

การศึกษาความเป็นไปได้ของการเลี้ยงปลาที่บ่มร่วมกับ การปลูกผัก
โดยไม่ใช้ดินแบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT)

FEASIBILITY STUDY ON AQUAPONICS FOR
RED TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) AND VEGETABLE
IN DYNAMIC ROOT FLOATING TECHNIQUE (DRFT)

ภววรรณตรี สมบุญโต
PAWANTREE SOMBOONTOH

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปฐพีวิทยา

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL-2007-AC-M-071-088

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาความเป็นไปได้ของการเลี้ยงปลาที่บ่มร่วมกับการปลูกผัก
โดยไม่ใช้ดินแบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT)

FEASIBILITY STUDY ON AQUAPONICS FOR
RED TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) AND VEGETABLE
IN DYNAMIC ROOT FLOATING TECHNIQUE (DRFT)

ภววรรณตรี สมบุญโต

PAWANTREE SOMBOONTOH

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 76757
วัน,เดือน,ปี..... - 6 S.ค. 2550

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปฐพีวิทยา

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

KMITL-2007-AC-M-071-088

**FEASIBILITY STUDY ON AQUAPONICS FOR
RED TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) AND VEGETABLE IN
DYNAMIC ROOT FLOATING TECHNIQUE (DRFT)**

PAWANTREE SOMBOONTOH

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF AGRICULTURE IN SOIL SCIENCE
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

KMITL-2007-AC-M-071-088

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความเป็นไปได้ของการเลี้ยงปลาทับทิม (<i>Oreochromis niloticus</i>) ร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดิน แบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT)
ชื่อนักศึกษา	นางสาวภววรรณศรี สมบุญโต
รหัสนักศึกษา	48066004
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ปฐพีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อิทธิสุนทร นันทกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร.นงนุช เกาหะวิสุทธิ

บทคัดย่อ

ศึกษาและพัฒนาระบบการเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักแบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น พร้อมทั้งเพิ่มผลผลิตปลาและผัก โดยใช้ผักบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลาในระบบปิด เปรียบเทียบการเจริญเติบโตและคุณภาพน้ำของระบบการเลี้ยงปลาทับทิม, ระบบการปลูกผักแบบ DRFT และระบบการเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักแบบ DRFT จากการทดลองพบว่าสามารถพัฒนาระบบเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกผักแบบ DRFT ซึ่งประกอบด้วย 1) บ่อเลี้ยงปลาขนาด 500 ลิตร 2) ถังตกตะกอนทำจากท่อ PVC เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ถ่างตะกอนออกวันละ 4 ครั้งโดยอัตโนมัติ 3) ระบบกรองชีวภาพ ทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรท และ 4) ระบบปลูกผักในระบบ DRFT ขนาด 1.15x4.80 เมตรปลูกผักจำนวน 400 ต้น ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของระบบการเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักบึงจิ้นแบบ DRFT สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ ร้อยละ 14.08, 5.77, 14.63 และ 3.20 ตามลำดับ โดยที่การเจริญเติบโตของปลาและผักของทั้ง 3 ระบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ชนิดผักที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำคือผักบึงจิ้น และต้องมีการใส่ปุ๋ยในสารละลายให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของผักโดยที่ไม่เป็นอันตรายกับปลาทับทิม ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสม เท่ากับ 1.2-1.8 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อเซนติเมตร

Thesis Title	Feasibility Study on Aquaponics for Red Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) and Vegetable in Dynamic Root Floating Technique (DRFT)
Student	Miss Pawantree Somboontoh
Student ID	48066004
Degree	Master of Science
Program	Soil Science
Year	2007
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Itthisunthorn Nuntagij
Thesis Co Advisor	Assist. Prof. Dr. Nongnuch Laohavisuti

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.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ จากการให้คำปรึกษาในการออกแบบงานวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิทยานิพนธ์จาก รองศาสตราจารย์ ดร. อธิวิสุนทร นันทกิจ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นงนุช เลาหะวิสุทธิ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

กราบขอบคุณ ดร.อุมา แสงคร้าม ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำ และแก้ไขในการเขียนโครงร่างวิทยานิพนธ์

กราบขอบคุณ รศ.ดร.นันทวัฒน์ สุขก่าเนติ ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์โดยละเอียด

กราบขอบคุณ รศ.ดร.อภิศักดิ์ โพธิ์ปิ่น ที่สละเวลามาสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์

กราบขอบคุณ ผศ.ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล และ ผศ.สมเกียรติ สีสนอง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ และแก้ไขปัญหาต่างๆ ในการปฏิบัติการทดลอง

กราบขอบคุณ คณะอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้ คำปรึกษาในด้านการเรียน และการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ คุณบุปผา จงพิพัฒน์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับเครื่องมือ และสารเคมีในการวิเคราะห์น้ำ

ขอขอบคุณ พี่น้อย พี่นารี และน้ำจืดร เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพีวิทยา ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับเครื่องมือ และสารเคมีในการวิเคราะห์พืช

ขอขอบคุณ คุณมัลลิกา มิตรน้อย และเพื่อนปริญญาโทที่คอยช่วยเหลือ และแนะนำตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายขอขอบพระคุณ ร.ท.ปรีชา และคุณละเอียด อิ่มแสงรัตน์ และญาติพี่น้องที่เป็นกำลังใจ และสนับสนุนในทุกๆ เรื่องแก่ผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ภววรรณตรี สมบุญโต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 นิยามและความหมาย	3
2.2 การเลี้ยงปลาทับทิม (ปลานิลแดง)	4
2.3 การทำงานของระบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT)	5
2.4 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (aquaponic system)	6
2.5 การเจริญเติบโตของปลาและผลผลิตของพืชในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับ การปลูกพืช	11
2.6 การจัดการคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ ดิน	12
2.7 ประสิทธิภาพการใช้น้ำและการบำบัดน้ำของระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับ การปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน	21
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 การทดลองที่ 1 การเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT	23
3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาชนิดผักที่เหมาะสมกับระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับ การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การทดลองที่ 3 การเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักบุงเงินโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT.....	39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	
4.1 การทดลองที่ 1 การเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT.....	48
4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาชนิดผักที่เหมาะสมกับระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT.....	66
4.3 การทดลองที่ 3 การเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักบุงเงินโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT.....	78
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	93
บรรณานุกรม.....	95
ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก. สารละลายธาตุอาหาร.....	103
ภาคผนวก ข. โรงเรือนทดลอง.....	105
ภาคผนวก ค. วิธีการวิเคราะห์.....	107
ภาคผนวก ง. ประสิทธิภาพและความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำ.....	111
ภาคผนวก จ. ข้อมูลปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์.....	116
ประวัติผู้เขียน.....	118

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	8
2.2	15
2.3	19
4.1	48
4.2	49
4.3	51
4.4	52
4.5	53
4.6	56
4.7	62
4.8	66
4.11	67
4.10	70
4.11	76
4.12	78
4.13	80
4.14	81
4.15	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.16 ปริมาณไนเตรทในฝักบึงจันทน์ที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish จากการอบการปลูก 8 ครั้ง.....	83
4.17 พิสัยและค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำในระบบ DRFT, Fish และระบบ DRFT-Fish.	85
4.18 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ในไครท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเฉลี่ย (%) และความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำของฝักบึงจันทน์ระบบ DRFT-Fish ตลอดการทดลอง.....	91
ก.1 องค์ประกอบธาตุอาหารในสารละลายสูตร KMITL2 ปริมาณ 20 ลิตร.....	104
ง.1 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ในไครท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (%) ตลอดการทดลองที่ 1.....	114
ง.2 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ในไครท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (%) ตลอดการทดลองที่ 2.....	115
ง.3 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ในไครท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (%) ตลอดการทดลองที่ 3.....	116

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โต้ะปลูกพืชในระบบ DRFT.....	6
2.2 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (aquaponic system).....	7
3.1 แบบจำลองของระบบ Fish.....	25
3.2 ระบบการเลี้ยงปลาทับทิม.....	25
3.3 ถังกรองชีวภาพและถังเก็บน้ำ.....	26
3.4 แบบจำลองระบบ DRFT.....	27
3.5 โต้ะปลูกผักคะน้าแบบไม่ใช้ดินระบบ DRFT.....	27
3.6 ถาดปลูกที่ทำจากโฟมขึ้นรูปเป็นราง (ก) และแผ่นปลูก (ข).....	28
3.7 ถังสารละลายในระบบ DRFT.....	28
3.8 แบบจำลองระบบ DRFT-Fish.....	29
3.9 แบบจำลองของระบบ Fish.....	34
3.10 ระบบการเลี้ยงปลาทับทิม.....	34
3.11 ถังกรองชีวภาพและถังตกตะกอน (ก) ลักษณะของปั๊มดูดตะกอนที่เชื่อมต่อกับ วาล์วเปิด-ปิดของถังตกตะกอน (ข).....	35
3.12 แบบจำลองระบบ DRFT.....	36
3.13 โต้ะปลูกผักบุ้งจีนและผักโขมแบบไม่ใช้ดินระบบ DRFT.....	36
3.14 แบบจำลองระบบ DRFT-Fish.....	37
3.15 โต้ะปลูกผักบุ้งจีนและผักโขม (ก) และระบบกรอง (ข) ของระบบ DRFT-Fish....	38
3.16 แบบจำลองของระบบ Fish.....	41
3.17 ระบบการเลี้ยงปลาทับทิม.....	42
3.18 ลักษณะของถังตกตะกอน (ก) และถังชีวภาพ (ข) ของระบบการเลี้ยงปลาทับทิม ..	42
3.19 แบบจำลองระบบ DRFT.....	42
3.20 โต้ะปลูกผักบุ้งจีนแบบไม่ใช้ดินระบบ DRFT.....	43
3.21 แบบจำลองระบบ DRFT-Fish.....	44
3.22 ระบบ DRFT-Fish.....	44
3.23 ระบบกรองของระบบ DRFT-Fish.....	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1 ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ของคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish.	50
4.2 อาการเป็นพิษ (necrosis) ของใบคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish (ก), (ข).	50
4.3 ลักษณะรากคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT (ก) และระบบ DRFT-Fish (ข)	51
4.4 อุณหภูมิของน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.	57
4.5 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.	57
4.6 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.	58
4.7 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish	58
4.8 ความเป็นค่าในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish	59
4.9 ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish	59
4.10 ปริมาณไนโตรเจนในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish	60
4.11 ปริมาณไนเตรทในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish	60
4.12 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.	61
4.13 สัญลักษณ์บอกปริมาณน้ำในถังเลี้ยงปลาของระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.	63
4.14 ลักษณะด้านบนของถังตกตะกอนและทางเข้าท่อของระบบ DRFT-Fish.	64
4.15 บริเวณท่อ PVC เชื่อมระหว่างถังตกตะกอนทั้ง 2 ถัง.	64
4.16 ลักษณะของตะกอนในรางบนโต๊ะปลูกในระบบ DRFT-Fish.	65
4.17 ลักษณะของรากคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish.	65
4.18 ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ของผักบุ้งจีนและผักโขมที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์.	67
4.19 อุณหภูมิของน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.	71
4.20 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.	71
4.21 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.	72

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.22 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.....	72
4.23 ความเป็นค่า่งในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.....	73
4.24 ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดคในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish... ..	73
4.25 ปริมาณไนโตรที่ในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.....	74
4.26 ปริมาณไนเตรทในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.....	74
4.27 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.....	75
4.28 ลักษณะของตะกอนแขวนลอยบนถังชีวภาพในระบบ DRFT-Fish.....	77
4.29 ลักษณะของตะกอนในรางบนโต๊ะปลูกในระบบ DRFT-Fish.....	77
4.30 ผลผลิตพืชเฉลี่ยต่อพื้นที่ของผักบุงเงินที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์.....	80
4.31 อุณหภูมิของน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.....	86
4.32 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.....	86
4.33 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish... ..	87
4.34 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.....	87
4.35 ความเป็นค่า่งในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.....	88
4.36 ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดคในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish... ..	88
4.37 ปริมาณไนโตรที่ในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.....	89
4.38 ปริมาณไนเตรทในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.....	89
4.39 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish.....	90
4.40 ลักษณะของถังตกตะกอน (ก) และท่อ PVC ที่เชื่อมระหว่างถัง (ข).....	92
4.41 การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในโต๊ะปลูก.....	92

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

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

การเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (aquaponic) เกิดจากการทำงานร่วมกันของระบบการเลี้ยงปลา (aquaculture) และการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (hydroponic) ในระบบหมุนเวียนน้ำ ซึ่งการทำงานของทั้ง 2 ระบบมีความสัมพันธ์กัน โดยการเลี้ยงปลาจะมีการสะสมของแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช และระบบ hydroponic ก็เป็นระบบที่พืชสามารถนำธาตุอาหารจากสารละลายธาตุอาหารพืชไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง ดังนั้นแนวคิดการนำน้ำจากการเพาะเลี้ยงปลามาใช้ในการปลูกพืช นอกจากจะเป็นการใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารที่สะสมอยู่แล้ว ยังเป็นการบำบัดน้ำเพื่อให้มีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้นด้วย (Rakocy, J.E. et al. 2004) และเพื่อให้สอดคล้องกับความเหมาะสมของประเทศไทย จึงนำระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันมาปรับปรุง พัฒนาให้มีความเหมาะสมกับระบบ aquaponic ทั้งในเรื่องของการออกแบบระบบ การจัดการดูแลปลาและพืชให้มีคุณภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ การประหยัดน้ำในทางการเกษตร และเป็นการเพิ่มรายได้แก่ผู้เลี้ยงปลา โดยได้รายได้เสริมจากการปลูกพืชด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของผักที่ใช้ในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลา

1.2.2 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของปลาทั้งหมด และผักในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT)

1.2.3 เพื่อพัฒนาระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงและภาควิชาประมงวิทยา โรงเรียนทศทอง
ชั้น 5 อาคารเจ้าคุณทหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้
ระยะเวลาในการดำเนินการ มีนาคม 2549 ถึง พฤษภาคม 2550

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามและความหมาย

2.1.1 คะน้า

ชื่อสามัญ Kaailan หรือ Chinese kale เป็นพืชในตระกูล Brassicaceae (Cruciferae-Mustard family) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Brassica oleracea* Var. *alboglabra* เป็นผักที่นิยมปลูกและบริโภคกันมากทั่วทุกภาคของประเทศไทย เป็นผักที่ปลูกเพื่อบริโภคส่วนของใบและลำต้น คะน้าเป็นผักที่สามารถขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิดที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีความชื้นในดินสูง สม่ำเสมอ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินอยู่ในช่วง 5.5-6.8 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารอยู่ในช่วง 1.5-3.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร คะน้าสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิเฉลี่ย 20 องศาเซลเซียส และให้ผลผลิตเป็นที่น่าพอใจในสภาพอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นคะน้ายังสามารถทนทานต่อสภาพอุณหภูมิสูงได้ดี และต้องการแสงแดดเต็มที่ เป็นผักอายุ 2 ปี แต่ปลูกเป็นผักอายุปีเดียว อายุตั้งแต่หว่านหรือหยอดเมล็ดจนถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 45-55 วัน ผักคะน้าสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี แต่ช่วงเวลาที่ปลูกได้ผลดีที่สุดคืออยู่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเมษายน ผักคะน้ามีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปเอเชียและมีปลูกกันมากในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ประเทศจีน ฮองกง ใต้หวัน มาเลเซียและประเทศไทย ซึ่งชาวจีนเรียกคะน้าว่า ไก่หลันไซ่ (ประสิทธิ์ โนรี, 2550)

2.1.2 ผักโขมจีน

ชื่อสามัญ Asian Spinach หรือ Chinese Spinach เป็นพืชในตระกูล Amaranthaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Amaranthus tricolor* L. เป็นพืชล้มลุกปีเดียว ลำต้นตั้งตรงสีเขียว แตกกิ่งก้านสาขามากใบเป็นใบเดี่ยวรูปไข่คล้ายสามเหลี่ยม ใบออกแบบเรียงสลับ กว้าง 2.5-8.0 ซม. ยาว 3.5-12.0 ซม. ขอบใบเรียบ ดอกเป็นดอกช่อสีม่วงปนเขียวออกตามซอกใบ เมล็ดสีน้ำตาลเกือบดำ ใบจะมีขนาดใหญ่ ใบบาง ใบมีสีเขียวด้าน ๆ ไม้มัน ก้านจะโต มีขนอ่อนได้ใบ ผักโขมจีนเป็นผักที่ต้องการน้ำอย่างสม่ำเสมอ ถ้าขาดน้ำทำให้ลำต้นแกระแกรน ถ้าให้น้ำชุ่มชื้นสม่ำเสมอทำให้เจริญเติบโต มีลำต้นอวบ ผักโขมชนิดที่รับประทานเป็นผัก มีความต้องการดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ธาตุไนโตรเจน และโพแทสเซียม เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มี pH อยู่ในช่วง 6.0-6.5 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารอยู่ในช่วง 1.4-1.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เมล็ดจะงอกได้ดีในดินที่มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 18-24 องศาเซลเซียส

เพราะเป็นพืชฤดูร้อน (สุนทร คุริยะประพันธ์ และคณะ. 2530) มีการเจริญเติบโตเร็ว หลังจากหว่านเมล็ด 25 - 35 วัน ผักโขมจีนปลูกได้ตลอดปี

2.1.3 ผักบุ้งจีน

ชื่อสามัญ water convolvulus (water spinach) หรือ kang-kong เป็นพืชในตระกูล Convolvulaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ipomoea aquatica* Forsk. Var. *reptan* มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อน พบได้ทั่วไปในแอฟริกา และเอเชียเขตร้อนจนถึงมาเลเซียและออสเตรเลีย

