

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การเลี้ยงปลานิลแดงร่วมกับการปลูกผักไทยโดยไม่ใช้ดินแบบ Dynamic root floating
Technique (DRFT) ในระบบปิด

Aquaponics for Red tilapia (*Oreochromis* sp.) and cabbage plant in Dynamic root
floating Technique (DRFT) closed system



RCH
SH
167
๐.54
26 139ก

รศ. ดร. นงนุช เตหาวิสุทธิ
ผศ. ดร. อัจฉรี เรืองเดช
รศ. ดร. อธิวิสุนทร นันทกิจ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 83657
วัน,เดือน,ปี..... 10 ก.ย. 2551

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้รับทุนวิจัยจากรายได้คณะเทคโนโลยีการเกษตร ประจำปี 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไป
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11981258

การเลี้ยงปลานิลแดงร่วมกับการปลูกผักไทยโดยไม่ใช้ดินแบบ Dynamic root floating Technique (DRFT) ในระบบปิด

นงนุช เกาหะวิสุทธิ อัจฉรี เรื่องเดช อธิธิสุนทร นันทกิจ

บทคัดย่อ

ศึกษาและพัฒนาระบบการเลี้ยงปลาที่บ่มร่วมกับปลูกผักแบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น พร้อมทั้งเพิ่มผลผลิตปลาและผัก โดยใช้ผักบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลาในระบบปิด เปรียบเทียบการเจริญเติบโตและคุณภาพน้ำของระบบการเลี้ยงปลาที่บ่ม, ระบบการปลูกผักแบบ DRFT และระบบการเลี้ยงปลาที่บ่มร่วมกับปลูกผักแบบ DRFT จากการทดลองพบว่าสามารถพัฒนาระบบเลี้ยงปลาที่บ่มร่วมกับปลูกผักแบบ DRFT ซึ่งประกอบด้วย 1) บ่อเลี้ยงปลาขนาด 500 ลิตร 2) ถังตกตะกอนทำจากท่อ PVC เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ถ่ายตะกอนออกวันละ 4 ครั้งโดยอัตโนมัติ 3) ระบบกรองชีวภาพ ทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรท และ 4) ระบบปลูกผักในระบบ DRFT ขนาด 1.15x4.80 เมตรปลูกผักจำนวน 400 ต้น ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของระบบการเลี้ยงปลาที่บ่มร่วมกับปลูกผักบึงจิ้นแบบ DRFT สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ ร้อยละ 14.08, 5.77, 14.63 และ 3.20 ตามลำดับ โดยที่การเจริญเติบโตของปลาและผักของทั้ง 3 ระบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ชนิดผักที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำคือผักบึงจิ้น และต้องมีการใส่ปุ๋ยในสารละลายให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของผักโดยที่ไม่เป็นอันตรายกับปลาที่บ่ม ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสม เท่ากับ 1.2-1.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

คำสำคัญ : การเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน การปลูกพืชไม่ใช้ดิน การเลี้ยงปลา ปลานิลแดง

Aquaponics for Red tilapia (*Oreochromis* sp.) and cabbage plant in Dynamic root floating Technique (DRFT) closed system

Nongnuch Laohavisuti Uscharee Ruangdej Ithisuntorn Nuntagij

Abstract

The system of raising Red Tilapia together with growing vegetables in Dynamic Root Floating Technique (DRFT) was developed. This study was aimed to improve water quality and increase the yields of fish and vegetables by using the same water system. Vegetable growing in the system was utilized to refine the water in the close system of raising Red Tilapia. Treatments in the study were comprised of raising Red Tilapia in the close system, growing vegetables in DRFT system and raising Red Tilapia together with growing vegetables in the DRFT system. The result showed that it was possible to raise the fish together with growing vegetables in the DRFT system at the same time. The components of the system were included of: 1) fishing pond of 500 liters; 2) settled compartment made up from PVC pipe of 4 inches in diameter attached with the timer, it was able to release settled particles automatically 4 times a day; 3) biofilter functioning in changing ammonia into nitrate; and 4) DRFT for vegetable growing system with the size of 1.15x4.80 meters, 400 vegetables were able to grow on the particular system. The developed system was performed well in refining the water. It had efficiency for raising Red Tilapia and growing morning glory vegetable at the same time. The system was able to reduce the percentages of ammonia, nitrite, nitrate, and phosphorus by 14.08, 5.77, 14.63 and 3.20 % respectively. In contrast, the growth of fishes and vegetables of the 3 treatments were not differed significantly. Morning glory was the best vegetable selected for refining the water in the system. Appropriate amount of fertilizer was also needed for growth of vegetables without harmful to the Red Tilapia. The suitable EC of the water solution was noted to line between 1.2-1.8 mS/cm.

Keywords : Aquaponic, Hydroponics, Aquaculture, Red tilapia

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญตาราง.....	IV
สารบัญภาพ.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร.....	2
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	16
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	31
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	47
เอกสารอ้างอิง.....	49



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	อัตราส่วนพื้นที่การเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน.	3
4.1	การเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ค่าเฉลี่ยจาก 30 ตัว)	31
4.2	ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่และผลผลิตรวมของผักนึ่งจีนและผักโขมที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish	32
4.3	พิสัยและค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำในระบบ DRFT, Fish และระบบ DRFT-Fish	35
4.4	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเฉลี่ย (%) และความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำของผักนึ่งจีนและผักโขม ระบบ DRFT-Fish ตลอดการทดลอง	36
4.5	การเจริญเติบโตของปลาที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ค่าเฉลี่ยจาก 40 ตัว)	38
4.6	การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish.	40
4.7	ปริมาณธาตุอาหารไนโบและลำต้นผักนึ่งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish	41
4.8	ปริมาณธาตุอาหารไนโบในรากผักนึ่งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish	41
4.9	ปริมาณไนเตรทในผักนึ่งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish จากรอบการปลูก 8 ครั้ง	42
4.10	พิสัยและค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำในระบบ DRFT, Fish และระบบ DRFT-Fish	44
4.11	ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเฉลี่ย (%) และความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำของผักนึ่งจีนระบบ DRFT-Fish ตลอดการทดลอง	45

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (aquaponic system)	3
3.1	แบบจำลองของระบบ Fish	17
3.2	ระบบการเลี้ยงปลาทัมทิม	17
3.3	ถังกรองชีวภาพและถังตกตะกอน (ก) ลักษณะของบ่อดูดตะกอนที่เชื่อมต่อกับ วาล์วเปิด-ปิดของถังตกตะกอน (ข)	18
3.4	แบบจำลองระบบ DRFT	19
3.5	โต๊ะปลูกผักนึ่งจีนและผักโขมแบบไม่ใช้ดินระบบ DRFT	19
3.6	ถาดปลูกที่ทำจากโฟมขึ้นรูปเป็นราง (ก) และแผ่นปลูก (ข)	20
3.7	ถังสารละลายในระบบ DRFT	20
3.8	แบบจำลองระบบ DRFT-Fish	21
3.9	โต๊ะปลูกผักนึ่งจีนและผักโขม (ก) และระบบกรอง (ข) ของระบบ DRFT-Fish	21
3.10	แบบจำลองของระบบ Fish	25
3.11	ระบบการเลี้ยงปลาทัมทิม	25
3.12	ลักษณะของถังตกตะกอน (ก) และถังชีวภาพ (ข) ของระบบการเลี้ยงปลาทัมทิม	26
3.13	แบบจำลองระบบ DRFT	27
3.14	โต๊ะปลูกผักนึ่งจีนแบบไม่ใช้ดินระบบ DRFT	27
3.15	แบบจำลองระบบ DRFT-Fish	28
3.16	ระบบ DRFT-Fish	28
3.17	ระบบกรองของระบบ DRFT-Fish	29
4.1	ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ของผักนึ่งจีนและผักโขมที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish (รอบการปลูกคณะน้ำ 21 วัน)	32
4.2	ผลผลิตพืชเฉลี่ยต่อพื้นที่ของผักนึ่งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish	40
4.3	ลักษณะของถังตกตะกอน (ก) และท่อ PVC ที่เชื่อมระหว่างถัง (ข)	46
4.4	การเพิ่มปริมาณออกซิเจนใน โต๊ะปลูก	46

บทที่ 1 คำนำ

ปัญหาน้ำเน่าเสียจากแหล่งเกษตรกรรมในปัจจุบันนี้ ส่วนหนึ่งมาจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงปลาแบบหนาแน่น (intensive culture) เพื่อลดต้นทุนการผลิต ทำให้น้ำจากการเพาะเลี้ยงปลาของเสียจากการขับถ่ายของปลา และอาหารที่เหลือในปริมาณมาก (Raul, 2003) ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ (organic matter) และแร่ธาตุ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และแร่ธาตุอื่นๆ (Ghaly et al., 2005) เมื่อมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำจึงมีการปล่อยของเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์จำนวนมากลงสู่แหล่งน้ำ ส่งผลให้เกิดการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายขนาดเล็กจำนวนมาก (eutrophication) (Joyner, 1992) สาหร่ายเหล่านี้มีช่วงชีวิตสั้น เมื่อเกิดการตายพร้อมๆ กัน ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ส่งผลเสียต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำเน่าเสียแบบเฉียบพลัน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบการหมุนเวียนน้ำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงปลามากขึ้น ซึ่งระบบนี้จะช่วยลดปริมาณการปล่อยน้ำทิ้งจากการเพาะเลี้ยงปลา อีกทั้งยังเป็นการประหยัดน้ำเพราะน้ำจากการเลี้ยงปลาจะผ่านกระบวนการบำบัดน้ำโดยวิธีต่างๆ และนำน้ำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง (water reuse or recycle system) ในระบบการหมุนเวียนน้ำจะมีการสะสมของแร่ธาตุต่างๆ โดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจน (Van Rijn et al., 2006) และฟอสฟอรัส (Rafiee and Saad, 2005)

การเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (aquaponic) เกิดจากการทำงานร่วมกันของระบบการเลี้ยงปลา (aquaculture) และการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (hydroponic) ในระบบหมุนเวียนน้ำ ซึ่งการทำงานของทั้ง 2 ระบบมีความสัมพันธ์กัน โดยการเลี้ยงปลาจะมีการสะสมของแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช และระบบ hydroponic ก็เป็นระบบที่พืชสามารถนำธาตุอาหารจากสารละลายธาตุอาหารพืชไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ดังนั้นแนวคิดการนำน้ำจากการเพาะเลี้ยงปลาใช้ในการปลูกพืช นอกจากจะเป็นการใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารที่สะสมอยู่แล้ว ยังเป็นการบำบัดน้ำเพื่อให้อุณหภูมิที่ต่ำขึ้นด้วย (Rakocy et al., 2004) และเพื่อให้ความเหมาะสมของประเทศไทย จึงนำระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันมาปรับปรุงพัฒนาให้มีความเหมาะสมกับระบบ aquaponic ทั้งในเรื่องของการออกแบบระบบ การจัดการดูแลปลาและพืชให้มีคุณภาพ เพื่อเป็นแนวทางแก้ไขปัญหการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ การประหยัดน้ำในทางการเกษตร และเพิ่มรายได้แก่ผู้เลี้ยงปลาโดยมีรายได้เสริมจากการปลูกพืชด้วย

วัตถุประสงค์

- 1.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของผักที่ใช้ในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลา
- 1.2 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของปลาทับทิม และผักในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT)
- 1.3 เพื่อพัฒนาระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT)

2.1 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (aquaponic system)

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

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

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

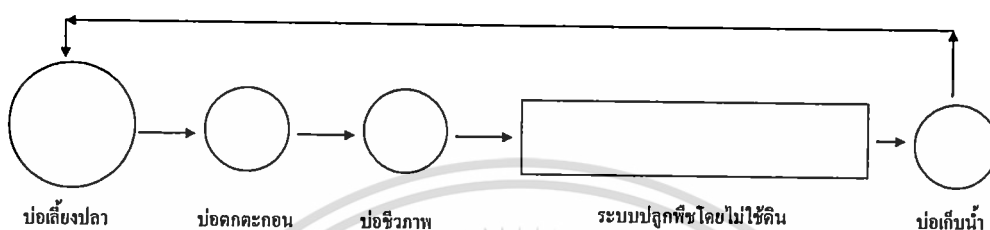
2.1.1 ส่วนประกอบของระบบ

ระบบ aquaponic ประกอบด้วย บ่อเลี้ยงปลา (fish tanks) ทำหน้าที่หลักในการเลี้ยงปลา และรวบรวมตะกอนทางด้านล่างของถังเพื่อส่งต่อไปยังถังตกตะกอน ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลที่ดียิ่งขึ้น ด้านล่างของถังควรมีลักษณะเป็นทรงกรวย บ่อตกตะกอน (sedimentation) ทำหน้าที่ในการกำจัดตะกอนออกจากระบบ ระบบกรองชีวภาพ (biofiltration) ทำหน้าที่ในการกรองตะกอนบางส่วนที่เหลือ และเป็นส่วนสำคัญในการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (hydroponic system) ทำหน้าที่ปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน และบ่อเก็บน้ำ (sump) เป็นส่วนที่รองรับน้ำที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวกลับไปยังบ่อเลี้ยงปลาอีกครั้ง (ภาพที่ 2.1)

2.1.2 หลักการทำงาน

ปัจจัยหลักของการทำงานของระบบ aquaponic ประกอบด้วย ปลา แบคทีเรีย และพืชทำงานร่วมกันในระบบหมุนเวียนแบบปิด โดยสารประกอบไนโตรเจน 70-75 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากของเสียของปลา และอาหารปลาที่เหลือ ผ่านบ่อตกตะกอนเพื่อลดตะกอนแขวนลอยไปยังระบบกรองชีวภาพที่มีแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟิเคชัน ซึ่งสามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนเตรท จากนั้นน้ำจะไหลผ่านระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน ซึ่งไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช และน้ำจะไหลไปสู่อบ่เก็บน้ำเพื่อที่จะนำน้ำกลับมายังบ่อเลี้ยงปลา (นงนุช

เลาหะวิสุทธิ์, 2544) โดยขนาดของถังหรือบ่อที่ใช้จะขึ้นอยู่กับจำนวนปลาที่เลี้ยงและมีความเหมาะสมกับปริมาณของพืชที่ปลูกในระบบ กล่าวคือถ้าเลี้ยงปลากันจำนวนมากต้องปลูกพืชจำนวนมากตามไปด้วย เนื่องจากธาตุอาหารที่ได้จากของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมาจะมีปริมาณมากซึ่งจะต้องใช้พืชจำนวนที่เพียงพอต่อการดูดซับธาตุอาหารเหล่านี้ให้ลดลง อยู่ในระดับที่ปลาสามารถดำรงชีวิตอยู่และเจริญเติบโตได้ โดยอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปลูกพืชต่อปริมาณน้ำในบ่อจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณปลาที่เลี้ยง (ตารางที่ 2.1) (Rakocy et al., 1993)



ภาพที่ 2.1 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (aquaponic system)
ที่มา : นงนุช เลาหะวิสุทธิ์ (2544)

2.1.3 ปลาที่เลี้ยงในระบบ aquaponic

ปลาเป็นส่วนสำคัญที่กำหนดขอบเขตทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำ เช่น กำหนดอุณหภูมิ ค่า pH ของน้ำ ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เป็นต้น Quillert et al. (1993) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินโดยเลือกปลานิล (tilapias) ในการทดลอง เนื่องจากเป็นปลาที่มีความทนทานสูงในด้านคุณภาพน้ำ และมีอัตราการเจริญเติบโตสูง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 24 - 35 องศาเซลเซียส (Quillert et al., 1993) ค่า pH ของน้ำอยู่ในช่วง 5 - 11 (Balarin and Hatton, 1979) ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร (Thomas and Masser, 1999)

สารประกอบไนโตรเจนทั้งหมด ปล่อยออกมาจากกระบวนการเผาผลาญอาหารของปลาตามอุณหภูมิ ค่า pH ของน้ำ และความเค็มที่เปลี่ยนแปลงอย่างสมดุล Quillert et al. (1993) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล (น้ำหนักเฉลี่ย 14 กรัม) 216 ตัว ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศ 80 ต้น ในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในฤดูใบไม้ผลิถึงฤดูร้อน พบว่าน้ำที่หมุนเวียนในระบบที่มีไนโตรเจนเหลืออยู่ 1 มิลลิกรัมต่อโมล ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่พบ ได้จากปลา 31 เปอร์เซ็นต์ และพืช 28 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลาเพิ่ม 13.8 ± 5 กรัม (ก่อนการทดลอง) เป็น 224.6 ± 81 กรัม (178 วัน) ผลผลิตของมะเขือเทศประมาณ 60-75 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนพื้นที่การเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

บ่อเลี้ยงปลา (m ³)	ปริมาตร ของระบบ (m ³)	พื้นที่ของระบบ ปลูกแบบไม่ใช้ดิน (m ²)	อัตราส่วน	เอกสารอ้างอิง
0.25	2.00	0.74	0.37	Neagel, 1977
0.87	3.85	8.80	2.29	Lewis et al., 1978
2.30	2.60	1.60	0.62	NAI, 1980
1.70	2.84	1.40	0.49	Pierce, 1980
2.30	2.30	1.70	0.74	Zweig, 1980
0.19	0.75	1.55	2.07	Sutton and Lewis, 1982
6.40	6.60	1.80	0.27	Head, 1984
6.90	7.40	9.00	1.22	Wattan and Busch, 1984
2.20	7.20	2.00	0.28	Wren, 1984
0.50	0.50	3.40	6.80	McMutry, 1989
0.50	0.50	2.30	4.60	McMutry, 1990
0.50	0.50	1.50	3.00	McMutry, 1991
0.50	0.50	1.20	2.40	McMutry, 1992
11.20	17.80	13.80	0.78	Rakocy, 1989
22.50	22.50	100	4.44	McMutry et al., 1989
11.20	15.10	13.80	0.91	Rakocy et al., 1993

ที่มา : Rakocy et al. (1993)

หมายเหตุ : อัตราส่วน = พื้นที่ของระบบปลูกแบบไม่ใช้ดิน/ปริมาตรของระบบ (m²/m³)

Quillert et al. (1993) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล โดยเพิ่มอาหารอย่างสม่ำเสมอจาก 100-250 กรัม (ให้อาหาร 5.6 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว) พบว่าช่วงที่มีการให้ปริมาณอาหารเพิ่ม (200 กรัม) จนอาหารเหลืออยู่ในบ่อ ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนมากจนเป็นอันตรายต่อปลา (สูงกว่า 14 มิลลิโมลต่อลิตร) และปริมาณแอมโมเนียจากการขับถ่ายของเสียของปลาที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของอาหารที่ปลากินเพิ่มขึ้น

ผลผลิตปลาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ และความหนาแน่นที่เลี้ยง ปลาจะมีการเจริญเติบโตช้า และอัตราการตายสูงถ้าเลี้ยงในความหนาแน่นที่สูง (Anonymous, 2002)

Rakocy et al. (2004) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลาชนิด และปลาที่บ่มรวมกับการปลูก โหระพา และกระเจี๊ยบ น้ำหนักเริ่มต้นของปลาชนิด และปลาที่บ่มเฉลี่ยต่อตัว 79.2 กรัม และ 58.8 กรัม เลี้ยงที่ความหนาแน่น 77 และ 154 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลาชนิด 813.8 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.7 อัตรารอด 98.3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเฉลี่ยของปลาที่บ่ม 512.5 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.8 อัตรารอด 89.9 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นสูงมีผลต่อการเจริญเติบโตที่ลดลง และอัตราการลดลงเช่นกัน

