาดออกซิเจน ต้องมีการเพิ่มอากาศให้โดย

การใช้ปั๊มลมหรือระบบหมุนเวียนปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ จะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของน้ำ ความดันบรรยากาศ และสิ่งเจือปนในน้ำ ถาวร (2530) ได้รายงานการเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีตมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำอยู่ในช่วง 0.0-5.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.90±0.06, 6.88±0.07, 7.15±0.05 และ 7.60±0.08 ตามลำดับ ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะอยู่ระหว่าง 6.5-9 หากคุณภาพน้ำในบ่อมีปริมาณสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้สัตว์น้ำมีผลผลิตต่ำมีการเจริญเติบโตช้าหรืออาจตายได้ (ประเทือง, 2538) และอานัฐ (2548) รายงานว่า ความเป็นกรด-ด่างมีความสำคัญมากต่อการเจริญเติบโตของพืช ควรอยู่ในช่วง 5.5-6.5 เป็นช่วงที่เหมาะสมคือ ธาตุอาหารอยู่ในรูปที่พืชใช้ได้มากที่สุด ส่วนปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเท่ากับ 0.691±0.056, 0.556±0.053, 0.77±0.036 และ 0.429±0.063 ตามลำดับ ถาวร (2530) ได้รายงานว่า การเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีตพบว่า มีปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.685-19.45 มิลลิกรัมไนโตรเจน จันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิดพบว่า ปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.010-16.395 มิลลิกรัมไนโตรเจน ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนเท่ากับ 0.053±0.013, 0.063±0.026, 0.179±0.089 และ 0.013±0.006 ตามลำดับ เมื่อปลากินอาหารจะขับถ่ายของเสียออกมา ซึ่งจะเป็นสารประกอบไนโตรเจนจะส่งผลต่อ ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น (ประเทือง, 2538) ธำรง (2528) ได้รายงานการเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีตมีปริมาณไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.005-0.300 มิลลิกรัมไนโตรเจน มีการทดลองเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด พบว่าตลอดระยะเวลาการเลี้ยงมีปริมาณไนไตรท์อยู่ในช่วง 0.001-0.45 มิลลิกรัมไนโตรเจน ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนเท่ากับ 0.026±0.016, 0.034±0.006, 0.035±0.005 และ 0.008±0.002 ตามลำดับ ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน ไม่ถือว่าเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยตรงนอกเสียจากมีความเข้มข้นมาก แต่จะทำให้เกิดปัญหาทางอ้อมในกรณีที่ไนเตรตเปลี่ยนสภาพเป็นไนไตรท์ และแอมโมเนีย (ประเทือง, 2538) และจันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด พบว่า ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงมีปริมาณไนเตรตอยู่ในช่วง 0.000-15.150 มิลลิกรัมไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.831±0.16, 0.955±0.15, 1.692±0.19 และ 0.330±0.05 ตามลำดับ โดยเกณฑ์คุณภาพน้ำสำหรับสัตว์น้ำควรมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร (ประเทือง, 2538) และ ถาวร (2530) ได้รายงานว่า การเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีต พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.5-5.7 มิลลิกรัมไนโตรเจน จันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด พบว่า ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในช่วง 0.003-6.211 มิลลิกรัมไนโตรเจน ปริมาณบีโอดีเท่ากับ 1.30±0.21, 0.76±0.18, 0.39±0.07 และ 1.68±0.37 ตามลำดับ ค่าบีโอดีที่เหมาะสมมีค่าไม่เกิน 10 มก/ลิตร และสูงสุดไม่เกิน 30 มก/ลิตร (มั่นสิน และไพพรรณ, 2544) และจันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยงปลาดุกในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิด พบว่า ตลอดระยะเวลาในการเลี้ยงมีปริมาณบีโอดีอยู่ในช่วง 1.6-252.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารที่

สามารถตกตะกอนเท่ากับ 0.094±0.012, 0.087±0.013, 0.132±0.014 และ 0.027±0.006 ปริมาณสารแขวนลอยเท่ากับ 0.72±0.163, 1.12±0.229, 1.86±0.226 และ 0.04±0.11 ถาวร (2530) ได้รายงานว่า การเลี้ยงปลาดุกแบบหนาแน่นในบ่อคอนกรีตพบว่า มีปริมาณสารแขวนลอยอยู่ในช่วง 16.0-153 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการนำไฟฟ้าจำเพาะเท่ากับ 145.5±2.35, 395±23.26, 431.5± 32.67 และ 788.5±82.61 ตามลำดับ อานัฐ (2548) รายงานว่า ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บอกความเข้มข้นของสารละลาย ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าสารละลายมีความเข้มข้นสูงมีธาตุอาหารละลายอยู่มากการปลูกผักสลัดในระบบเอ็นเอฟทีต้องมีค่าอีซีตั้งแต่ 0.8-2.8 mS/cm วิรัช (2540) รายงานว่า น้ำจืดทั่วไปมีค่าการนำไฟฟ้าประมาณ 10-1000 μS/cm โดยเฉพาะน้ำเสีย และยังเป็นดรรชนีอย่างหยาบที่ใช้ประเมินปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำ ปริมาณคลอโรฟิล-เอ เท่ากับ 51.88±6.09, 58.46±7.80, 65.33±5.73 และ 21.12±3.1 ตามลำดับ ความเข้มข้นของคลอโรฟิล-เอ ที่หาได้สัมพันธ์กับปริมาณแพลงค์ตอนพืชในตัวอย่างน้ำ (Boyd and Tucker, 1992)

อย่างไรก็ตาม คุณภาพน้ำจากการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมอายุต่างกันในบ่อซีเมนต์แบบหมุนเวียน ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของปลาดุกเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (กรมประมง, 2530) ที่กำหนดให้อุณภูมิที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 23–32 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำไม่น้อยกว่า 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด–ด่างอยู่ในช่วง 5–9 ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วงที่สูงกว่าระดับที่เหมาะสมซึ่งกำหนดไว้ที่ไม่เกิน 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม Eding and Kamstra (2001) รายงานว่า ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่มีค่าต่ำกว่า 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมและแนะนำให้ใช้เป็นเกณฑ์การควบคุมสภาพการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในระบบหมุนเวียน

ขณะที่แนวโน้มของค่าดัชนีคุณภาพน้ำและธาตุอาหารต่าง ๆ ในน้ำมีทิศทางเพิ่มขึ้นตามขนาดเริ่มต้นของปลาที่เลี้ยง ได้แก่ ปลาดุกลูกผสมอายุ 30, 60 และ 90 วัน Franco-Nava *et al.* (2004) รายงานว่า ปลาที่มีขนาดใหญ่จะกินอาหารในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปลาที่มีขนาดเล็กกว่าเนื่องจากปลาที่มีขนาดใหญ่มีอัตราการเติบโตช้าจึงมีการกินอาหารในอัตราต่ำ ส่วนปลาที่มีขนาดเล็กกว่าต้องการอาหารในปริมาณมากเพื่อชดเชยอัตราการเติบโตที่ค่อนข้างสูงจึงกินอาหารในอัตราสูง ซึ่งมีผลให้การเลี้ยงปลาขนาดใหญ่ในระบบปิดเกิดการสะสมของเสียในปริมาณสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงปลาที่มีขนาดเล็กกว่าภายใต้สภาวะเดียวกัน Tardiff, (1992) รายงานว่า การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการนำเอาระบบกรองชีวภาพมาใช้มากขึ้น ซึ่งระบบการกรองชีวภาพไม่ได้ออกแบบมาเพื่อกำจัดวัตถุขนาดใหญ่ที่แขวนลอยในน้ำ แต่ถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดสารอาหารที่ละลายในน้ำมีอนุภาคขนาดเล็ก โดยระบบจะเปลี่ยนสารอาหารที่เป็นพิษไปเป็นสารอาหารในรูปที่ไม่มีพิษ เช่น

เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรท ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาคุณภาพน้ำจากการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์แบบหมุนเวียนที่ใช้วัสดุกรองต่างชนิดกันมีปริมาณสารแขวนลอยที่ไม่แตกต่างกัน

วัสดุกรองชีวภาพ

การศึกษาวัสดุกรองชีวภาพ เพื่อใช้ในระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์พบว่า อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยอัตราการแลกเนื้อมีค่าระหว่าง 1.10–1.51 สอดคล้องกับ อุทัยรัตน์ (2544) ที่รายงานว่า ปลาดุกลูกผสมมีการเจริญเติบโตได้ดี อัตราการแลกเนื้อ ไม่มีความแตกต่างกัน อัตราการแลกเนื้อสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับคุณภาพของอาหาร ส่วนอัตราการรอดพบว่า ปลาที่เลี้ยงในวัสดุกรองอิฐ มีอัตราการรอดสูงสุด ค่าอัตราการรอดเท่ากับ 97.50 % อัตราการรอดอยู่ระหว่าง 78.00–97.50 % ส่วนน้ำหนักเมื่อสิ้นสุด อัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตรวมพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยวัสดุกรองอิฐมีน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดมากที่สุดคือ 47.77±0.12 รองลงมาได้แก่ วัสดุกรองถ่าน ไม้ไผ่ และโฟมตามลำดับ ค่าน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดเท่ากับ 41.29±2.96, 40.55±0.80 และ 39.07±3.57 ตามลำดับ สำหรับอัตราการเจริญเติบโต วัสดุกรองอิฐ มีอัตราการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุกรองอื่น ค่าอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.36 รองลงมาได้แก่ โฟม ถ่าน และไม้ไผ่ ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 0.30±0.05, 0.26±0.04 และ 0.22±0.01 ตามลำดับ สอดคล้องกับจันทร์สว่าง (2538) ได้ทดลองเลี้ยง ปลาดุกลูกผสมในระบบน้ำหมุนเวียนแบบกึ่งปิดโดยใช้บ่อคอนกรีตกลมขนาด 5 ลูกบาศก์เมตร ปล่อยปลาดุกลูกผสม (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) ขนาด 1.57 กรัม ในอัตรา 200 ตัวต่อตารางเมตร ปรากฏว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีอัตรารอด 89.11 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิต 336.7 กิโลกรัมต่อ 15 ลูกบาศก์เมตร และอัตราแลกเนื้อ 1.28 และ Tarnchalanukit *et al.* (1982) ได้รายงานว่า การเจริญเติบโตของปลาดุกด้าน (*Clarias batrachus*) ขนาด 1 กรัม เลี้ยงในระบบบ่อคอนกรีตแบบน้ำหมุนเวียนที่อัตราความหนาแน่นแตกต่างกันคือ 330, 500 และ 666 ตัวต่อตารางเมตร เป็นเวลา 84 วัน ผลการทดลองพบว่า ผลผลิตดังนี้ 381.49, 607.32 และ 775.04 กิโลกรัมต่อ 15 ตารางเมตร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองในครั้งนี้ โดยวัสดุกรองแต่ละชนิดจะไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต อัตราการรอด แต่จะมีผลต่อผลผลิตรวมของปลา น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตราแลกเนื้อ

Ridha and Cruz (2001) รายงานว่า ชนิดของวัสดุกรองชีวภาพไม่มีผลต่อน้ำหนักตัว อัตราการเติบโตต่อวัน อัตราการแลกเนื้อและอัตรารอดของปลานิลที่เลี้ยงในระบบหมุนเวียน แต่มีส่วนสำคัญในการควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย และเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของปลานิลที่

เลี้ยงในระบบหมุนเวียน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Tardiff, (1992) ที่อธิบายว่า การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการนำเอาระบบกรองชีวภาพมาใช้มากขึ้น ซึ่งระบบการกรองชีวภาพไม่ได้ออกแบบมาเพื่อกำจัดวัตถุขนาดใหญ่ที่แขวนลอยในน้ำ แต่ถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดสารอาหารที่ละลายในน้ำมีอนุภาคขนาดเล็ก โดยระบบจะเปลี่ยนสารอาหารที่เป็นพิษไปเป็นสารอาหารในรูปที่ไม่มี เช่น เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรต

สำหรับประสิทธิภาพการผลิตของระบบปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์พบว่า ความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อัตราการรอด และผลผลิตรวมของผักกาดหอมห่อมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยความสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลองผักกาดหอมห่อที่ผ่านวัสดุกรองอิฐมีความสูงมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 24.48±1.61 รองลงมาได้แก่ วัสดุกรองไม้ไผ่ ถ่าน และโฟม ตามลำดับ ค่าความสูงเท่ากับ 19.87±0.26, 19.21±0.52 และ 16.09±1.34 ตามลำดับ ส่วนอัตราการรอด ผักกาดหอมห่อที่ผ่านวัสดุกรองอิฐ มีอัตราการรอดดีที่สุด มีค่าเท่ากับ 94.00±2.00 รองลงมาได้แก่ ไม้ไผ่ ถ่าน และโฟม ตามลำดับ ค่าอัตราการรอดเท่ากับ 92.00±0.00, 80.00±4.00 และ 74.00±6.00 ตามลำดับ ซึ่ง Nair *et al.* (1985) รายงานว่า ชนิดของวัสดุกรองในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียน อาจมีผลต่อปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในระบบเช่น การใช้กรวด หรือหินปูนเป็นวัสดุกรองชีวภาพ อาจเป็นแหล่งสนับสนุนแคลเซียมให้กับระบบเพาะเลี้ยง และอาจมีผลต่อประสิทธิภาพของการผลิตพืชผักได้ ขณะที่ Seawright *et al.* (1998) รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุอาหารในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนร่วมกับการปลูกพืชไร้ดินนั้น พบว่า แร่ธาตุอาหารบางชนิดมีปริมาณลดลงเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น การเติมแร่ธาตุอาหารพืชชดเชย ในระหว่างการเพาะเลี้ยงจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องปฏิบัติ ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณแร่ธาตุอาหารในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำร่วมกับระบบปลูกพืชไร้ดิน พบว่า ในช่วงปลายของการทดลองตรวจพบอาการใบไหม้ของพืชผักอันเป็นสัญญาณที่แสดงถึงการขาดแร่ธาตุแคลเซียม เป็นต้น