ผักบุ้งจีนเป็นไม้ล้มลุก ในระยะแรกของการเจริญเติบโตจะมีลำต้นตั้งตรง ระยะต่อไปจะเลื้อยทอดยอดไปตามพื้นดินหรือน้ำ ลำต้นมีสีเขียว มีข้อและปล้องข้างในกลวง รากจะเกิดที่ข้อทุกข้อที่สัมผัสกับพื้นดินหรือน้ำ ที่ข้อมักมีตาแตกออกมา ทั้งตาใบและตาดอก โดยตาดอกจะอยู่ด้านใน ส่วนตาใบจะอยู่ด้านนอกใบ เป็นใบเดี่ยว มีขอบใบเรียบ รูปใบคล้ายหอก โคนใบกว้าง ค่อย ๆ เรียวเล็กไปตอนปลาย ปลายใบแหลม ที่โคนใบเป็นรูปหัวใจ ขอบใบเรียบหรือเป็นคลื่น ใบมีความยาวประมาณ 7-15 เซนติเมตร ก้านใบยาว 3-8 เซนติเมตร ลำต้นอวบ แต่ไม่ยาวเกินไป ความยาวมาตรฐาน ประมาณ 10-12 นิ้ว (วัดจากโคนถึงยอด) รากผักบุ้งจีนมีรากเป็นแบบรากแก้ว มีรากแขนง แดงออกทางด้านข้างของรากแก้ว และยังสามารถแตกรากฝอยออกมาจากข้อของลำต้น ผักบุ้งจีนใช้เวลาในการงอกเพียง 48 ชั่วโมง ระยะแรกของการเจริญเติบโตจะให้ลำต้นตั้งตรง หลังจากงอกได้ 5-7 วัน จะมีใบเลี้ยงโผล่ออกมา 2 ใบมีลักษณะปลายใบเป็นแฉกไม่เหมือนกับใบจริงเมื่อต้นโตในระยะสองสัปดาห์แรก จะมีการเจริญเติบโตทางลำต้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งอายุประมาณ 30-45 วันการเจริญเติบโตจะเปลี่ยนไปในทางทอดยอดและแตกกอ (เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนาและภัสรา ชวประดิษฐ์. 2539)

2.2 การเลี้ยงปลาทับทิม (ปลานิลแดง)

ลักษณะประจำพันธุ์ ลำตัวมีสีแดง ส้ม ชมพูหรือขาว ริมฝีปากเฉียงขึ้น บริเวณแก้มมีเกล็ด 3 แถว ครีบหางไม่มีลายตามขวางครีบหลังมีก้านครีบแข็ง 15-17 อัน และก้านครีบอ่อน 12-13 อัน เกล็ดบนเส้นข้างลำตัวมี 25-33 อัน เกล็ดรอบคอดหางมี 18-19 อัน ผนังช่องท้องเป็นสีขาว ผสมพันธุ์และวางไข่ได้ในน้ำจืด น้ำกร่อย และทะเล ความเค็มตั้งแต่ 0-25 ppt. ลักษณะของไข่ การฟักไข่และพัฒนาการของไข่และตัวอ่อนเช่นเดียวกับปลานิล เจริญเติบโตได้ในน้ำความเค็มตั้งแต่ 0-35 ppt.

ปลาทับทิมเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย มีความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมสูงกว่าปลาทั่วไป ในฟาร์มปลาน้ำจืด เช่น สามารถทนต่อความเค็มในช่วง 10-15 ppt. อุณหภูมิที่สูง 28.3-31.1 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำถึง 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร pH ของน้ำที่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ในช่วง 5-10 นอกจากนี้ยังสามารถเติบโตได้ในสภาวะที่มีความเข้มข้น

ของอัลไออินซ์แอมโมเนียถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไนโตรเจน 27 มิลลิกรัมต่อลิตร (Thomas and Masser. 1999) อัตราการปล่อยปลาทับบิมในกระชัง ปลาขนาด 50-100 กรัม ปล่อยในอัตราความหนาแน่น 50-120 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร โดยขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำที่เลี้ยง ใช้เวลาเลี้ยง 75-90 วัน จะได้ปลาขนาด 2-3 ตัวต่อกิโลกรัม (ทองพูล พรรณโพธิ์ และอัมพาคำวงษา. 2543) ปลาทับบิมเป็นสินค้าที่มีการส่งออกไปยังประเทศต่างๆ ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศญี่ปุ่น ประเทศออสเตรเลีย เป็นต้น ซึ่งปริมาณการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศมีปริมาณปีละ 300-1,000 ตัน (อดิษฐ์ กฤษณวงษ์. 2543) ราคาขายที่สะพานปลากรุงเทพ ประจำเดือนกันยายน ปี 2550 เท่ากับ 30-50 บาทต่อกิโลกรัม (ตลาดกลางสินค้าเกษตรแห่งประเทศไทย. 2007 ; องค์การสะพานปลา. 2007) ปลาทับบิมจึงเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่นิยมเลี้ยงเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน

2.3 การทำงานของระบบ Dynamic Root Floating Technique (DRFT)

การทำงานของ DRFT คือ การปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชและอากาศไหลผ่านรากพืชในระดับลึกอย่างต่อเนื่องในถาดปลูก ระบบปลูกแบบ DRFT นี้ พัฒนาเพิ่มเติมจากแบบที่นิยมใช้กันในประเทศได้หวัน ซึ่งพัฒนามาจากระบบ Deep Flow Technique (DFT) แต่เพิ่มการไหลเวียนของอากาศและสารอาหาร ที่พื้นของถาดปลูกจะถูกออกแบบให้เป็นร่องและมีอุปกรณ์สำหรับปรับระดับสารอาหารในถาดปลูกพืชตามอายุของพืช เพื่อให้รากพืชลอยอยู่ในอากาศและสารละลายธาตุอาหารพืช อุปกรณ์นี้จะมีรูให้สารละลายธาตุอาหารไหลลงสู่ถังสารละลายธาตุอาหารข้างล่าง ซึ่งปกติถังนี้มักจะวางอยู่ต่ำกว่าถาดปลูก หรือฝังดินใต้ถาดปลูก (ภาพที่ 2.1) จากนั้นสารละลายธาตุอาหารจะถูกส่งขึ้นไปยังถาดปลูกพืชที่อยู่ข้างบนแบบหมุนเวียนเป็นระยะๆ โดยใช้ปั๊มน้ำ บนถาดปลูกด้านต้นทางที่สารละลายไหลขึ้นจะมีอุปกรณ์สำหรับเพิ่มอากาศให้กับสารละลายธาตุอาหารพืช ก่อนที่จะไหลวนผ่านรากพืชกลับลงสู่ถังใต้สารละลายข้างล่างที่อยู่ด้านล่างของถาดปลูก และตรงจุดที่สารละลายจะไหลลงนี้ จะไหลผ่านอุปกรณ์สำหรับปรับระดับของสารละลายในถาดปลูกที่ปรับได้ตามการเจริญเติบโตของพืช (อวิศดา สงครามยศ. 2548)



ภาพที่ 2.1 โต๊ะปลูกพืชในระบบ DRFT

2.4 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (aquaponic system)

ระบบ aquaponic เกิดจากการรวมของระบบการเลี้ยงปลา (aquaculture) ร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (hydroponic) ระบบ aquaponic ปัจจุบันเป็นที่นิยมอย่างมากในต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศที่มีปริมาณน้ำใช้อย่างจำกัด หรือมีเนื้อที่ในการเพาะปลูกจำกัด เช่น อเมริกา แคนาดา ออสเตรเลีย (Wilson. 2006) เม็กซิโก (Carlos. 2006) เป็นต้น

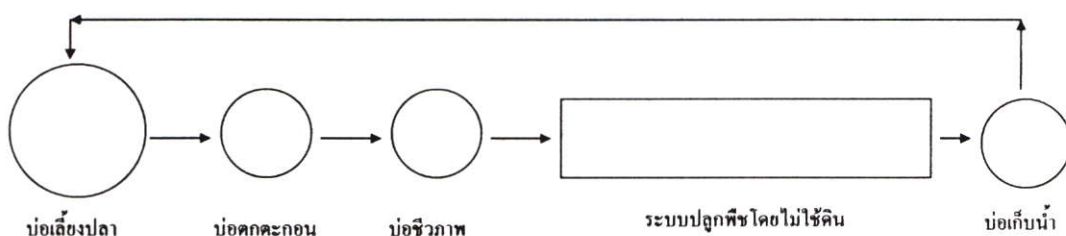
การเลือกชนิดปลาที่เหมาะสมกับการเลี้ยงในระบบ aquaponic ควรเลือกชนิดที่เป็นปลาน้ำจืดจะดีที่สุด (Kehdi. 2005) โดยปลาที่นิยมเลี้ยงในระบบ คือ ปลานิล (tilapia) ปลาทาบิม (red tilapia), ปลาดุก (catfish) ปลาคะเพียน (carp) และปลาสวยงาม เช่น ปลาทอง (goldfish) ปลาคาร์พ (koi) ปลาซันฟิช (sunfish) ปลาเทวดา (angelfish) ปลาหางนกยูง (guppy) ปลาเททรา (tetra) ปลากระดี่ (gourami) ปลาสออด (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)

2.4.1 ส่วนประกอบของระบบ

ระบบ aquaponic ประกอบด้วย บ่อเลี้ยงปลา (fish tanks) ทำหน้าที่หลักในการเลี้ยงปลา และรวบรวมตะกอนทางด้านล่างของถังเพื่อส่งต่อไปยังถังตกตะกอน ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลที่ดียิ่งขึ้นด้านล่างของถังควรมีลักษณะเป็นทรงกรวย บ่อตกตะกอน (sedimentation) ทำหน้าที่ใน

การกำจัดตะกอนออกจากระบบ ระบบกรองชีวภาพ (biofiltration) ทำหน้าที่ในการกรองตะกอนบางส่วนที่เหลือ และเป็นส่วนสำคัญในการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน ระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (hydroponic system) ทำหน้าที่ปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน และบ่อเก็บน้ำ (sump) เป็นส่วนที่รองรับน้ำที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวกลับไปยังบ่อเลี้ยงปลาอีกครั้ง ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (aquaponic system)

ที่มา : นงนุช เลหาะวิสุทธิ (2544)

2.4.2 หลักการทำงาน

ปัจจัยหลักของการทำงานของระบบ aquaponic ประกอบด้วย ปลา แบคทีเรีย และพืชทำงานร่วมกันในระบบหมุนเวียนแบบปิด โดยสารประกอบไนโตรเจน 70-75 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้จากของเสียของปลา และอาหารปลาที่เหลือ ผ่านบ่อตกตะกอนเพื่อลดตะกอนแขวนลอยไปยังระบบกรองชีวภาพที่มีแบคทีเรียกลุ่มไนตริฟิเคชัน ซึ่งสามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนเตรท จากนั้นน้ำจะไหลผ่านระบบปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน ซึ่งไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช และน้ำจะไหลไปสู่บ่อเก็บน้ำเพื่อที่จะนำน้ำกลับมายังบ่อเลี้ยงปลา (นงนุช เลหาะวิสุทธิ. 2544) โดยขนาดของถังหรือบ่อที่ใช้จะขึ้นอยู่กับจำนวนปลาที่เลี้ยงและมีความเหมาะสมกับปริมาณของพืชที่ปลูกในระบบ กล่าวคือถ้าเลี้ยงปลาจำนวนมากต้องปลูกพืชจำนวนมากตามไปด้วย เนื่องจากธาตุอาหารที่ได้จากของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมาจะมีปริมาณมากซึ่งจะต้องใช้พืชจำนวนที่เพียงพอต่อการดูดซับธาตุอาหารเหล่านี้ให้ลดลง อยู่ในระดับที่ปลาสามารถดำรงชีวิตอยู่และเจริญเติบโตได้ โดยอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปลูกพืชต่อปริมาณน้ำในบ่อจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณปลาที่เลี้ยง (ตารางที่ 2.1) (Rakocy, J.E. et al. 1993)

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, J.E. et al. 1993

ที่มา : Rakocy, J.E. et al. (1993)

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

2.4.3 ปลาที่เลี้ยงในระบบ aquaponic

ปลาเป็นส่วนสำคัญที่กำหนดขอบเขตทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำ เช่น กำหนดอุณหภูมิ ค่า pH ของน้ำ ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เป็นต้น Quillert, I. et al. (1993) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินโดยเลือกปลานิล (tilapias) ในการทดลอง เนื่องจากเป็นปลาที่มีความทนทานสูงในด้านคุณภาพน้ำ และมีอัตราการเจริญเติบโตสูง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 24 - 35 องศาเซลเซียส (Quillert, I. 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, I. 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

Quillert, I. et al. (1993) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล โดยเพิ่มอาหารอย่างสม่ำเสมอ จาก 100-250 กรัม (ให้อาหาร 5.6 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว) พบว่าช่วงที่มีการให้ปริมาณอาหารเพิ่ม (200 กรัม) จนอาหารเหลืออยู่ในบ่อ ทำให้มีปริมาณไนโตรเจนมากจนเป็นอันตรายต่อปลา (สูงกว่า 14 มิลลิโมลต่อลิตร) และปริมาณแอมโมเนียจากการขับถ่ายของเสียของปลามีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของอาหารที่ปลากินเพิ่มขึ้น (Quillert, I. et al. 1993)

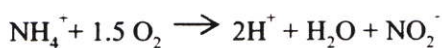
ผลผลิตปลาขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ และความหนาแน่นที่เลี้ยง ปลาจะมีการเจริญเติบโตช้า และอัตราการตายสูงถ้าเลี้ยงในความหนาแน่นที่สูง (Anonymous. 2002)

Rakocy, J.E. et al. (2004) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล และปลาตะเพียนร่วมกับการปลูกโหระพา และกระเจี๊ยบ น้ำหนักเริ่มต้นของปลานิล และปลาตะเพียนเฉลี่ยต่อตัว 79.2 กรัม และ 58.8 กรัม เลี้ยงที่ความหนาแน่น 77 และ 154 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลานิล 813.8 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.7 อัตรารอด 98.3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเฉลี่ยของปลาตะเพียน 512.5 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.8 อัตรารอด 89.9 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นสูงมีผลต่อการเจริญเติบโตที่ลดลง และอัตราการลดลงเช่นกัน

2.4.4 แบคทีเรีย

กระบวนการไนตริฟิเคชันในธรรมชาติเกิดจากการทำงานของแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มไนโตรซิไฟอิง (nitrosifying bacteria) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย และแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิง (nitrifying bacteria) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนโตรเจน 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 พบว่ากระบวนการไนตริฟิเคชันต้องการออกซิเจนในการผลิตไนโตรเจนไดออกไซด์ และผลิตไนไตรท์ซึ่งเป็นผลผลิตระหว่างกระบวนการ

นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตเซลล์ข้างแฉกที่เรียกว่าไฟลัมที่จำเป็น คือออกซิเจน และ alkalinity (คือ CaCO_3) โดยทุกๆ 1 กรัมของแอมโมเนียมที่ถูกออกซิไดซ์เป็นไนเตรตต้องใช้ ออกซิเจน 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, I. et al. 1993) (ซึ่งรายละเอียดแสดงในหัวข้อ 2.6)

2.3.5 การเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารในน้ำ

Quillert, I. et al. (1993) รายงานว่า ความเปลี่ยนแปลงในส่วนประกอบของแร่ธาตุอาหารของน้ำที่หมุนเวียน เกิดจากการขับถ่ายของเสียซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุของปลา การดูดซับแร่ธาตุโดยพืช และการเพิ่มของน้ำที่ใส่ทดแทนน้ำที่สูญเสียไปโดยการระเหย การเอาตะกอนออก การหายใจ การกระเด็น หรือการทำความสะอาดเครื่องกรอง (Rakocy, J.E. et al. 2004) โดยสารละลายธาตุอาหารที่ไหลออกจากถังเลี้ยงปลาจะมีปริมาณไนเตรต และฟอสเฟตจากของเสียของปลาเพิ่มขึ้น ซึ่งของเสียจากปลาดังกล่าวจะเป็นปุ๋ยของพืช (Quillert, I. et al. 1993) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายธาตุอาหารมาตรฐาน พบว่าสารละลายธาตุอาหารที่ไหลออกจากถังเลี้ยงปลามีปริมาณธาตุอาหาร ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช เพราะว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสูง (7-8) ปริมาณโพแทสเซียม และฟอสเฟตต่ำ (0.15, 0.1 ตามลำดับ) ปริมาณซัลเฟตสูง (1.25) และมีความไม่สมดุลระหว่างไอออนบวก ดังนั้น Rakocy, J.E. et al. (1992) จึงกล่าวว่า ในระบบ aquaponic พืชสามารถใช้ธาตุอาหารจากน้ำเลี้ยงปลาได้ส่วนหนึ่ง แต่ยังไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช จึงควรมีการเติมจุลธาตุอาหาร โดยเฉพาะเหล็ก เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช สอดคล้องกับการทดลองของ Miao, X. et al. (2002) ที่ได้ทดลองนำน้ำจากบ่อเลี้ยงเตามาใช้ในการปลูกมะเขือเทศโดยไม่ใช้ดิน พบว่า มะเขือเทศที่ปลูกโดยน้ำจากการเลี้ยงเตาที่ไม่ได้ปรับปรุงมีสัดส่วนของรากต่อยอดสูงสุด มีปริมาณคลอโรฟิลล์

ในโตรเจน ฟอสฟอรัสต่ำที่สุด จากการทดลองนี้มีข้อเสนอแนะว่าน้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ไม่เหมาะสมกับการปลูกพืช ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงก่อนนำไปใช้