2.1.4 แบคทีเรีย

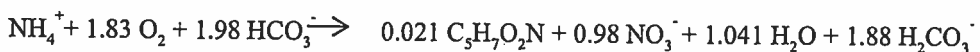
กระบวนการไนตริฟิเคชันในธรรมชาติเกิดจากการทำงานของแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มไนโตรซิไฟอิง (nitrifying bacteria) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย และแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิง (nitrifying bacteria) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนไตรท์ และผลิตไนเตรท (Anonymous, 2006b) โดย *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* เป็นแบคทีเรียชนิดแกรมบวก ส่วนมากมีลักษณะเป็นแท่ง มีขนาด 0.6-4.0 ไมครอน (Anonymous, 2006a)

การเปลี่ยนแปลงแอมโมเนีย แอมโมเนียในน้ำจะถูกออกซิไดซ์โดย *Nitrosomonas* ให้เป็นไนไตรท์ และไนไตรท์จะถูกออกซิไดซ์ต่อโดย *Nitrobacter* ให้เป็นไนเตรท ดังสมการ (USEPA, 1975 ; Water Pollution Control Federation, 1983)



จากสมการดังกล่าว พบว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันต้องการออกซิเจนในการผลิตไฮโดรเจนไอออน และผลิตไนไตรท์ซึ่งเป็นผลผลิตระหว่างขบวนการ

นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตเซลล์ของแบคทีเรียมีปัจจัยที่จำเป็น คือออกซิเจน และalkalinity (คือ CaCO_3) โดยทุกๆ 1 กรัมของแอมโมเนียมที่ถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรทต้องใช้ออกซิเจน 4.18 กรัม แคลเซียมคาร์บอเนต 7.14 กรัม กรดคาร์บอนิก 8.59 กรัม และจะผลิตเซลล์ได้ 0.17 กรัม (Timmons and Losordol, 1994) ดังสมการ



สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการไนตริฟิเคชัน คือ ต้องการปริมาณออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่เพียงพอ อุณหภูมิเหมาะสมที่ 37 องศาเซลเซียส และค่า pH ของน้ำประมาณ 8.5 (Quillert et al., 1993) (ซึ่งรายละเอียดแสดงในหัวข้อ 2.6)

2.1.5 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในน้ำ

Quillert et al. (1993) รายงานว่า ความเปลี่ยนแปลงในส่วนประกอบของแร่ธาตุอาหารของน้ำที่หมุนเวียน เกิดจากการขับถ่ายของเสียซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุของปลา การดูดซับแร่ธาตุโดยพืช และการเพิ่มของน้ำที่ใส่ทดแทนน้ำที่สูญเสียไปโดยการระเหย การเอาตะกอนออก การหายใจ การกระเด็น หรือการทำความสะอาดเครื่องกรอง (Rakocy et al., 2004) โดยสารละลายธาตุอาหารที่ไหลออกจากถังเลี้ยงปลาจะมีปริมาณ ไนเตรท และฟอสเฟต จากของเสียของปลาเพิ่มขึ้น ซึ่งของเสียจากปลาดังกล่าวจะเป็นปุ๋ยของพืช (Quillert et al., 1993) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายธาตุอาหารมาตรฐาน พบว่าสารละลายธาตุอาหารที่ไหลออกจากถังเลี้ยงปลามีปริมาณธาตุอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช เพราะว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูง (7-8) ปริมาณโพแทสเซียม และฟอสเฟตต่ำ (0.15 และ 0.1) ปริมาณซิลิเฟตสูง (1.25) และมีความไม่สมดุลระหว่างไอออนบวก ดังนั้น Rakocy et al. (1992) จึงกล่าวว่า ในระบบ aquaponic พืชสามารถใช้ธาตุอาหารจากน้ำเลี้ยงปลาได้ส่วนหนึ่ง แต่ยังไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช จึงควรมีการเติมจุลธาตุอาหาร โดยเฉพาะเหล็ก เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช สอดคล้องกับการทดลองของ Miao et al. (2002) ที่ได้ทดลองนำน้ำจากบ่อเลี้ยงเตามาใช้ในการปลูกมะเขือเทศโดยไม่ใช้ดิน พบว่า มะเขือเทศที่ปลูกโดยน้ำจากการเลี้ยงเตาที่ไม่ได้ปรับปรุงมีสัดส่วนของรากต่อยอดสูงสุด มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในโตรเจน ฟอสฟอรัสต่ำที่สุด จากการทดลองนี้มีข้อเสนอแนะว่าน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไม่เหมาะสมกับการปลูกพืช ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงก่อนนำไปใช้

2.2 การเจริญเติบโตของปลาและผลผลิตของพืชในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืช

Rakocy et al. (2004) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล และปลาทับทิมร่วมกับการปลูกโหระพา และกระเจี๊ยบ 3 สายพันธุ์คือ Clemson Spineless, Annie Oakley และ North South โดยเลี้ยงที่ความหนาแน่น 77 และ 154 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ โดยเก็บผลผลิตปลาทุก 6 สัปดาห์ พบว่าได้ผลผลิตปลานิล และปลาทับทิม 61.5 และ 70.7 กิโลกรัมต่อตารางเมตรตามลำดับ น้ำหนักเฉลี่ยของปลานิล 813.8 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.7 อัตรารอด 98.3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเฉลี่ยของปลาทับทิม 512.5 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.8 อัตรารอด 89.9 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นสูงมีผลต่อการเจริญเติบโตที่ลดลง และอัตราการลดลงเช่นกัน ในขณะที่เดียวกันการปลูกโหระพาโดยเก็บผลผลิตทุก 28 วัน เป็นระยะเวลา 8 เดือน พบว่าการปลูกโหระพาที่ความหนาแน่น 8 ต้นต่อตารางเมตร ให้ผลผลิต 2 กิโลกรัมต่อตารางเมตร อัตรารอด 84.7 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นปลูกกระเจี๊ยบ โดยเก็บผลผลิต 22 ครั้ง (หลังจากวันที่ 33 ทำการเก็บผลผลิตทุกวันจันทร์ พุธ และศุกร์) เป็นระยะเวลา 3 เดือน ที่ความหนาแน่น 2 ระดับ คือ 2.7 ต้นต่อตารางเมตร และ 4.0 ต้นต่อตารางเมตร มีผลผลิตของกระเจี๊ยบ สายพันธุ์ North South ที่ความหนาแน่น 4.0 ต้นต่อตารางเมตร ให้ผลผลิตสูงสุดคือ 3.04 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และก่อน

หน้าในปี 1982 Sutton and Lewis ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลาตก (Ictalurus punctatus) ร่วมกับ biofiltration และการปลูกมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum*) ที่ 25 องศาเซลเซียส (กลุ่มควบคุม) และที่ 28 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองอัตราการเจริญเติบโตของปลาแต่ละระบบ คือ 0.96 และ 1.47 กรัมต่อตัวต่อวัน ผลผลิตพืชรวม 8.9 และ 9.1 กิโลกรัมต่อต้น และยังมีการศึกษาการเลี้ยงปลานิล (*Sarotherodon aurea*) ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum*) แบบไม่ใช้ดินในระบบปิด ระยะเวลา 181 วัน พบว่าปลานิลมีอัตราการรอด 97.5 เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโต 2.54 กรัมต่อตัวต่อวัน น้ำหนักเฉลี่ย 521 กรัมต่อตัว คุณภาพของผลผลิตมะเขือเทศ 87.4 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดมีคุณภาพสามารถนำไปจำหน่ายได้ (Watten and Busch, 1984)

2.3 การจัดการคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

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

2.3.1 อุณหภูมิของน้ำ (temperature)

อุณหภูมิของน้ำจะมีผลต่อขบวนการต่างๆ ภายในร่างกายของปลาอย่างมาก เช่น การย่อยอาหาร การเคลื่อนไหว การกินอาหาร การหายใจ การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังมีผลต่อปฏิกิริยาย่อยสลายอินทรีย์สารของแบคทีเรียในน้ำ ซึ่งทั้งหมดนี้จะมีผลโดยตรงทำให้ผลผลิตของปลาสูงขึ้น โดยปกติปลาในเขตร้อนจะอาศัยอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิระหว่าง 25-32 องศาเซลเซียส แต่ปลาไม่สามารถทนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ (ไมตรี ดวงสวัสดิ์, 2530) อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงปลานิลคือ 30 องศาเซลเซียส และปลาตก 28-30 องศาเซลเซียส (Quillert et al., 1993) ในการทดลองของ Sutton and Lewis (1982) โดยเลี้ยงปลาตก ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส (กลุ่มควบคุม) และที่ 28 องศาเซลเซียส (กลุ่มทดลอง) พบว่าน้ำหนักโดยเฉลี่ยของปลาเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิที่สูงอย่างคงที่ (28 องศาเซลเซียส) คือ 1.27 กรัมต่อวันต่อตัว ในขณะที่กลุ่มควบคุม น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.96 กรัมต่อวันต่อตัว โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืช แต่นิพนธ์ ไชยมงคล (2550) กล่าวว่า อุณหภูมิของสารละลายในการปลูกพืชที่ 28 องศาเซลเซียส ทำให้การเจริญเติบโต และการดูดสารละลายขึ้นไปใช้ได้สูงที่สุด ให้ผลผลิตสูงกว่าที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และ 14 องศาเซลเซียส 70 และ 190 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รากพืชที่ปลูกในสารละลาย

อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส มีรากแขนงที่สั้นและหนากว่าการปลูกในอุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส ซึ่งมีรากฝอยและรากขนอ่อนสีขาวจำนวนมาก นอกจากนี้การปลูกที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส พบว่าพืชแสดงอาการขาดธาตุเหล็ก แคลเซียมและแมงกานีส ซึ่ง Park et al. (1995) ศึกษาความสามารถของผักกาดคางคัง และสลัดบัตเตอร์ ในการดูดน้ำ ธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมงกานีสที่ปลูกแบบไม่ใช้ดินในอุณหภูมิของสารละลายที่แตกต่างกัน คือ 15, 20 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการดูดน้ำของพืชเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิของสารละลาย ส่วนอัตราการดูดธาตุอาหารขึ้นไปใช้มีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส พืชไม่สามารถดูดน้ำขึ้นไปใช้ในปริมาณที่พอเพียงสำหรับการเจริญเติบโต ได้จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับการปลูกพืชใบในสารละลาย ในขณะที่ Quillert et al. (1993) กล่าวว่าอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมในการเพาะปลูกทั่วไปคือ 24 องศาเซลเซียส ส่วนในมะเขือเทศอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส หรืออาจแตกต่างกันขึ้นกับระยะการพัฒนารากเจริญเติบโตของพืช และชนิดของพืชที่ปลูก ส่วนอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มไนโตรไฟอิงอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส การเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และจะตายที่อุณหภูมิ 0 และ 49 องศาเซลเซียส โดยพบว่า *Nitrobacter* จะทนที่อุณหภูมิต่ำได้น้อยกว่า *Nitrosomonas* ซึ่งเป็นสาเหตุให้บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำพบการสะสมของไนโตรที่ได้น้อยกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง (Anonymous, 2006b)

2.3.2 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH)

ความเป็นกรด-ด่างของน้ำหรือเรียกย่อๆ ว่า pH เป็นการวัดปริมาณของไฮโดรเจนไอออนที่มีอยู่ในน้ำซึ่งเป็นเครื่องแสดงให้ทราบว่าน้ำเป็นกรดหรือด่าง ค่า pH มีค่าอยู่ระหว่าง 0-14 โดยที่ pH 7 เป็นค่ากลาง ถ้า pH น้อยกว่า 7 มีค่าเป็นกรด ในทางตรงกันข้ามถ้า pH มากกว่า 7 มีค่าเป็นด่าง

ค่า pH ของน้ำสำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ควรควบคุมอยู่ในช่วง 6.5-7.5 ถ้า pH ของน้ำสูงหรือลดลงมากเกินไป ทำให้ปลากินอาหารน้อยลงและการเจริญเติบโตลดลง แต่ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไปควรมีค่า pH ของน้ำอยู่ในช่วง 6.5-9.0 ถ้าค่าสูงหรือต่ำกว่านี้จะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (มันสิน ตันจุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539) ค่า pH ของน้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดจะลดลงอย่างต่อเนื่อง อาจเกิดจากการขับถ่ายของเสีย การหายใจของปลาและรากพืชก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้น้ำเป็นกรด (Quillert et al., 1993) และพบว่าค่า pH ของน้ำที่ 6.5 จะลดความเข้มข้นของอัลโลอินโซมโมเนียที่เป็นพิษ และค่า pH ของน้ำที่ 7.5 จะลดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นพิษได้ (Anonymous, 1997)

ปฏิกริยาหรือสภาพความเป็นกรดต่างของสารละลาย จะมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายของธาตุอาหารและความสามารถในการที่พืชจะนำขึ้นไปใช้ประโยชน์ ค่า pH ของน้ำของ

สารละลายในช่วง 5.5-6.5 เป็นช่วงที่ธาตุอาหารในสารละลายอยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด (อิทธิสุนทร นันทกิจ, 2548) ในกรณีที่ pH สูง ควรใช้สารเคมี เช่น กรด ซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดไนตริก (HNO_3) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เพื่อลด pH ให้ต่ำลง การใช้กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) จะช่วยเพิ่มฟอสฟอรัส ส่วนกรดไนตริก (HNO_3) จะเพิ่มไนโตรเจนในสารละลาย กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) จะมีอันตรายต่อผู้ใช้สูง ควรใช้ด้วยความระมัดระวังกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ก่อนข้างแพง แต่จะลด pH ได้ดีกว่ากรดชนิดอื่น ๆ ในปริมาณที่เท่ากัน ในกรณีที่สารละลายมีค่า pH ต่ำเกินไป (< 5.5) ควรเพิ่ม pH ด้วยการใส่โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate), คอสดิก โซดา (caustic soda), โพแทสเซียมไบคาร์บอเนต (potassium bicarbonate), โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) หรือ คอสดิกโพแทส (caustic potash) สารที่นิยมใช้คือ โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) ซึ่งมี pH 8.2 และช่วยเพิ่มโพแทสเซียมในสารละลายได้ ไม่ควรใช้ในรูปแบบของเกลือโซเดียม เนื่องจากพืชไม่ต้องการธาตุนี้ พืชสามารถเจริญได้ในสารละลายที่มี pH 5.5-7.0 ถ้าหากมีธาตุอาหารพอเพียง เนื่องจาก pH มีอิทธิพลต่อการเจริญของรากต่ำ แต่ pH ต่ำ หรือสูงเกินไป จะทำให้ธาตุอาหารบางชนิดอยู่ในรูปที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ธาตุอาหารส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ในสารละลายที่ค่อนข้างเป็นกรด ธาตุอาหารบางชนิดเช่น Mn, Cu, Zn และ Fe เมื่อ pH สูงความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ได้จะลดลง แต่ใน pH ต่ำ P, K, Ca, และ Mg ความสามารถในการนำไปใช้ประโยชน์ของพืชจะลดลงเพียงเล็กน้อย (นิพนธ์ ไชยมงคล, 2550) การปรับ pH ของสารละลายธาตุอาหารให้ต่ำหรือสูงเกินไป นอกจากจะควบคุมการละลายของเกลือต่าง ๆ ยากแล้ว รากพืชจะเป็นอันตรายเนื่องจาก โปรตีนในเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย อย่างไรก็ตามพืชสามารถทนต่อความเป็นพิษโดยตรงของไฮโดรเจนไอออนได้ในช่วงที่ค่อนข้างกว้าง เมื่อปริมาณและสัดส่วนของธาตุอาหารที่พืชได้รับอย่างเหมาะสม (ยงยุทธ โอสดสภา และคณะ, 2541)

ค่า pH ของน้ำที่เหมาะสมสำหรับ nitrification filters อยู่ระหว่าง 6-9 โดยที่ค่า pH ของน้ำที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิงชนิด *Nitrosomonas* อยู่ระหว่าง 7.8-8.0 และชนิด *Nitrobacter* อยู่ระหว่าง 7.3-7.5 Timmons and Losordol (1994) กล่าวว่าที่ pH ของน้ำต่ำกว่า 6 จะทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันลดลง และที่ pH ของน้ำ 5.5 จะทำให้กระบวนการไนตริฟิเคชันหยุดการทำงาน ดังนั้นจึงควรรักษาระดับ pH ของน้ำไม่ให้มีค่าต่ำกว่า 6

2.3.3 การนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร (electrical conductivity; EC)

เป็นค่าบอกความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ค่า EC ในสารละลายขึ้นอยู่กับชนิดพืช ช่วงอายุการเจริญของพืช สภาพภูมิอากาศ คือ อุณหภูมิ ความเข้มแสง เป็นต้น โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 1-4 มิลลิซีเมนตต่อเซนติเมตร (อิทธิสุนทร นันทกิจ, 2548) การเติมปุ๋ยระหว่างการปลูกพืช ควรมีการวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีในน้ำหรือค่า EC เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหาร ค่า EC ของสารละลายจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร คือสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จะมีค่า EC สูง โดยมีหน่วยวัดเป็น Siemens/cm (S/cm)

หรือ ต่อก้านส่วน ; micro-Siemens (10^6 : $\mu\text{S}/\text{cm}$) หรือต่อพื้นส่วน ; milli-siemens (10^3 : mS/cm) (นิพนธ์ ไชยมงคล, 2550) โดยปกติแล้วควรจะรักษา EC ของสารละลายธาตุอาหาร ให้อยู่ในช่วง 2.0-4.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ช่วงที่นิยมคือในช่วง 1.5-2.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ค่า EC ที่ต่ำ คืออยู่ในช่วง 0.5-2.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เหมาะสมสำหรับการปลูกผักสลัด ค่า EC ที่อยู่ในช่วง 1.5-2.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เหมาะสมสำหรับการปลูกแตงกวา ค่า EC ที่อยู่ในช่วง 1.8-2.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เหมาะสมสำหรับการปลูกผักและไม้ดอกไม้ประดับทั่วไป ค่า EC ในช่วง 2.5-3.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตรเหมาะสมสำหรับการปลูกมะเขือเทศ ค่า EC ในช่วง 3-4 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จะทำให้ปริมาณน้ำตาลในผลสูงเนื่องจากจะทำให้พืชเกิดความเครียด (stress) ค่า EC ในช่วง 4-6 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เหมาะสำหรับการปลูกแคนตาลูป ในทางปฏิบัติอาจมีการควบคุม EC ของสารละลายธาตุอาหารแตกต่างกันไปตามช่วงการเจริญเติบโตของพืช เช่น เมื่อพืชยังเล็กจะควบคุมค่า EC ที่ต่ำแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของพืช (ดิเรก ทองอร่าม, 2544)

2.3.4 ความเป็นด่าง (alkalinity)

ความเป็นด่าง (alkalinity) ค่าที่วัดเป็นค่าของไบคาร์บอเนต คาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์ เป็นส่วนใหญ่ แต่อาจมีพวก ซิลิเกต ฟอสเฟต และสารอินทรีย์ต่างๆ อยู่บ้างแต่เป็นจำนวนน้อย ความสำคัญของความเป็นด่างของน้ำ คือเป็นตัวช่วยควบคุมไม่ให้ น้ำมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำเร็วเกินไป (buffering capacity) หากความเป็นด่างของน้ำมีค่าต่ำแสดงว่าความสามารถในการควบคุมค่า pH ของน้ำไม่ให้เปลี่ยนแปลงน้อยลงไปด้วย ทำให้ค่า pH ของน้ำผันแปรง่าย ส่งผลให้สัตว์น้ำเครียด ค่าความเป็นด่างไม่ส่งผลเสียโดยตรง แต่มีผลเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติอื่นๆ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา, 2539)