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พบว่า อุณหภูมิ ออกซิเจนละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และปริมาณสาแขวนลอย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรต-ไนโตรเจน บีโอดี การนำไฟฟ้าจำเพาะ และคลอโรฟิล-เอ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน วัสดุกรองอิฐมีปริมาณน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.240±0.035 รองลงมาได้แก่ วัสดุกรองไม้ไผ่ ถ่าน และโฟม ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.289±0.03, 0.378±0.015 และ 0.382±0.010 ตามลำดับ ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน วัสดุกรองอิฐมีปริมาณมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.134±0.027 รองลงมาได้แก่วัสดุกรองอิฐ ไม้ไผ่ และถ่าน ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.072±0.016, 0.049±0.012 และ 0.040± 0.011 ตามลำดับ สอดคล้องกับ มุทิตา และคณะ (2546) ที่ได้ศึกษาผลของตัวกรองชีวภาพต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาทับทิมระบบปิดในบ่อดิน พบว่า ตัวกรองชีวภาพสามารถช่วย

ลดแอมโมเนียในน้ำ ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในบ่อชุดทดลองต่ำกว่าชุดควบคุม ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน ส่วนคุณภาพน้ำอื่น ๆ ของทั้งสองบ่ออยู่ในระดับที่เหมาะสมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ และผลผลิตปลาทับทิมที่ได้จากบ่อทดลองทั้งสองบ่อมีค่าไม่แตกต่างกัน Chen and Lin (1995) รายงานว่า สัตว์น้ำจะขับถ่ายของเสียในรูปของสารละลายต่างกันหลายรูป แต่ที่ขับถ่ายออกมามากที่สุดจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยคิดเป็น 60-70 % รองลงมาคือ ยูเรีย ยูริค ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจน มีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ แต่ไนเตรต-ไนโตรเจน มีความเป็นพิษต่ำ และยังเป็นแหล่งไนโตรเจนสำหรับพืชชั้นสูงได้ด้วย ส่วนค่าบีโอดี วัสดุกรองโฟมมีปริมาณน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 3.09±0.693 รองลงมาได้แก่ วัสดุกรองไม้ไผ่ ถ่าน และโฟมตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 3.60±0.305, 4.13±0.653 และ 5.49±0.688 ตามลำดับ ปริมาณการนำไฟฟ้าจำเพาะวัสดุกรองอิฐมีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 580.63±11.56 รองลงมาได้แก่ วัสดุกรองไม้ไผ่ โฟม และถ่าน ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 542.50.±17.31, 533.75±15.57 และ 471.25±18.03 ตามลำดับ อานัฐ (2548) รายงานว่า ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บอกความเข้มข้นของสารละลาย ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าสารละลายมีความเข้มข้นสูงมีธาตุอาหารละลายอยู่มาก การปลูกผักสลัดในระบบเอ็นเอฟทีต้องมีค่าอีซีตั้งแต่ 0.8-2.8 mS/cm ปริมาณคลอโรฟิล-เอ วัสดุกรองอิฐมีปริมาณมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 28.07±2.605 รองลงมาได้แก่ วัสดุกรองไม้ไผ่ โฟม และถ่าน ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 27.62±2.497, 21.31±2.463 และ 13.18± 1.398 ตามลำดับ

Ridha and Cruz (2001) รายงานว่า ความแตกต่างของปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน ในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหมุนเวียนที่ใช้วัสดุกรองต่างชนิดกัน อาจเกิดจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของ *Nitrifying bacteria* ในวัสดุกรองชีวภาพแต่ละชนิด และวัสดุกรองชีวภาพชนิดที่เหมาะสมต่อการสร้างโคโลนีของ *Nitrifying bacteria* จึงมีผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันมีค่าสูงและทำให้ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจน ในระบบมีค่าอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ซึ่งขณะที่ไนเตรต-ไนโตรเจนที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำแต่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะมีปริมาณสูงซึ่งจาการศึกษา พบว่า ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในระบบมีค่าลดลงจาก 0.085 มิลลิกรัมต่อลิตร (เมื่อเริ่มต้นทดลอง) เหลือ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร (ในช่วงปลายของการทดลอง)

สัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างการปลูกผักและการเลี้ยงปลา

การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างการปลูกผักและการเลี้ยงปลาในระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ในสัดส่วนปลาที่ต่างกันคือ ปล่อยปลาจำนวน 100,