2.5 การเจริญเติบโตของปลาและผลผลิตของพืชในระบบการเลี้ยงปลา ร่วมกับการปลูกพืช

Rakocy, J.E. et al. (2004) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล และปลาตะเพียน ร่วมกับการปลูกโหระพา และกระเจี๊ยบ 3 สายพันธุ์คือ Clemson Spineless, Annie Oakley และ North South โดยเลี้ยงที่ความหนาแน่น 77 และ 154 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ โดยเก็บผลผลิตปลาทุก 6 สัปดาห์ พบว่าได้ผลผลิตปลานิล และปลาตะเพียน 61.5 และ 70.7 กิโลกรัมต่อตารางเมตรตามลำดับ น้ำหนักเฉลี่ยของปลานิล 813.8 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.7 อัตรารอด 98.3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเฉลี่ยของปลาตะเพียน 512.5 กรัมต่อตัว อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ 1.8 อัตรารอด 89.9 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นสูง มีผลต่อการเจริญเติบโตที่ลดลง และอัตรารอดลดลงเช่นกัน ในขณะที่เดียวกันการปลูกโหระพา โดยเก็บผลผลิตทุก 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 และก่อนหน้านั้นในปี 1982 Sutton and Lewis ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลา (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 พบว่าปลานิลมีอัตรารอด 97.5 เปอร์เซ็นต์ การเจริญเติบโต 2.54 กรัมต่อตัวต่อวัน น้ำหนักเฉลี่ย 521 กรัมต่อตัว คุณภาพของผลผลิตมะเขือเทศ 87.4 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดมีคุณภาพสามารถนำไปจำหน่ายได้ (Watten and Busch. 1984)

2.6 การจัดการคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

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

2.6.1 อุณหภูมิของน้ำ (temperature)

อุณหภูมิของน้ำจะมีผลต่อขบวนการต่างๆ ภายในร่างกายของปลาอย่างมาก เช่น การย่อยอาหาร การเคลื่อนไหว การกินอาหาร การหายใจ การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังมีผลต่อปฏิกิริยาข้อยสลายอินทรีย์สารของแบคทีเรียในน้ำ ซึ่งทั้งหมดนี้จะมีผลโดยตรงทำให้ผลผลิตของปลาสูงขึ้น โดยปกติปลาในเขตร้อนจะอาศัยอยู่ในน้ำที่มีอุณหภูมิระหว่าง 25-32 องศาเซลเซียส แต่ปลาไม่สามารถทนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างฉับพลันได้ (ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2530) อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงปลานิลคือ 30 องศาเซลเซียส และปลาคู 28-30 องศาเซลเซียส (Quillert, I. et al. 1993) ในการทดลองของ Sutton and Lewis (1982) โดยเลี้ยงปลาคูร่วมกับการปลูกมะเขือเทศโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส (กลุ่มควบคุม) และที่ 28 องศาเซลเซียส (กลุ่มทดลอง) พบว่าน้ำหนักโดยเฉลี่ยของปลาเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิที่สูงอย่างคงที่ (28 องศาเซลเซียส) คือ 1.27 กรัมต่อวันต่อตัว ในขณะที่กลุ่มควบคุม น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.96 กรัมต่อวันต่อตัว โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ นิพนธ์ ไชยมงคล (2550) กล่าวว่า อุณหภูมิของสารละลายในการปลูกพืชที่ 28 องศาเซลเซียส ทำให้การเจริญเติบโต และการดูดสารละลายขึ้นไปใช้ได้สูงที่สุด ให้ผลผลิตสูงกว่าที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และ 14 องศาเซลเซียส 70 และ 190 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รากพืชที่ปลูกในสารละลายอุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส มีรากแขนงที่สั้นและหนากว่าการปลูกในอุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส ซึ่งมีรากฝอยและรากขนอ่อนสีขาวจำนวนมาก นอกจากนี้การปลูกที่อุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส พบว่าพืชแสดงอาการขาดธาตุเหล็ก แคลเซียมและแมงกานีส ซึ่ง Park, K.W. et al. (1995) ศึกษาความสามารถของผักกาดกางคั้ง และสลัดบัตเตอร์ ในการดูดน้ำ ธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมงกานีสที่ปลูกแบบไม่ใช้ดินในอุณหภูมิของสารละลายที่แตกต่างกัน คือ 15, 20 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการดูดน้ำของพืชเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิของสารละลาย ส่วนอัตราการดูดธาตุอาหารขึ้นไปใช้มีค่าต่ำสุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส พืชไม่สามารถดูดน้ำขึ้นไปใช้ในปริมาณที่พอเพียงสำหรับการ

เจริญเติบโต ได้จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับการปลูกพืชใบในสารละลาย ในขณะที่ Quillert, I. et al. (1993) กล่าวว่าอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมในการเพาะปลูกทั่วไปคือ 24 องศาเซลเซียส ส่วนในมะเขือเทศอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส หรืออาจแตกต่างกันขึ้นกับระยะการพัฒนากาเจริญเติบโตของพืช และชนิดของพืชที่ปลูก ส่วนอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มไนโตรไฟอิงอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส การเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส และจะตายที่อุณหภูมิ 0 และ 49 องศาเซลเซียส โดยพบว่า *Nitrobacter* จะทนที่อุณหภูมิต่ำได้น้อยกว่า *Nitrosomonas* ซึ่งเป็นสาเหตุให้บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำพบการสะสมของไนโตรที่ไ้ได้มากกว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง (Anonymous. 2006b)

2.6.2 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 คัมภลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539) ค่า pH ของน้ำในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดจะลดลงอย่างต่อเนื่อง อาจเกิดจากการขับถ่ายของเสีย การหายใจของปลาและรากพืชก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้น้ำเป็นกรด (Quillert, I. et al. 1993) และพบว่าค่า pH ของน้ำที่ 6.5 จะลดความเข้มข้นของอัลโลอินโซแอมโมเนียที่เป็นพิษ และค่า pH ของน้ำที่ 7.5 จะลดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นพิษได้ (Anonymous. 1997)

ปฏิกิริยาหรือสภาพความเป็นกรดด่างของสารละลาย จะมีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายของธาตุอาหารและความสามารถในการที่พืชจะนำขึ้นไปใช้ประโยชน์ ค่า pH ของน้ำของสารละลายในช่วง 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) ค่อนข้างแพงแต่จะลด pH ได้ดีกว่ากรดชนิดอื่น ๆ ในปริมาณที่เท่ากัน ในกรณีที่

(H_3PO_4) ก่อนข้างแพงแต่จะลด pH ได้ดีกว่ากรดชนิดอื่น ๆ ในปริมาณที่เท่ากัน ในกรณีที่สารละลายมีค่า pH ต่ำเกินไป (< 5.5) ควรเพิ่ม pH ด้วยการใส่โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate), คอสดิกโซดา (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 มีอิทธิพลต่อการเจริญของรากดำ 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 รากพืชจะเป็นอันตรายเนื่องจากโปรตีนในเยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย อย่างไรก็ตามพืชสามารถทนต่อความเป็นพิษโดยตรงของไฮโดรเจนไอออนได้ในช่วงที่ค่อนข้างกว้าง เมื่อปริมาณและสัดส่วนของธาตุอาหารที่พืชได้รับอย่างเหมาะสม (ยงยุทธ โอสดสภา และคณะ. 2541)

ค่า pH ของน้ำที่เหมาะสมสำหรับ nitrification filters อยู่ระหว่าง 6-9 (ตารางที่ 2.2) 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

ตารางที่ 2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำ (pH) ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิด *Nitrosomonas* (NS) และ *Nitrobacter* (NB)

ชนิด	ช่วงที่ทดสอบ	pH ที่เหมาะสม	ที่มา
NS		8.0-9.0	Hofman and Lees. 1953
NS	7.0-9.0	8.0	Engle and Alexander. 1958
NS		6.0-9.0	Winogradsky and Winogradsky. 1933
NS	5.0-10.0	9.0	Kawai et al. 1965
NS		7.2-7.8	Loveless and Painter. 1968
NB		8.3-9.3	Meyerhof. 1917
NB	7.0-8.6	7.8	Boon and Laudelout. 1962
NB		6.3-9.4	Winogradsky and Winogradsky. 1933
NB	5.0-10.0	9.0	Kawai et al. 1965

ที่มา : Hochheimer. 1990

2.6.3 การนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร (electrical conductivity ; EC)

เป็นค่าบอกความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน ค่า EC ในสารละลายขึ้นอยู่กับชนิดพืช ช่วงอายุการเจริญของพืช สภาพภูมิอากาศ คือ อุณหภูมิ ความเข้มแสง เป็นต้น โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 1-4 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2548) การเติมปุ๋ยระหว่างการปลูกพืช ควรมีการวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีในน้ำหรือค่า EC เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มความเข้มข้นของธาตุอาหาร ค่า EC ของสารละลายจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหาร คือสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง จะมีค่า EC สูง โดยมีหน่วยวัดเป็น Siemens/cm (S/cm) หรือ ต่อล้านส่วน ; micro-Siemens (10^{-6} : $\mu\text{S/cm}$) หรือต่อพันส่วน ; 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 เหมาะสำหรับการปลูกผักสลัด ค่า EC ที่อยู่ในช่วง 1.5-2.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เหมาะสำหรับการปลูกแตงกวา ค่า EC ที่อยู่ในช่วง 1.8-2.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เหมาะสำหรับการปลูกผักและไม้ดอกไม้ประดับทั่วไป ค่า EC ในช่วง 2.5-3.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตรเหมาะสำหรับการปลูกมะเขือเทศ ค่า EC ในช่วง 3-4 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จะทำให้ปริมาณน้ำตาลในผลสูงเนื่องจากจะทำให้พืชเกิดความเครียด (stress) ค่า EC ในช่วง 4-6 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เหมาะสำหรับการปลูกแคนตาลูป ในทางปฏิบัติอาจมีการควบคุม EC ของสารละลายธาตุอาหารแตกต่างกันไปตามช่วงการ

เจริญเติบโตของพืช เช่น เมื่อพืชยังเล็กจะควบคุมค่า EC ที่ต่ำแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของพืช (คิเรก ทองอร่าม. 2544)

2.6.4 ความเป็นด่าง (alkalinity)

ความเป็นด่าง (alkalinity) ค่าที่วัดเป็นค่าของไบคาร์บอเนต คาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์เป็นส่วนใหญ่ แต่อาจมีพวก ซิลิเกต ฟอสเฟต และสารอินทรีย์ต่างๆ อยู่บ้างแต่เป็นจำนวนน้อย ความสำคัญของความเป็นด่างของน้ำ ก็เป็นตัวช่วยควบคุมไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของน้ำเร็วเกินไป (buffering capacity) หากความเป็นด่างของน้ำมีค่าต่ำแสดงว่าความสามารถในการควบคุมค่า pH ของน้ำไม่ให้เปลี่ยนแปลงน้อยลงไปด้วย ทำให้ค่า pH ของน้ำผันแปรง่าย ส่งผลให้สัตว์น้ำเครียด ค่าความเป็นด่างไม่ส่งผลเสียโดยตรง แต่มีผลเกี่ยวเนื่องกับคุณสมบัติอื่นๆ (มันสิน คัมภูลเวศม์ 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)

2.6.5 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved solid oxygen)

ออกซิเจนที่ละลายในน้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ระดับความสูง และความเค็มของน้ำ กล่าวคือปริมาณออกซิเจนละลายน้ำได้น้อยลง เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น ส่วนน้ำที่มีความเค็มสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนจะละลายได้น้อยลง (ไมตรี ดวงสวัสดิ์. 2532) ถึงแม้ว่าออกซิเจนสามารถแพร่กระจายจากอากาศไปในน้ำได้แต่อัตราการแพร่กระจายจะต่ำและช้ากว่ามากในบรรยากาศ แหล่งสำคัญของการเพิ่มปริมาณออกซิเจน คือจากขบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของพืชน้ำ และแพลงก์ตอนพืช ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำจืด 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 สัตว์

น้ำมักจะลอยหวั่นชายบ่อและตายในช่วงนี้ การหายใจของสัตว์น้ำจะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา หลังจากกินอาหาร เป็นสาเหตุให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีปริมาณน้อยลง ปริมาณของออกซิเจนที่ถูกใช้ขึ้นอยู่กับกรกินอาหาร ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำควรมีการตรวจวัดค่าในถังเลี้ยงสัตว์น้ำหลังจากกินอาหารประมาณ 1 ชั่วโมง และเมื่อให้อาหารในระดับมากที่สุด (2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวัน) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ระดับที่สัตว์น้ำพอนอาศัยอยู่ได้ แต่การเจริญเติบโตไม่ดี คือที่ 1-4 มิลลิกรัมต่อลิตร และระดับที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำคือต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Boyd. 1989)

การปลูกพืชในสารละลาย (water culture) ปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ รากพืชต้องการออกซิเจน สำหรับการหายใจ และการดูดอาหารขึ้นไปใช้ ถ้าหากออกซิเจนไม่พอเพียงรากจะงักการเจริญ อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของโรคและเน่าตาย การปลูกพืชในสารละลายที่มีอัตราการหมุนเวียนของน้ำต่ำ จะทำให้รากพืชขาดออกซิเจนออกซิเจนที่ละลายน้ำได้จะอยู่ในรูปของจุลธาตุอาหาร และอัตราการเคลื่อนย้ายในพืชจะเร็วกว่าธาตุอื่น ๆ การปลูกพืชในระบบ NFT หรือการให้สารละลายไหลผ่านรากบาง ๆ จะช่วยเพิ่มออกซิเจนในสารละลายได้ แต่ในกรณีที่มีอัตราการหมุนเวียนของน้ำต่ำ และรากมีขนาดใหญ่ จะทำให้รากพืชขาดออกซิเจนได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้อัตราการหายใจของรากลดลง ลดความสามารถในการดูดแร่ธาตุอาหาร เพิ่มปริมาณการสูญเสียไนโตรเจน และรากอ่อนแอต่อโรค นอกจากนี้ Douglas (1976) and Resh (1987) รายงานว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้อัตราการหายใจของรากลดลง สอดคล้องกับ Lorenzen, B et al. (2001) ที่กล่าวว่าพืชจะสามารถปรับเปลี่ยนธาตุอาหารที่อยู่ในเซลล์ได้นั้นต้องอาศัยปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอในการเข้าไปทำปฏิกิริยาทางเคมีกับธาตุอาหารต่างๆ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีประโยชน์ต่อพืช และรากที่ได้รับออกซิเจนน้อยจะมีลักษณะพอมและยาวกว่ารากที่ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอซึ่งจะมีลักษณะอ้วนและสั้นกว่า

กระบวนการ ไนตริฟิเคชันจะลดลงถ้ามีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอับความต้องการของแบคทีเรีย (Kaiser and Wheaton. 1983 ; Nagel and Haworth. 1969) และไม่สามารถเกิดขึ้นได้ถ้าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า *Nitrobacter* จะสามารถทนต่อระดับของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ต่ำกว่า *Nitrosomonas* (Anonymous. 2006b)

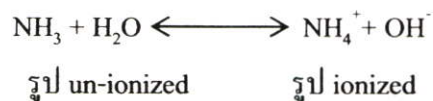
2.6.6 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นของเสียในน้ำที่ได้จากการหายใจของสัตว์น้ำ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นจะรบกวนการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ที่ระดับ

คาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นระดับที่ปลอดภัยสำหรับปลานิล โดยปริมาณการผลิตของคาร์บอนไดออกไซด์มีผลทำให้ pH ของน้ำลดลง ระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงเป็นผลจากระบบหมุนเวียนที่ไม่ดี หรือการให้อากาศไม่เพียงพอระหว่างช่วงที่มีการให้อาหารในปริมาณสูง แต่จะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เนื่องจากการสังเคราะห์แสงทางกระบวนการทางเคมีของแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิง (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*) (Anonymous, 1997)

2.6.7 แอมโมเนีย-ไนโตรเจนทั้งหมด (total ammonia nitrogen ; NH_3 , NH_4^+)

แอมโมเนียในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้มาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ ซึ่งอินทรีย์ไนโตรเจนเหล่านี้ประกอบไปด้วย กรดอะมิโน เปปไทด์ ได้แปรสภาพเป็นแอมโมเนีย โดยขบวนการ Ammonification (ยงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร และคณะ. 2532) แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำจะมีอยู่ 2 รูป คือ แอมโมเนียอิสระ หรือ unionized ammonia (NH_3) ซึ่งเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ อีกรูปหนึ่งคือ แอมโมเนียไอออน หรือ ionized ammonia (NH_4^+) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำซึ่งอยู่ในสภาวะสมดุลกันดังสมการ



รูปของแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ เมื่อมีความเข้มข้นสูง ในทางตรงกันข้ามรูปของแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำเมื่อมีความเข้มข้นต่ำกว่า ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนทั้งหมดที่อยู่ในรูปอัลไอออนไนซ์แอมโมเนียจะขึ้นอยู่กับค่า pH ของน้ำ และอุณหภูมิของน้ำ (ตารางที่ 2.3) โดยปริมาณอัลไอออนไนซ์แอมโมเนียจะแปรผันตามค่า pH ของน้ำ กล่าวคือเมื่อ pH ของน้ำ และอุณหภูมิสูง เปอร์เซ็นต์ของอัลไอออนไนซ์แอมโมเนียจะมากขึ้น (Wheaton, 1977) ระดับอัลไอออนไนซ์แอมโมเนียในช่วง 0.2-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้สัตว์น้ำเครียด เป็นสาเหตุทำให้สัตว์น้ำกินอาหารลดลง ระดับที่สูงมากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถทำให้สัตว์น้ำตายได้ การผลิตแอมโมเนียมีความสัมพันธ์กับขนาดของสัตว์น้ำ โดยพบว่าการผลิตแอมโมเนียจะเกิดมากเมื่อสัตว์น้ำมีขนาดเล็ก (Ng,W.J. et al. 1993) นอกจากนี้ยังพบว่าสัตว์น้ำแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนพิษจากแอมโมเนียแตกต่างกัน (Lawson, 1995) โดยปริมาณแอมโมเนียสามารถลดลงได้ จากการนำไปใช้ในเจริญเติบโตของเซลล์ *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* ซึ่งแอมโมเนียเป็นธาตุอาหารของ *Nitrosomonas* (Timmons and Losordol, 1994)