ความเป็นด่างที่อยู่ในรูปไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนตเป็นธาตุอาหารของแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิงที่ใช้ในการผลิตเซลล์ โดยการผลิตเซลล์ 0.17 กรัม จะใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 7.14 กรัม กรดคาร์บอนิก 8.59 กรัม (Timmons and Losordol, 1994) แบคทีเรียจะกำจัดแอมโมเนียด้วยไบคาร์บอเนตจนหมด เป็นสาเหตุให้ค่าความเป็นด่างในน้ำลดลงในเวลาต่อมา ค่าที่ตรวจวัดได้ควรมีค่ามากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ไม่ควรเกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร (Anonymous, 2002)

2.3.5 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved solid oxygen)

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ระดับความสูง และความเค็มของน้ำ กล่าวคือปริมาณออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลง เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น ส่วนน้ำที่มีความเค็มสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนจะละลายได้น้อยลง (ไมตรี ดวงสวัสดิ์, 2532) ถึงแม้ว่าออกซิเจนสามารถแพร่กระจายจากอากาศไปในน้ำได้แต่อัตราการแพร่กระจายจะต่ำและช้ากว่ามากในบรรยากาศ แหล่งสำคัญของการเพิ่มปริมาณออกซิเจน คือจากขบวนการสังเคราะห์แสง

(photosynthesis) ของพืชน้ำ และแพลงก์ตอนพืช ความสามารถในการละลายของออกซิเจน ในน้ำจืด อยู่ระหว่าง 14.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียส และ 6.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 35 องศาเซลเซียส สาเหตุที่ทำให้ออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง ได้แก่ สัตว์น้ำและพืชน้ำใช้ออกซิเจนในการหายใจ แบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์วัตถุต่างๆ ในน้ำ การแพร่กระจายจากน้ำสู่อากาศ ปัญหาการขาดออกซิเจน มักจะเกิดในบ่อที่มีสารอินทรีย์สะสมอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้อาจมาจากเศษเหลือของอาหาร ของเสียจากสัตว์น้ำ ตะกอนสารอินทรีย์ที่ติดมากับน้ำ และแพลงก์ตอนที่ตายลง ซึ่งเมื่อน้ำสลายก็จะดึงออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำไปใช้ จุดวิกฤตในการเกิดปัญหาการขาดออกซิเจนจะเป็นในช่วงเช้ามืดที่ยังไม่มีการสังเคราะห์แสง สัตว์น้ำมักจะลอยหัวขึ้นชายบ่อและตาย ในช่วงนี้ การหายใจของสัตว์น้ำจะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาหลังจากกินอาหาร เป็นสาเหตุให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีปริมาณน้อยลง ปริมาณของออกซิเจนที่ถูกใช้ขึ้นอยู่กับการกินอาหาร ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำควรมีการตรวจวัดค่าในถังเลี้ยงสัตว์น้ำหลังจากกินอาหารประมาณ 1 ชั่วโมง และเมื่อให้อาหารในระดับมากที่สุด (2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวัน) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับที่สัตว์น้ำพอนอาศัยอยู่ได้แต่การเจริญเติบโตไม่ดี คือที่ 1-4 มิลลิกรัมต่อลิตร และระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำคือต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Boyd, 1989)

การปลูกพืชในสารละลาย (water culture) ปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ รากพืชต้องการออกซิเจน สำหรับการหายใจ และการดูดอาหารขึ้นไปใช้ ถ้าหากออกซิเจนไม่พอเพียงรากจะเกิดการเจริญ อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโรคและเน่าตาย การปลูกพืชในสารละลายที่มีอัตราการหมุนเวียนของน้ำต่ำ จะทำให้รากพืชขาดออกซิเจนออกซิเจนที่ละลายน้ำได้จะอยู่ในรูปของจุลธาตุอาหาร และอัตราการเคลื่อนย้ายในพืชจะเร็วกว่าธาตุอื่น ๆ การปลูกพืชในระบบ NFT หรือการให้สารละลายไหลผ่านรากบาง ๆ จะช่วยเพิ่มออกซิเจนในสารละลายได้ แต่ในกรณีที่มีอัตราการหมุนเวียนของน้ำต่ำ และรากมีขนาดใหญ่ จะทำให้รากพืชขาดออกซิเจนได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้อัตราการหายใจของรากลดลง ลดความสามารถในการดูดแร่ธาตุอาหาร เพิ่มปริมาณการสูญเสียไนโตรเจน และรากอ่อนแอต่อโรค นอกจากนี้ Douglas (1976) และ Resh (1987) รายงานว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้อัตราการหายใจของรากลดลง สอดคล้องกับ Lorenzen et al. (2001) ที่กล่าวว่าพืชจะสามารถปรับเปลี่ยนธาตุอาหารที่อยู่ในเซลล์ได้นั้นต้องอาศัยปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอในการเข้าไปทำปฏิกิริยาทางเคมีกับธาตุอาหารต่างๆ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีประโยชน์ต่อพืช และรากที่ได้รับออกซิเจนน้อยจะมีลักษณะพองและยาวกว่ารากที่ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอซึ่งจะมีลักษณะอ้วนและสั้นกว่า

กระบวนการไนตริฟิเคชันจะลดลงถ้ามีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอกับความต้องการของแบคทีเรีย (Kaiser and Wheaton, 1983 ; Nagel and Haworth, 1969) และไม่สามารถเกิดขึ้นได้ถ้า

2.3.8 ไนไตรท์-ไนโตรเจน (nitrite; NO_2^- -N)

ไนไตรท์เป็นตัวกลางของการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียให้เป็นไนเตรท ไนไตรท์จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยไนไตรท์จะซึมผ่านผิวหนังและเหงือกเข้าไปในพลาสมาของสัตว์น้ำ แล้วเข้าไปจับกับเม็ดเลือดแดงแล้วจะไปออกซิไดซ์ฮีโมโกลบิน (haemoglobin) ในเม็ดเลือดแดงให้กลายเป็น methemoglobin ซึ่งเป็น haemoglobin ที่ไม่สามารถรับออกซิเจนส่งไปให้เซลล์ต่างๆ ในร่างกายได้ ทำให้สัตว์ขาดออกซิเจน ร่างกายอ่อนแอ และติดเชื้อง่าย ส่งผลให้เจริญเติบโตช้าเนื่องจากสัตว์น้ำจะกินอาหารลดลงและตายในที่สุด (ช่วยชูศรี ศรีภูมัย และจากรวรรณ สมศิริ, 2525) ปริมาณไนไตรท์โดยทั่วไปควรมีระดับต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณความเข้มข้นของไนไตรท์ที่ระดับ 2-10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ปลาเครียด ถ้าสูงกว่า 10-20 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสาเหตุให้ปลาเป็นโรคเลือดสีน้ำตาล จนอาจถึงตายได้ ปลาแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนพิษจากไนไตรท์แตกต่างกัน (Lawson, 1995) การลดปริมาณไนไตรท์ในน้ำสามารถทำได้โดยใช้แคลเซียมคลอไรด์ในระบบ

2.3.9 ไนเตรท-ไนโตรเจน (nitrate; NO_3^- -N)

ไนเตรทเป็นผลจากขบวนการ nitrification การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทเกิดจากการใช้ไนเตรทโดยแพลงก์ตอนพืช หรือการเปลี่ยนถ่ายน้ำใหม่ โดยปกติแล้วไนเตรทจะไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ยกเว้นในกรณีที่ไนเตรทมีความเข้มข้นสูงมาก (ยงยุทธ ปรีดาภิรมย์บุตร และคณะ, 2532) Quillert et al. (1993) กล่าวว่าไนเตรทเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษต่ำกว่าแอมโมเนียและไนไตรท์ แต่เมื่อเกิดการสะสมของไนเตรทถึงระดับหนึ่งจะเป็นพิษต่อปลาและสัตว์น้ำอื่นได้ เช่นในระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไม่ใช้ดินควรมีปริมาณไนเตรทน้อยกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (นงนุช เลาหะวิสุทธิ, 2544) แต่สำหรับการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณไนเตรทที่มีความเข้มข้นสูงมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตทางใบและลำต้นของพืช ขณะที่ปริมาณไนเตรทที่มีความเข้มข้นต่ำจะกระตุ้นการติดผล สอดคล้องกับการทดลองของ Naegel (1977) ได้ทำการทดลองปลูกมะเขือเทศและผักกาดหอมในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน และไม่มีกรให้ธาตุอาหารเสริม พบว่าผักกาดหอมและมะเขือเทศสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ภายใน 4 และ 8 สัปดาห์ตามลำดับ โดยที่ผักกาดหอมมีระดับการใช้ไนเตรทมากกว่ามะเขือเทศ

2.3.10 ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (orthophosphate)

ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และการสร้างโปรตีนพลาสมิม (สุชาติ อิงธรรมจิตร และคณะ, 2534) ในทางประมงมักจะพิจารณาในรูปของสารประกอบออร์โทฟอสเฟต ได้แก่ PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} และ H_2PO_4^- สารประกอบเหล่านี้ละลายน้ำได้ดี (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจากรวรรณ สมศิริ, 2528) ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะพบฟอสเฟตในปริมาณต่ำ เนื่องจากสามารถตกตะกอนกับเหล็ก แคลเซียม อลูมิเนียม และโซเดียมได้ และบางส่วนจะถูกดูดซับโดยดินเหนียวใต้ท้องน้ำ สำหรับน้ำที่มี pH ของน้ำอยู่ใน ช่วง 6.3-6.9 จะเป็นช่วงที่มีอินทรีย์ฟอสเฟต อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มากที่สุด (ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล และคณะ, 2539) ถ้า pH

ของน้ำของน้ำสูงกว่านี้ปริมาณฟอสเฟตจะลดลง เพราะน้ำมีความเป็นด่าง ฟอสเฟตจะตกตะกอนกับแคลเซียมในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต (Boyd, 1989)

2.3.11 ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรน้ำ

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด เกิดจากสูญเสียจากการระเหยของน้ำ การทำความสะอาดถังกรอง การถ่ายตะกอน และการเปลี่ยนถ่ายน้ำบางส่วน เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนน้ำควรทำการเปลี่ยนในปริมาณน้อยที่สุด เพื่อรักษาปริมาณแร่ธาตุอาหารในระบบให้มากที่สุด จากการทดลองของ Sutton and Lewis (1982) ได้ทดลองเลี้ยงปลาตู้ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศแบบไม่ใช้ดิน พบว่าปริมาตรน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากการระเหยประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ที่อุณหภูมิ 25 และ 28 องศาเซลเซียส ในภายหลัง Rakocy et al. (2004) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิลและปลาบิชอปร่วมกับการปลูกโหระพาและกระเจี๊ยบ 3 สายพันธุ์คือ Clemson Spineless, Annie Oakley และ North South โดยทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ปี โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนน้ำทั้งหมด แต่จะมีการเติมน้ำเฉลี่ยในอัตรา 0.26-0.46 เปอร์เซ็นต์ต่อวันเท่านั้น เพื่อชดเชยปริมาณน้ำที่สูญเสียไปเนื่องจากการทำความสะอาดถังกรอง 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ สอดคล้องกับการทดลองของ Quillert et al. (1993) กล่าวว่า น้ำจะถูกเปลี่ยนใหม่ทุกวันประมาณ 0.1-0.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ใช้ทั้งหมดในระบบหมุนเวียน หรือ 3.5-9 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมดของระบบ และตะกอนที่สะสมอยู่ในระบบ ควรมีการถ่ายออก 2-3 ครั้งต่อวัน เนื่องจากเมื่อมีตะกอนสะสมปริมาณมาก จะเกิดการย่อยสลาย และดึงออกซิเจนจากปลาและพืชมาใช้ อีกทั้งยังทำให้อัตราการไหลของน้ำในระบบไหลช้า ตะกอนจะไปจับรากพืช และทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำ และธาตุอาหารลดลง (Zweig, 1986) นอกจากนี้ยังมีการแนะนำว่าควรมีการเปลี่ยนน้ำ 10-15 เปอร์เซ็นต์ทุกเดือน (Nelson, 2006a)

2.3.12 คลอรีน

น้ำประปาจะใส่คลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค ซึ่งถ้าในน้ำมีปริมาณคลอรีนมากจะทำให้ปลาหายใจไม่สะดวก ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำในระบบต่อครั้ง ปริมาณคลอรีนในน้ำประปาสามารถทำให้ปลาเครียดได้ จึงควรตั้งทิ้งไว้ก่อน 1 วัน เพื่อให้ระดับคลอรีนในน้ำประปาลดลง (Anonymous, 1997)

2.4 ประสิทธิภาพการใช้น้ำและการบำบัดน้ำของระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ประสิทธิภาพของระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำในระบบการเลี้ยงปลาทั่วไป พบว่าสามารถประหยัดปริมาณน้ำได้ 4-5 เท่า (สัจเทพ สุขแก้ว, 2544 ; นันทิมา สุทธิวรรณกุล, 2546 ; วราจกานา กาชัม, 2545) เนื่องจากเป็นระบบปิด มีการหมุนเวียนน้ำเพื่อนำกลับมาใช้อีก

การบำบัดน้ำของระบบการเลี้ยงปลา ร่วมกับการปลูกพืชในระบบปิด พบว่าพืชจะ ช่วยดูดซับของเสียในรูปแบบไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและธาตุอื่นๆ ได้ ทำให้คุณภาพน้ำที่ได้ปรับปรุงมี คุณภาพเหมาะสมกับการเลี้ยงปลา โดย นันทิมา สุทธิวรรณกุล (2546) ได้ทดสอบการบำบัดน้ำที่ได้ จากการเลี้ยงปลาทองด้วยพรรณไม้น้ำชนิดอะโกลนีมา (*Aglaonema* sp.) และใบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii*) ในระบบ Nutrient film technique (NFT) และ Deep flow technique (DFT) พบว่าพรรณไม้น้ำชนิดอะโกลนีมาสามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 18.62 และ 17.53 และลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 5.77 และ 5.64 ตามลำดับ ส่วนใบพายศรีลังกาสามารถ บำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 13.16 และ 13.26 และลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 3.80 และ 2.56 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลาทอง ด้วยพรรณไม้น้ำชนิดใบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii*) และอะเมซอน (*Echinodorus amazonicus*) ในระบบ NFT, DFT และ Sand พบว่าระบบ Sand ใบพายศรีลังกา และอะเมซอนมี ประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุด สามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด 17.85 และ 18.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และฟอสฟอรัส 8.65 และ 10.09 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รองลงมาคือระบบ NFT และ ระบบ DFT (วารจกานา กาชัม, 2545) ในขณะที่ สัจเทพ สุขแก้ว (2544) ทดลองเลี้ยงปลาทอง ร่วมกับการปลูกใบพายศรีลังกา พบว่าใบพายศรีลังกาช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสได้ 11.62, 10.06, 10.92 และ 2.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับ Rakocy and Allison (1981) ที่นำพรรณไม้น้ำในกลุ่มของสาหร่าย คือสาหร่ายเดนซ่า และเทป มาใช้ในการ บำบัดน้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลานิล พบว่าพรรณไม้น้ำดังกล่าวช่วยลดแอมโมเนีย และไนไตรท์ได้ 85.8 และ 17.3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การปลูก alfalfa, white clover, oat, fall rye และ barley ใน ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน สามารถช่วยลดปริมาณไนไตรท์ ไนเตรท ฟอสฟอรัส และ โปแทสเซียมจากน้ำเลี้ยงปลานิล ได้ 95.9-99.5 82.9-98.1 54.5-93.6 และ 99.6-99.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Ghaly et al., 2005) และ Takeda et al. (1997) ได้ทำการศึกษาการปลูก oso grande และ sweet charlie ในระบบ NFT ภายในโรงเรือนที่ Kearneysville USA โดยใช้น้ำจากการเลี้ยงปลา rainbow trout และมีการใส่ธาตุโพแทสเซียม และธาตุอาหารรอง จากการทดลองพบว่าระบบนี้ สามารถลดความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำจากการเลี้ยงปลาได้ จาก 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำเข้า) เหลือ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำออก) ดังนั้นระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีความเป็นไปได้ที่จะ นำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่มีปริมาณมาก

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดผักที่เหมาะสมกับระบบการเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผัก โดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT

3.1.1 การวางแผนการทดลอง

เปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในทางสถิติด้วยวิธี T-test โดยทดลองเลี้ยงปลา และปลูกพืช 3 ระบบ คือ

- ระบบการเลี้ยงปลาทับทิม (Fish)
- ระบบการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT (DRFT)
- ระบบการเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT (DRFT-Fish)

3.1.2 วิธีการเตรียมการทดลอง

จัดตั้งระบบต่างๆ ภายในโรงเรือนแบบเปิดขนาด 28x16 เมตร โครงสร้างทำจากซีเมนต์ ผนังเป็นตาข่ายเหล็ก หลังคาโรงเรือนทำจากแผ่นอะคริลิก (acrylic) ใส

3.1.2.1 ระบบ Fish

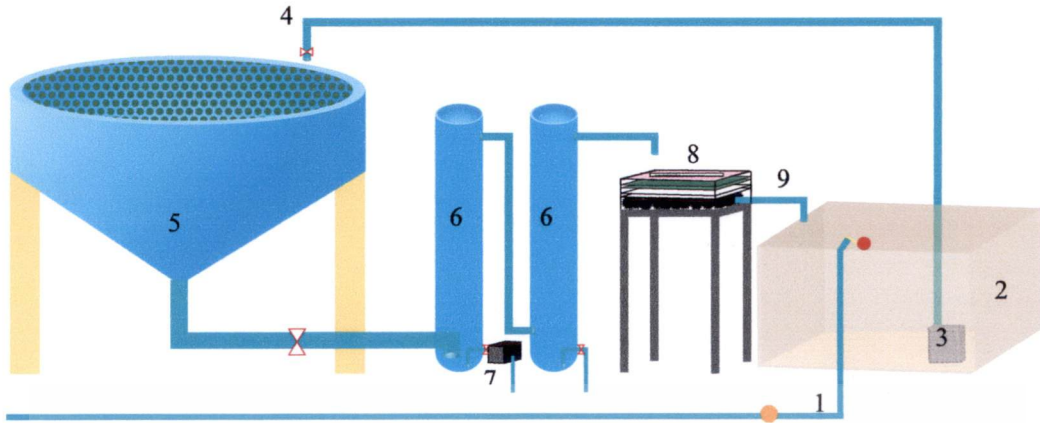
จัดตั้งระบบ Fish (ภาพที่ 3.1 และ 3.2) ซึ่งประกอบด้วย

(1) ถังเลี้ยงปลาไฟเบอร์กลาส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร ลักษณะก้นถังเป็นทรงกรวย บรรจุปริมาตรน้ำ 500 ลิตร ด้านบนปิดด้วยตาข่ายเพื่อป้องกันการเกิดตะไคร่ และป้องกันปลากระโดด ภายในใส่หัวทรายจำนวน 6 อัน ที่เชื่อมต่อกับเครื่องให้อากาศ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ (ภาพที่ 3.2)

(2) ถังตกตะกอน ทำจากท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 1 เมตร จำนวน 2 ถัง เชื่อมต่อกันด้วยท่อ PVC ขนาด 3/4 นิ้ว บริเวณช่วงล่างถังมีวาล์วเปิด-ปิด เพื่อถ่ายตะกอน (ภาพที่ 3.3 ก.)

(3) ถังชีวภาพ ขนาด 0.37x0.3x0.1 ลูกบาศก์เมตร ทำจากพลาสติก ภายในใส่ไบโอบอล จำนวน 120 ลูก เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับแบคทีเรีย ด้านบนมีโยกรองละเอียดรองรับน้ำจากถังตกตะกอน เพื่อกรองตะกอนที่มีขนาดเล็ก (ภาพที่ 3.3 ข.)