150, 200 และ 250 ตัว ตามลำดับ ต่อการปลูกผัก 25 ต้น มีอัตราส่วนคือ 1:4, 1:6, 1:8 และ 1:10 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน) อัตราการแลกเนื้อ อัตราการรอดของปลาดุกลูกผสม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยค่าอัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน) มีค่าอยู่ที่ 1.77-2.48 ปริมาณการให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปแก่ปลาในบ่อทดลองกำหนดจากเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวเฉลี่ยและให้ในปริมาณมากพอทั้งเช้าและเย็น ทำให้ปลาได้รับสารอาหารอย่างพอเพียงในการที่จะนำไปเปลี่ยนเป็นเนื้อ ซึ่งสอดคล้องกับการที่ปลาดุกได้รับอาหารที่มีคุณภาพดี มีสารอาหารครบถ้วนอย่างเพียงพอ จะส่งผลให้ปลามีสุขภาพแข็งแรงและให้ผลผลิตสูง (มงคล, 2548) ส่วนอัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์) ของปลาดุกมีค่าอยู่ที่ 86.5-91 ซึ่งเป็นอัตราการรอดที่สูง เนื่องจากปัจจัยในการรอดตายของปลาดุกขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่ให้ซึ่งมีพอเพียง ทำให้ปลาไม่เกิดการกินกันเองเนื่องจากปลาดุกเป็นปลาประเภทกินเนื้อและผัก (กรมประมง, 2544) และภายในบ่อมีการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอย่างพอเพียง ลักษณะคุณภาพในบ่อที่เลี้ยงปลา 250 ตัว ถึงแม้จะอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ค่อยเหมาะสมเนื่องจากมีการเลี้ยงปลาที่หนาแน่น แต่ภายในบ่อมีระบบหมุนเวียนน้ำอยู่ตลอดเวลา ทำให้ปลาดุกมีอัตราการรอดสูง ส่วนอัตราการแลกเนื้อของปลาดุกลูกผสมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.89–1.20 สอดคล้องกับ (อุทัยรัตน์, 2544) รายงานว่า ปลาดุกลูกผสมมีการเจริญเติบโตได้ดี อัตราการแลกเนื้อไม่แตกต่างกัน อัตราการแลกเนื้อสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับคุณภาพของอาหาร สำหรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย (กรัม) น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม) และผลผลิตรวม (กิโลกรัม) มีความแตกต่างทางสถิติ (P<0.05) โดยค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 147.1-160.31 (กรัม/ตัว) ซึ่งแตกต่างกันไม่มาก น้ำหนักเมื่อเริ่มต้นมีค่าอยู่ระหว่าง 41.66-46.53 เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลองอยู่ที่ 188.78-205.84 เนื่องจากปลาดุกบิ๊กอุยเป็นปลาที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่อเริ่มเลี้ยงจากขนาดของลูกปลาใช้ระยะเวลา 3-4 เดือน ปลาดุกจะมีขนาด 200-400 กรัม/ตัว (กรมประมง, 2541) ปลาดุกบิ๊กอุยต้องการอาหารประเภทโปรตีนสำหรับการเจริญเติบโต โดยอาหารที่ให้เป็นอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีค่าระดับโปรตีนอยู่ที่ 25.80 % ซึ่งทำให้ปลาดุกเจริญเติบโตได้ดีจากที่ปกติปลาดุกต้องการโปรตีนในอาหารประมาณ 25-40 % (มงคล, 2548) โดยระยะการเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุยให้ได้ขนาด 250-300 กรัม จะต้องใช้เวลาอย่างน้อย 4 เดือน และให้ปริมาณอาหารอย่างเหมาะสม มีการศึกษาเกี่ยวกับอัตราการปล่อยปลาเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนพบว่า อัตราการปล่อยปลา 5,000 , 7,500 และ 10,000 ตัว/บ่อ ตามลำดับ เมื่อเลี้ยงนาน 3 เดือน มีผลผลิตโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 381.49, 607.32 และ 775.04 ก.ก./บ่อ ตามลำดับ และยังสามารถนำวิธีการนี้ไปปล่อยปลา 10,000 ตัว/บ่อ เลี้ยงนาน 4- 5 เดือน น้ำมีคุณภาพที่ดีและเลี้ยงได้ผลผลิตสูงถึง 1-1.5 ตัน/บ่อ (อุทัยรัตน์, 2538)

ส่วนประสิทธิภาพการผลิตของผักกาดหอมห่อที่ปลูก ในระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมแบบหมุนเวียน ผลการทดลองพบว่า อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์) และน้ำหนักผลผลิตรวม (กิโลกรัม) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ค่าอัตราการรอด อยู่ที่ 82-90 (เปอร์เซ็นต์)

มีค่าใกล้เคียงกันอันเนื่องมาจากบ่อมีสภาพแวดล้อมคล้ายกัน มีแสงแดด อุณหภูมิที่ไม่ต่างกัน และในช่วงที่อากาศร้อนจัดผักไม่สามารถเจริญเติบโตได้ทำให้ผักบางส่วนตายไป เช่นเดียวกับน้ำหนักผลผลิตรวมของผักอยู่ที่ 5.56-6.50 กิโลกรัม ซึ่งไม่แตกต่างกัน ส่วนอัตราการเจริญเติบโตขึ้นอยู่กับความสูงเฉลี่ยของผักกาดหอมห่อ พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) มีความแตกต่างทางสถิติ ($P<0.05$) ค่าความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 21.27-24.99 เซนติเมตร ค่ามีความใกล้เคียงกันแตกต่างกันไม่มาก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อที่นิยมปลูกในฤดูหนาว พบว่า ผักกาดหอมห่อที่ปลูกมีการเจริญเติบโตไม่ดีเท่าที่ควร โดยผักที่ปลูกในฤดูร้อนมักแคระแกรน โตช้า มีรสขม และอายุการเก็บเกี่ยวช้า เนื่องจากผักที่ปลูกในฤดูร้อนมักเจอกับปัญหาสารละลายร้อนเกินไป มีค่ามากกว่า 30 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำแปรผกผันกับอัตราการละลายตัวของออกซิเจน (ยงยุทธ, 2548)

ดังนั้น การเลี้ยงปลาในระบบน้ำหมุนเวียนร่วมกับระบบการปลูกพืชไร้ดินเป็นการนำเอาน้ำเสียจากการเลี้ยงปลามาทำการบำบัดโดยผ่านการกรองชีวภาพ แล้วนำน้ำที่ได้ไปใช้ในการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Lewis *et al.*, 1983) เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น เนื่องจากการปลูกพืชในระบบ Hydroponic อย่างเดียวนั้นต้องใช้ต้นทุนในการปลูกสูงไม่ว่าจะเป็นเรื่องค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์หรือโรงเรือน การเลี้ยงปลาระบบหมุนเวียนจึงเป็นการทดแทนที่ดี เพราะทำให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้นประหยัดในด้านสารอาหารและน้ำ ซึ่งของเสียจากน้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะไหลเวียนผ่านรากของพืชทำให้พืชสามารถนำธาตุอาหารเหล่านั้นไปใช้ได้ โดยธาตุอาหารที่สำคัญได้แก่ ยูเรีย ยูริค ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน โดยแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และไนไตรท์-ไนโตรเจน ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ และเจริญเติบโตได้ดี (Chen and Lin, 1995) แต่บางครั้งพบว่า เกิดการขาดแคลนธาตุอาหารได้ ทำให้พืชมีผลผลิตที่ต่ำ นอกจากนี้ ระบบกรองชีวภาพจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไม่ใช้ดิน เพราะว่าระบบกรองชีวภาพได้ออกแบบมาเพื่อกำจัดสารอาหารที่เป็นพิษให้อยู่ในรูปไม่เป็นพิษ เช่น เปลี่ยนแอมโมเนีย-ไนโตรเจนไปเป็นไนเตรต-ไนโตรเจน (Tardiff, 1992) ปัจจัยที่สำคัญส่วนหนึ่งของการเลี้ยงปลาผสมผสานร่วมกับการปลูกพืชไม่ใช้ดินก็คือระบบกรองชีวภาพ ซึ่งได้มีการให้คำจำกัดความหมายของระบบกรองชีวภาพว่า เป็นระบบที่ต้องมีวัสดุยึดเกาะที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสจำเพาะต่อหน่วยพื้นที่ค่อนค้างมากเพื่อเอื้อประโยชน์ต่อการเกาะติดแบคทีเรีย โดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่ม nitrifying bacteria จนสามารถเจริญเติบโตและเพิ่มมวลชีวภาพได้ในอัตราที่ค่อนข้างสูงเพื่อดูดสับ อิออนไนซ์แอมโมเนียออกจากระบบ โดยเกิดกระบวนการออกซิไดซ์จากแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไปเป็น ไนไตรท์ -ไนโตรเจน โดยแบคทีเรียสกุล *Nitrosomona* และออกซิไดซ์ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไปเป็น ไนเตรต-ไนโตรเจน โดยแบคทีเรียสกุล *Nitrobacter* ตามลำดับ (Losordo, 1999) แบคทีเรียที่ช่วยเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรตเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่า pH ที่เกิน 6 แต่ไม่เกิน 7.5 (พายัพ, 2543) ซึ่งช่วยเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรตใน

กระบวนการไนตริฟิเคชั่นตลอดการทดลอง คุณภาพน้ำที่ใช้วัสดุกรองที่ให้ผลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมห่อได้ดีที่สุดคือ การกรองโดยใช้อิฐ ซึ่งคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ได้ การสะสมของธาตุอาหารมีความเข้มข้นสูงใกล้เคียงกับสารละลายในระบบ Hydroponics มากที่สุด Rakocy *et al.* (1993) อธิบายว่าการดำเนินระบบแบบผสมผสานระหว่างการเลี้ยงปลาแบบหมุนเวียน และการปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิคส์ในสภาวะ Staedy state ที่ไม่มีการเติมธาตุอาหารพืชเสริมให้กับระบบ ความเข้มข้นของธาตุอาหารจะเพิ่มขึ้น ลดลงหรือคงที่ ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการนั้นขึ้นกับการผันแปรระหว่างสัดส่วนของผักและปลา อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ผักสลัดที่ได้จากการทดลอง ไม่มีการแสดงอาการขาดธาตุอาหารแต่อย่างใด และที่สัดส่วนของผักต่อปลาที่เหมาะสมที่ทำให้ปลาและผักสามารถเติบโตได้ดีมีอัตรารอดสูงสุด คือ ที่สัดส่วนเท่ากับ 1:10

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาอายุ และขนาดของปลาดุกลูกผสมที่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารพืชในบ่อเลี้ยงปลาระบบหมุนเวียนน้ำ จากการนำตัวอย่างน้ำในบ่อเลี้ยงปลาที่เลี้ยงในระดับอายุต่างกันไป วิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารพืชพบว่า ปริมาณธาตุอาหารพืชแต่ละบ่อไม่แตกต่าง ปริมาณธาตุอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นบ่อควบคุม ดังนั้นอายุและขนาดของปลาไม่มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในบ่อและปริมาณธาตุอาหารของพืชสะสมอยู่ในปริมาณมากพอ มีระดับความเข้มข้นใกล้เคียงกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์

สำหรับการเปรียบเทียบวัสดุกรองที่ใช้กับระบบกรองชีวภาพ จากบ่อเลี้ยงปลาดุกลูกผสม สรุปได้ว่า วัสดุกรองอิฐมีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต อัตราการรอดของปลาดุกและผักกาดหอมห่อดีที่สุด มีผลทำให้คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงไม่เป็นอันตรายต่อปลา และช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรต-ไนโตรเจน ในบ่อเลี้ยงได้ดีกว่าวัสดุกรองชนิดอื่น

ส่วนการศึกษาสัดส่วนระหว่างการปลูกผักและการเลี้ยงปลาที่เหมาะสมพบว่า สัดส่วน 1 ต่อ 10 มีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพการผลิต น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการแลกเนื้อ และอัตราการรอดของปลาดุกลูกผสมดีที่สุด และประสิทธิภาพการผลิต อัตรารอดผักกาดหอมห่อดีที่สุด ดังนั้นสัดส่วน 1 ต่อ 10 มีความเหมาะสมต่อระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์ร่วมกับระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสม

ข้อเสนอแนะ

1. การปลูกผักในฤดูร้อน หรือปลูกในที่อุณหภูมิสูง หรือแดดจัด บางครั้งการเจริญเติบโตของผักจะไม่ดีเท่าที่ควร ผักอาจเหี่ยวเฉาหรืออาจตายได้ ดังนั้น การทดลองควรคำนึงถึงการจัดระบบการควบคุมอุณหภูมิ และสภาพแวดล้อม เช่น การฉีดพ่นน้ำเพื่อเพิ่มความชุ่มชื่น ลดอุณหภูมิ เพื่อป้องกันการเหี่ยวเฉาของผักได้

2. การเตรียมระบบการเลี้ยงปลา ควรมีการคัดขนาด และอายุที่ใกล้เคียงกัน เพื่อให้ ผลการทดลองน่าเชื่อถือมากขึ้น ปัญหาและอุปสรรคที่พบในการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์ เช่น อุณหภูมิลดลงในช่วงฤดูหนาว ทำให้ปลาเครียดและเกิดโรค ควรมีการสังเกตเฝ้าดูอาการของปลาและรู้จักวิธีการรักษา

3. การเตรียมระบบการหมุนเวียนของน้ำต้องมีประสิทธิภาพ ถังตกตะกอน ระบบแรงดันจากระบบกรองไปสู่ระบบรากพืชต้องมีความสม่ำเสมอ ควรหมั่นเปลี่ยนใยสังเคราะห์บ่อย ๆ เพื่อป้องกันน้ำล้น และป้องกันตะกอนไหลปนกับระบบกรองชีวภาพทำให้เกิดตะกอนติดรากพืช ควรมีการเพิ่มจำนวนชั้นของระบบกรองตะกอน ระบบกรองชีวภาพ หรือเพิ่มขนาดของท่อที่ผ่านมาจากระบบกรองชีวภาพ

4. การเตรียมระบบกรองชีวภาพควรมีประสิทธิภาพ มีวัสดุยึดเกาะ และพื้นที่ผิวสัมผัสจำนวนมาก เพื่อการเกาะติดของแบคทีเรียจนสามารถเจริญเติบโต และเพิ่มมวลชีวภาพ เพื่อดูดซับอันอิออนไนซ์แอมโมเนียออกจากระบบได้ดี

5. การเตรียมระบบการทดลอง และขนาดโรงเรือน ควรมีพื้นที่กว้างขวางพอสำหรับการดำเนินงาน ง่ายต่อการดูแลรักษา และทำความสะอาด

บรรณานุกรม

กมลพร และคณะ. 2538. **การศึกษาการเลี้ยงเซลล์ปลาดุกบิ๊กอุย.** กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำ กรมประมง. 23 น.

กรมประมง. 2529. **สถิติผลผลิตฟาร์มเลี้ยงปลาน้ำจืด ปี 2527.** เอกสารฉบับที่ 12/2529. กรุงเทพฯ: ฝ่ายสถิติการประมง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 109 น.