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วนของแอมโมเนียอิสระในน้ำที่ระดับ pH และอุณหภูมิต่างๆ ในน้ำจืด

อุณหภูมิ (°C)	pH						
	7.0	7.8	7.9	8.0	8.1	8.3	9.0
5	0.12	0.78	0.98	1.23	1.54	2.42	11.07
10	0.19	1.16	1.45	1.82	2.29	3.57	15.67
15	0.27	1.69	2.12	2.66	3.32	5.16	21.44
20	0.39	2.43	3.04	3.80	4.74	7.31	28.33
25	0.56	3.46	4.31	5.37	6.67	10.17	36.21
30	0.80	4.83	6.00	7.44	9.19	13.82	44.55
35	1.11	6.63	8.20	10.11	12.40	18.33	52.93

ที่มา : Huguenin and Colt. 1989

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

ไนไตรท์เป็นตัวกลางของการเปลี่ยนแปลงแอมโมเนียให้เป็นไนเตรท ไนไตรท์จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยไนไตรท์จะซึมผ่านผิวหนังและเหงือกเข้าไปในพลาสมาของสัตว์น้ำ แล้วเข้าไปจับกับเม็ดเลือดแดงแล้วจะไปออกซิไดซ์ฮีโมโกลบิน (haemoglobin) ในเม็ดเลือดแดงให้กลายเป็น methemoglobin ซึ่งเป็น haemoglobin ที่ไม่สามารถรับออกซิเจนส่งไปให้เซลล์ต่างๆ ในร่างกายได้ ทำให้สัตว์ขาดออกซิเจน ร่างกายอ่อนแอ และติดเชื้อง่าย ส่งผลให้เจริญเติบโตช้า เนื่องจากสัตว์น้ำจะกินอาหารลดลงและตายในที่สุด (ช่วยชูศรี ศรีภูมัย และจรรุวรรณ สมศิริ. 2525) ปริมาณไนไตรท์โดยทั่วไปควรมีระดับต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณความเข้มข้นของไนไตรท์ที่ระดับ 2-10 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ปลาเครียด ถ้าสูงกว่า 10-20 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสาเหตุให้ปลาเป็นโรคเลือดสีน้ำตาล จนอาจถึงตายได้ ปลาแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนพิษจากไนไตรท์แตกต่างกัน (Lawson. 1995) การลดปริมาณไนไตรท์ในน้ำสามารถทำได้โดยใช้เกลือเชื่อมคลอรีนในระบบ

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

ไนเตรทเป็นผลจากขบวนการ nitrification การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทเกิดจากการใช้ไนเตรทโดยแพลงก์ตอนพืช หรือการเปลี่ยนถ่ายน้ำใหม่ โดยปกติแล้วไนเตรทจะไม่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ยกเว้นในกรณีที่ไนเตรทมีความเข้มข้นสูงมาก (ขงอุทข ปรีดาลัมพะ บุตร และคณะ. 2532) Quillert, I. et al. (1993) กล่าวว่าไนเตรทเป็นสารประกอบไนโตรเจนที่มีความเป็นพิษต่ำกว่าแอมโมเนียและไนไตรท์ แต่เมื่อเกิดการสะสมของไนเตรทถึงระดับหนึ่งจะ

เป็นพืชต่อปลา และสัตว์น้ำอื่นได้ เช่นในระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้ น้ำแบบไม่ใช้ดิน ควรมีปริมาณไนเตรทน้อยกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (นงนุช เลาหะวิสุทธิ. 2544) แต่สำหรับการเจริญเติบโตของพืช ปริมาณไนเตรทที่มีความเข้มข้นสูงมีส่วนช่วยในการเจริญเติบโตทางใบและลำต้นของพืช ขณะที่ปริมาณไนเตรทที่มีความเข้มข้นต่ำจะกระตุ้นการติดผล สอดคล้องกับการทดลองของ Naegel (1977) ได้ทำการทดลองปลูกมะเขือเทศและผักกาดหอมในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน และไม่มีการให้ธาตุอาหารเสริม พบว่าผักกาดหอมและมะเขือเทศสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ภายใน 4 สัปดาห์ และ 8 สัปดาห์ตามลำดับ โดยที่ผักกาดหอมมีระดับการใช้ไนเตรทมากกว่ามะเขือเทศ

2.6.10 ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (orthophosphate)

ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเป็นธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของพืช และการสร้างโปรตีนพลาสมาซิม (สุชาติ อิงธรรมจิตร และคณะ. 2534) ในทางประมงมักจะพิจารณาในรูปของสารประกอบออร์โธฟอสเฟต ได้แก่ PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} และ $H_2PO_4^-$ สารประกอบเหล่านี้ละลายน้ำได้ดี (ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. 2528) ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะพบฟอสเฟตในปริมาณต่ำ เนื่องจากสามารถตกตะกอนกับเหล็ก แคลเซียม อลูมิเนียม และโซเดียมได้ และบางส่วนจะถูกดูดซับโดยดินเหนียวได้ท่อน้ำ สำหรับน้ำที่มี pH ของน้ำอยู่ใน ช่วง 6.3-6.9 จะเป็นช่วงที่มือนินทรีย์ฟอสเฟต อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มากที่สุด (กานู เทวรัตน์ มณีกุล และคณะ. 2539) ถ้า pH ของน้ำของน้ำสูงกว่านี้ปริมาณฟอสเฟตจะลดลง เพราะน้ำมีความเป็นด่าง ฟอสเฟตจะตกตะกอนกับแคลเซียมในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต (Boyd. 1989)

2.6.11 ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำของระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด เกิดจากสูญเสียจากการระเหยของน้ำ การทำความสะอาดถังกรอง การถ่ายตะกอน และการเปลี่ยนถ่ายน้ำบางส่วน เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนน้ำควรทำการเปลี่ยนในปริมาณน้อยที่สุด เพื่อรักษาปริมาณแร่ธาตุอาหารในระบบให้มากที่สุด จากการทดลองของ Sutton and Lewis (1982) ได้ทดลองเลี้ยงปลาครุฑร่วมกับการปลูกมะเขือเทศแบบไม่ใช้ดิน พบว่าปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากการระเหยประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ที่อุณหภูมิ 25 และ 28 องศาเซลเซียส ในภายหลัง Rakocy, J.E. et al. (2004) ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิลและปลาทับทิมร่วมกับการปลูกโหระพาและกระเจี๊ยบ 3 สายพันธุ์คือ Clemson Spineless, Annie Oakley และ North South โดยทำงานต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ปี โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนน้ำทั้งหมด แต่จะมีการเติมน้ำเฉลี่ยในอัตรา 0.26-0.46 เปอร์เซ็นต์ต่อวันเท่านั้น เพื่อชดเชยปริมาณน้ำที่สูญเสียไปเนื่องจากการทำความสะอาดถังกรอง 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ สอดคล้องกับการทดลองของ Quillet, I. et al. (1993) กล่าวว่า น้ำจะถูกเปลี่ยนใหม่ทุกวันประมาณ 0.1-0.3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ใช้ทั้งหมดในระบบหมุนเวียน หรือ 3.5-9 เปอร์เซ็นต์

ของปริมาณทั้งหมดของระบบ และตะกอนที่สะสมอยู่ในระบบ ควรมีการถ่ายออก 2-3 ครั้งต่อวัน เนื่องจากเมื่อมีตะกอนสะสมปริมาณมาก จะเกิดการย่อยสลาย และดึงออกซิเจนจากปลา และพืชมาใช้ อีกทั้งยังทำให้อัตราการไหลของน้ำในระบบไหลช้า ตะกอนจะไปจับรากพืช และทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำ และธาตุอาหารลดลง (Zweig. 1986) นอกจากนี้ยังมีการแนะนำว่าควรมีการเปลี่ยนน้ำ 10-15 เปอร์เซ็นต์ทุกเดือน (Nelson. 2006a)

2.6.12 คลอรีน

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

2.7 ประสิทธิภาพการใช้น้ำและการบำบัดน้ำของระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ประสิทธิภาพของระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน เมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำในระบบการเลี้ยงปลาทั่วไป พบว่าสามารถประหยัดปริมาณน้ำได้ 4-5 เท่า (สัจเทพ สุขแก้ว. 2544 ; นันทิมา สุทธิวรรณกุล. 2546 ; วราจกณา กาซั่ม. 2545) เนื่องจากเป็นระบบปิด มีการหมุนเวียนน้ำเพื่อนำกลับมาใช้อีก

การบำบัดน้ำของระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชในระบบปิด พบว่าพืชจะช่วยดูดซับของเสียในรูปแบบไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและธาตุอื่นๆ ได้ ทำให้คุณภาพน้ำที่ได้ปรับปรุงมีคุณภาพเหมาะสมกับการเลี้ยงปลา โดย นันทิมา สุทธิวรรณกุล (2546) ได้ทดสอบการบำบัดน้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลาทองด้วยพรรณไม้น้ำชนิดอะโกลนีมา (*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 ส่วนใบพายศรีลังกาสามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมดได้ร้อยละ 13.16 และ 13.26 และลดปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดได้ร้อยละ 3.80 และ 2.56 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลาทองด้วยพรรณไม้น้ำชนิดใบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii*) และอเมซอน (*Echinodorus amazonicus*) ในระบบ NFT, DFT และ Sand พบว่าระบบ Sand ใบพายศรีลังกา และอเมซอนมีประสิทธิภาพการบำบัดดีที่สุด สามารถบำบัดไนโตรเจนทั้งหมด 17.85 และ 18.21 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และฟอสฟอรัส 8.65 และ

10.09 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รองลงมาคือระบบ NFT และระบบ DFT (วารงคณา กาซั่ม. 2545) ในขณะที่ สัจเทพ สุขแก้ว (2544) ทดลองเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกใบพวยศรีลังกา พบว่า ใบพวยศรีลังกาช่วยลดปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท และฟอสฟอรัสได้ 11.62, 10.06, 10.92 และ 2.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับ Rakocy and Allison (1981) ที่นำพรรณไม้น้ำในกลุ่มของสาหร่าย คือสาหร่ายเคนซ่า และเทป มาใช้ในการบำบัดน้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลานิล พบว่าพรรณไม้น้ำดังกล่าวช่วยลดแอมโมเนีย และไนโตรที่ ได้ 85.8 และ 17.3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การปลูก alfalfa, white clover, oat, fall rye และ barley ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน สามารถช่วยลดปริมาณไนโตรที่ ไนเตรท ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมจากน้ำเลี้ยงปลานิล ได้ 95.9-99.5 82.9-98.1 54.5-93.6 และ 99.6-99.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Ghaly,A.E. et al. 2005) และ Takeda,F. et al. (1997) ได้ทำการศึกษาการปลูก oso grande และ sweet charlie ในระบบ NFT ภายในโรงเรือนที่ Keameysville USA โดยใช้น้ำจากการเลี้ยงปลา rainbow trout และมีการใส่ธาตุโพแทสเซียม และธาตุอาหารรอง จากการทดลองพบว่าระบบนี้สามารถลดความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำจากการเลี้ยงปลาได้ จาก 1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำเข้า) เหลือ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำออก) ดังนั้นระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสที่มีปริมาณมาก

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 การทดลองที่ 1 การเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1.1 สัตว์ทดลอง

- (1) ปลาทับทิม ขนาด 100 ± 9.10 กรัม จำนวน 60 ตัว

3.1.1.2 พืชทดลอง

- (1) เมล็ดพันธุ์คะน้า (*Brassica alboglabra*)

3.1.1.3 อุปกรณ์

- (1) ชุดโต๊ะปลูกพืชแบบ DRFT ถาดโฟม ขนาด 1.15×4.8 เมตร จำนวน 2 โต๊ะ
- (2) ชุดโต๊ะอนุบาลพืช ขนาด 1.15×1.2 เมตร จำนวน 1 โต๊ะ
- (3) ชุดเพาะกล้า
- (4) สารละลายธาตุอาหารสูตร KMITL2 (ภาคผนวก ตารางที่ ก.1)
- (5) ถังเลี้ยงปลาไฟเบอร์กลาสขนาด 700 ลิตร 2 ถัง
- (6) ถังตกตะกอนทำจากท่อ PVC ขนาด 4 นิ้ว 2 ชุด
- (7) ถังชีวภาพ จำนวน 2 ชุด ซึ่งประกอบด้วยใยกรองหยาบ, ใยกรองละเอียด และไบโอบอล (อุปกรณ์สำหรับสร้างพื้นที่ผิวให้กับแบคทีเรีย) จำนวน 90 ลูก
- (8) อาหารปลาคุณภาพสำเร็จรูปชนิดเม็ดลอยน้ำ ยี่ห้อนิวทรีน่า อีค็อนฟิช 8887
- (9) เครื่องให้อากาศ ยี่ห้อ HAILEA รุ่น ACO-318
- (10) ป้อน้ำ ยี่ห้อ SONIC รุ่น AP2500 อัตราไหล 2,000 ลิตรต่อช.ม.
- (11) มาตรฐานปริมาตรน้ำ
- (12) เครื่องมือและสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
- (13) เครื่องมือและสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์พืช

3.1.2 การวางแผนการทดลอง

เปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในทางสถิติด้วยวิธี T-test โดยทดลองเลี้ยงปลาและปลุกพืช 3 ระบบ คือ

- ระบบการเลี้ยงปลาทับทิม (Fish)
- ระบบการปลุกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT (DRFT)
- ระบบการเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลุกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT (DRFT-Fish)

3.1.3 วิธีการเตรียมการทดลอง

จัดตั้งระบบต่างๆ ภายในโรงเรือนแบบเปิดขนาด 28x16 เมตร โครงสร้างทำจากซีเมนต์ ผนังเป็นตาข่ายเหล็ก หลังคาโรงเรือนทำจากแผ่นอะครีลิก (acrylic) ใส (ภาคผนวกภาพที่ ข.1)

3.1.3.1 ระบบ Fish

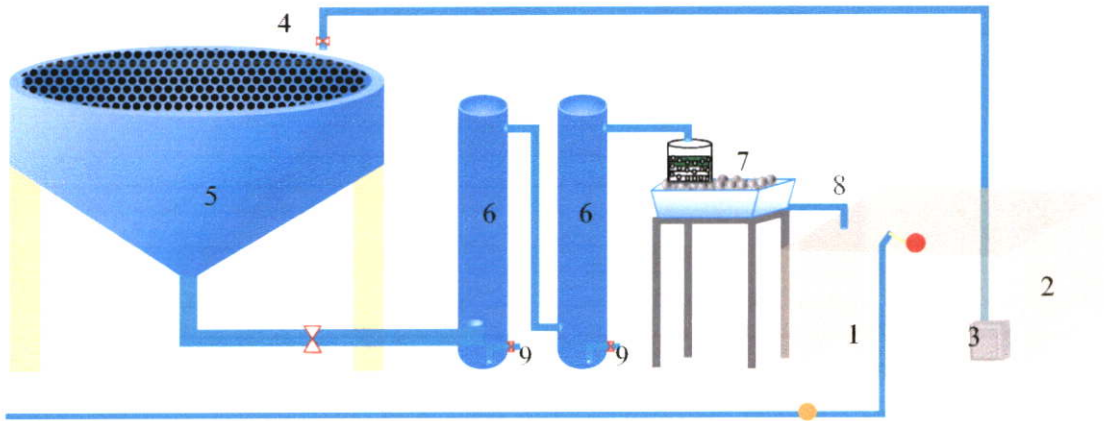
(1) จัดตั้งระบบ Fish ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และ 3.2 ซึ่งประกอบด้วย

(1.1) ถังเลี้ยงปลาไฟเบอร์กลาส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร ลักษณะก้นถังเป็นทรงกรวย บรรจุปริมาณน้ำ 600 ลิตร ด้านบนปิดด้วยตาข่ายเพื่อป้องกันการเกิดตะไคร่ และป้องกันปลากระโดด ภายในใส่หัวทรายจำนวน 6 อัน ที่เชื่อมต่อกับเครื่องให้อากาศ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ

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

(1.3) ถังชีวภาพ ขนาด 0.37x0.3x0.1 ลูกบาศก์เมตร ทำจากพลาสติก ภายในใส่ไบโอบอล จำนวน 90 ลูก เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับแบคทีเรีย ด้านบนมีโยกรองละเอียดรองรับน้ำจากถังตกตะกอน เพื่อกรองตะกอนที่มีขนาดเล็ก (ภาพที่ 3.3)

(1.4) ถังเก็บน้ำ ขนาด 0.81x0.49x0.47 ลูกบาศก์เมตร ภายในมีปั้มน้ำเพื่อสูบน้ำกลับไปยังถังเลี้ยงปลา และรองรับน้ำจากท่อน้ำเข้าซึ่งมีการติดลูกลอยเพื่อเป็นการเติมน้ำอัตโนมัติ และติดมาตรวัดเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ใช้ (ภาพที่ 3.3) (ปริมาณน้ำในถังนี้จะเท่ากับปริมาณน้ำในโตะปลูกของระบบ DRFT)