(4) ถังเก็บน้ำ ขนาด 0.81x0.49x0.47 ลูกบาศก์เมตร ภายในมีปั้มน้ำเพื่อสูบน้ำกลับไปยังถังเลี้ยงปลา และรองรับน้ำจากท่อน้ำเข้าซึ่งมีการติดลูกลอยเพื่อเป็นการเติมน้ำอัตโนมัติ และติดมาตรวัดเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ใช้ (ปริมาตรน้ำในถังนี้จะเท่ากับปริมาตรน้ำในโตะปลูกของระบบ DRFT)



ภาพที่ 3.1 แบบจำลองของระบบ Fish

หมายเหตุ :

- | | |
|-------------------|-------------------------------------|
| 1 = ท่อเติมน้ำ | 6 = ถังตกตะกอน* |
| 2 = ถังเก็บน้ำ | 7 = ปั๊มถ่ายตะกอน |
| 3 = ป้อน้ำ | 8 = ถังกรองชีวภาพ |
| 4 = ท่อน้ำเข้า | 9 = ท่อน้ำออก* |
| 5 = ถังเลี้ยงปลา* | * = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์ |



ภาพที่ 3.2 ระบบการเลี้ยงปลาอัตโนมัติ



(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.3 ถังกรองชีวภาพและถังตกตะกอน (ก) ลักษณะของปั๊มดูดตะกอนที่เชื่อมต่อกับถังตกตะกอนและวาล์วเปิด-ปิด (ข)

3.1.2.2 ระบบ DRFT

จัดตั้งระบบ DRFT (ภาพที่ 3.4) ประกอบด้วย

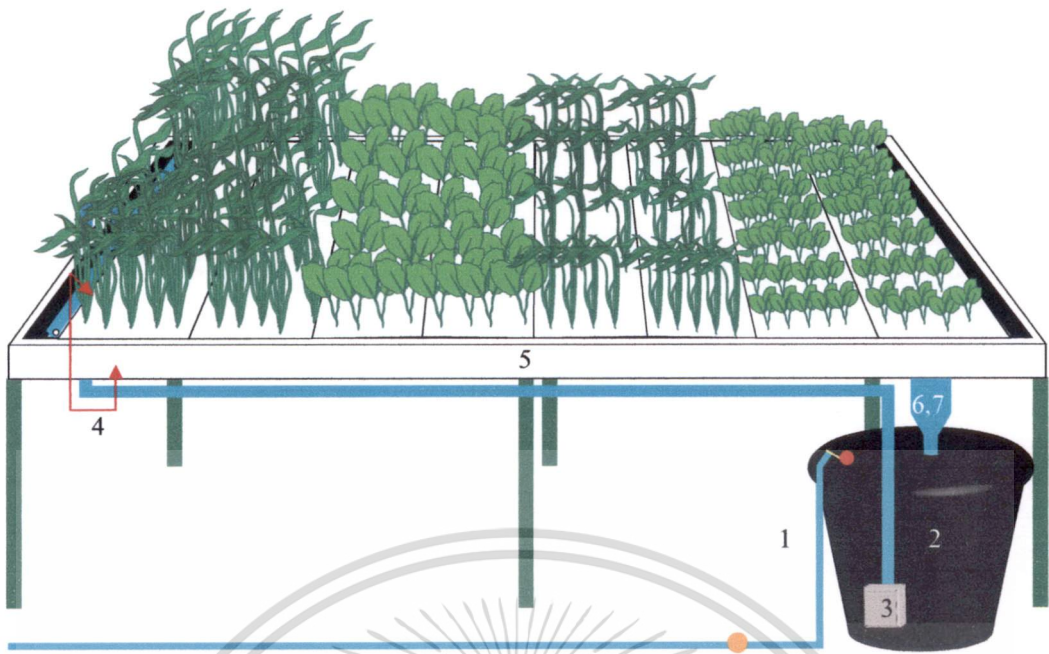
(1) โตะปลูก ทำจากเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ขนาด 1.15x4.80 เมตร จำนวน 1 โตะ (ภาพที่ 3.5)

(2) ถาดปลูกพืช ทำจากโฟมขนาด 1.0x0.6x0.12 ลูกบาศก์เมตร ขึ้นรูปเป็นรางขนาดเล็ก ให้สารละลายไหล จำนวน 10 ราง ภายใต้นด้วยพลาสติกสีดำ ด้านบนปิดด้วยแผ่นโฟมเจาะรู (ภาพที่ 3.6 ก.)

(3) แผ่นปลูก ทำจากโฟมขึ้นรูป ขนาด 1.0x0.6 เมตร มีรูเจาะรูวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 เซนติเมตร 1 แผ่นมีช่องปลูก 50 ช่องปลูก ระยะห่างระหว่างช่องปลูก 8x12 เซนติเมตร แต่ละโตะใช้ 8 แผ่น (ภาพที่ 3.6 ข.)

(4) ถังสารละลาย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.52 เมตร สูง 0.4 เมตร ภายในมีปั๊มน้ำ และรองรับน้ำจากท่อน้ำเข้าซึ่งมีการติดลูกลอยเพื่อเป็นการเติมน้ำอัตโนมัติ และมีการติดมาตรวัดปริมาณน้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ใช้ (ภาพที่ 3.7)

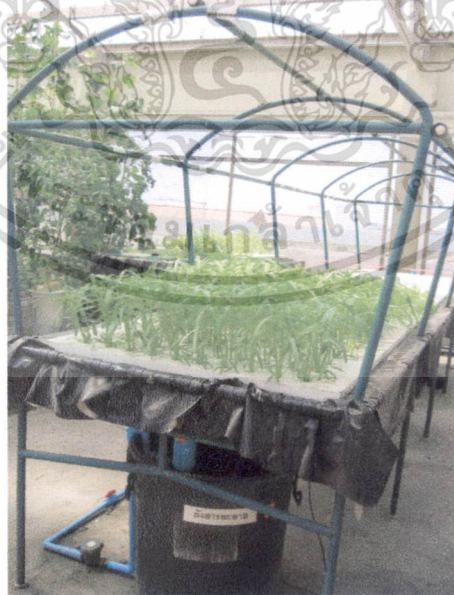
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 แบบจำลองระบบ DRFT

หมายเหตุ : 1 = ท่อเติมน้ำ
2 = ถังเก็บน้ำ*
3 = ป้อนน้ำ
4 = ท่อน้ำเข้า

5 = โตะปลูก
6 = สะต่อน้ำ
7 = ท่อน้ำออก*
* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์

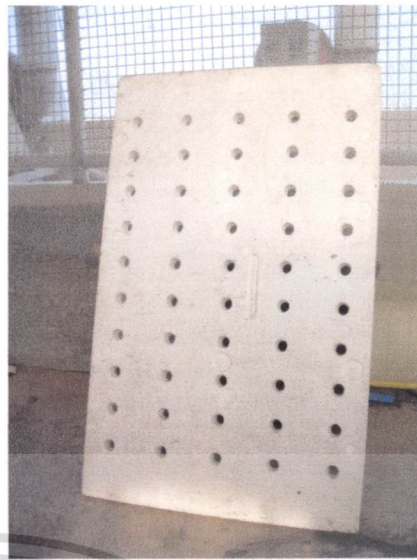


ภาพที่ 3.5 โตะปลูกผักบุ้งจีนและผักโขมแบบไม่ใช้ดินระบบ DRFT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

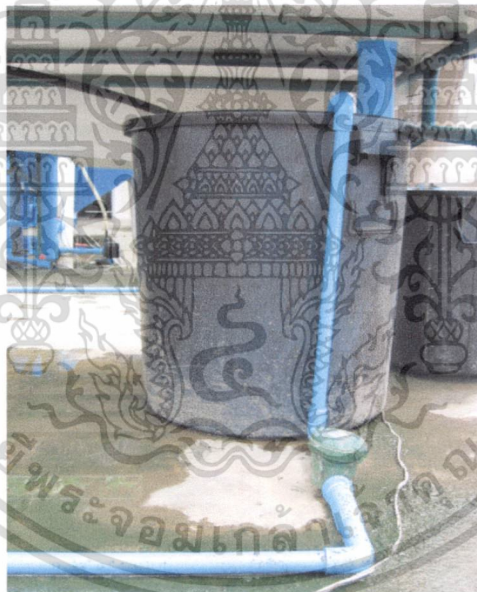


(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.6 ถาดปลูกพืชทำจากโฟมขึ้นรูปเป็นราง (ก) และแผ่นปลูกพืช (ข)

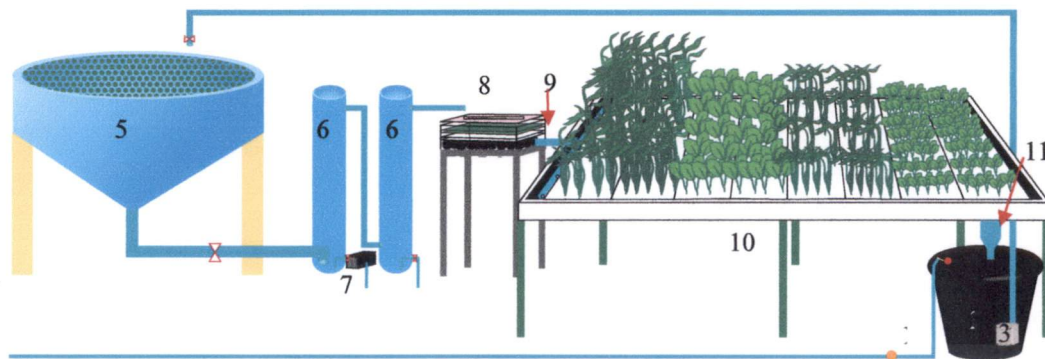


ภาพที่ 3.7 ถังสารละลายในระบบ DRFT

3.1.2.3 ระบบ DRFT-Fish

การจัดตั้งระบบ DRFT-Fish (ภาพที่ 3.8 และ 3.9) ส่วนประกอบใช้ขนาดเช่นเดียวกับระบบ Fish และระบบ DRFT โดยส่วนของสารละลายที่ไหลผ่านถึงชีวภาพ จะถูกส่งต่อไปยังท่อน้ำเข้าของโต๊ะปลูก และไหลไปยังถังสารละลายที่มีปั๊มน้ำอยู่ เพื่อสูบน้ำกลับไปยังถังเลี้ยงปลาอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

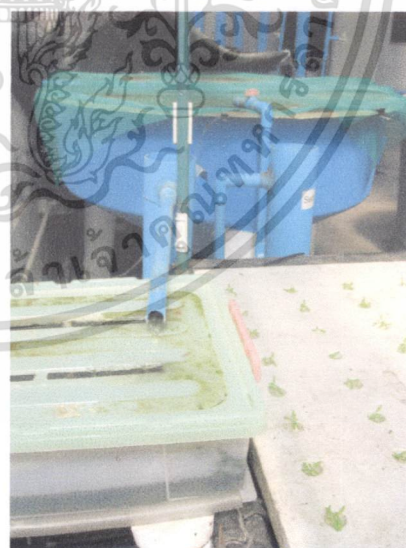


ภาพที่ 3.8 แบบจำลองระบบ DRFT-Fish

- หมายเหตุ : 1 = ท่อเติมน้ำ
 2 = ถังเก็บน้ำ
 3 = บั๊มน้ำ
 4 = ท่อน้ำเข้า
 5 = ถังเลี้ยงปลา*
 6 = ถังตกตะกอน*
 7 = ปั๊มน้ำ
 8 = ถังกรองชีวภาพ*
 9 = ท่อน้ำเข้าโต๊ะปลูกพืช
 10 = โต๊ะปลูก
 11 = ท่อน้ำออก*
 * = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.9 โต๊ะปลูกผักบุ้งจีนและผักโขม (ก) และระบบกรอง (ข) ของระบบ DRFT-Fish

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 วิธีการทดลอง

3.1.3.1 การจัดการระบบการเลี้ยงปลา

(1) นำปลาจากฟาร์มมาพักไว้เพื่อให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อม และอาหารก่อนทดลอง ประมาณ 1 สัปดาห์

(2) เติมน้ำในระบบ และเริ่มเปิดการทำงานของระบบให้มีการหมุนเวียนน้ำเป็นเวลา 1 วัน จึงสูบลำดับหิมขนาด 150 กรัม ใส่ในถังเลี้ยงปลา จำนวน 30 ตัว

(3) ให้อาหารปลา 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวปลาต่อวัน โดยให้วันละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น) และทุก 2 สัปดาห์จะปรับอาหารที่ให้ตามน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น

(4) นำเศษตะกอนออกจากระบบ โดยการถ่ายตะกอนจะทำงานอัตโนมัติทุก 4 ชั่วโมง เป็นเวลา 10 วินาที เวลา 02.00, 06.00, 10.00, 14.00, 18.00 และ 22.00 น.

3.1.3.2 การเตรียมกล้าไม้ และการดูแล

(1) รดน้ำแผ่นฟองน้ำในถาดเพาะให้เปียกชุ่ม โดยใช้มือช่วยกด หยอดเมล็ดผักที่เตรียมไว้ลงในช่องบากของฟองน้ำโดยหยอดช่องละ 3 เมล็ดต่อชนิด ลึกประมาณ 2-3 มิลลิเมตร นำถาดเพาะที่ใส่เมล็ดผักไปไว้ในที่ร่มเพื่อไม่ให้ถูกแสงแดด รดน้ำเช้า และเย็น 2-3 วัน จนเมล็ดงอกเป็นต้นกล้า ย้ายกล้าไปยังที่มีแสงแดดจากนั้นเริ่มให้สารละลายธาตุอาหาร โดยควบคุมการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ให้มีค่าระหว่าง 1.2-1.8 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร เป็นเวลา 3-4 วัน การเตรียมกล้าจะเตรียมสัปดาห์ละ 1 ครั้ง จำนวน 150 ต้นต่อระบบ ทุกรอบการปลูก

(2) เติมน้ำและเริ่มเปิดการทำงานของระบบให้มีการหมุนเวียนน้ำครบ 2 สัปดาห์ ก่อนย้ายปลุกกล้าผัก ทั้งระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

(3) เมื่อดันกล้ามีรากโผล่ลงมาที่ด้านล่างฟองน้ำ ย้ายต้นกล้าที่แข็งแรงสมบูรณ์ดีลงโต๊ะปลูก โดยเลือกผักชนิดเดียวกันที่ขนาดและความสมบูรณ์ใกล้เคียงกันใส่ในช่องปลูกของแผ่นปลูก สอดต้นกล้าจากทางด้านล่างของแผ่นปลูก โดยให้ก้นฟองน้ำด้านที่มีรากโผล่อยู่เสมอกับขอบล่างสุดแผ่นปลูก ทั้งนี้เพื่อให้ก้นฟองน้ำและรากแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารในรางปลูก ปลูกผักบุงจิ้นและ ผักโขมชนิดละ 100 ต้นต่อสัปดาห์ อายุแต่ละกลุ่มห่างกัน 1 สัปดาห์ เพื่อให้ระบบมีอายุผักสม่ำเสมอตลอดการทดลอง โดยแต่ละกลุ่มใช้เวลาในการเจริญเติบโตจนเก็บเกี่ยว 3 สัปดาห์ เมื่อครบอายุเก็บเกี่ยว จึงย้ายผักบุงจิ้นและ ผักโขมกลุ่มนั้นออก และย้ายกล้าผักบุงจิ้นและ ผักโขมอายุ 1 สัปดาห์ใส่แทน โดยหมุนเวียนเช่นนี้ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 3.4, 3.8)

(4) ระหว่างการทดลองต้องเติมสารละลายธาตุอาหารในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish ให้มีค่า EC ของสารละลายระหว่าง 1.2-1.8 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ตลอดการทดลอง

(5) ปรับค่า pH ของสารละลายธาตุอาหาร ทุก 2-3 วัน ให้อยู่ในช่วง 6.5-7.0 โดยใช้กรดไนตริก (HNO₃)

3.1.4 ข้อมูลที่ตรวจวัดและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1.4.1 วัดการเจริญเติบโตของปลาทั้งตัวโดยการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปลา โดยนำมาปลาใส่ในน้ำที่ผสมยาสลบ เมื่อปลาสลบ เริ่มชั่งน้ำหนักและวัดความยาว โดยเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง และสิ้นสุดการทดลอง

3.1.4.2 วัดการเจริญเติบโตของผักบุงจีนและผักโขมโดยการชั่งน้ำหนักรวมทั้งต้นและรากของผักบุงจีนและผักโขมจำนวน 100 ต้นต่อชนิดพืชต่อระบบ ทูกรอบการปลูก เพื่อหาผลผลิตผักรวมตลอดการทดลอง

3.1.4.3 วัดคุณภาพน้ำ โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำเวลาประมาณ 9.00-9.30 น. เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (หลังลงปลา 1 วัน) และทุกสัปดาห์จนถึงสิ้นสุดการทดลอง จุดที่เก็บน้ำคือ จากถังเลี้ยงปลา (ท่อน้ำเข้า) ท่อน้ำออกจากถังตกตะกอน ท่อน้ำออกจากถังชีวภาพ และท่อน้ำออกจากโต๊ะปลูกผักของแต่ละระบบ (ภาพที่ 3.1, 3.4 และ 3.8) วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำใช้ตามที่กำหนดใน APHP. (1992) โดยพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ (temperature) โดยเครื่องมือ min-max thermometer, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) โดยเครื่องมือ DO meter ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI9143, ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) โดยเครื่องมือ pH meter ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI9025, ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร (EC) โดยเครื่องมือ conductivity meter ยี่ห้อ TRUNCHEON ความเป็นด่าง (alkalinity) โดยวิธี titration method แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) โดยวิธี phenate method ไนไตรท์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) โดยวิธี colorimetric method ไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) โดยวิธี cadmium reduction method และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (SRP) โดยวิธี ascorbic method

3.1.4.4 ประสิทธิภาพของผักในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลา โดยการวัดปริมาณของแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสของน้ำตั้งต้นของแต่ละระบบ กับน้ำที่ผ่านออกจากระบบ เพื่อหาผลต่าง และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์

3.1.4.5 ความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลา โดยหาอัตราส่วนของจำนวนครั้งที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำต่อจำนวนครั้งที่วิเคราะห์น้ำ และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์

3.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลน้ำหนักและความยาวปลา น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบุงจีนและผักโขม ผลผลิตรวมของปลา, ผักบุงจีนและผักโขม คุณภาพน้ำ และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ มาวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในทางสถิติด้วยวิธี T-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3.2 การทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลาที่บ่มร่วมกับการปลูกผักบุ้งจีนโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT

3.2.1 การวางแผนการทดลอง

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3.2.2 วิธีการเตรียมการทดลอง

3.2.2.1 อุปกรณ์

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่มีการปรับปรุงส่วนประกอบของระบบดังนี้

(1) ถังตกตะกอน จากเดิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 1.0 เมตร เพิ่มความสูงของท่อเป็น 1.2 เมตร เพื่อป้องกันน้ำล้น เปลี่ยนขนาดของท่อ PVC ที่เชื่อมระหว่างถังตกตะกอนจากเดิม 3/4 นิ้ว เป็นขนาด 1 นิ้ว และออกแบบที่ทำความสะอาดท่อทางด้านบนของท่อ PVC ที่เชื่อม (ภาพที่ 3.13 ก.) เวลาในการถ่ายตะกอนจากเดิมทุก 4 ชั่วโมง เป็นเวลา 10 วินาที เปลี่ยนเป็นทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 20 วินาที เวลา 07.00, 13.00, 19.00 และ 01.00 น.