_____. 2544. **การเพาะเลี้ยงปลาดุก.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http:/www.fisheries.go.th (15 สิงหาคม 2549)

_____. 2546. **สถิติผลผลิตการเลี้ยงปลาน้ำจืด ประจำปี 2543.** กรุงเทพฯ: กลุ่มวิเคราะห์สถิติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กรมประมง. 61 น.

กรรณิการ์ สิริสิงห์. 2544. **เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ประยูรวงศ์. 369 น.

เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน. 2539. **เอกสารประกอบการสอน วิชา พล.301 หลักการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.** เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการประมง คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 212 น.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2540. **วิศวกรรมการบำบัดน้ำเสีย เล่ม 1.** กรุงเทพฯ: มิตรนราการพิมพ์. 112 น.

กิตติ บุญเลิศนิรันตร์. 2547. **เทคโนโลยีการปลูกพืชไมใช้ดิน.** ศูนย์คลินิกเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา หันตรา. 81 น.

จารึก ชูสุวรรณ. 2535. **ผลเสียของยูโทรฟิเคชั่นต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ.** วารสารสัตว์น้ำ 30(6): 63-65.

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

ชาติชาย คงประเสริฐ. 2533. **การเลี้ยงปลาดุก.** นนทบุรี: สำนักพิมพ์เกษตรบุ๊ค. 233 น.

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

ถวัลย์ พัฒนาเสถียรพงษ์. 2534. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์พรานนกการพิมพ์. 127 น.

ทวี วิพุทธานุมาส สมพร กุลบุญ และทัศนีย์ วัชรกรโยธิน. 2534. การเลี้ยงปลาดุกลูกผสมด้วยอัตราส่วนอาหารลอยน้ำต่ออาหารจมแตกต่างกัน น. 21-39. ใน **รายงานประจำปี 2534** ปทุมธานี: สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดปทุมธานี กองประมงน้ำจืด กรมประมง.

ธรรมรักษ์ ละอองนวล. 2541. **การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ.** อุบลราชธานี: คณะเกษตรและอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี. 212 น.

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

นงนุช เลาหะวิสุทธิ์. 2539. **การเพิ่มรายได้ธุรกิจปลาสวยงามร่วมกับการผลิตพรรณไม้น้ำแบบไร้ดินในระบบปิด.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.

_____. 2544. ระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดินในระบบปิด. **วารสารเคหะการเกษตร** 25 (7): 205-215

นภดล เรียบเลิศหิรัญ. 2538. **การปลูกพืชไร้ดิน.** นนทบุรี: สหมิตรพริ้นติ้ง. 100 น.

นิสากร ปานประสงค์. 2546. เคมีของสิ่งมีชีวิต. **วารสาร Update.** 3(5): 26-28.

นันทนา คชเสนี. 2536. **คู่มือปฏิบัติการนิเวศวิทยาน้ำจืด.** กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 177 น.

นันทิมา สุทธิวรรณกุล. 2546. **ผลการปลูกพันธุ์ไม้น้ำร่วมกับระบบเลี้ยงปลาในระบบต่าง ๆ ที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 71 น.

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

พายัพ ยังปักษี. 2543. **คู่มือการปลูกพืชไร้ดินเชิงพานิชย์.** สมุทรปราการ: สำนักพิมพ์ไฟว์อีดิเตอร์. 129 น.

พุทธ ส่องแสงจินดา. 2548. การจัดการสารประกอบในฟาร์มเลี้ยงกุ้งระบบปิด. **วารสารสัตว์น้ำ.** 43(2): 16-19.

มงคล ว่องประเสริฐ. 2548. **การเพาะพันธุ์และการเลี้ยงปลาดุก.** กรุงเทพฯ: อักษรสยามการพิมพ์. 248 น.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2543. **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 351 น.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ มั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. 2536. **เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2544. **การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ เล่ม 1.** กรุงเทพฯ: การจัดการคุณภาพน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 319 น

มนูญ ศิรินุพงษ์. 2544. **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสู่การปฏิบัติการในประเทศไทย.** ปัตตานี: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 90 น.

มุทิตา วุฒิกัมพล และ คณะ. 2546. **ผลของตัวกรองชีวภาพต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลาทับทิมระบบปิดในบ่อดิน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 95 น.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2530. **เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรน้ำจืด.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 75. กรุงเทพฯ: สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง. 104 น

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

ยนต์ มุสิก. 2530. กำลังผลิตชีวภาพในบ่อปลา II. **เอกสารประกอบการสอนวิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 551.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิรัช จิ๋วแหยม. 2540. **คุณภาพน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและวิธีวิเคราะห์.** ขอนแก่น: ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 166 น.

วิทย์ ธารชลานุกิจ เวียง เชื้อโพธิ์หัก ประวิทย์ สุรนีนาถ และ อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2525. **การเพาะเลี้ยงปลาดุก: หลักการแนะแนวปฏิบัติ.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 58 น.

วิเศษ อัตรวิยากุล. 2536. **ปลาดุกบิ๊กอุย.** กรุงเทพฯ: โครงการหนังสือชุมชนบางเขน. 69 น.

ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. 2543. **การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.** เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 125 น.

ศูนย์สารสนเทศ. 2547. **สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2545.** เอกสารฉบับที่ 15/2547. กรุงเทพฯ: กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 91 น.

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

สุขุม เร้าใจ. 2531. **การศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม.** รายงานผลการวิจัย. กรุงเทพฯ: ภาควิชาการจัดการประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 19 น.

สุชาติ และคณะ. 2535. การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำ แพลงค์ตอนพืชและแบคทีเรียในบ่อเลี้ยงปลาดุก. น. 243-254. <u>ใน</u> **รายงานการสัมมนาวิชาการประจำปี 2534.** กรุงเทพฯ: กรมประมง.

สุภาพร อารียกิจ. 2542. **วิชาการเลี้ยงและเพาะพันธุ์ปลาสวยงาม.** เลย: โครงการตำราราชภัฏเฉลิมพระเกียรติ.

อารักษ์ ธีรอำพน. 2544. **เอกสารวิชาการเรื่อง การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน.** นครราชสีมา: บริษัทโชคเจริญมาร์เก็ตติ้งจำกัด. 128 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.

อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2538. **การเพาะขยายพันธุ์ปลา.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรฯ. 158 น.

_____. 2544. **ปลาดุก.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง.มหาวิทยาลัยเกษตรฯ. 24 น.

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

Boyd, C.E. 1982. **Water Quality Management for Pond Fish Culture.** New York: Elsevier Scientific Publish Company. 318 p .

Boyd, C.E. and C. S. Tucker. 1992. **Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture.** Aubrun Alabama: Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University. 356 p.

Burt. T.P., A.L. Heathwaite and S.T. Trudgill. 1993. **Nitrate Process, Patterns and Management**. New York: John Wiley & Sons, Inc. 472 p.