ภาพที่ 3.1 แบบจำลองของระบบ Fish

หมายเหตุ : 1 = ท่อเติมน้ำ

2 = ถังเก็บน้ำ

3 = ป้อนน้ำ

4 = ท่อน้ำเข้า

5 = ถังเลี้ยงปลา*

6 = ถังตกตะกอน*

7 = ถังกรองชีวภาพ

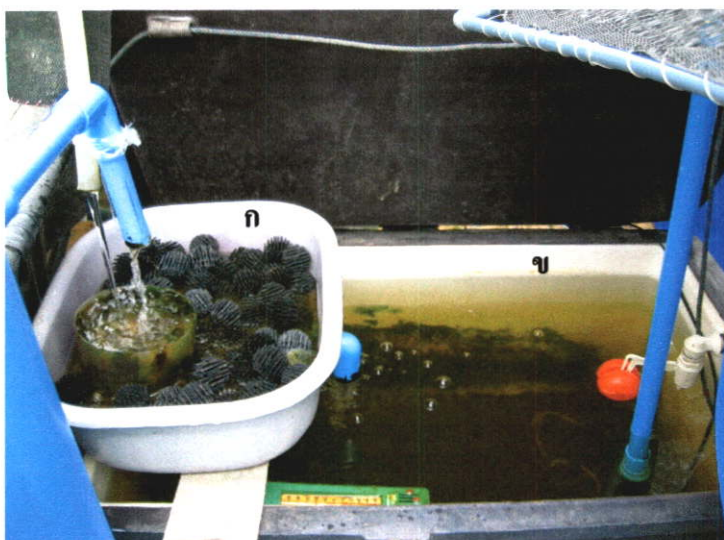
8 = ท่อน้ำออก*

9 = วาล์วเปิด-ปิด ถ่ายตะกอน

* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์



ภาพที่ 3.2 ระบบการเลี้ยงปลาแบบทิม



ภาพที่ 3.3 ถังกรองชีวภาพ (ก) และถังเก็บน้ำ (ข)

3.1.3.2 ระบบ DRFT

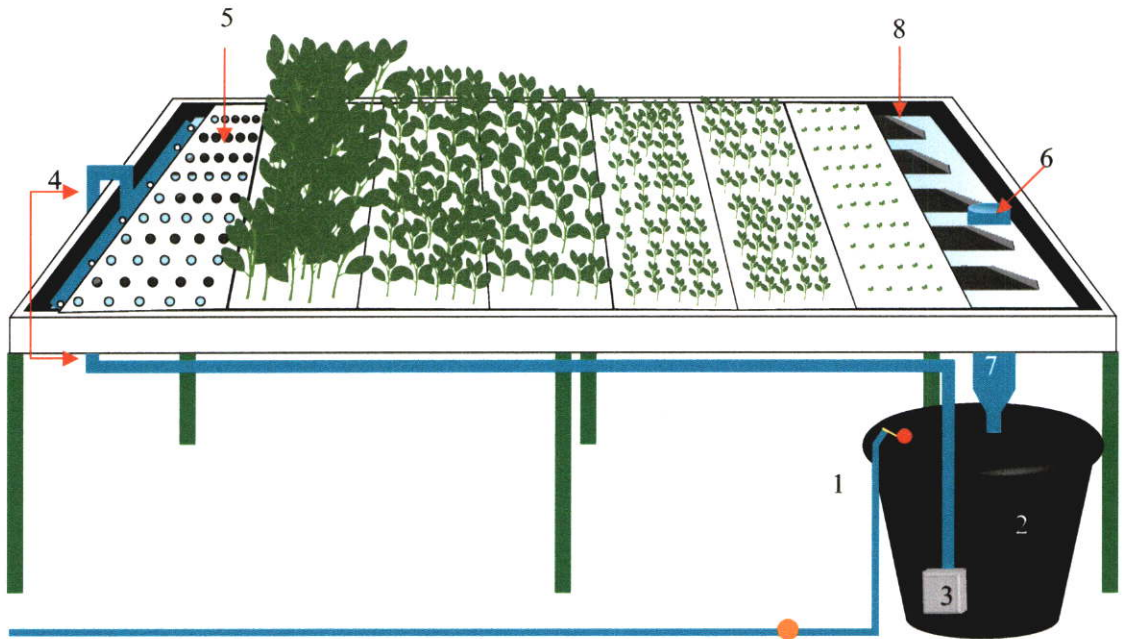
(1) จัดตั้งระบบ DRFT ดังแสดงในภาพที่ 3.4 ประกอบด้วย

(1.1) โต๊ะปลูก ทำจากเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/4 นิ้ว ขนาด 1.15x4.80 เมตร จำนวน 1 โต๊ะ (ภาพที่ 3.5)

(1.2) ถาดปลูกพืช ทำจากโฟมขนาด 1.0x0.6x0.12 ลูกบาศก์เมตร ขึ้นรูปเป็นรางขนาดเล็กให้สารละลายไหล จำนวน 10 ราง บูภายในด้วยพลาสติกสีดำ ด้านบนปิดด้วยแผ่นโฟมเจาะรู (ภาพที่ 3.6 ก.)

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

(1.4) ถังสารละลาย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.52 เมตร สูง 0.4 เมตร ภายในมีปั้มน้ำ และรองรับน้ำจากท่อน้ำเข้าซึ่งมีการติดลูกลอยเพื่อเป็นการเติมน้ำอัตโนมัติ และมีการติมาตรวัดปริมาณน้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ใช้ (ภาพที่ 3.7)



ภาพที่ 3.4 แบบจำลองระบบ DRFT

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

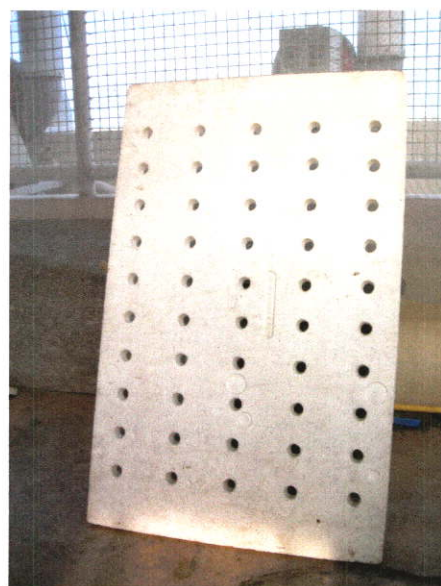
6 = สะดือน้ำ
7 = ท่อน้ำออก*
8 = โฟมที่ขึ้นรูปเป็นราง
* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์



ภาพที่ 3.5 โต๊ะปลูกผักคะน้าแบบไม่ใช้ดินระบบ DRFT



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.6 ถาดปลูกพืชทำจากโฟมขึ้นรูปเป็นราง (ก) และแผ่นปลูกพืช (ข)

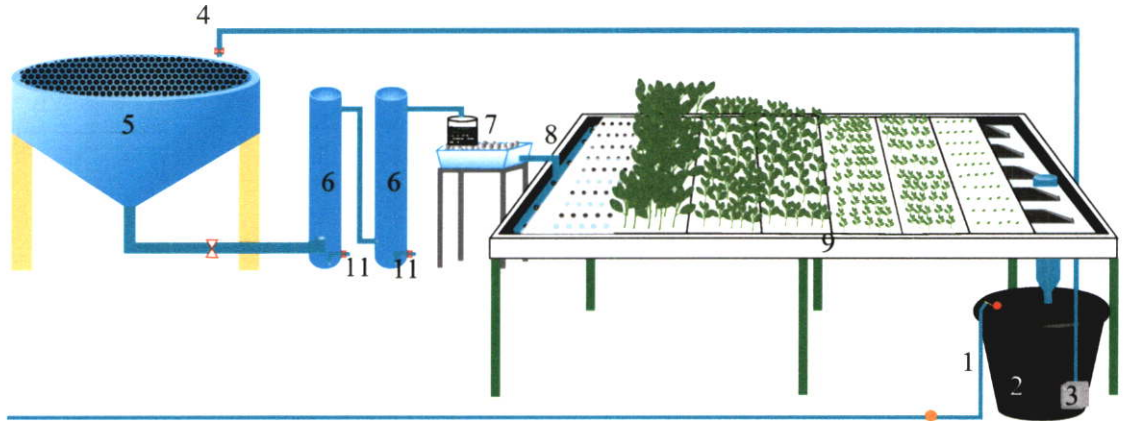


ภาพที่ 3.7 ถังสารละลายในระบบ DRFT

3.1.3.3 ระบบ DRFT-Fish

(1) การจัดตั้งระบบ DRFT-Fish ดังแสดงในภาพที่ 3.8 ส่วนประกอบใช้ขนาดเช่นเดียวกับระบบ Fish และระบบ DRFT โดยส่วนของสารละลายที่ไหลผ่านถังชีวภาพ จะถูกส่ง

ต่อไปยังท่อน้ำเข้าของโต๊ะปลูก และไหลไปยังถังสารละลายที่มีปั้มน้ำอยู่ เพื่อสูบน้ำกลับไปยังถังเลี้ยงปลาอีกครั้ง



ภาพที่ 3.8 แบบจำลองระบบ DRFT-Fish

หมายเหตุ : 1 = ท่อเติมน้ำ

2 = ถังเก็บน้ำ

3 = ปั้มน้ำ

4 = ท่อน้ำเข้า

5 = ถังเลี้ยงปลา*

6 = ถังตกตะกอน

7 = ถังกรองชีวภาพ*

8 = ท่อน้ำเข้าโต๊ะปลูกพืช

9 = โต๊ะปลูก

10 = ท่อน้ำออก*

11 = วาล์วเปิด-ปิด ถ่ายตะกอน

* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์

3.1.4 วิธีการทดลอง

3.1.4.1 การจัดการระบบการเลี้ยงปลา

(1) นำปลาจากฟาร์มมาพักไว้เพื่อให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อม และอาหารก่อนทดลองประมาณ 1 สัปดาห์

(2) เติมน้ำในระบบ และเริ่มเปิดการทำงานของระบบให้มีการหมุนเวียนน้ำเป็นเวลา 1 วัน จึงสุ่มปลาที่บวมขนาด 100 กรัม ใส่ในถังเลี้ยงปลา จำนวน 30 ตัว

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

(4) นำเศษตะกอนออกจากระบบ โดยการระบายออกจากทางด้านใต้ของถังตกตะกอนทุกวัน วันละ 2 ครั้ง เช้าและเย็น

3.1.4.2 การเตรียมกล้าไม้ และการดูแล

(1) รดน้ำแผ่นฟองน้ำในถาดเพาะให้เปียกชุ่ม โดยใช้มือช่วยกด หยอดเมล็ดผักคะน้าที่เตรียมไว้ลงในช่องบากของฟองน้ำโดยหยอดช่องละ 1 เมล็ด ลึกประมาณ 2-3 มิลลิเมตร

นำถาดเพาะที่ใส่เมล็ดผักไปไว้ในที่ร่มเพื่อไม่ให้ถูกแสงแดด รดน้ำเช้า และเย็น 2-3 วัน จนเมล็ดงอกเป็นต้นกล้า ย้ายกล้าไปยังที่มีแสงแดดจากนั้นเริ่มให้สารละลายธาตุอาหาร โดยควบคุมการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร (EC) ให้มีค่าระหว่าง 2.6-2.8 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร เป็นเวลา 3-4 วัน การเตรียมกล้าจะเตรียมสัปดาห์ละ 1 ครั้ง จำนวน 150 ต้นต่อระบบ ทุกรอบการปลูก

(2) เติมน้ำในระบบ และเริ่มเปิดการทำงานของระบบให้มีการหมุนเวียนน้ำเป็นเวลา 1 วัน ก่อนย้ายกล้าจะน้ำ ทั้งระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

(3) เมื่อต้นกล้ามีราก โผล่ลงมาที่ด้านล่างฟองน้ำ ย้ายต้นกล้าที่แข็งแรงสมบูรณ์ดีลงโต๊ะปลูก โดยเลือกผักกะน้าขนาดและความสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน ใส่ในช่องปลูกของแผ่นปลูก สอดต้นกล้าจากทางด้านล่างของแผ่นปลูก โดยให้ก้นฟองน้ำด้านที่มีรากโผล่อยู่เสมอกับขอบล่างของแผ่นปลูก ทั้งนี้เพื่อให้ก้นฟองน้ำ และรากแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารในรางปลูก

(4) ย้ายกล้าจะน้ำจำนวน 100 ต้นต่อสัปดาห์ (100 ต้น : 2 แผ่นปลูก : 1 กลุ่ม) อายุแต่ละกลุ่มห่างกัน 1 สัปดาห์ เพื่อให้ระบบมีอายุผักกะน้าสม่ำเสมอตลอดการทดลอง โดยแต่ละกลุ่มใช้เวลาในการเจริญเติบโตจนถึงเก็บเกี่ยวนาน 6 สัปดาห์ เมื่อครบอายุเก็บเกี่ยว จึงย้ายกะน้ำกลุ่มนั้นออก และย้ายกล้าจะน้ำอายุ 1 สัปดาห์ให้ใส่แทน โดยหมุนเวียนเช่นนี้ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 3.4, 3.8)

(5) ระหว่างการทดลองต้องเติมสารละลายธาตุอาหารในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish ให้มีค่า EC ของสารละลายระหว่าง 2.8-3.2 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ตลอดการทดลอง

(6) ปรับค่า pH ของสารละลายธาตุอาหาร ทุก 2-3 วัน ให้อยู่ในช่วง 6.0-6.5 โดยใช้กรดไนตริก (HNO_3)

หมายเหตุ : ระบบ Fish ปฏิบัติตามวิธีในหัวข้อ 3.1.4.1

ระบบ DRFT ปฏิบัติตามวิธีในหัวข้อ 3.1.4.2

ระบบ DRFT-Fish เปิดการทำงานของระบบเป็นเวลา 1 วัน จึงย้ายกล้าจะน้ำโดยวิธีดังกล่าวข้างต้น จนพืชเต็มโต๊ะปลูก เพื่อให้อัตราการคูณใช้ธาตุอาหารของพืช มีค่าสม่ำเสมอตลอดการทดลอง (ใช้เวลา 6 สัปดาห์) จากนั้นจึงเริ่มปล่อยปลาลงถึงเลี้ยงปลา และทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีในหัวข้อ 3.1.4.1 และ 3.1.4.2

3.1.5 ข้อมูลที่ตรวจวัดและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1.5.1 วัดการเจริญเติบโตของปลาที่บ่มโดยการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปลาโดยนำมาปลาใส่ในน้ำที่ผสมยาสลบ เมื่อปลาสลบ เริ่มชั่งน้ำหนักและวัดความยาว โดยเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง และสิ้นสุดการทดลอง

3.1.5.2 วัดการเจริญเติบโตของฝักค่น้ำด้วยการสุ่มตัวอย่างของฝักค่น้ำ 5 ต้นต่อกลุ่มต่อระบบ นำมาชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งโดยสุ่มช่วงเดือนที่ 1, 2 และ 3 ของการเก็บฝักเมื่อฝักมีอายุ 42 วัน เพื่อนำมาวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช และชั่งน้ำหนักรวมทั้งต้นและรากของฝักค่น้ำจำนวน 100 ต้นต่อระบบ ทुरอบการปลูก เพื่อหาผลผลิตค่น้ำรวมตลอดการทดลอง

3.1.5.3 วัดคุณภาพน้ำ โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำเวลาประมาณ 9.00-9.30 น. เมื่อเริ่มดำเนินการทดลอง (หลังลงปลา 1 วัน) และทุกสัปดาห์จนสิ้นสุดการทดลอง จุดที่เก็บน้ำคือ จากถังเลี้ยงปลา (ท่อน้ำเข้า) ท่อน้ำออกจากถังตกตะกอน ท่อน้ำออกจากถังชีวภาพ และท่อน้ำออกจากโต๊ะปลูกฝักของแต่ละระบบ (ภาพที่ 3.1, 3.4 และ 3.8) วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำใช้ตามที่กำหนดใน APHP. (1992) (ภาคผนวกที่ ค.1) โดยพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ได้แก่

- (1) อุณหภูมิ (temperature) โดยเครื่องมือ min-max thermometer
- (2) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) โดยเครื่องมือ DO meter ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI9143
- (3) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) โดยเครื่องมือ pH meter ยี่ห้อ HANNA รุ่น HI9025
- (4) ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร (EC) โดยเครื่องมือ conductivity meter ยี่ห้อ TRUNCHEON
- (5) ความเป็นด่าง (alkalinity) โดยวิธี titration method
- (6) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ($\text{NH}_3\text{-N}$) โดยวิธี phenate method
- (7) ไนไตรท์-ไนโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) โดยวิธี colorimetric method
- (8) ไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) โดยวิธี cadmium reduction method
- (9) ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (SRP) โดยวิธี ascorbic method

3.1.5.4 ประสิทธิภาพของฝักในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลา โดยการวัดปริมาณของแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสของน้ำตั้งต้นของแต่ละระบบ กับน้ำที่ผ่านออกจากระบบ เพื่อหาผลต่าง และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ (ภาคผนวกที่ ค.2)

3.1.5.5 ความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลา โดยหาอัตราส่วนของจำนวนครั้งที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำต่อจำนวนครั้งที่วิเคราะห์น้ำ และคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ (ภาคผนวกที่ ค.3)

3.1.5.6 วิเคราะห์พืชเพื่อหาไนโตรเจน (N) โดยการย่อยสลายวิธี Kjeldahl แล้วหา N โดยการกลั่น ส่วนธาตุอื่นๆ ทำการย่อยสลายพืชโดยวิธี acid mixture digestion นำไปวิเคราะห์หา ฟอสฟอรัส (P) ด้วยการทำให้เกิดสี โดยวิธี molybdate vanadate yellow color วิเคราะห์โพแทสเซียม (K), แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (ภาคผนวกที่ ก.4) (ปรีดา พากเพียร และคณะ. 2536) และวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทในพืชโดยวิธี salicylic acid (Cataldo,D.A. et al. 1975) (ภาคผนวกที่ ก.5)