(2) ถังชีวภาพ จากเดิมเป็นถังที่มีฝาปิด ขนาด 0.37x0.30x0.10 ลูกบาศก์เมตร เปลี่ยนมาใช้ถังทำจากพลาสติกสีดำ ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.52 เมตร สูง 0.4 เมตร และเพิ่มปริมาณของใยกรอง และไบโอบอลจากเดิม 120 ลูก เป็น 250 ลูก (ภาพที่ 3.12ข.) และติดลูกลอยบริเวณท่อน้ำออกจากถังตกตะกอน เพื่อป้องกันน้ำล้นเมื่อเกิดการขัดข้องของไฟฟ้า

(3) ถังสารละลาย จากเดิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.52 เมตร สูง 0.4 เมตร เปลี่ยนให้มีขนาดใหญ่กว่าเดิม โดยใช้ถังขนาด 57x80x52 ลูกบาศก์เมตร

3.2.2.2 ระบบ Fish

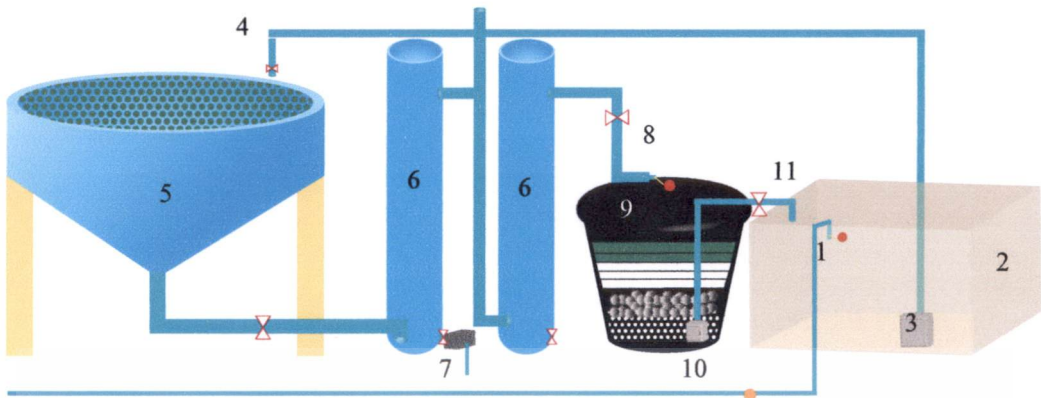
จัดตั้งระบบ Fish ดังแสดงในภาพที่ 3.15 ซึ่งประกอบด้วย

(1) ถังเลี้ยงปลา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 บริเวณกันถังมีตะแกรงสแตนเลสกันอยู่ และยกถังเลี้ยงปลาให้สูงขึ้นโดยใช้อิฐรองสูงประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มอัตราไหลของน้ำในระบบ

(2) ถังตกตะกอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 1.2 เมตร ทำจากท่อ PVC ด้านล่างของท่อบีฝาครอบปิด บริเวณช่วงล่างถึงมีวาล์วเปิด-ปิด เชื่อมต่อกับปั๊ม และเครื่องตั้งเวลาอัตโนมัติ เพื่อถ่ายตะกอน และใช้ท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว เป็นตัวเชื่อมระหว่างถังตกตะกอน (ภาพที่ 3.12 ก.)

(3) ถังกรองชีวภาพ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.52 เมตร สูง 0.4 เมตร ทำจากพลาสติกสีดำ ชั้นบนมีใยกรองหยาบ ชั้นกลางมีใยกรองละเอียด เพื่อกรองตะกอน ชั้นล่างใส่ไบโอบอลจำนวน 250 อัน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับแบคทีเรีย (ภาพที่ 3.12 ข.)

(4) ถังเก็บน้ำ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1



ภาพที่ 3.10 แบบจำลองของระบบการเลี้ยงปลาที่บึง

- หมายเหตุ :
- | | |
|-------------------|-------------------------------------|
| 1 = ท่อเติมน้ำ | 7 = ปั๊มถ่ายตะกอน |
| 2 = ถังเก็บน้ำ | 8 = ท่อน้ำออกจากถังตกตะกอน* |
| 3 = ปั๊มน้ำ | 9 = ถังกรองชีวภาพ |
| 4 = ท่อน้ำเข้า | 10 = ปั๊มน้ำ |
| 5 = ถังเลี้ยงปลา* | 11 = ท่อน้ำออก* |
| 6 = ถังตกตะกอน | * = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์ |



ภาพที่ 3.11 ระบบการเลี้ยงปลาที่บึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



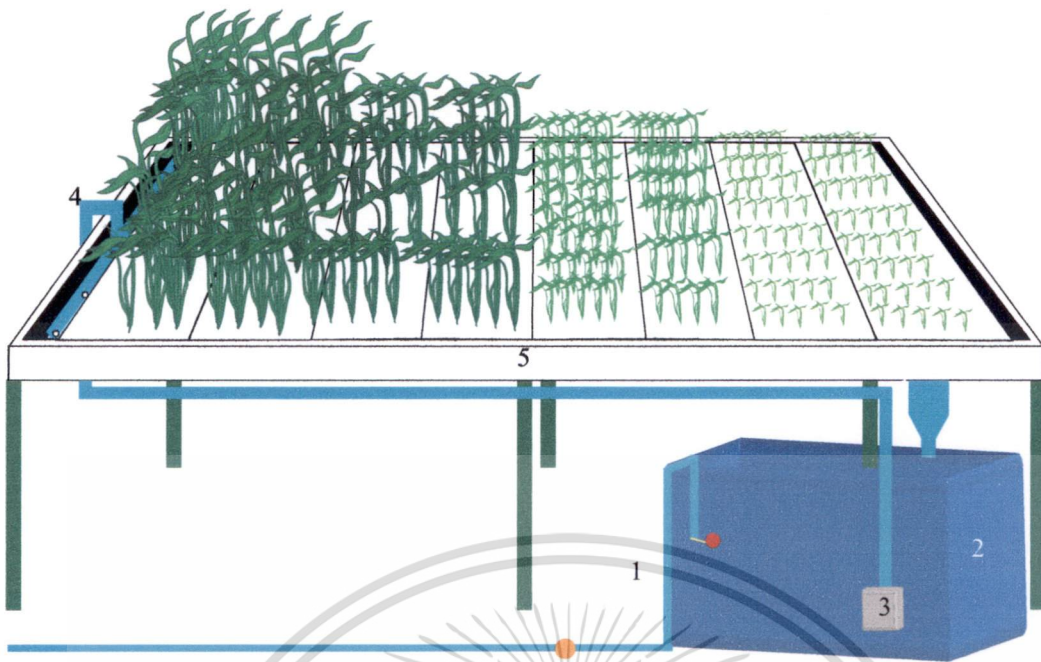
(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.12 ลักษณะของถังตกตะกอน (ก) และถังชีวภาพ (ข) ของระบบการเลี้ยงปลาที่บึงทิม

3.2.2.3 ระบบ DRFT

จัดตั้งระบบ DRFT ดังแสดงในภาพที่ 3.14, 3.15 ประกอบด้วย โตะปลูก, ถาดปลูกพืช และแผ่นปลูก เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 มีการเปลี่ยนถังสารละลายให้มีขนาดใหญ่กว่าเดิม โดยใช้ถังทำจากพลาสติกสีน้ำเงิน ขนาด 57x80x52 ลูกบาศก์เมตร ภายในมีปั๊มน้ำ เพื่อสูบน้ำกลับไปยังโตะปลูก และรองรับน้ำจากท่อน้ำเข้าซึ่งมีการติดลูกลอยเพื่อเป็นการเติมน้ำอัตโนมัติ และมีการติดมาตรวัดปริมาณน้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ใช้



ภาพที่ 3.13 แบบจำลองระบบ DRFT

หมายเหตุ : 1 = ท่อเติมน้ำ

2 = ถังเก็บน้ำ

3 = ป้อนน้ำ

4 = ท่อน้ำเข้า*

5 = โต๊ะปลูก

6 = ท่อน้ำออก*

* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์

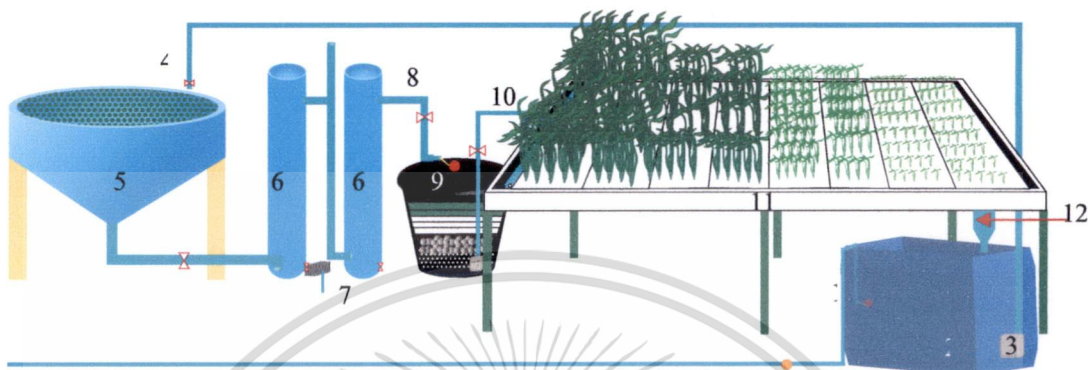


ภาพที่ 3.14 โต๊ะปลูกผักนึ่งจีนแบบไม่ใช้ดินระบบ DRFT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.4 ระบบ DRFT-Fish

จัดตั้งระบบ DRFT-Fish ดังแสดงในภาพที่ 3.15-3.17 ส่วนประกอบใช้ขนาดเช่นเดียวกับระบบ Fish และระบบ DRFT โดยส่วนของสารละลายที่ไหลผ่านถึงชีวภาพ จะถูกส่งต่อไปยังท่อน้ำเข้าของโตะปลูก และไหลไปยังถังสารละลายที่มีปั๊มน้ำอยู่ เพื่อสูบน้ำกลับไปยังถังเลี้ยงปลาอีกครั้ง



ภาพที่ 3.15 แบบจำลองระบบการเลี้ยงปลาที่รวมทั้งการปลูกผักบุ้งจีน โดยไม่ใช้ดินแบบ

DRFT

หมายเหตุ : 1 = ท่อเติมน้ำ

2 = ถังเก็บน้ำ

3 = ปั๊มน้ำ

4 = ท่อน้ำเข้า

5 = ถังเลี้ยงปลา*

6 = ถังตกตะกอน

7 = ปั๊มถ่ายตะกอน

8 = ท่อน้ำออกจากถังตกตะกอน*

9 = ถังกรองชีวภาพ

10 = ท่อน้ำเข้าโตะปลูกพืช*

11 = โตะปลูก

12 = ท่อน้ำออก*

* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์



ภาพที่ 3.16 ระบบ DRFT-Fish

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.17 ระบบกรองของระบบ DRFT-Fish

3.2.3 วิธีการทดลอง

3.2.3.1 การจัดการระบบการเลี้ยงปลา

(1) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่การถ่ายตะกอนจะทำงานอัตโนมัติทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 20 วินาที เวลา 07.00, 13.00, 19.00 และ 01.00 น.

3.2.3.2 การเตรียมกล้าฟักและการดูแล

(1) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และควบคุมค่า EC ให้มีค่าระหว่าง 1.2-1.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร การเตรียมกล้าจะเตรียมสัปดาห์ละ 1 ครั้ง จำนวน 150 ต้นต่อสัปดาห์

(2) เติมน้ำและเริ่มเปิดการทำงานของระบบให้มีการหมุนเวียนน้ำครบ 2 สัปดาห์ ก่อนย้ายปลุกกล้าฟัก

(3) เมื่อต้นกล้ามีรากโผล่ลงมาที่ด้านล่างฟองน้ำ ย้ายต้นกล้าที่แข็งแรงสมบูรณ์ดีลง โตะปลูก โดยเลือกกล้ามีขนาดและความสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน จำนวน 100 ต้นต่อสัปดาห์ อายุ แต่ละกลุ่มห่างกัน 1 สัปดาห์ เพื่อให้ระบบมีอายุผักสม่ำเสมอตลอดการทดลอง โดยจะย้ายปลุกฟัก ทุกสัปดาห์ แต่ละกลุ่มใช้เวลาในการเจริญเติบโตจนเก็บเกี่ยว 3 สัปดาห์

(4) ระหว่างการทดลองเติมน้ำละลายธาตุอาหาร ในระบบการปลูกผักน้ำ ควบคุม ให้ค่า EC ของสารละลายระหว่าง 1.2-1.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตลอดการทดลอง

(5) ปรับค่า pH ของสารละลายธาตุอาหาร ทุก 2-3 วัน ให้อยู่ในช่วง 6.5-7.0 โดยใช้ กรดไนตริก (HNO_3)

3.2.4 ข้อมูลที่ตรวจวัดและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

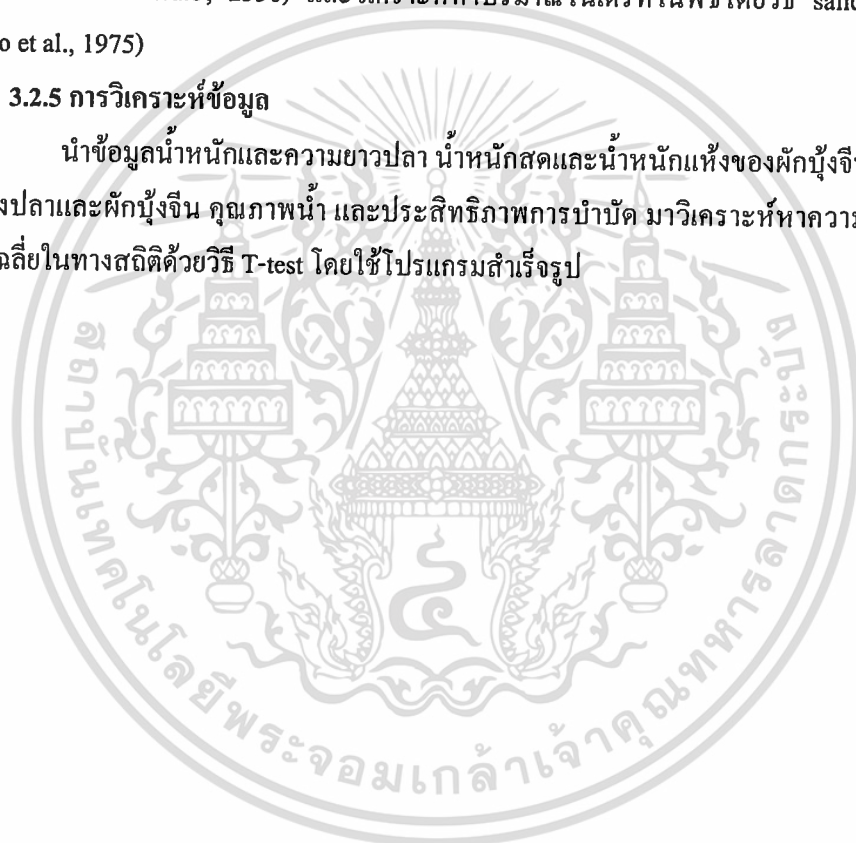
3.2.4.1 วัดการเจริญเติบโตของปลาทั้งตัวและผักนึ่งจีน คุณภาพน้ำ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3.2.4.2 ประสิทธิภาพของผักและความสม่ำเสมอในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3.2.4.3 วิเคราะห์พืชเพื่อหาไนโตรเจน (N) โดยการย่อยสลายวิธี Kjeldahl แล้วหา N โดยการกลั่น ส่วนธาตุอื่นๆ ทำการย่อยสลายพืชโดยวิธี acid mixture digestion นำไปวิเคราะห์หา ฟอสฟอรัส (P) ด้วยการทำให้เกิดสีโดยวิธี molybdate vanadate yellow color วิเคราะห์โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (ปรี่ดา พากเพียร์ และคณะ, 2536) และวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทในพืชโดยวิธี salicylic acid (Cataldo et al., 1975)

3.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลน้ำหนักและความยาวปลา น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักนึ่งจีน ผลผลิตรวมของปลาและผักนึ่งจีน คุณภาพน้ำ และประสิทธิภาพการบำบัด มาวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในทางสถิติด้วยวิธี T-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป



บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาชนิดผักที่เหมาะสมกับระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

แบบ DRFT

4.1.1 การเจริญเติบโตของปลาหับทิมและผักทดลอง

4.1.1.1 การเจริญเติบโตของปลาหับทิม

ปลาหับทิมที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เท่ากับ 399 และ 426 กรัมต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 245 และ 271 กรัมต่อตัว และความยาวเฉลี่ยของปลาหับทิม เท่ากับ 27.37 และ 28.56 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 การเจริญเติบโตของปลาหับทิมที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ค่าเฉลี่ยจาก 30 ตัว)

การเจริญเติบโต	ระบบ		T-test
	Fish	DRFT-Fish	
น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	399±21.00	426±12.40	ns
น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	245±14.85	271±6.57	ns
ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)	27.37±0.48	28.56±0.40	ns
ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	6.95±0.41	7.80±0.61	ns

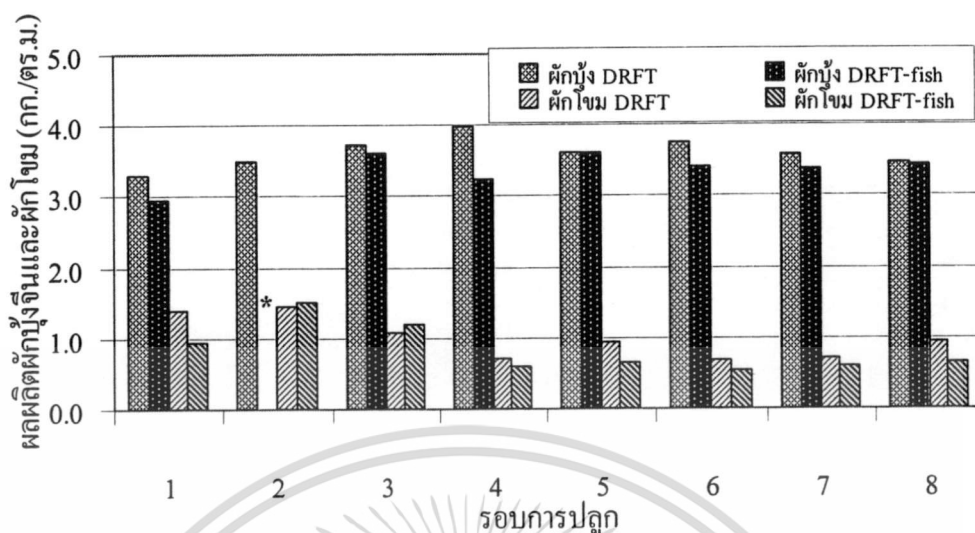
หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P>0.05$)

4.1.1.2 การเจริญเติบโตของผักทดลอง

ผลผลิตเฉลี่ยของผักบั้งจีน ที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 3.61 และ 3.38 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ผลผลิตรวมของผักบั้งจีนเท่ากับ 34.68 และ 28.40 กิโลกรัม (ตารางที่ 4.2) แนวโน้มของผลผลิตผักบั้งจีนของระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีน้ำหนักใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 4.1) แสดงให้เห็นว่าระบบ DRFT-Fish ไม่มีผลต่อน้ำหนักของผักบั้งจีน

ผลผลิตเฉลี่ยของผักโขม ที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 0.99 และ 0.84 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ผลผลิตรวมของผักโขมเท่ากับ 9.49 และ 8.02 กิโลกรัม (ตารางที่ 4.2) โดยแนวโน้มของ

ผลผลิตของผักนึ่งจิ้นในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณลดลงเล็กน้อยในรอบการปลูกที่ 4 และครั้งที่จนถึงสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ของผักนึ่งจิ้นและผักโขมที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish (รอบการปลูกคละน้ำ 21 วัน)

หมายเหตุ : 1 รอบการปลูกผักนึ่งจิ้นและผักโขมเท่ากับ 21 วัน

: * = สัปดาห์ที่ 2 ผักนึ่งจิ้นที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish ไม่สามารถชั่งน้ำหนักได้ เนื่องจากเกิดความเสียหายจากการ โดนหนูกัด

ตารางที่ 4.2 ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่และผลผลิตรวมของผักนึ่งจิ้นและผักโขมที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

ระบบ	ผลผลิตเฉลี่ย (กก./พื้นที่) ¹		ผลผลิตรวมทั้งหมด (กก.)	
	ผักนึ่งจิ้น	ผักโขม	ผักนึ่งจิ้น	ผักโขม
DRFT	3.61±0.07	0.99±0.10	34.68 ²	9.49 ²
DRFT-fish	3.38±0.08	0.84±0.12	28.40 ³	8.02 ²
T-test	ns	ns	-	-

หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

¹ = ค่าเฉลี่ยจาก 8 รอบปลูก (รอบปลูกละ 100 ต้น) ต่อพื้นที่ 1 ตร.ม.