Chen, J.C. and C.Y, Lin. 1995. Responses of oxygen consumption, Ammonia –N excretion and Urea-N excretion of *Penaeus chinensis* exposed to ambient ammonia at different salinity and pH levels. **Aguaculture** 136: 243-255.

Eding E. and A. Kamstra. 2001. Design and performance of recirculation systems for European eel *Anguilla anguilla* and African Catfish *Clarias gariepinus*. pp. 18–28. In **Proceeding of AES Workshop.** January 23 Orlando, Florida. USA.

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.

Hargreaves, J.A. 1998. Nitrogen Biogeochemistry of aquaculture ponds. **Aquaculture** 166: 181-122.

Lewis, W.M., J.H. Yoop, H.L Schramm and A.M. Brandenburg. 1978. Use of hydroponics to maintain water quality of recirculated water in a fish culture system. **Transl. Am. Fish Soc**. 107(1): 92-99.

Losordo, T. M., M. P. M. Masser and J. Rakocy. 1999. Recircuting aquaculture tank production system : an overview of critical considerrations. **SRAC Publication** No.451.

Louis ST. Missouri. 1979. **Third Domestic Water Quality Symposium (for individual water system).** Michigan: American Society of Agricultural Engineers. 347 p.

Masuda, K. and C.E. Boyd. 1994. Effects of aeration, alum treatment, liming and organic matter application on phosphorus exchange between soil and water in aquaculture pond at aubun, Alabama. **J. World Aqua.Soc**. 25: 405-416.

Mathew. 2001. **NFT and DFT Using the Hydroponic Twist Pot (2001, November 11).** [Online] Available http://www.aquabloom. power up. com.au/NFT%20 and DFT%20.html. (10 August 2008).

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.

Nair, A., J. E. Rakocy and J.A. Hargreaves. 1985. Water quality characteristics of a closed recirculating system for tilapia culture and tomatoe hydroponics. pp. 223-254 In **Proc. 2nd Int.Conf. on Warm water Aquaculture –Finfish.**

Panayotou, T., S. Wattanutchariya, S Lsvilanonda and R. Tokrisna. 1985. The economics of catfish farming in Central Thailand. **ICLAR Technique Reports** 58: 882-886.

Quillere, L. et al. 1993. An artificial productive ecosystem based on a fish/bacteria/ptant association. 1. design and management. **Aqriculture Ecosystem and Environment** 47: 13-30.

Resh, Howard M. 1989. **Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook of Soilless Food Growing Methods.** 4th ed. Santa Barbara, Calif: Woodbridge Press Pub. Co. 462 p.

Reyes, A.A. and T. B. Lawson. 1995. Combination of a bead filter and rotating biological contactor in a recirculating fish culture system. **Aquacult. Eng** 15: 27-39.

Ridha, M.T. and E.M.Cruz. 2001. Effect of biofilter media on water quality and biological performance of the Nile tiapia *Oreochromis niloticus* L. reared in a simple recirculating system. **Aquacult. Eng.** 24:157-166.

Rokocy, J. E., J. A. Hargreaves and D. S. Bailey. 1993. Nutrient accumulation in a recirculating aquaculture system integrated with hydroponics vegetable production. pp. 148-158. In Wang. J. K. (Ed). **Techniques for Modern Aquaculture**. Proceeding of a Conference 21-23 June 1993. Spokane.

Schwartz, M.F. and C.E.Boyd. 1994. Channel catfish pond effluents. **The Progressive Fish-Culturist** 56: 273-281.

Schwrightt, M.F. and C.E., R. R. Stickney and R. B. Walker. 1998. Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics system. **Aquaculture** 160: 215-237.

Sethteethunyathan, R. 1998. **Recycling Wastewater From Intensive Hybrid Catfish (*Clarias ma crocepharus* X *Clarias g ariepinus*) Culture for Semi-Intensive Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Culture in Cement Tank.** Master's thesis. AIT. 75 p.

Tardiff, Robert G. (ed). 1992. **Methods to assess adverse effects of pesticides on non-target organisms.** prepared by Scientific Group in Methodologies for the Safety Evaluation of Chemicals (SGOMSEC). Chichester, England: Wiley. 270 p.

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.

Van Rijn, J. 1996. The potential for integrated biological treatment system in recirculaing fish culture areview. **Aquaculture** 139: 181-201.

Van Rijn, J and G. Rivera. 1990. Aerobic and anaerobic biofiltration in an aquaculture unit-Nitrite accumulation as a result of nitrification and denitrification. **Aquacult. Eng.** 9: 217-234.

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.

Welch, W. R. 1980. Evaporative water loss from endotherms in thermally and hygrically complex environments: an empirical approach for interspecific comparisons. **J. Comp. Physiol. (B)** 139: 135-143.

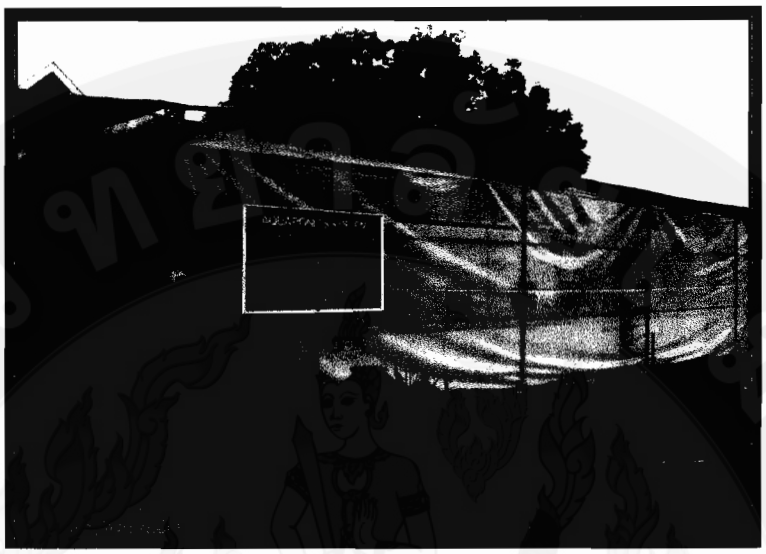
Xiangfu, S. *et al.* 2000. **Study of Aqriculture-Aquaculture Ecological Economic System with Nutrient Flow Analysis.** [Online]. Available: http://www.ias.unu.edu/proceedings/ic-ibs/icmfa/song/paperv2.html. (10 August 2008).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รูปแบบการทดลอง

รูปแบบการทดลอง



ภาพผนวก 1 โรงเรือนระบบการเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในบ่อซีเมนต์ระบบหมุนเวียนร่วมกับระบบการปลูกพืชไฮโดรโพนิคส์

ภาพผนวก 2 ระบบหมุนเวียนน้ำและระบบกรองชีวภาพ

ภาพผนวก 3 วัสดุกรองที่ใช้ในระบบกรองชีวภาพ

ภาพผนวก 4 วิธีการเพาะต้นกล้าผักกาดหอมห่อ

ภาพผนวก 5 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกผักกาดหอมห่อ อายุ 2 สัปดาห์