3.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลน้ำหนักและความยาวปลา น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักระน้ำ ผลผลิตรวมของปลาและกระน้ำ คุณภาพน้ำ ปริมาณธาตุอาหารในกระน้ำ และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ มาวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในทางสถิติด้วยวิธี T-test โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window (Statistical Package for the Social Sciences)

3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาชนิดผักที่เหมาะสมกับระบบการเลี้ยงปลาที่บ่มร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1.1 สัตว์ทดลอง

- (1) ปลาที่บ่ม ขนาด 150 ± 22.10 กรัม จำนวน 60 ตัว

3.2.1.2 พืชทดลอง

- (1) เมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatica* Forsk.)
- (2) เมล็ดพันธุ์โชมจีน (*Amaranthus tricolor*)

3.2.1.3 อุปกรณ์

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่มีการปรับปรุงส่วนประกอบของระบบดังนี้

- (1) ถังตกตะกอน ปรับปรุงโดยต่อปั๊ม ยี่ห้อ HETO รุ่น QD-3800 อัตราไหล 1,500 ลิตรต่อช.ม. บริเวณวาล์วเปิด-ปิดด้านล่างของถัง และเชื่อมต่อกับเครื่องตั้งเวลาอัตโนมัติ เพื่อถ่ายตะกอนออก ทุก 4 ชั่วโมงเป็นเวลา 10 วินาที

- (2) ถังชีวภาพ จากการทดลองที่ 1 ถังมีขนาด $0.37 \times 0.30 \times 0.10$ ลูกบาศก์เมตร เปลี่ยนมาใช้ถังที่มีฝาปิด เพื่อป้องกันตะไคร่ โดยมีขนาดของถังเท่าเดิม แล้วเจาะรูเพื่อให้น้ำไหลผ่านไปยังไซกรอง และเพิ่มปริมาณของไซกรอง และไบโอบอล จากเดิม 90 ลูก เป็น 120 ลูก

3.2.2 การวางแผนการทดลอง

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3.2.3 วิธีการเตรียมการทดลอง

3.2.3.1 ระบบ Fish

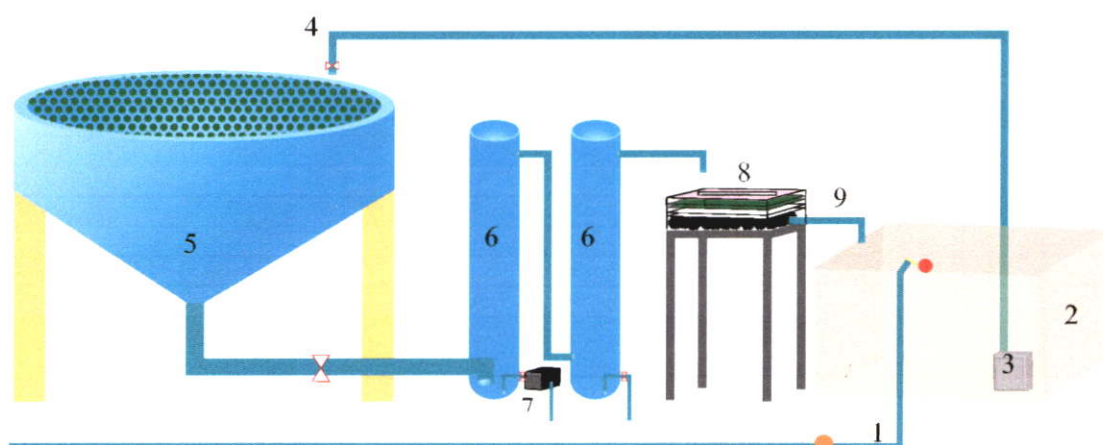
- (1) จัดตั้งระบบ Fish (ภาพที่ 3.9) ซึ่งประกอบด้วย

(1.1) ถังเลี้ยงปลา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่บรรจุปริมาณน้ำ 500 ลิตร เพื่อลดระดับน้ำในถังเลี้ยง ป้องกันปลากระโดด และน้ำล้น (ภาพที่ 3.10)

(1.2) ถังตกตะกอน เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 มีการดัดแปลงเชื่อมต่อวาล์วเปิด-ปิด บริเวณช่วงล่างถังเข้ากับปั๊มดูดตะกอน และเครื่องตั้งเวลาอัตโนมัติ เพื่อถ่ายตะกอน (ภาพที่ 3.11 ข.)

(1.3) ถังกรองชีวภาพ ขนาด $0.37 \times 0.3 \times 0.1$ ลูกบาศก์เมตร ทำจากพลาสติก ภายในใส่ไบโอบอล จำนวน 120 ลูก เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับแบคทีเรีย ด้านบนมีไซกรองหยาบและไซกรองละเอียดกรองรับน้ำจากถังตกตะกอน เพื่อกรองตะกอนที่มีขนาดเล็ก (ภาพที่ 3.11 ก.)

- (1.4) ถังเก็บน้ำ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1



ภาพที่ 3.9 แบบจำลองของระบบ Fish

หมายเหตุ :

1 = ท่อเติมน้ำ

2 = ถังเก็บน้ำ

3 = ป้อนน้ำ

4 = ท่อน้ำเข้า

5 = ถังเลี้ยงปลา*

6 = ถังตกตะกอน*

7 = ป้อนถ่ายตะกอน

8 = ถังกรองชีวภาพ

9 = ท่อน้ำออก*

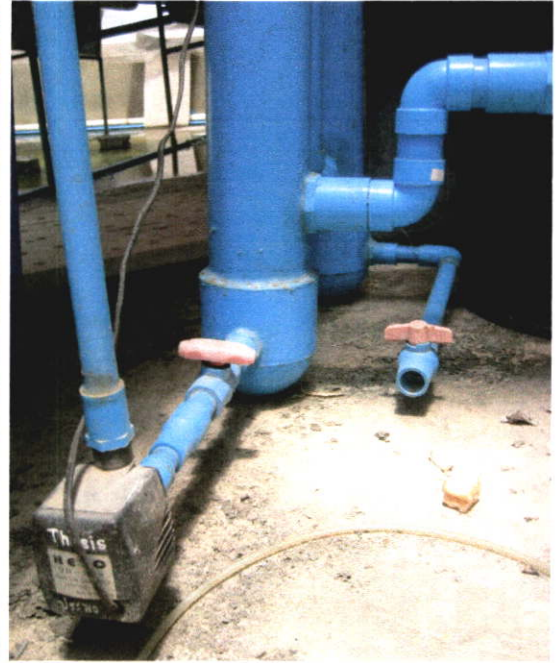
* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์



ภาพที่ 3.10 ระบบการเลี้ยงปลาแบบปิด



(ก)



(ข)

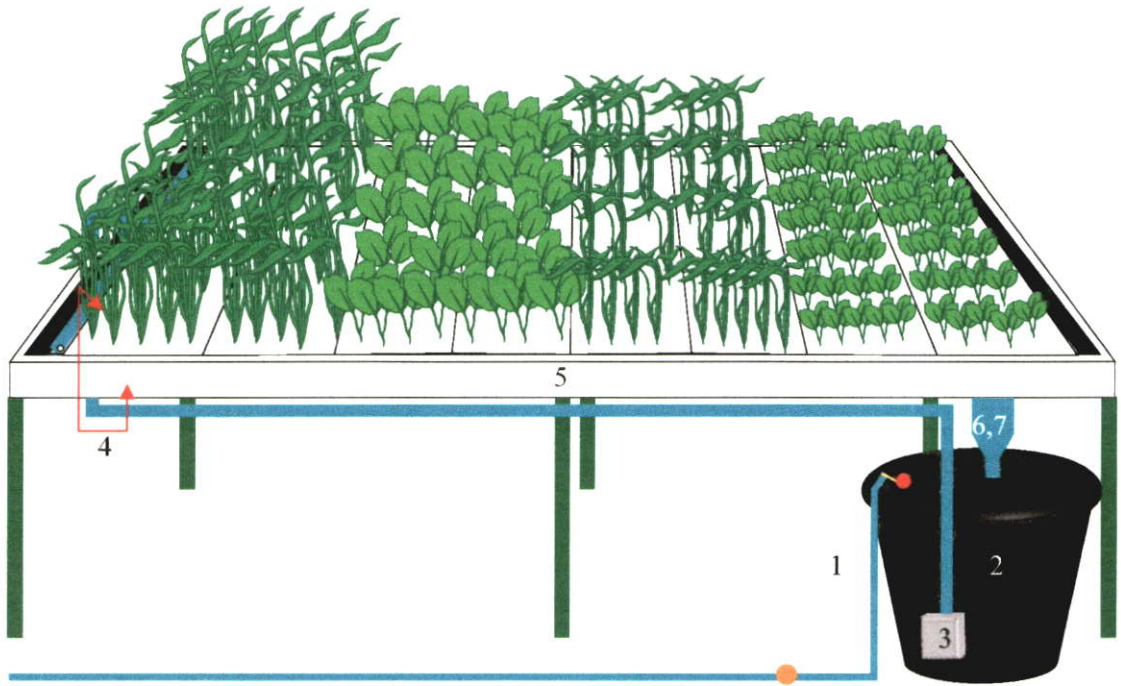
ภาพที่ 3.11 ถังกรองชีวภาพและถังตกตะกอน (ก) ลักษณะของปั๊มดูดตะกอนที่เชื่อมต่อกับถังตกตะกอนและวาล์วเปิด-ปิด (ข)

3.2.3.2 ระบบ DRFT

จัดตั้งระบบ DRFT (ภาพที่ 3.12, 3.13) ประกอบด้วย โตะปลูก, ถาดปลูกพืช, แผ่นปลูก และถังสารละลาย เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3.2.3.3 ระบบ DRFT-Fish

จัดตั้งระบบ DRFT-Fish ดังแสดงในภาพที่ 3.14, 3.15 ส่วนประกอบใช้ขนาดเช่นเดียวกับระบบ Fish และระบบ DRFT โดยส่วนของสารละลายที่ไหลผ่านถังชีวภาพ จะถูกส่งต่อไปยังท่อน้ำเข้าของโตะปลูก และไหลไปยังถังสารละลายที่มีปั๊มน้ำอยู่ เพื่อสูบน้ำกลับไปยังถังเลี้ยงปลาอีกครั้ง



ภาพที่ 3.12 แบบจำลองระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินระบบ DRFT

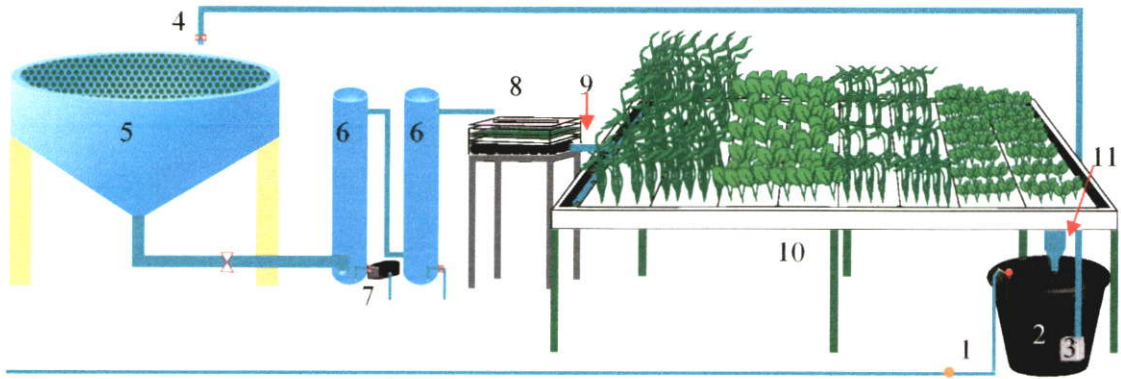
หมายเหตุ : 1 = ท่อเติมน้ำ
2 = ถังเก็บน้ำ*
3 = ปั๊มน้ำ
4 = ท่อน้ำเข้า

5 = โตะปลูก
6 = สะตื่อน้ำ
7 = ท่อน้ำออก*

* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์



ภาพที่ 3.13 โตะปลูกผักบุ้งจีนและผักโขมแบบไม่ใช้ดินระบบ DRFT



ภาพที่ 3.14 แบบจำลองระบบ DRFT-Fish

หมายเหตุ : 1 = ท่อเติมน้ำ

2 = ถังเก็บน้ำ

3 = ปั๊มน้ำ

4 = ท่อน้ำเข้า

5 = ถังเลี้ยงปลา*

6 = ถังตกตะกอน*

7 = ปั๊มถ่ายตะกอน

8 = ถังกรองชีวภาพ*

9 = ท่อน้ำเข้าโต๊ะปลูกพืช

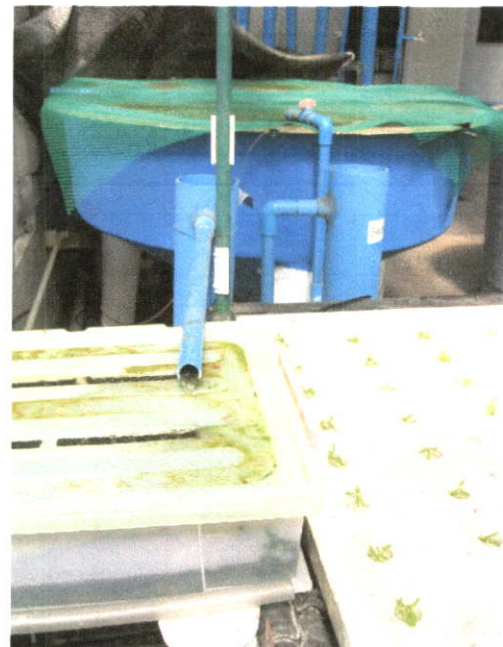
10 = โต๊ะปลูก

11 = ท่อน้ำออก*

* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.15 โต๊ะปลูกผักบุ้งจีนและผักโขม (ก) และระบบกรอง (ข) ของระบบ DRFT-Fish

3.2.4 วิธีการทดลอง

3.2.4.1 การจัดการระบบการเลี้ยงปลา

(1) เช่นเดียวกับวิธีการทดลองที่ 1 แต่การถ่ายตะกอนจะทำงานอัตโนมัติทุก 4 ชั่วโมง เป็นเวลา 10 วินาที เวลา 02.00, 06.00, 10.00, 14.00, 18.00 และ 22.00 น.

3.2.4.2 การเตรียมกล้าผักและการดูแล

(1) เช่นเดียวกับวิธีการทดลองที่ 1 แต่หยอดเมล็ดผักช่องละ 3 เมล็ดต่อชนิด และควบคุมค่า EC ให้มีค่าระหว่าง 1.2-1.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร การเตรียมกล้าจะเตรียมสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ทุกสัปดาห์ จำนวน 150 ต้นต่อสัปดาห์ต่อชนิด

(2) เติมน้ำและเริ่มเปิดการทำงานของระบบให้มีการหมุนเวียนน้ำครบ 2 สัปดาห์ ก่อนย้ายปลูกลกล้าผัก

(3) เมื่อดันกล้ามีรากโผล่ลงมาที่ด้านล่างฟองน้ำ ย้ายต้นกล้าที่แข็งแรงสมบูรณ์ดี ลงโต๊ะปลูก โดยเลือกผักชนิดเดียวกันที่ขนาดและความสมบูรณ์ใกล้เคียงกันใส่ในช่องปลูกของแผ่นปลูก สอดต้นกล้าจากทางด้านล่างของแผ่นปลูก โดยให้ก้นฟองน้ำด้านที่มีรากโผล่อยู่เสมอกับขอบล่างสุดแผ่นปลูก ทั้งนี้เพื่อให้ก้นฟองน้ำและรากแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารในรางปลูก ปลูกผักบุงจีนและ ผักโขมชนิดละ 100 ต้นต่อสัปดาห์ อายุแต่ละกลุ่มห่างกัน 1 สัปดาห์ เพื่อให้ระบบมีอายุผักสม่ำเสมอตลอดการทดลอง โดยแต่ละกลุ่มใช้เวลาในการเจริญเติบโตจนเก็บเกี่ยว 3 สัปดาห์ เมื่อครบอายุเก็บเกี่ยว จึงย้ายผักบุงจีนและ ผักโขมกลุ่มนั้นออก และย้ายกล้าผักบุงจีนและ ผักโขมอายุ 1 สัปดาห์ใส่แทน โดยหมุนเวียนเช่นนี้ตลอดการทดลอง (ภาพที่ 3.12, 3.14)

(4) ระหว่างการทดลองต้องเติมสารละลายธาตุอาหารในระบบการปลูกผัก ให้มีค่า EC ของสารละลายระหว่าง 1.2-1.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตลอดการทดลอง

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

หมายเหตุ : ระบบ Fish ปฏิบัติตามวิธีในหัวข้อ 3.2.4.1

ระบบ DRFT ปฏิบัติตามวิธีในหัวข้อ 3.2.4.2

ระบบ DRFT-Fish เปิดการทำงานของระบบและปล่อยปลาลงถังเลี้ยงปลา จนครบ 2 สัปดาห์ (ระหว่างนี้ต้องปรับค่า EC และ pH ให้ได้ตามที่กำหนด) หลังจากนั้นเริ่มย้ายกล้าผักทั้ง 2 ชนิด เช่นเดียวกับระบบ DRFT และทดลองเช่นเดียวกับวิธีในหัวข้อ 3.2.4.1 และ 3.2.4.2

3.2.5 ข้อมูลที่ตรวจวัดและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

- 3.2.5.1 วัดการเจริญเติบโตของปลาทั้งตัว เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1
- 3.2.5.2 วัดการเจริญเติบโตของผักบุงเงินและผักโขมโดยการชั่งน้ำหนักรวมทั้งต้นและรากของผักบุงเงินและผักโขมจำนวน 100 ต้นต่อชนิดพืชต่อระบบ ทุกรอบการปลูก เพื่อหาผลผลิตผักรวมตลอดการทดลอง
- 3.2.5.3 วัดคุณภาพน้ำ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1
- 3.2.5.4 ประสิทธิภาพของผักในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1
- 3.2.5.5 ความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

3.2.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลน้ำหนักและความยาวปลา น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักบุงเงินและผักโขม ผลผลิตรวมของปลา, ผักบุงเงินและผักโขม คุณภาพน้ำ และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ มาวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในทางสถิติด้วยวิธี T-test โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window

3.3 การทดลองที่ 3 การเลี้ยงปลาที่บ่มร่วมกับการปลูกผักบุ้งจีนโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1.1 สัตว์ทดลอง

(1) ปลาที่บ่ม ขนาด 80 ± 20.60 กรัม จำนวน 80 ตัว

3.3.1.2 พืชทดลอง

(1) เมล็ดพันธุ์ผักบุ้งจีน (*Ipomoea aquatica* Forsk.)