² = น้ำหนักรวมจาก 8 รอบปลูก

³ = น้ำหนักรวมจาก 7 รอบปลูก (ไม่สามารถชั่งน้ำหนักได้ ในสัปดาห์ที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าผักโขมในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีการเจริญเติบโตแตกต่างไปจากปกติ คือ มีน้ำหนักเฉลี่ยเพียง 0.84-0.99 กก.ต่อตารางเมตร ลักษณะใบเหลือง และต้นแคระแกร็น ต่างจากระบบปลูกที่ฟาร์มทั่วไปที่มีน้ำหนักประมาณ 2.03-2.36 กก.ต่อตารางเมตร (เรไร นันทนาวัฒน์, 2550) ในการทดลองนี้ควบคุมค่า EC ให้อยู่ในช่วง 1.2-1.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร สอดคล้องกับ Caruthers (1998) ที่กล่าวว่าค่า EC ที่เหมาะสมของผักโขม คือ 1.4-1.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร แต่พบว่าผักโขมเจริญเติบโตได้ไม่ดี แสดงว่าผักโขมต้องการธาตุอาหารปริมาณมากขึ้น จึงควรเพิ่มค่า EC ซึ่งสอดคล้องกับ อวิศา สงครามยศ (2548) ที่กล่าวว่าค่า EC ที่เหมาะสมของผักโขม คือ 2.0-2.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ดังนั้นน้ำจากการเลี้ยงปลาจึงไม่เหมาะสมกับการใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการปลูกผักโขม เพราะน้ำจากการเลี้ยงปลามีปริมาณธาตุอาหารในปริมาณน้อย ถึงแม้ว่าจะมีการเติมสารละลายธาตุอาหาร ขณะที่น้ำหนักเฉลี่ยผักนึ่งจิ้นในระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 3.38 กก.ต่อตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับระบบปลูกที่ฟาร์มทั่วไปมีน้ำหนักประมาณ 2.70-3.04 กก.ต่อตารางเมตร (เรไร นันทนาวัฒน์, 2550) ซึ่งมีน้ำหนักใกล้เคียงกัน แสดงว่าผักนึ่งจิ้นสามารถเจริญเติบโตได้ดีในระบบการปลูกที่รวมกับการเลี้ยงปลา

4.1.2 คุณภาพน้ำ

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทั้ง 3 ระบบ พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย(EC), ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(DO), ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ(pH), ความเป็นด่าง(alkalinity), แอมโมเนีย(total ammonia nitrogen), ไนไตรท์(nitrite nitrogen), ไนเตรท(nitrate nitrogen) และฟอสฟอรัส (orthophosphate) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($P < 0.05$) ส่วนอุณหภูมิของน้ำ (temperature) ไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 3 ระบบ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.3)

4.1.2.1 อุณหภูมิของน้ำ (temperature) พบว่า อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 24.45, 24.96 และ 25.02 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)

4.1.2.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 6.68, 5.43 และ 5.89 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในระบบ DRFT-Fish มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันกับ ระบบ DRFT และระบบ Fish แต่มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า ระบบ DRFT เนื่องจากระบบ DRFT-Fish และระบบ Fish มีการทำงานของกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยแบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจนในการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และเปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรท ทำให้ต้องมีการใช้ออกซิเจนปริมาณ ปริมาณออกซิเจนจึงลดลงเนื่องจากถูกใช้ในปริมาณ มาก (Timmons and Losordol, 1994)

4.1.2.3 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) พบว่าค่า pH เฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 6.80, 7.46 และ 7.14 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) โดยระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 6.2-6.8 เพื่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในสารละลายต่อพืช (ยงยุทธ โอสถสภา และคณะ, 2541) ดังนั้นระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish จึงมีค่า pH ต่ำกว่าระบบ Fish ซึ่งไม่มีการปรับค่า pH

4.1.2.4 การนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร (electrical conductivity ; EC) พบว่าค่า EC เฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 1.32, 0.48 และ 1.16 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีการเติมสารละลายธาตุอาหาร ให้อยู่ในช่วง 1.2-1.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เพื่อความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (ดิเรก ทองอร่าม, 2544) ดังนั้นระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish จึงมีค่า EC สูงกว่าในระบบ Fish ซึ่งไม่มีการเติมสารละลายธาตุอาหาร แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเป็นระบบปิด ดังนั้นทำให้เกิดการสะสมของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของปลาและเกลือแร่ต่างๆ ที่อยู่ในอาหารปลาทำให้ค่า EC สูงขึ้น

4.1.2.5 ความเป็นด่าง (alkalinity) พบว่า ความเป็นด่างเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 14.88, 28.22 และ 25.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่งค่าความเป็นด่างลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากความเป็นด่างที่อยู่ในรูปไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนตเป็นธาตุอาหารของแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิงที่ใช้ในการผลิตเซลล์ (Timmons and Losordol, 1994) แบคทีเรียจะกำจัดแอมโมเนียด้วยไบคาร์บอเนตจนหมด เป็นสาเหตุให้ค่าความเป็นด่างในน้ำลดลงในเวลาต่อมา แต่ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีการเติมน้ำเพิ่มเติมส่วนที่หายไป ทั้งจากการระเหย น้ำล้น หรือเปลี่ยนน้ำในปริมาณที่มากกว่าระบบ DRFT จึงทำให้ค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

4.1.2.6 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (total ammonia nitrogen) พบว่า ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยในระบบ DRFT, Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 0.34, 1.90 และ 3.41 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) จากการทดลองพบว่าระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าระบบ DRFT โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 1 หลังจากลงปลาระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณแอมโมเนียสูงถึง 10.68 และ 6.69 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเริ่มมีกระบวนการกินอาหาร การหายใจ การขับถ่าย และการย่อยอาหารของปลา ทำให้มีปริมาณแอมโมเนียในน้ำเพิ่มขึ้น (Quillert et al., 1993) ในขณะที่ปริมาณแบคทีเรียยังคงมีปริมาณน้อยอยู่ ทำให้เกิดกระบวนการออกซิโดซ์แอมโมเนียช้า สะสมอยู่ในระบบ แต่จะมีปริมาณลดลงเมื่อมีปริมาณของแบคทีเรียเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.10 พิสัยและค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำในระบบ DRFT, Fish และ DRFT-Fish ตลอดการทดลอง

คุณภาพน้ำ	DRFT		Fish		DRFT-Fish	
	พิสัย	เฉลี่ย	พิสัย	เฉลี่ย	พิสัย	เฉลี่ย
อุณหภูมิของน้ำ (°C)	21.0-27.5	24.45±0.49 ^a	22.3-27.8	24.96±0.47 ^a	22.3-27.8	25.02±0.45 ^a
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/L)	5.25-8.13	6.68±0.29 ^a	3.78-8.11	5.43±0.40 ^b	4.64-8.12	5.89±0.32 ^{ab}
ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ	5.76-7.61	6.80±0.18 ^c	6.55-7.92	7.46±0.11 ^a	6.32-7.83	7.14±0.12 ^b
ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	0.33-2.02	1.32±0.16 ^a	0.35-0.71	0.48±0.03 ^b	0.47-1.79	1.16±0.14 ^a
ค่าความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ /L)	2.0-36.0	14.88±3.12 ^b	16.0-52.0	28.22±3.55 ^a	9.0-57.0	25.89±3.48 ^a
แอมโมเนียทั้งหมด (mg/L)	0.05-2.11	0.34±0.18 ^b	0.33-10.68	1.90±0.65 ^a	0.83-6.69	3.41±0.67 ^a
ไนไตรท์ (mg/L)	0.004-0.07	0.02±0.01 ^b	0.22-9.23	1.79±0.67 ^a	0.78-6.00	3.38±0.52 ^a
ไนเตรท (mg/L)	6.61-394.80	178.06±35.02 ^a	1.20-26.92	16.02±2.30 ^c	1.01-290.97	126.21±26.72 ^b
ฟอสฟอรัส (mg/L)	2.54-188.20	75.92±18.84 ^a	3.79-11.30	5.56±0.79 ^b	4.18-197.46	68.80±15.60 ^a

หมายเหตุ : อักษรที่แสดงต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

4.1.2.7 ปริมาณไนไตรท์ (nitrite nitrogen) พบว่า ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในระบบ DRFT, Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 0.02, 1.79 และ 3.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) จากการทดลองพบว่าระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไนไตรท์สูงกว่าระบบ DRFT เนื่องจากระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณแอมโมเนียสูง ซึ่งแอมโมเนียเป็นตัวตั้งต้นของการเปลี่ยนแปลงให้เป็นไนเตรท โดยไนไตรท์เป็นตัวกลางของกระบวนการ (Timmons and Losordol, 1994) ดังนั้นปริมาณไนไตรท์ในน้ำจึงมีปริมาณสูงเช่นกัน

4.1.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของฝักนึ่งจีนและฝักโขม

จากการศึกษาประสิทธิภาพของฝักนึ่งจีนและฝักโขมในการบำบัดน้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลาของระบบ DRFT-Fish พบว่าระบบ DRFT-Fish สามารถบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเฉลี่ยร้อยละ 11.65, 5.25, 16.79 และ 3.94 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4)

ความสม่ำเสมอของการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสในน้ำร้อยละ 75.00, 25.00, 58.33 และ 33.33 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเฉลี่ย (%) และความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำของ (%) ฝักนึ่งจีนและฝักโขมระบบ DRFT-Fish ตลอดการทดลอง

□	พิสัย	% การบำบัดน้ำ ¹	% ความสม่ำเสมอของการบำบัด
แอมโมเนีย	0.64-36.82	11.65±3.81	75.00
ไนไตรท์	2.08-7.89	5.25±1.70	25.00
ไนเตรท	0.15-73.97	16.79±9.61	58.33
ฟอสฟอรัส	0.65-11.08	3.94±2.41	33.33

หมายเหตุ : ¹ = ข้อมูลจากค่าเฉลี่ยสัปดาห์ที่มีการบำบัดตลอดการทดลอง 12 สัปดาห์

4.1.4 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

โครงสร้างของระบบ DRFT-Fish ในการทดลองที่ 1 มีปัญหาหลายจุดเริ่มจาก

4.2.5.1 จำนวนการถ่ายตะกอนของถังตกตะกอนทุก 4 ชั่วโมงเป็นเวลา 10 วินาที จำนวนครั้งค่อนข้างมาก แต่ตะกอนยังสะสมอยู่เพราะระยะเวลาในการดูดตะกอนแต่ละครั้งออกไปทำให้ตะกอนส่วนหนึ่งไหลไปยังถังชีวภาพและสะสมอยู่บนโต๊ะปลูก ปริมาณน้ำที่ต้องสูญเสียเนื่องจากการถ่ายตะกอนต่อวันมีปริมาตร 25 ลิตร ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงปรับปรุงเป็นตั้งเวลาอัตโนมัติ ทุก 6 ชั่วโมงครั้งละ 20 วินาที

4.2.5.2 การถ่ายตะกอน ปริมาณน้ำที่ต้องสูญเสีย 25 ลิตรต่อวัน ถือเป็น การถ่ายน้ำประจำวัน ช่วยลดปัญหาการสะสมของเกลือได้บางส่วน

4.2.5.3 ถึงชีวภาพ ขนาดของใยกรอง และจำนวนของไบโอบอลน้อยไป เนื่องจากพบตะกอนขนาดใหญ่จำนวนมากในรางบนโต๊ะปลูก และบริเวณรากพืชมีจำนวนมากเช่นเดิม และมีการสะสมของปริมาณไนโตรเจนสูง ดังนั้นในการทดลองที่ 2 เปลี่ยนขนาดของถังให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพิ่มปริมาณใยกรอง และไบโอบอล เพื่อช่วยลดปริมาณตะกอน และเพิ่มพื้นที่ผิวให้แบคทีเรีย

4.2.5.4 ระบบจะทำงานโดยใช้ปั๊มในการสูบน้ำเพื่อให้มีการไหลเวียนน้ำอยู่ตลอดเวลา เมื่อเกิดไฟดับระบบหยุด เนื่องจากปั๊มไม่ทำงานทำให้เกิดน้ำล้นออกจากระบบ ในการทดลองที่ 2 จึงมีการติดลูกกลอยที่ท่อของทางออกถึงตกตะกอน เพื่อช่วยลดปริมาณน้ำที่สูญเสียจากน้ำล้นได้

4.2.5.5 การปลูกผักเพื่อบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลาในการทดลองที่ 1 พบว่าผลผลิตผักบุ้งจีนในระบบ DRFT-Fish เมื่อเปรียบเทียบกับระบบปลูกที่ฟาร์มทั่วไปพบว่ามีน้ำหนักใกล้เคียงกัน แสดงว่าผักบุ้งจีนสามารถเจริญเติบโตได้ดี และทนต่อสภาพของคุณภาพน้ำ ทั้งในเรื่องของตะกอนที่เกาะอยู่บริเวณราก และปริมาณธาตุอาหารที่มีปริมาณต่ำ จึงเลือกผักบุ้งจีนเป็นผักทดลองในการทดลองที่ 2

4.2 การทดลองที่ 2 การเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักบุ้งจีนโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT

4.2.1 การเจริญเติบโตของปลาทับทิมและผักบุ้งจีน

4.2.1.1 การเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลาทับทิม

ปลาทับทิมที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เท่ากับ 227.5 และ 239.5 กรัมต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 148 และ 166 กรัมต่อตัว และความยาวเฉลี่ยของปลาทับทิม เท่ากับ 23.05 และ 23.97 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5)

อัตราการรอดของปลาทับทิมที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับร้อยละ 87.5 และ 62.5 โดยปลาทับทิมในระบบ DRFT-Fish มีอัตราการรอดน้อยกว่า เพราะช่วง 1 เดือนหลังจากปล่อยปลาลงถังเลี้ยง เกิดน้ำเป็นไขที่ผิวหน้า และมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำมาก (2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่งผลให้ปลาตายเป็นจำนวนมาก เนื่องจากในการทดลองนี้เลือกเลี้ยงปลานขนาดเล็ก ทำให้มีการปล่อยปริมาณแอมโมเนียออกมามากกว่าปลานขนาดใหญ่ (Ng. et al, 1993) เป็นสาเหตุให้ต้องใช้ ออกซิเจนปริมาณมาก เพื่อออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนเตรท ประกอบกับในช่วงสัปดาห์ที่ 4 อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (จาก 28 เป็น 32 องศาเซลเซียส) ทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำลดลง ในขณะที่ความต้องการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ทั้งจากการหายใจของปลา พืช และแบคทีเรีย

เมื่อมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอกับกระบวนการไนตริฟิเคชัน จึงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนีย และไนโตรที่ในระบบ เมื่อมีปริมาณแอมโมเนีย และไนโตรที่สูงมาก ส่งผลให้ปลาเกิดการระคายเคืองจึงขับเมือกออกมา และกินอาหารลดลง ทำให้อาหารเหลือจึงเกิดคราบไขมันจากอาหารลอยอยู่บริเวณผิวน้ำ เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนในน้ำลดลง หลังจากนั้นจึงถ่ายน้ำออกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำในระบบ และเพิ่มออกซิเจนบริเวณวางปลุกฟิชโดยการใส่หัวทราย (ภาพที่ 4.4) หลังจากนั้น 6 วันไข่ที่ฟิวน้ำจึงหายไป และปริมาณออกซิเจนในน้ำก็เพิ่มขึ้น ปริมาณแอมโมเนีย และไนโตรที่ลดลง

ตารางที่ 4.5 การเจริญเติบโตของปลาทับทิมที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ค่าเฉลี่ยจาก 40 ตัว)

การเจริญเติบโต	ระบบ		T-test
	Fish	DRFT-Fish	
น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	227.5±10.41	239.5±9.90	ns
น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	148±10.17	166±9.68	ns
ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)	23.05±0.42	23.97±0.32	ns
ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	7.38±0.51	8.43±0.56	ns
อัตราการรอด (%)	87.5	62.5	-

หมายเหตุ: ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P>0.05$)

4.2.1.2 การเจริญเติบโตของผักนึ่งจีน

ผักนึ่งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีน้ำหนักสดเฉลี่ย 14.20 และ 15.40 กรัมต่อต้นตามลำดับ และ น้ำหนักแห้งเฉลี่ย 2.70 และ 2.83 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ความยาวลำต้นเฉลี่ย 53.97 และ 52.60 เซนติเมตรต่อต้น ตามลำดับ

ในขณะที่ความยาวรากเฉลี่ยของผักนึ่งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยรากของผักนึ่งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT มีความยาว 28.80 เซนติเมตร ขณะที่ความยาวรากของผักนึ่งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish มีความยาวเพียง 23.17 เซนติเมตร การที่ความยาวรากของผักนึ่งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish สั้นกว่า อาจเป็นเพราะมีตะกอนเกาะบริเวณราก ทำให้อากผักนึ่งจีนได้รับออกซิเจนน้อย มีผลทำให้การดูดใช้แร่ธาตุลดลง ซึ่งทำให้รากเจริญไม่ดี และมีรากสั้น (ติเรก ทองอร่าม, 2547 ; นงนุช วงศ์สินชวัน, 2532)

ผลผลิตผักนึ่งจีนเฉลี่ยต่อพื้นที่ของระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.92 และ 5.15 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ และผลผลิตรวมตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ 47.20 และ 49.40 กิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) เมื่อดูข้อมูลผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ (ภาพที่ 4.12) พบว่าในสัปดาห์ที่ 5 แนวโน้มการเจริญเติบโตของผักนึ่งจีนลดลงทั้ง 2 ระบบ เนื่องจากในช่วง 1 สัปดาห์ก่อนเก็บผลผลิตมีฝนตกเกือบทั้งวันและทุกวัน ทำให้มีแดดน้อย จึงทำให้พืชเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ แต่โดยสรุปแล้วผักนึ่งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish มีผลผลิตต่อพื้นที่ใกล้เคียงกับระบบปลูกทั่วไป

แสดงว่าถ้าปรับระบบการปลูกให้เหมาะสม สามารถเลี้ยงปลาและปลูกผักร่วมกันได้ โดยที่ปลาและผักนึ่งจีนมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ เช่นเดียวกับระบบ Fish และระบบ DRFT

4.2.2 ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณไนโตรเจนในผักนึ่งจีน

4.2.2.1 ปริมาณธาตุอาหารในใบและลำต้นของผักนึ่งจีน

เมื่อพิจารณาดังตารางที่ 4.7 พบว่า มีปริมาณเฉลี่ยของไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ในผักนึ่งจีนของทั้ง 2 ระบบ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