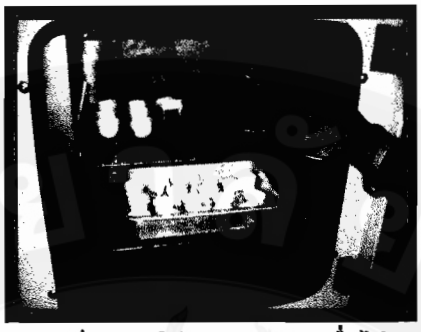
ภาพผนวก 6 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกผักกาดหอมห่อ อายุ 4 สัปดาห์

ภาพผนวก 7 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับระบบการปลูกผักกาดหอมห่อ อายุ 6 สัปดาห์

ภาพผนวก 8 ปลาดุกลูกผสมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

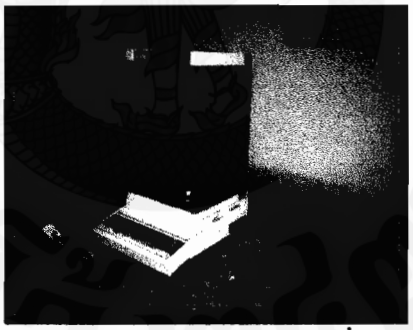
ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (%) ของอาหารปลาดุก



ก นำอุปกรณ์สำหรับใส่ตัวอย่างมาอบเพื่อไล่ความชื้น

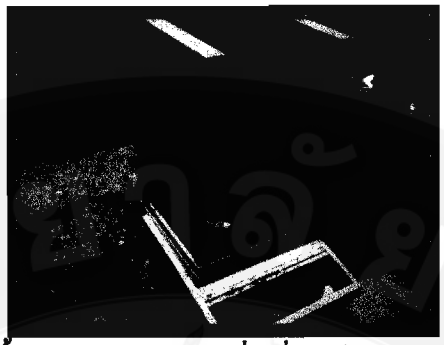
ข การชั่งน้ำหนักตัวอย่างโดยใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง



ค การอบตัวอย่างพร้อมอุปกรณ์ในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C

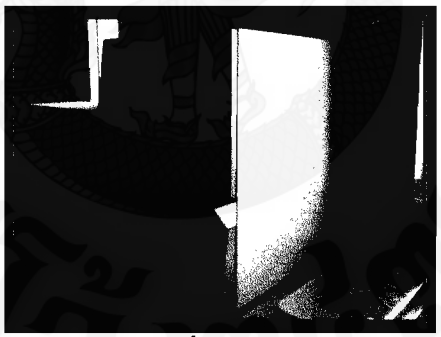
ง นำตัวอย่างพร้อมอุปกรณ์ทิ้งให้เย็นในโถอบแห้งจากนั้นชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณความชื้น

ภาพผนวก 9 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น



ก การชั่งน้ำหนักตัวอย่างโดยใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

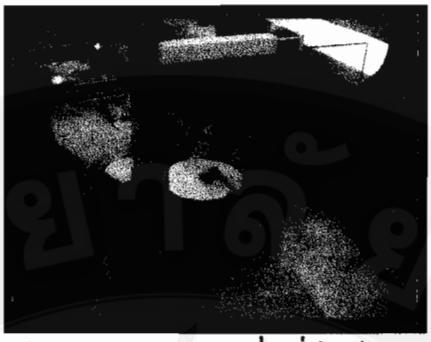
ข การนำตัวอย่างไปเผาในแผ่นความร้อนจนหมดควัน



ค นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 °C จนเป็นเถ้าสีขาว

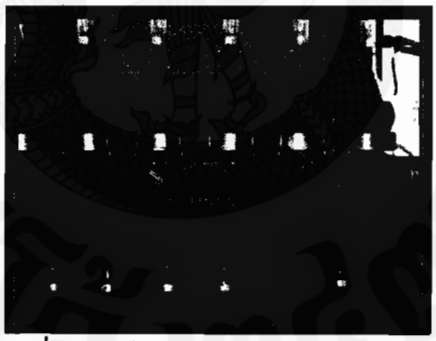
ง นำตัวอย่างทิ้งให้เย็นในโถอบแห้งจากนั้นชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณเถ้า

ภาพผนวก 10 การวิเคราะหาปริมาณเถ้า



ก ชั่งตัวอย่างลงในกระดาษกรองโดยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

ข นำตัวอย่างไปย่อยด้วยกรดและสารเร่งปฏิกริยาใน Kjeldahl flask



ค นำ Kjeldahl flask ไปกลั่นโดยใช้ด่างเข้มข้นและใช้กรดความเข้มข้นมาตรฐานเป็นตัวจับ

ง นำสารละลายที่ได้มาไตเตรตด้วยด่างความเข้มข้นมาตรฐาน

ภาพผนวก 11 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

ก ชั่งตัวอย่างลงในกระดาษกรองโดยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

ข. ใส่ตัวอย่างลงใน Thimble

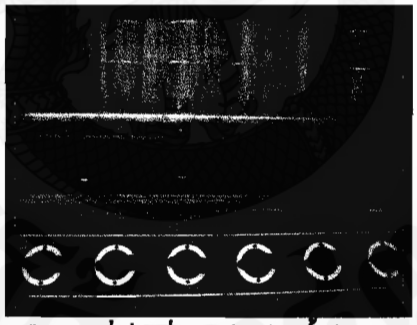
ค เติมตัวทำละลายในขวดก้นแบนประกอบเข้ากับชุด Soxhlet

ง ทำการสกัดไขมันออกจากตัวอย่าง 6 - 8 ชั่วโมง

ภาพผนวก 12 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน

ก ชั่งตัวอย่างลงในกระดาษกรองโดยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

ข ทำการต้มตัวอย่างด้วยกรดและด่าง 30 นาที นับเวลาตอนสารละลายเดือด



ค กรองเหลือส่วนที่เป็นเยื่อใย ล้างด้วยน้ำร้อนและ Acetone

ง นำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550-600 ^{0}C นาน 2 ชั่วโมง

ภาพผนวก 13 การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย

ภาคผนวก ค

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล : นายสุฤทธิ์ สมบูรณ์ชัย

เกิด : 3 พฤษภาคม 2508

ประวัติการศึกษา : พ.ศ. 2528 มัธยม 6 โรงเรียนสันทรายวิทยาคม จังหวัดเชียงใหม่

พ.ศ. 2531 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาพืชศาสตร์
วิทยาเขตเกษตรลำปาง จังหวัดลำปาง

พ.ศ. 2545 ปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

ประวัติการทำงาน : พ.ศ. 2540- ปัจจุบัน ตำแหน่ง นักวิชาการเกษตร 3-6
คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ
มหาวิทยาลัยแม่โจ้