3.3.1.3 อุปกรณ์

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 แต่มีการปรับปรุงส่วนประกอบของระบบดังนี้

(1) ถังตกตะกอน จากเดิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 1.0 เมตร เพิ่มความสูงของท่อเป็น 1.2 เมตร เพื่อป้องกันน้ำล้น เปลี่ยนขนาดของท่อ PVC ที่เชื่อมระหว่างถังตกตะกอน จากเดิม 3/4 นิ้ว เป็นขนาด 1 นิ้ว และออกแบบที่ทำความสะอาดท่อทางด้านบนของท่อ PVC ที่เชื่อม (ภาพที่ 3.18 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 $0.37 \times 0.30 \times 0.10$ ลูกบาศก์เมตร เปลี่ยนมาใช้ถังทำจากพลาสติกสีดำ ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.52 เมตร สูง 0.4 เมตร และเพิ่มปริมาณของใยกรอง และไบโอบอลจากเดิม 120 ลูก เป็น 250 ลูก (ภาพที่ 3.18 ข.) และติดลูกลอยบริเวณท่อน้ำออกจากถังตกตะกอน เพื่อป้องกันน้ำล้นเมื่อเกิดการขัดข้องของไฟฟ้า

(3) ถังสารละลาย จากเดิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.52 เมตร สูง 0.4 เมตร เปลี่ยนให้มีขนาดใหญ่กว่าเดิม โดยใช้ถังขนาด $57 \times 80 \times 52$ ลูกบาศก์เมตร (ภาพที่ 3.25)

3.3.2 การวางแผนการทดลอง

เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ 2

3.3.3 วิธีการเตรียมการทดลอง

3.3.3.1 ระบบ Fish

(1) จัดตั้งระบบ Fish ดังแสดงในภาพที่ 3.16 ซึ่งประกอบด้วย

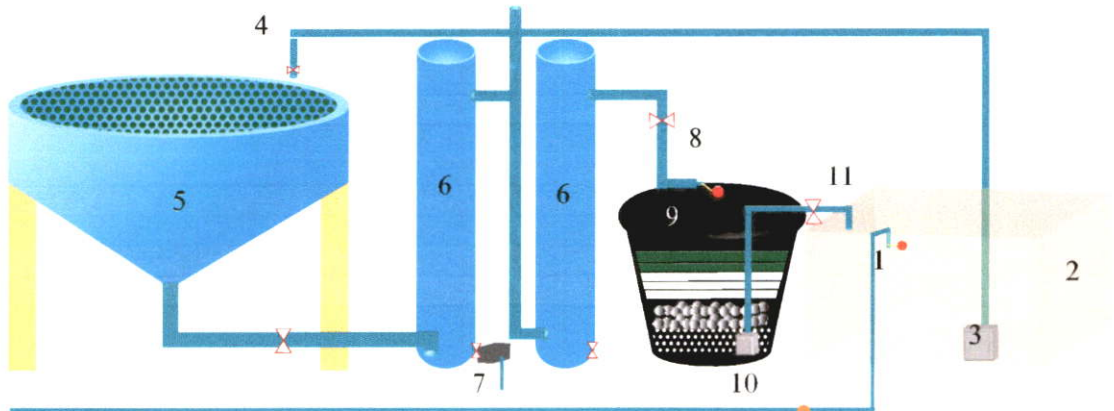
(1.1) ถังเลี้ยงปลา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 บริเวณก้นถังมีตะแกรงสแตนเลสกั้นอยู่ และยกถังเลี้ยงปลาให้สูงขึ้นโดยใช้อิฐรองสูงประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มอัตราไหลของน้ำในระบบ (ภาพที่ 3.17)

(1.2) ถังตกตะกอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 1.2 เมตร ทำจากท่อ PVC ด้านล่างของท่อบีฝาครอบปิด บริเวณช่วงล่างถังมีวาล์วเปิด-ปิด เชื่อมต่อกับปั๊ม และเครื่องตั้ง

เวลาอัตโนมัติ เพื่อถ่ายตะกอน และใช้ท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว เป็นตัวเชื่อมระหว่างถังตกตะกอน (ภาพที่ 3.18 ก.)

(1.3) ถังกรองชีวภาพ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.52 เมตร สูง 0.4 เมตร ทำจากพลาสติกสีดำ ชั้นบนมีใยกรองหยาบ ชั้นกลางมีใยกรองละเอียด เพื่อกรองตะกอน ชั้นล่างใส่ไบโอบอลจำนวน 250 อัน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับแบคทีเรีย (ภาพที่ 3.18 ข.)

(1.4) ถังเก็บน้ำ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ 2



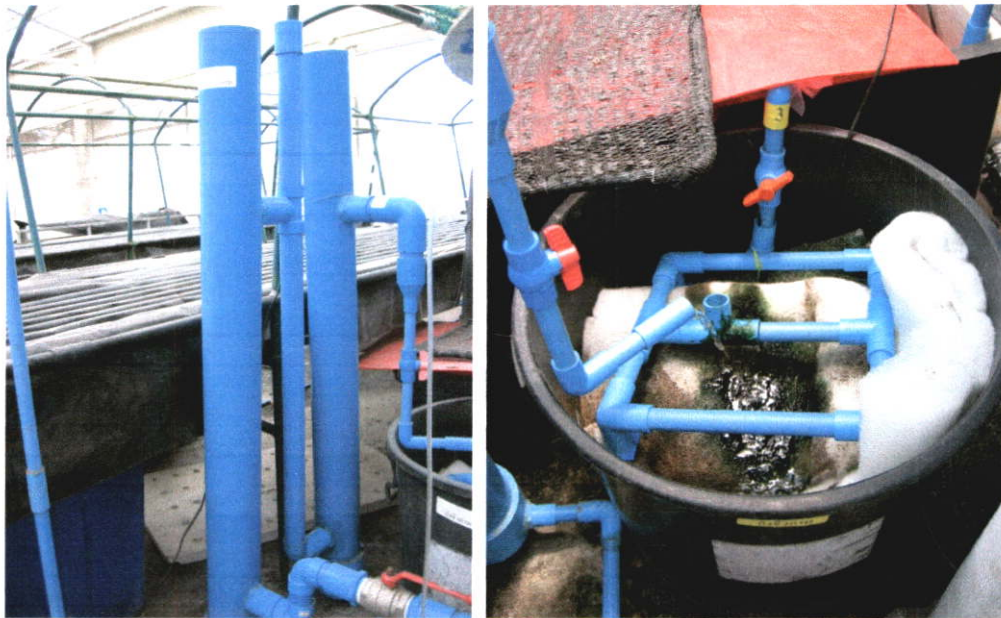
ภาพที่ 3.16 แบบจำลองของระบบการเลี้ยงปลาตู้บิโอม

หมายเหตุ : 1 = ท่อเติมน้ำ
2 = ถังเก็บน้ำ
3 = ปั๊มน้ำ
4 = ท่อน้ำเข้า
5 = ถังเลี้ยงปลา*
6 = ถังตกตะกอน

7 = ปั๊มถ่ายตะกอน
8 = ท่อน้ำออกจากถังตกตะกอน*
9 = ถังกรองชีวภาพ
10 = ปั๊มน้ำ
11 = ท่อน้ำออก*
* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์



ภาพที่ 3.17 ระบบการเลี้ยงปลาที่บึงทิม



(ก)

(ข)

ภาพที่ 3.18 ลักษณะของถังตกตะกอน (ก) และถังชีวภาพ (ข) ของระบบการเลี้ยงปลาที่บึงทิม

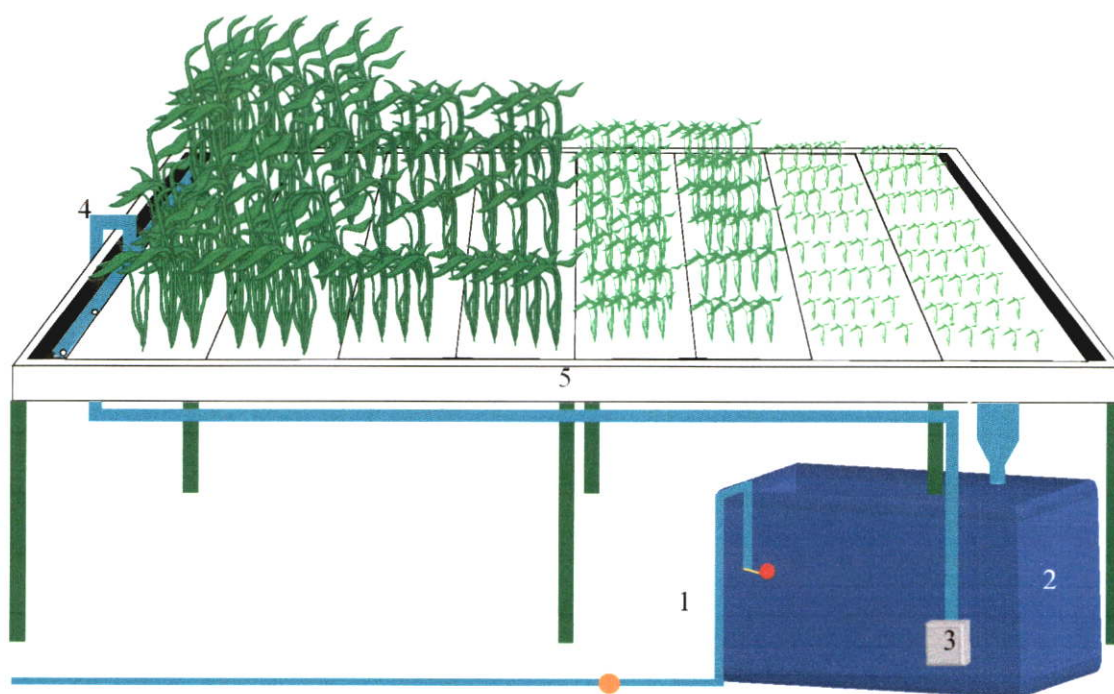
3.3.3.2 ระบบ DRFT

จัดตั้งระบบ DRFT ดังแสดงในภาพที่ 3.19, 3.20 ประกอบด้วย โตะปลูก, ถาดปลูกพืช และแผ่นปลูก เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ 2 มีการเปลี่ยนถังสารละลายให้มีขนาดใหญ่กว่าเดิม โดยใช้ถังทำจากพลาสติกสีน้ำเงิน ขนาด 57x80x52 ลูกบาศก์เมตร ภายในมีปั้มน้ำ เพื่อสูบ

น้ำกลับไปยังโตะปลูก และรองรับน้ำจากท่อน้ำเข้าซึ่งมีการติดลูกลอยเพื่อเป็นการเติมน้ำอัตโนมัติ และมีการติดมาตรวัดปริมาณน้ำเพื่อวัดปริมาณน้ำที่ใช้

3.3.3.3 ระบบ DRFT-Fish

จัดตั้งระบบ DRFT-Fish ดังแสดงในภาพที่ 3.21-3.23 ส่วนประกอบใช้ขนาดเช่นเดียวกับระบบ Fish และระบบ DRFT โดยส่วนของสารละลายที่ไหลผ่านถึงชีวภาพ จะถูกส่งต่อไปยังท่อน้ำเข้าของโตะปลูก และไหลไปยังถังสารละลายที่มีปั้มน้ำอยู่ เพื่อสูบน้ำกลับไปยังถังเลี้ยงปลาอีกครั้ง



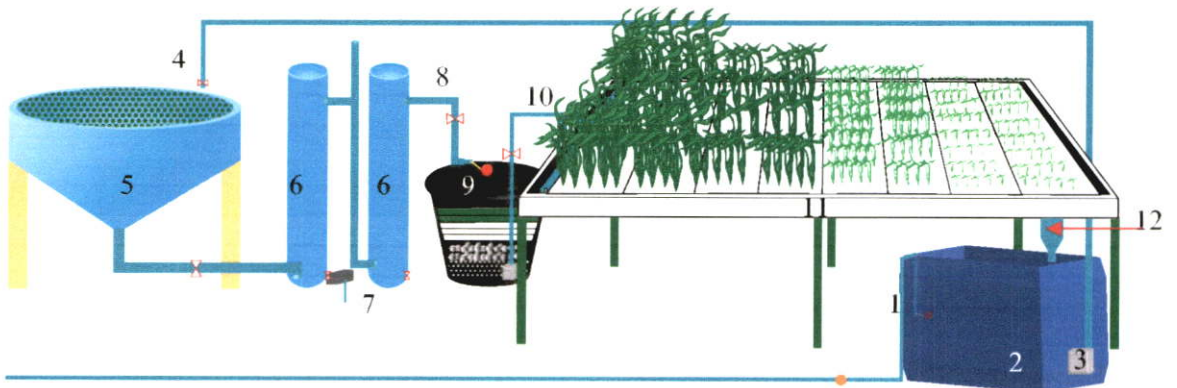
ภาพที่ 3.19 แบบจำลองระบบ DRFT

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

5 = โตะปลูก
6 = ท่อน้ำออก*
* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์



ภาพที่ 3.20 โต๊ะปลูกผักบึงจิ้นแบบไม่ใช้ดินระบบ DRFT



ภาพที่ 3.21 แบบจำลองระบบการเลี้ยงปลาที่รวมทั้งการปลูกผักบึงจิ้นโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT

หมายเหตุ : 1 = ท่อเติมน้ำ

2 = ถังเก็บน้ำ

3 = ป้อนน้ำ

4 = ท่อน้ำเข้า

5 = ถังเลี้ยงปลา*

6 = ถังตกตะกอน

7 = ป้อนถ่ายตะกอน

8 = ท่อน้ำออกจากถังตกตะกอน*

9 = ถังกรองชีวภาพ

10 = ท่อน้ำเข้าโต๊ะปลูกพืช*

11 = โต๊ะปลูก

12 = ท่อน้ำออก*

* = จุดที่เก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์



ภาพที่ 3.22 ระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 3.23 ระบบกรองของระบบ DRFT-Fish

3.3.4 วิธีการทดลอง

3.3.4.1 การจัดการระบบการเลี้ยงปลา

(1) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ 2 แต่การถ่ายตะกอนจะทำงานอัตโนมัติทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 20 วินาที เวลา 07.00, 13.00, 19.00 และ 01.00 น.

3.3.4.2 การเตรียมกล้าผักและการดูแล

- (1) เช่นเดียวกับ การทดลองที่ 2 และควบคุมค่า EC ให้มีค่าระหว่าง 1.2-1.8 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร การเตรียมกล้าจะเตรียมสัปดาห์ละ 1 ครั้ง จำนวน 150 ต้นต่อสัปดาห์
- (2) เติมน้ำและเริ่มเปิดการทำงานของระบบให้มีการหมุนเวียนน้ำครบ 2 สัปดาห์ ก่อนย้ายปลูกลงกล้าผัก
- (3) เมื่อดันกล้ามีรากโผล่ลงมาที่ด้านล่างฟองน้ำ ย้ายต้นกล้าที่แข็งแรงสมบูรณ์ดี ลงโตะปลูก โดยเลือกกล้ามีรูปร่างขนาดและความสมบูรณ์ใกล้เคียงกัน จำนวน 100 ต้นต่อสัปดาห์ อายุแต่ละกลุ่มห่างกัน 1 สัปดาห์ เพื่อให้ระบบมีอายุผักสม่ำเสมอตลอดการทดลอง โดยจะย้ายปลูกลงผักทุกสัปดาห์ แต่ละกลุ่มใช้เวลาในการเจริญเติบโตจนเก็บเกี่ยว 3 สัปดาห์
- (4) ระหว่างการทดลองเติมสารละลายธาตุอาหาร ในระบบการปลูกผักมีรูปร่าง ควบคุมให้ค่า EC ของสารละลายระหว่าง 1.2-1.8 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ตลอดการทดลอง
- (5) ปรับค่า pH ของสารละลายธาตุอาหาร ทุก 2-3 วัน ให้อยู่ในช่วง 6.5-7.0 โดยใช้กรดไนตริก (HNO_3)

หมายเหตุ : ระบบ Fish ปฏิบัติตามวิธีในหัวข้อ 3.3.4.1

ระบบ DRFT ปฏิบัติตามวิธีในหัวข้อ 3.3.4.2

ระบบ DRFT-Fish เปิดการทำงานของระบบและปล่อยปลาเลี้ยงปลาดังเลี้ยงปลา จนครบ 2 สัปดาห์ จึงเริ่มปรับค่า EC และ pH ให้ได้ตามที่กำหนด หลังจากนั้นเริ่มย้ายกล้าผัก เช่นเดียวกับ ระบบ DRFT และทดลองเช่นเดียวกับวิธีในหัวข้อ 3.3.4.1 และ 3.3.4.2.