ส่วนปริมาณเฉลี่ยของโพแทสเซียม (K) ในผักนึ่งจีนทั้ง 2 ระบบ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) ปริมาณแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยพบว่า ปริมาณโพแทสเซียม (K) ในระบบ DRFT-Fish มากกว่าระบบ DRFT และมีปริมาณแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) น้อยกว่าระบบ DRFT เนื่องจากการขับถ่ายของเสียจากปลา จะทำให้สารละลายมีการสะสมธาตุอาหารมากขึ้น โดยเฉพาะธาตุโพแทสเซียม (Seawright et al, 1998) จึงเป็นสาเหตุให้ผักมีการดูดใช้ K มากขึ้น ซึ่งเมื่อพืชมีการดูดใช้ K ปริมาณมากจะส่งผลให้พืชมีการดูดใช้ Ca และ Mg ปริมาณลดลง (ยงยุทธ โอสดสภา, 2543)

4.2.2.2 ปริมาณธาตุอาหารในรากผักนึ่งจีน

เมื่อพิจารณาดังตารางที่ 4.8 พบว่า ปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) และแมกนีเซียม (Mg) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างยิ่ง ($P>0.01$) โดยระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) สูงกว่าระบบ DRFT และมีปริมาณแคลเซียม (Ca) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) กับระบบ DRFT เนื่องจากการขับถ่ายของเสียจากปลา จะทำให้สารละลายมีการสะสมธาตุอาหารมากขึ้น โดยเฉพาะธาตุโพแทสเซียม (Seawright et al, 1998) จึงเป็นสาเหตุให้ผักมีการดูดใช้ K มากขึ้น ซึ่งเมื่อพืชมีการดูดใช้ K ปริมาณมากจะส่งผลให้พืชมีการดูดใช้ Ca และ Mg ปริมาณลดลง (ยงยุทธ โอสดสภา, 2543) และอาจเนื่องจากตะกอนบางส่วนที่เกาะบริเวณรากพืช ทำให้มีปริมาณธาตุอาหารในรากพืชของระบบ DRFT-Fish สูงกว่าระบบ DRFT โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

ตารางที่ 4.6 การเจริญเติบโตของผักนึ่งเงินที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

การเจริญเติบโต	ระบบ		T-test
	DRFT	DRFT-Fish	
น้ำหนักสดเฉลี่ย (กรัม/ต้น) ¹	14.20±0.58	15.40±0.78	ns
น้ำหนักแห้งเฉลี่ย (กรัม/ต้น) ¹	2.70±0.14	2.83±0.13	ns
ความยาวลำต้นเฉลี่ย (ซ.ม.) ¹	53.97±1.31	52.60±1.06	ns
น้ำหนักสดรากเฉลี่ย (กรัม/ต้น) ¹	2.74±0.17	3.30±0.15	*
น้ำหนักแห้งรากเฉลี่ย (กรัม/ต้น) ¹	0.94 ±0.02	1.00 ±0.04	ns
ความยาวรากเฉลี่ย (ซ.ม.) ¹	28.80±1.56	23.17±1.52	*
ผลผลิตเฉลี่ย (กก./ตร.ม.) ²	4.92±0.15	5.15±0.16	ns
ผลผลิตรวมตลอดการทดลอง (กก.) ³	46.72	46.59	-

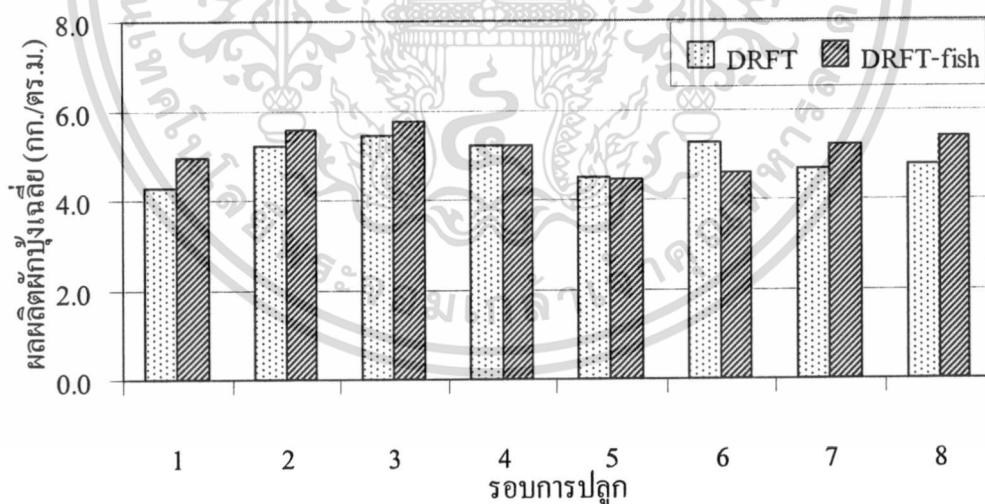
หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

* = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P<0.05)

¹ = ค่าเฉลี่ยจากข้อมูลผักนึ่งเงิน 40 ต้น (กลุ่ม 1 รอบปลูก/ครั้ง/5 ต้น) รวม 8 ครั้ง

² = ค่าเฉลี่ยจาก 8 รอบปลูก (รอบปลูกละ 100 ต้น) ต่อพื้นที่ 1 ตร.ม.

³ = คัดจากผลผลิตรวม 8 รอบปลูก



ภาพที่ 4.2 ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ของผักนึ่งเงินที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

หมายเหตุ : 1 รอบการปลูกผักนึ่งเงินเท่ากับ 24 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ปริมาณธาตุอาหารไนโบและกำด้นของผักบั้งจันที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
DRFT	4.47±0.09	0.51±0.01	6.04±0.82	1.49±0.14	0.32 ±0.02
DRFT-Fish	4.37±0.11	0.57±0.03	9.44±0.30	1.10±0.09	0.24 ±0.01
T-test	ns	ns	**	*	*

หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

* = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P<0.05)

** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (P<0.01)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณธาตุอาหารในรากผักบั้งจันที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
DRFT	0.28±0.10	0.43±0.02	2.48±0.32	0.50±0.04	0.39±0.02
DRFT-Fish	0.34±0.12	0.72±0.05	6.91±0.72	0.45±0.05	0.24±0.03
T-test	**	**	**	ns	**

หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

** = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (P<0.01)

4.2.2.3 ปริมาณไนเตรทในผักบั้งจัน

ระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไนเตรทในต้นผักบั้งจันโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 5196.75 และ 5101.24 mgNO₃/g FW ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) แสดงให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไม่มีผลต่อการสะสมปริมาณไนเตรทในผักบั้งจัน (ตารางที่ 4.9) ปริมาณไนเตรทในผักบั้งจันที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองนี้พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงกว่าการทดลองของ ออมทอง (2548) ที่วิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทในผักบั้งจันพบว่ามีค่าเฉลี่ย 3,919 mgNO₃/g FW (มิถุนายน ถึง กันยายน 2546) เนื่องจากช่วงเวลาที่ปลูกแตกต่างกัน ส่งผลต่อปริมาณการสะสมไนเตรทเช่นเดียวกัน โดยการทดลองนี้ทำการทดลองในช่วงที่มีฝนตก และมีปริมาณความเข้มแสงต่ำ (มีนาคม ถึง พฤษภาคม 2550) เป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งเสริมให้มีการสะสมปริมาณไนเตรทมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนเตรทระดับสูงสุดในพืชผักตามข้อบังคับของสหภาพยุโรปปี 2536 เช่น ผักสลัด (*Lactuca sativa* L.) กำหนดไว้ที่ 2,500-4,500 mgNO₃/g FW ปริมาณไนเตรทจะมีค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดพืช ระยะเวลา และสถานที่ เป็นต้น (ดิเรก ทองอร่าม. 2547) ถึงแม้ว่าในการทดลองนี้มีปริมาณไนเตรทเกินมาตรฐาน แต่ลักษณะการ

บริโภคผักของคนไทย ส่วนมากจะนำไปปรุงเป็นอาหารด้วยความร้อนก่อน (โดยการลวก ต้ม และ นึ่ง) ซึ่งความร้อนสามารถช่วยลดปริมาณไนเตรทได้ 40-60 เปอร์เซ็นต์ (สุวรรณา, 2547) สอดคล้องกับการทดลองของ ออมทอง (2548) ที่นำผักนึ่งไปต้ม พบว่าปริมาณไนเตรทลดลงจากเดิม 3,919 mgNO₃/g FW เหลือเพียง 3,049 mgNO₃/g FW

ตารางที่ 4.9 ปริมาณไนเตรทในผักนึ่งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish จากการอบ การปลูก 8 ครั้ง

ระบบ	ปริมาณไนเตรทในผักนึ่งจีนเฉลี่ย (mgNO ₃ /g FW)
DRFT	5194.7±276.9
DRFT-fish	5100.5±484.5
T-test	ns

หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

4.2.3 คุณภาพน้ำ

ผลการศึกษาคูณภาพน้ำทั้ง 3 ระบบ พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย(EC), ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(DO),แอมโมเนีย(total ammonia nitrogen), ไนไตรท์(nitrite nitrogen), ไนเตรท(nitrate nitrogen) และฟอสฟอรัส(phosphosphate) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ(P<0.05) ส่วน อุณหภูมิ (temperature) ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ(pH) และความเป็นด่าง(alkalinity) ไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 3 ระบบ(P>0.05) (ตารางที่ 4.10)

4.2.3.1 อุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ การนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร ปริมาณไนเตรท และปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ เป็นไปในทางเดียวกันกับการทดลองที่ 1

4.2.3.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 5.98, 5.53 และ 5.27 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) โดยระบบ DRFT-Fish มีปริมาณออกซิเจนต่ำในช่วงสัปดาห์ที่ 2-4 แต่หลังจากมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทำให้มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น มีค่าใกล้เคียงกับระบบ DRFT และระบบ Fish

4.2.3.3 ความเป็นด่าง (alkalinity) พบว่า ความเป็นด่างเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 32.38, 28.69 และ 34.54 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

4.2.3.4 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (total ammonia nitrogen) พบว่า ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ

0.08, 1.42 และ 2.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยระบบ DRFT-Fish ในสัปดาห์ที่ 4 มีปริมาณแอมโมเนียสูงมากถึง 19.88 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากในช่วงสัปดาห์ที่ 2-4 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงอย่างมากทำให้ปริมาณแอมโมเนียในโตรเจนทั้งหมดสะสมอยู่มาก และลดลงในสัปดาห์ต่อมา

4.2.3.5 ปริมาณไนไตรท์ (nitrite nitrogen) พบว่า ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 0.01, 0.83 และ 1.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยสูงสุด เนื่องจากระบบ DRFT-Fish มีปริมาณแอมโมเนียสูง ซึ่งแอมโมเนียเป็นตัวตั้งต้นของการเปลี่ยนแปลงให้เป็นไนเตรท โดยไนไตรท์เป็นตัวกลางของกระบวนการ (Timmons and Losordol, 1994) ดังนั้นในน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ จึงอาจมีปริมาณไนไตรท์สูงได้เช่นกัน ในสัปดาห์ที่ 3-5 มีปริมาณไนไตรท์เพิ่มขึ้นอย่างมาก (22.10-40.62 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่งผลกระทบให้สัปดาห์ที่ 4-6 มีปลาตายรวม 38.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงมีการถ่ายน้ำออกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรน้ำทั้งหมด ทำให้มีปริมาณไนไตรท์ลดลงอย่างรวดเร็ว

4.2.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของผักนึ่งจีน

จากการศึกษาประสิทธิภาพของผักนึ่งจีนในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลาของระบบ DRFT-Fish พบว่าระบบ DRFT-Fish สามารถบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเฉลี่ยร้อยละ 14.08, 5.77, 14.63 และ 3.20 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) และให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียจากการทดลองที่ 3 มีค่ามากที่สุดประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรท มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองที่ 1 และมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณความเข้มข้นที่บำบัดได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร) พบว่าในการทดลองที่ 3 สามารถบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ได้ปริมาณมากที่สุด (0.29, 0.86 และ 10.51 ตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองที่ 1 และ 2 และปริมาณการบำบัดฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในการทดลองที่ 3 (3.40 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองที่ 2 (3.77 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ความสม่ำเสมอของการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ ร้อยละ 61.53, 38.46, 92.31 และ 69.23 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบ DRFT-Fish มีความสม่ำเสมอของการบำบัดไนเตรทเพิ่มขึ้นจากการทดลองที่ 1 ซึ่งมีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นไนไตรท์ เนื่องจากปริมาณไนไตรท์จะมีค่าสูงในช่วงแรกของการบำบัดเท่านั้น จึงทำให้มีจำนวนสัปดาห์ที่บำบัดได้น้อย แสดงให้เห็นว่าการทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำดีที่สุด

ตารางที่ 4.17 พิสัยและค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำในระบบ DRFT, Fish และ DRFT-Fish ตลอดการทดลอง

คุณภาพน้ำ	DRFT		Fish		DRFT-Fish	
	พิสัย	เฉลี่ย	พิสัย	เฉลี่ย	พิสัย	เฉลี่ย
อุณหภูมิของน้ำ (°C)	25.5-32.0	27.38±0.45 ^a	26.0-32.5	27.77±0.44 ^a	27.0-32.0	27.96±0.37 ^a
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/L)	4.97-7.78	5.98±0.26 ^a	3.90-7.45	5.53±0.31 ^{ab}	2.25-7.32	5.27±0.27 ^b
ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ	5.94-7.81	7.12±0.17 ^a	6.65-7.93	7.23±0.13 ^a	6.30-7.66	7.10±0.15 ^a
ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	0.48-1.99	1.42±0.12 ^a	0.31-0.79	0.55±0.04 ^b	0.45-2.03	1.38±0.14 ^a
ค่าความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ /L)	4.0-53	32.38±4.01 ^a	15-67	28.69±3.43 ^a	11.0-65	34.54±4.22 ^a
แอมโมเนียทั้งหมด (mg/L)	0.01-0.33	0.08±0.01 ^b	0.03-5.97	1.42±0.26 ^a	0.01-19.88	2.61±0.79 ^a
ไนไตรท์ (mg/L)	0.002-0.05	0.01±0.001 ^b	0.01-18.35	0.83±0.28 ^a	0.20-43.10	1.75±0.90 ^a
ไนเตรท (mg/L)	0.97-172.97	99.92±13.72 ^a	0.13-34.55	15.74±3.83 ^b	1.30-166.88	102.18±12.86 ^a
ฟอสฟอรัส (mg/L)	1.75-126.87	117.77±7.74 ^a	0.27-97.25	22.29±9.34 ^b	2.39-221.59	121.34±11.47 ^a

หมายเหตุ : อักษรที่แสดงต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสในน้ำโดยเฉลี่ย (%) และความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำ (%) ของผักนึ่งจลินระบบ DRFT-Fish ตลอดจนการทดลอง

	พิสัย	% การบำบัดน้ำ ¹	% ความสม่ำเสมอของการบำบัด
แอมโมเนีย	3.95-27.42	14.08±2.82	61.54
ไนไตรท์	0.74-9.59	5.77±1.07	38.46
ไนเตรท	0.33-45.83	14.63±3.87	92.31
ฟอสฟอรัส	0.08-8.13	3.20±1.02	69.23

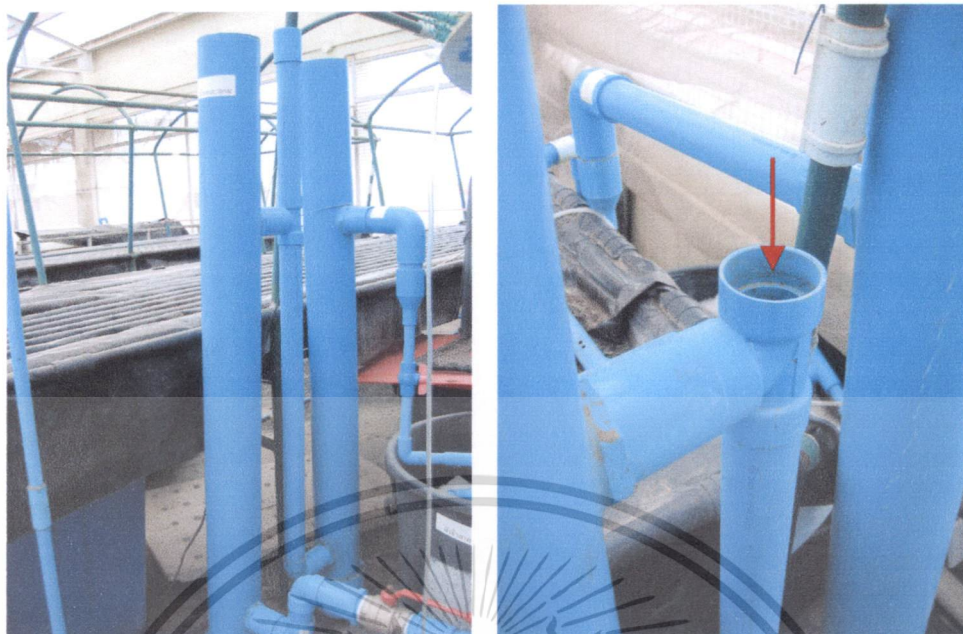
หมายเหตุ : ¹ = ข้อมูลจากค่าเฉลี่ยสัปดาห์ที่มีการบำบัดตลอดการทดลอง 13 สัปดาห์

4.2.5 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

4.2.5.1 ถังตกตะกอน หลังจากปรับปรุงบริเวณท่อต่อเชื่อมระหว่าง 2 ถัง ให้มีขนาดท่อ 1 นิ้ว ทำให้ไม่เกิดน้ำส้นออกทางด้านบนของถังตกตะกอนอีก และออกแบบให้สามารถเปิดด้านบนของท่อ PVC ที่เชื่อมระหว่างถังตกตะกอนทั้ง 2 ถังได้ เพื่อสะดวกต่อการทำความสะอาด และลดการเกาะของตะกอนบริเวณผิวด้านในของท่อ ซึ่งทำให้น้ำไหลผ่านอย่างสม่ำเสมอ และลดการอุดตันได้

4.2.5.2 จำนวนการถ่ายตะกอนของถังตกตะกอนที่ปรับให้ทำงานทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 20 วินาที เวลา 07.00, 13.00, 19.00 และ 01.00 น. พบว่าทำให้ตะกอนถูกกำจัดได้ในปริมาณมาก เนื่องจากมีช่วงเวลาของการตกตะกอน และมีจำนวนครั้งที่พอเหมาะกับการขับถ่ายของปลา ถึงเกิดผลได้จากปริมาณตะกอนที่ค้างอยู่บนรางปลูกพืชมีปริมาณลดลงอย่างมาก ปริมาณน้ำที่ต้องสูญเสียเนื่องจากการถ่ายตะกอนต่อวัน เท่ากับ 33.33 ลิตร สอดคล้องกับ Zweig (1986) กล่าวว่าตะกอนที่สะสมอยู่ในระบบ ควรมีการถ่ายออก 2 ถึง 3 ครั้งต่อวัน เนื่องจากเมื่อมีตะกอนสะสมปริมาณมาก จะเกิดการย่อยสลาย และดึงออกซิเจนจากปลาและพืชมาใช้ อีกทั้งยังทำให้อัตราการไหลของน้ำในระบบไหลช้า ตะกอนจะไปจับรากพืช และทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำ และธาตุอาหารลดลง

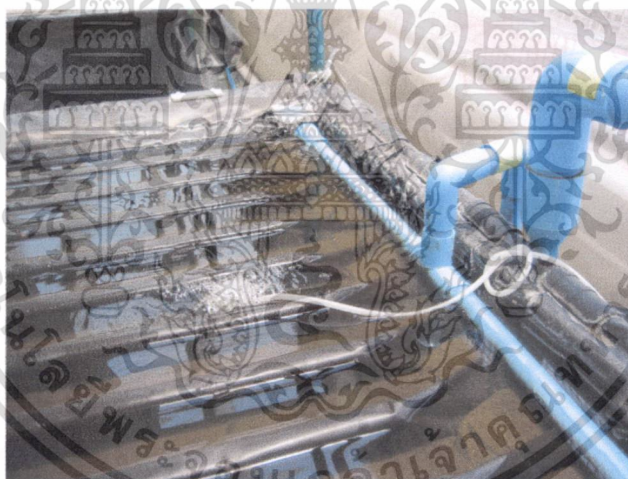
4.2.5.3 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไม่เพียงพอกับกระบวนการไนตริฟิเคชัน เนื่องจากการทดลองที่ 3 เลือกลีงปลาขนาดเล็กจึงมีการปล่อยปริมาณแอมโมเนียออกมามากกว่าปลาขนาดใหญ่ ทำให้ต้องใช้ปริมาณออกซิเจนปริมาณมากเพื่อออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนเตรท เมื่อมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอจึงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนีย และไนไตรท์ในระบบ จึงควรมีการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในระบบ โดยเฉพาะบริเวณถังชีวภาพ หรือ โตะปลูก (ภาพที่ 4.3) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันมากที่สุด



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.3 ลักษณะของถังตกตะกอน (ก) และท่อ PVC ที่เชื่อมระหว่างถัง (ข)



ภาพที่ 4.4 การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในโตะปลุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การเจริญเติบโตของปลาและพืช

การศึกษานิตผักที่เหมาะสมกับระบบการเลี้ยงปลาที่รวมทั้งการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT โดยเลี้ยงปลาที่รวมทั้งการปลูกผักนึ่งจีนและผักโขม พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองของปลาที่เลี้ยงในระบบ DRFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกับระบบ Fish น้ำหนักเฉลี่ยของผักนึ่งจีนและผักโขมระบบ DRFT-Fish พบว่าไม่มีความแตกต่างกับระบบ DRFT ผักนึ่งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish มีลักษณะของใบและลำต้นไม่แตกต่างกับระบบ DRFT ผลผลิตที่ได้มีปริมาณใกล้เคียงกับระบบเก็บเกี่ยวของระบบทั่วไป แต่ผักโขมที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish และระบบ DRFT มีลักษณะของใบและลำต้น แคระแกร็น ผลผลิตที่ได้มีปริมาณน้อยกว่าระบบเก็บเกี่ยวของระบบทั่วไป แสดงว่าผักนึ่งจีนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในระบบการเลี้ยงปลาที่รวมทั้งการปลูกพืช จึงเลือกผักนึ่งจีนเป็นผักทดลองในการทดลองที่ 2

ระบบการเลี้ยงปลาที่รวมทั้งการปลูกผักนึ่งจีนโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองของปลาที่เลี้ยงในระบบ DRFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกับระบบ Fish น้ำหนักเฉลี่ยของผักนึ่งจีนระบบ DRFT-Fish พบว่าไม่มีความแตกต่างกับระบบ DRFT แต่ความยาวรากเฉลี่ยของผักนึ่งที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish พบว่ามีความแตกต่างกับระบบ DRFT โดยระบบ DRFT-Fish มีความยาวรากสั้นกว่าระบบ DRFT

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของระบบการเลี้ยงปลาที่รวมทั้งการปลูกผัก

การพัฒนาแบบที่ 2 การทดลอง พบว่าส่วนประกอบของระบบในการทดลองที่ 2 (ระบบการเลี้ยงปลาที่รวมทั้งการปลูกผักนึ่งโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT) มีประสิทธิภาพการบำบัดคุณภาพน้ำที่ดีที่สุด สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำได้ร้อยละ 14.08, 5.77, 14.63 และ 3.20 ตามลำดับ โดยที่การเจริญเติบโตของปลาและผักของทั้ง 3 ระบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และสามารถเจริญเติบโตได้ปกติ

จากการศึกษาระบบการเลี้ยงปลาที่รวมทั้งการปลูกผัก โดยการใช้ น้ำจากบ่อเลี้ยงปลาผสมกับสารละลายธาตุอาหารพืช เพื่อให้ผักบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาให้มีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้น และน้ำดังกล่าวสามารถนำกลับมาเลี้ยงปลาได้อีก พบว่าผักนึ่งจีนสามารถเจริญเติบโตที่รวมทั้งการเลี้ยงปลาที่รวมทั้งได้ แต่ต้องปรับองค์ประกอบของน้ำให้มีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดี และการเติมสารละลายธาตุอาหารในระบบ ต้องมีปริมาณที่ไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของปลาที่รวมทั้ง

ข้อเสนอแนะ

1. น้ำจากการเพาะเลี้ยงปลาไม่สามารถนำมาใช้ปลูกพืชได้โดยตรง จะต้องผ่านกระบวนการตกตะกอน กระบวนการทางชีวภาพ และมีการปรับองค์ประกอบของน้ำให้มีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชก่อนนำมาใช้ โดยเฉพาะจุลธาตุอาหารที่มีปริมาณน้อยในน้ำ
2. เพื่อลดปัญหาการสะสมของเกลือในสารละลายธาตุอาหาร เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำต่อเนื่องเป็นเวลานาน ต้องมีการถ่ายตะกอนและน้ำออกจากระบบบางส่วน



เอกสารอ้างอิง

- ช่วยชูศรี ศรีภูมัยและจารุวรรณ สมศิริ. 2525. “พืชเนียบปล้นของแอมโมเนียและไนโตรที่ที่มีผลต่อปลาควักค้ำน.” วารสารการประมง. 35(4) : 373-378.
- ดิเรก ทองอร่าม. 2547. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการจัดการการผลิต และเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.
- นงนุช เลหาะวิสุทธิ์. 2544. “ระบบการเลี้ยงปลาช่วยจามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดินในระบบปิด.” วารสารเกษตรการเกษตร. 25(7) : 205-215.
- นงนุช วงศ์สินช้วน. 2532. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. ภูเก็ต : วิทยาลัยชุมชนภูเก็ต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. เขตการศึกษาภูเก็ต.
- นันทิมา สุทธิวรรณกุล. 2546. “ผลของการปลูกพรรณไม้น้ำร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบต่างๆ ที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปฐพีวิทยา บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นิพนธ์ ไชยมงคล. 2550. “การปลูกพืชไร้ดิน.” [Online].
Available : <http://www.agric-prod.mju.ac.th/web-veg/hydroponic/hydroponics.pdf>
- ปรีดา พากเพียร, พิษิต พงษ์สกุล และวิศิษฐ์ โชติสกุล. 2536. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.
- มันสิน ตันฑกุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ เล่มที่ 1 การจัดการคุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2530. เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อการคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2532. การควบคุมคุณสมบัติของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง.
- ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และ จารุวรรณ สมศิริ. 2528. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับการวิจัยทางการประมง. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง.
- ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, เพิ่มศักดิ์ เฝิงมาก , พุทธ ส่องแสงจินดา, ศุภโชค สุวรรณมณี และวิชาญ ชูสุวรรณ. 2532 “การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำแบบพัฒนา.” เอกสารวิชาการฉบับที่ 10/2532. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสงขลา.

- ขงยุทธ โอสดสภา. 2543. ธาตุอาหารพืช. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ขงยุทธ โอสดสภา และคณะ. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เรไร นันทนาวัฒน์ ให้สัมภาษณ์, 1 ตุลาคม 2550. ภววรรณตรี สมบุญโต ผู้สัมภาษณ์. ผลผลิตของผักในระบบ DRFT จาก Higreen Hydroponics Farm. ทางโทรศัพท์.
- วรางคณา กาซั่ม. 2545. “การศึกษาแนวโน้มประสิทธิภาพของระบบการปลูกใบพายศรีลังกาและ อเมซอนแบบไร้ดินร่วมกับการเลี้ยงปลาทองในระบบปิด.” ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สัจเทพ สุขแก้ว. 2544. “การเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกใบพายศรีลังกาแบบไร้ดินในระบบปิด.” ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง เทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุชาติ อิงธรรมจิตร์, โสภกา อารีรัตน์, ไพพรรณ เทียนทอง และเสาวคนธ์ วัลลีย์. 2534. “การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำ แผลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียในบ่อเลี้ยงปลา.” รายงานสัมมนาวิชาการประจำปี 2534. กรมประมง. 203-254.
- สุวรรณา เหลืองชลธาร. 2547. สารเคมีเจือปนในอาหาร. ภาควิชาเภสัชเคมี, คณะเภสัชศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- อวิศดา สงครามยศ, (ผู้รวบรวม) 2548. คู่มือการปลูกพืชไร้ดิน Hydroponics ในระบบ DRFT. ศูนย์เกษตรกรรมบางไทร จำกัด. กรุงเทพฯ : สยามสปอร์ต ซินดิเคท.
- ออมทอง อัสสานิก. 2548. “ผลของการนำผักไปปรุงอาหารด้วยความร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนเตรทในผัก.” ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาวิชาปฐพีวิทยา เทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2548. “การจัดการสารละลายธาตุอาหารพืชในระบบมีการนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่.” หน้า 33-47. ใน เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินรุ่นที่ 6. กรุงเทพฯ : คณะเทคโนโลยี การเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Anonymous. 1997. “The Freshwater Institute Natural Gas Powered Aquaponic System – Design Manual.” [Online]. Available : <http://www.aces.edu/dept/fisheries/education/documents/aquaponicsystem.pdf>
- Anonymous. 2002. “An Integrated Fish Culture and Vegetable Hydroponic Production System.” [Online]. Available : <http://rps.uvi.edu/AES/Aquaculture/aquaponics.html>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

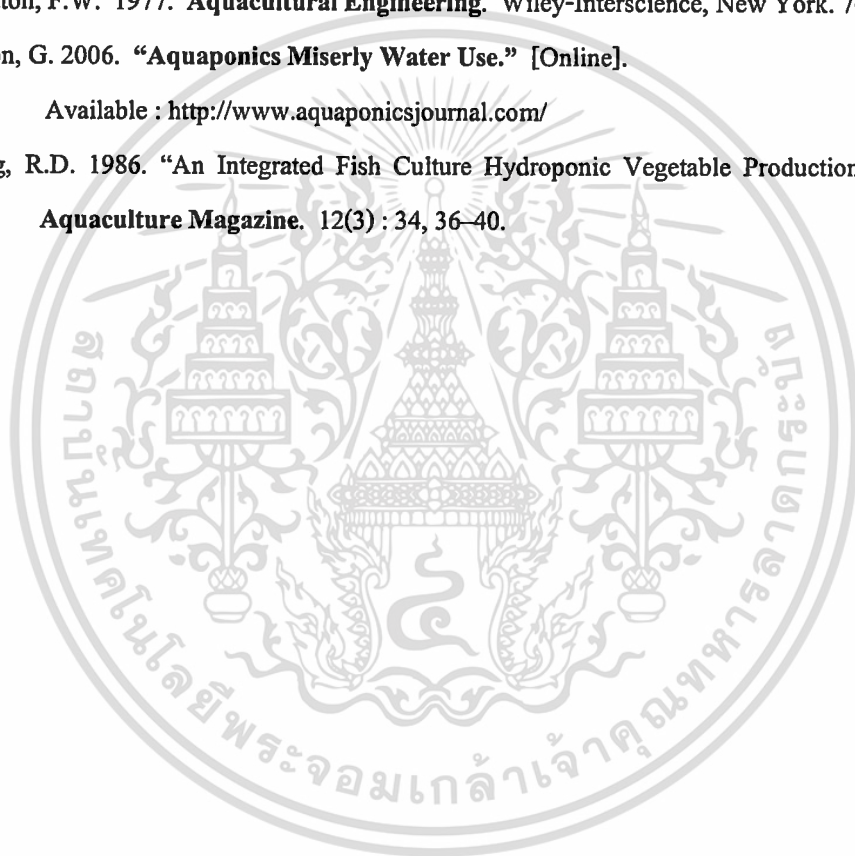
- Anonymous. 2003. **“Hydroponics.”** [Online]. Available :
<http://ns.yupparaj.ac.th/web2003/401-21/product1.html>.
- Anonymous. 2006a. **“Nitrifying Bacteria Facts.”** [Online].
 Available : <http://www.bioconlabs.com/nitribactfacts.html>.
- Anonymous. 2006b. **“Nitrifying Bacteria.”** [Online].
 Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Nitrifying_bacteria
- APHP. 1992. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 15th ed.
 Washington, D.C. : American Public Health Association.
- Balarin, J.D. and Hatton, J.P. 1979. **“Tilapia a Guide to Their Biology and Culture in Africa.”**
Aquatic Pathology. University of Stirling.
- Boyd, C.E. 1989. **Water Quality Management and American in Shrimp Farming.** Alabama :
 Auburn University.
- Carlos, L.R. 2006. **“Aquaponics in Guadalajara, Mexico.”** [Online]. Available :
<http://www.aquaponicsjournal.com/articleAquaponicsGuadalajara.htm>
- Carruthers, S. 1998. **“Aquaponics Simplified.”** [Online]. Available :
www.hydroponics.com.au/php/viewtopic.php?t=86
- Cataldo, D.A., Haroon, M., Schrader, L.E. and Youngs, V.L. 1975. **“Rapid Colorimetric
 Determination of Nitrate in Plant Tissue by Nitration of Salicylic Acid.”** **Commune.
 Soil Science and Plant Analysis.** 6(1) : 71-80.
- Douglass, J.S. 1976. **Advance Guide to Hydroponics.** Pelham Books, London.
- Ghaly, A.E., Kamal, M. and Mahmoud, N.S. 2005. **“Phytoremediation of Aquaculture
 Wastewater for Water Recycling and Production of Fish Feed.”** **Environment
 International.** 31(1) : 1-13.
- Hochheimer, J.N. 1990 . **Tricking Filter Model for Closed System Aquaculture.**
 Unpublished Ph.D. Dissertation. University of Maryland. College Park, Maryland.
- Joyner, D. 1992. **Aquaculture Effluent Regulation: State Regulatory Perspective.** ASAE
 Publication. 3 : 31-227.
- Kaiser, G.E. and Wheaton, F.W. 1983. **“Nitrification Filters for Aquatic culture System : state of
 the art.”** **Journal of the World Mari culture Society.** 14 : 302-324.
- Kehdi, N. 2005. **“Aquaponics : a perfect eco-system of plants and fish.”** [Online].
 Available : http://www.eurohydro.com/aquaponics_gb.pdf#search=%22aquaponic%22

- Lawson, T.B. 1995. "Recirculating Aquaculture System." **Aqua cultural Engineering**. Department of Biological Engineering Louisiana State University. 192-246.
- Lorenzen, B., Brix, H., Mendelssohn, I.A., McKee, K.L. and Miaod, S.L. 2001. "Growth, Biomass Allocation and Nutrient Use Efficiency in *Cladium jamaicense* and *Typhadomingensis* as Affected by Phosphorus and Oxygen Availability." **Aquatic Botany**. 70 (2001) : 117-133.
- Miao, X., Cui, S.R. and Miao, Z.W. 2002. "Utilization of Aquaculture Waste Water in Vegetable Hydroponic Production System." **Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering**. 18(5) : 131-133.
- Naegel, L.C.A. 1977. "Combined Production of Fish and Plants in Recirculating Water." **Aquaculture**. 10(1) : 17-24.
- Nagel, C.A. and Haworth, J.G. 1969. **Operational Factor Affecting Nitrification in the Activated Sludge Process**. Presented at the 42nd ed. Annual Conference of the Water Pollution Control Federation, Dallas, Texas.
- Nelson, R. 2006a. "Build a Mini Aquaponic System." [Online]. Available : <http://www.aquaponicsjournal.com/>
- Nelson, R. 2006b. "Crops Recommended for Aquaponics." [Online]. Available : <http://www.aquaponicsjournal.com/>
- Ng, W.J., Hho, K., Ong, S.L., Sim, T.S., Ho, J.M. and Tay, S.H. 1993. "Preliminary Estimation of Tropical Ornamental Fish Metabolite Production rates." **Aquaculture**. 110 : 263-269.
- Park, K.W., Chiang, H.M., Won, H.J., Jiang, H.K. 1995. "The effect of nutrient solution temperature on the absorption of water and minerals in leaf vegetables." **Journal of Korean Society for Horticultural Science**. 36(3)309-316.
- Quillert, I., Marie, D., Roux, L., Gosse, F. and Morot-Gaudry, J.F. 1993. "An Artificial Productive Ecosystem Based on a Fish/Bacteria/Plant Association. 1. Design and Management." **Agriculture, Ecosystems and Environment**. 47(1) : 13-30.
- Rafiee, G. and Saad, C.R. 2005. "Nutrient Cycle and Sludge Production During Different Stages of Red Tilapia (*Oreochromis* sp.) Growth in a Recirculating Aquaculture System." **Aquaculture**. 244(1-4) : 109-118.

- Rakocy, J.E. and Allison, R. 1981. **Evaluation of a Closed Recirculating System for the Culture of Tilapia and Aquatic Macrophytes.** In : Proceeding of the Bio-Engineering Symposium for Fish Culture, American Fisheries Society, Fish Culture Section Publication No.1, Bethesda. MD : 296-307.
- Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, R.C. and Thoman, E.S. 2004. **“Update on Tilapia and Vegetable Production in The UVI Aquaponic System.”** p. 676–690. In : **New Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Manila, Philippines.**[Online]. Available : <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/html>.
- Rakocy, J.E., Hargreaves, J.A. and Bailey, D.S. 1993. **Nutrient Accumulation in a Recirculating Aquaculture System Integrated with Hydroponic Vegetable Gardening.** Techniques for Modern Aquaculture, Proceedings Aquacultural Engineering Conference. American Society for Agricultural Engineers, St. Joseph, MI. 148–158.
- Rakocy, J.E., Losordo, T.M. and Masser, M.P. 1992. **Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Integrating Fish and Plant Culture.** SRAC Publication. Southern Region Aquaculture Center, Mississippi State University. 454 : 6.
- Raul, H.P. 2003. **“Reducing the Potential Environmental Impact of Tank Aquaculture Effluents Through Intensification and Recirculation.”** *Aquaculture*. 226 : 35-44.
- Resh, H.M. 1987. **Hydroponic Food Production.** Woodbridge Press Publishing Company.
- Sutton, R.J. and Lewis, W.M. 1982. **“Further Observation on Fish Production System That Incorporated Hydroponically Grown Plants.”** *Progressive Fish Culturist*. 44 (1) : 55-59.
- Takeda, F., Adler, P.R. and Glenn, D.M. 1997. **“Strawberry Production Linked to Aquaculture Wastewater Treatment.”** *Acta Horticulturae*. 439 : 673–678.
- Thomas, P. and Masser, M. 1999. **“Tilapia Life History and Biology.”** SRAC Publication. 283. [Online]. Available : <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/reports/FitzsimAmericas.pdf>.
- Timmons, M.B. and Losordol, T.M. 1994. **“Aquaculture Water Reuse system : Engineering Design and Management.”** *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*. 27 : 102-113.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- USEPA. 1975. "Process Design Manual for Nitrogen Control." US Environmental Protection Agency. Technology Transfer. Washington, D.C.
- Van Rijn, J., Yossi, T. and Schreier, H.J. 2006. "Denitrification in Recirculating Systems :Theory and Applications." *Aquacultural Engineering*. 34 : 364-376.
- Water Pollution Control Federation. 1983. *Nutrient Control, Manual of Practice*. FD-7. Washington, D.C.
- Watten, B.J. and Busch, R.L. 1984. "Tropical Production of Tilapia (*Sarotherodon aorea*) and Tomato (*Lycopersicon esculentum*) in a Small-Scale Recirculating Water System." *Aquaculture*. 41(3) : 271-283.
- Wheaton, F.W. 1977. *Aquacultural Engineering*. Wiley-Interscience, New York. 708
- Wilson, G. 2006. "Aquaponics Miserly Water Use." [Online].
Available : <http://www.aquaponicsjournal.com/>
- Zweig, R.D. 1986. "An Integrated Fish Culture Hydroponic Vegetable Production System." *Aquaculture Magazine*. 12(3) : 34, 36-40.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้