3.3.5 ข้อมูลที่ตรวจวัดและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

- 3.3.5.1 วัดการเจริญเติบโตของปลาทั้งหมด เช่นเดียวกับ การทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2
- 3.3.5.2 วัดการเจริญเติบโตของผักมีรูปร่าง เช่นเดียวกับ การทดลองที่ 1
- 3.3.5.3 วัดคุณภาพน้ำ เช่นเดียวกับ การทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2
- 3.2.5.4 ประสิทธิภาพของผักในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลา เช่นเดียวกับ การทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2
- 3.2.5.5 ความสม่ำเสมอในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลา เช่นเดียวกับ การทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2
- 3.3.5.6 วิเคราะห์พืช และวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทในพืช เช่นเดียวกับ การทดลองที่ 1

3.3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลน้ำหนักและความยาวปลา น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของผักนึ่งจีน ผลผลิตรวมของปลาและผักนึ่งจีน คุณภาพน้ำ และประสิทธิภาพการบำบัด มาวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในทางสถิติด้วยวิธี T-test โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การทดลองที่ 1 การเลี้ยงปลา ร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT

4.1.1 การเจริญเติบโตของปลา ทับทิม และคะน้า

4.1.1.1 การเจริญเติบโตของปลา ทับทิม

ปลา ทับทิม ที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เท่ากับ 231 และ 237 กรัม ต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 134 และ 139 กรัมต่อตัว และความยาวเฉลี่ยของปลา ทับทิม เท่ากับ 24.06 และ 22.90 เซนติเมตรตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) แสดงให้เห็นว่า ระบบ DRFT-Fish ที่มีการเติมสารละลายธาตุอาหาร และมีการปรับค่า pH ของน้ำ ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา ทับทิม เนื่องจากปลา ทับทิม เป็นปลาที่เลี้ยงง่าย มีความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมสูง ทนต่อความเค็มที่ 10-15 ppt. ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่สามารถมีชีวิตรอยู่ได้ระหว่าง 5-10 (Thomas and Masser. 1999)

ตารางที่ 4.1 การเจริญเติบโตของปลา ทับทิม ที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ค่าเฉลี่ยจาก 30 ตัว)

การเจริญเติบโต	ระบบ		T-test
	Fish	DRFT-Fish	
น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	231±11.59	237±20.60	ns
น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	134±8.97	139±18.30	ns
ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)	24.06±0.38	22.90±0.78	ns
ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	5.81±0.61	5.25±0.84	ns

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

4.1.1.2 การเจริญเติบโตของคะน้า

คะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีน้ำหนักสดเฉลี่ย 62.70 และ 74.32 กรัมต่อต้นตามลำดับ และน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 5.07 และ 5.63 กรัมต่อต้นตามลำดับ ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่เท่ากับ 4.33 และ 4.17

กิโกรัมต่อตารางเมตรตามลำดับ และผลผลิตรวมตลอดการทดลองของระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 46.72 และ 45.59 กิโกรัมตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 การเจริญเติบโตของคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

การเจริญเติบโต	ระบบ		T-test
	DRFT	DRFT-Fish	
น้ำหนักสดเฉลี่ย (กรัม/ต้น) ¹	62.70±5.97	74.32±8.78	ns
น้ำหนักแห้งเฉลี่ย (กรัม/ต้น) ¹	5.07±0.55	5.63±0.70	ns
ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ (กก./ตร.ม.) ²	4.33±0.19	4.17 ±0.33	ns
ผลผลิตรวมตลอดการทดลอง (กก.) ³	46.72	46.59	-

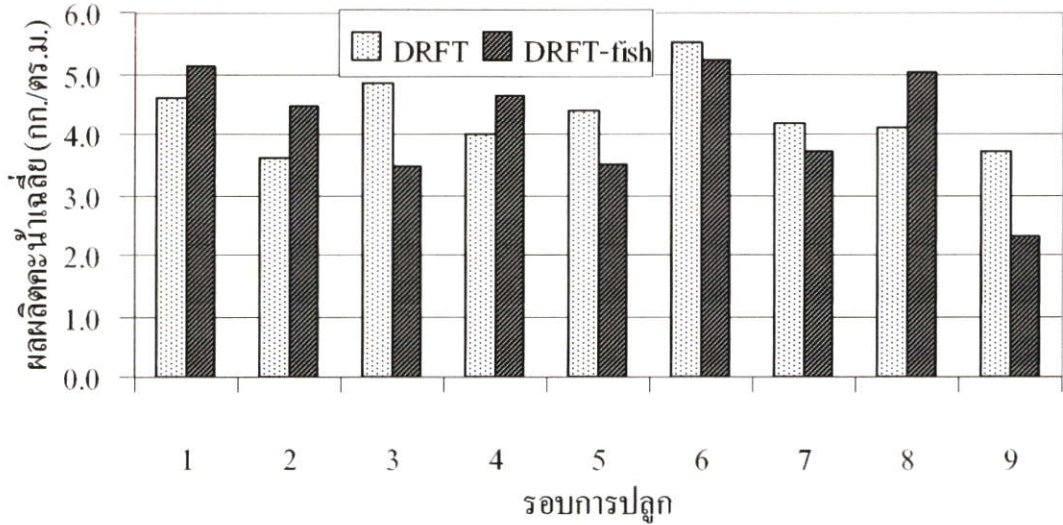
หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

¹ = ค่าเฉลี่ยจากข้อมูลคะน้า 15 ต้น (กลุ่ม 1 เดือน/ครั้ง/5 ต้น) รวม 3 ครั้ง

² = ค่าเฉลี่ยจาก 9 รอบปลูก (รอบปลูกละ 100 ต้น) ต่อพื้นที่ 1 ตร.ม.

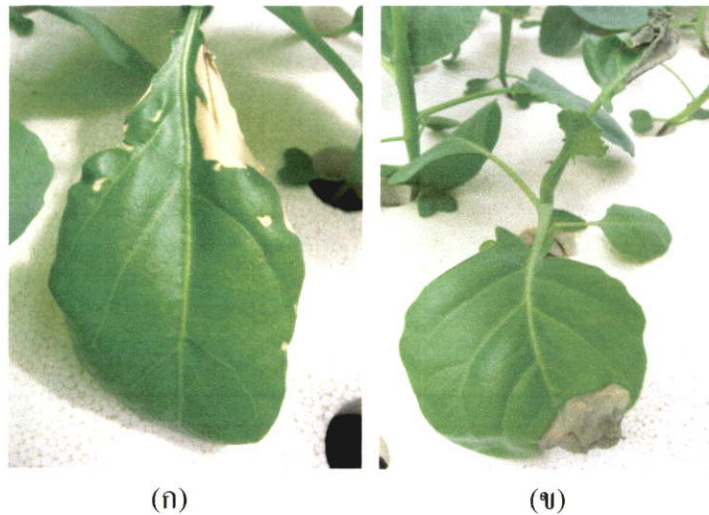
³ = คัดจากผลผลิตรวม 9 รอบปลูก

แนวโน้มการเจริญเติบโตของคะน้า จากผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ แสดงในภาพที่ 4.1 พบว่าผลผลิตคะน้าในรอบการปลูกที่ 9 ของระบบ DRFT-Fish ลดลงอย่างมาก เนื่องจากพบว่าลักษณะของใบคะน้าแสดงอาการเป็นพิษ (necrosis) มีลักษณะปลายใบมีรอยไหม้ ขอบใบหงิก บางส่วนของใบเป็นสีขาว หรือสีน้ำตาลเข้ม (ภาพที่ 4.2 ก., ข.) อาจเนื่องจากการไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ทำให้เกิดปัญหาการสะสมของเกลือในสารละลายที่พืชต้องการปริมาณน้อยและเป็นพิษต่อพืช โดยเฉพาะโซเดียม (Na) และเกลือที่เป็นส่วนผสมของอาหารปลาที่ตกค้างอยู่ในระบบ โดยปริมาณโซเดียมในสารละลายมีความเป็นพิษต่อพืชแต่ละชนิดไม่เท่ากัน เช่น โซเดียมที่ระดับความเข้มข้น 50 ppm. ในสารละลายจะเป็นพิษต่อผักสลัด สตรอเบอร์รี่ และกุหลาบ เป็นต้น (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2548) โดยที่คะน้าสามารถเจริญเติบโตในดินที่มีระดับความเค็ม 12.1-16.0 mmho/cm (สมศรี อรุณินท์. 2534)



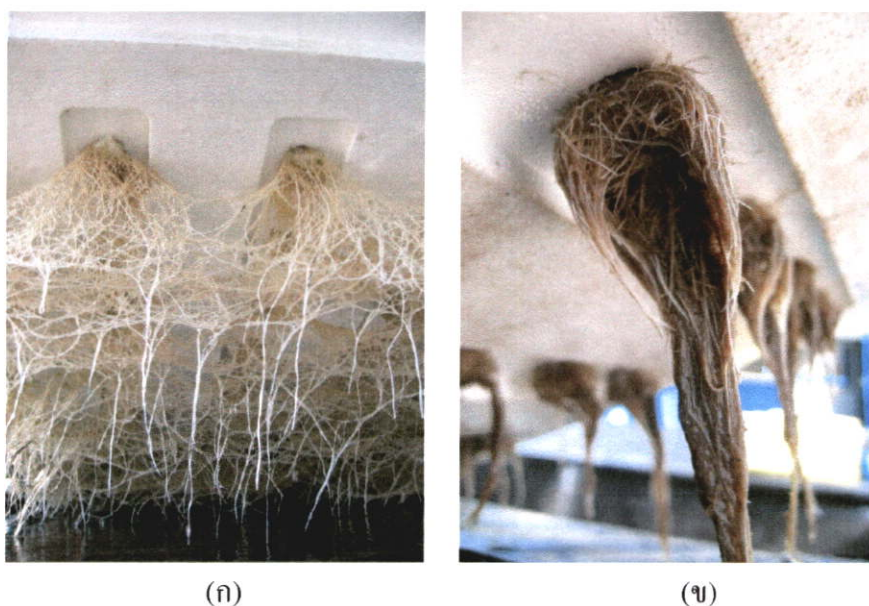
ภาพที่ 4.1 ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ของคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

หมายเหตุ : 1 รอบการปลูกคะน้าเท่ากับ 42 วัน



ภาพที่ 4.2 อาการเป็นพิษ (necrosis) ของใบคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish (ก), (ข)

ระบบ DRFT-Fish มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของรากพืช จากการทดลองระบบ DRFT มีลักษณะรากที่สมบูรณ์กว่าระบบ DRFT-Fish เนื่องจากมีลักษณะรากยาว สีขาว และมีจำนวนมาก แตกต่างกับระบบ DRFT-Fish ที่มีลักษณะรากสั้น อวบ สีขาวแต่มีตะกอนสีน้ำตาลเกาะอยู่จำนวนมาก (ภาพที่ 4.3) ที่มีลักษณะเช่นนี้เนื่องจากเมื่อมีตะกอนสะสมปริมาณมาก ตะกอนจะไปจับรากพืช และทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำ และธาตุอาหารลดลง เป็นสาเหตุให้รากสั้น (Zweig, 1986)



ภาพที่ 4.3 ลักษณะรากค้ำน้ำที่ปลูกในระบบ DRFT (ก) และระบบ DRFT-Fish (ข)

4.1.2 ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณไนโตรเจนในใบค้ำน้ำ

4.1.2.1 ปริมาณธาตุอาหารในใบและลำต้นค้ำน้ำ

เมื่อพิจารณาดังตารางที่ 4.3 พบว่า ปริมาณธาตุอาหารในใบและลำต้นค้ำน้ำของระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าน้ำจากการเลี้ยงปลาที่บ่มที่มีการเติมสารละลายธาตุอาหารพืช สามารถนำไปปลูกพืชได้โดยไม่ส่งผลต่อการดูดใช้ธาตุอาหารของพืชไปสะสมที่ใบ สอดคล้องกับ Rakocy and Masser (1992) และ Miao, X. et al. (2002) ที่กล่าวว่า ในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืช พืชสามารถใช้ธาตุอาหารจากน้ำเลี้ยงปลาได้ส่วนหนึ่ง แต่ยังไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช จึงควรมีการปรับปรุงก่อนนำไปใช้ โดยมีการเติมจุลธาตุอาหาร โดยเฉพาะเหล็ก เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชให้เป็นไปตามปกติ

ตารางที่ 4.3 ปริมาณธาตุอาหารในใบและลำต้นค้ำน้ำที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
DRFT	4.25±0.05	0.55±0.02	5.45±0.16	2.51±0.05	0.34±0.01
DRFT-Fish	4.28±0.06	0.56±0.02	5.62±0.13	2.39±0.05	0.33±0.01
T-test	ns	ns	ns	ns	ns

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

4.1.2.2 ปริมาณธาตุอาหารในรากของคะน้า

เมื่อพิจารณาคังตารางที่ 4.4 พบว่า ปริมาณธาตุอาหารในรากของคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ยกเว้นปริมาณไนโตรเจนในรากของคะน้าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในรากของคะน้าระบบ DRFT-Fish มากกว่าในระบบ DRFT เนื่องจากในระบบ DRFT-Fish มีไนโตรเจนอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) มากกว่าระบบ DRFT (ภาพที่ 4.9) ซึ่ง NH_4^+ เป็นรูปของไนโตรเจนที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที (ขงยุทธ โอสภสกา. 2543) ดังนั้นรากพืชของระบบ DRFT-Fish จึงมีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าของระบบ DRFT และอาจเนื่องจากมีตะกอนบางส่วนเกาะบริเวณรากพืช และเมื่อนำไปวิเคราะห์ จึงทำให้มีค่าไนโตรเจนสูงขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 4.4 ปริมาณธาตุอาหารในรากของคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
DRFT	4.05±0.05	0.06±0.02	3.68±0.15	1.87±0.47	0.07±0.02
DRFT-Fish	4.38±0.12	0.06±0.01	4.21±0.21	1.44±0.21	0.06±0.02
T-test	*	ns	ns	ns	ns

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

* = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

4.1.2.3 ปริมาณไนเตรทในใบคะน้า

ระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไนเตรทในใบคะน้าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5,036.1 และ 5,259.8 $\text{mgNO}_3/\text{g FW}$ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไม่มีผลต่อการสะสมปริมาณไนเตรทในใบ (ตารางที่ 4.5) ปริมาณไนเตรทในใบคะน้าที่วิเคราะห์ได้จากผลการทดลองนี้พบว่ามีค่าเฉลี่ยสอดคล้องกับการสำรวจเบื้องต้นของ ไพรัตน์ (2547) ในการตรวจสอบปริมาณไนเตรทของผักใบชนิดต่างๆ ที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินที่จำหน่ายในตลาด พบว่า ผักชนิดต่างๆ (ผักโขวจีน, กวางตุ้งฮ่องเต้, ผักกาดขาวโกลน, คะน้าฮ่องกง, คะน้ายอด, ผักบุ้ง และผักโขม) ที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินมีความเข้มข้นไนเตรทเฉลี่ย 4,000-7,000 $\text{mgNO}_3/\text{g FW}$ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนเตรทระดับสูงสุดในพืชผักตามข้อบังคับของสหภาพยุโรปปี 2536 เช่น ผักสลัด (*Lactuca sativa* L.) กำหนดไว้ที่ 2,500-4,500 $\text{mgNO}_3/\text{g FW}$ (ดิเรก ทองอร่าม. 2547) ปริมาณไนเตรทในการทดลองนี้มีค่าเกินมาตรฐาน แต่ลักษณะการบริโภคผักของคนไทย ส่วนมากจะนำไปปรุงเป็นอาหารด้วยความร้อนก่อน (โดยการลวก ต้ม และนึ่ง) ซึ่งความร้อนสามารถช่วยลดปริมาณไนเตรทได้ 40-60 เปอร์เซ็นต์ (สุวรรณ. 2547) สอดคล้องกับการ

ทดลองของ ออมทอง (2548) ที่วิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทในค่น้ำพบว่ามึค่าเฉลี่ย 5,335 mgNO₃/g FW แต่เมื่อนำค่น้ำไปค้บ พบว่าปริมาณไนเตรทลดลงเหลือเพียง 2,898 mgNO₃/g FW

ตารางที่ 4.5 ปริมาณไนเตรทในใบค่น้ำที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

ระบบ	ปริมาณไนเตรทในใบค่น้ำเฉลี่ย (mgNO ₃ /g FW)
DRFT	5036.1±200
DRFT-fish	5259.8±246
T-test	ns

หมายเหตุ: ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

4.1.2 คุณภาพน้ำ

ค้บแสดงในภาพที่ 4.4-4.12/ ตารางที่ 4.6

4.1.3.1 อุณหภูมิของน้ำ (temperature) พบว่า อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 23.70, 24.16 และ 24.31 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

4.1.3.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 6.73, 5.38 และ 5.97 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) โดยปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ในระบบ DRFT-Fish และระบบ Fish มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน และมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าระบบ DRFT เนื่องจากระบบ DRFT-Fish และระบบ Fish มีการทำงานของกระบวนการไนตริฟิเคชันโดยแบคทีเรียพวกที่ใช้ออกซิเจนในการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์ และเปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรท ทำให้ต้องมีการใช้ออกซิเจนปริมาณ ปริมาณออกซิเจนจึงลดลงเนื่องจากถูกใช้ในปริมาณมาก (Timmons and Losordol. 1994)

4.1.3.3 ความเป็นกรด-ค่างของน้ำ (pH) พบว่าค่า pH เฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 6.55, 7.27 และ 6.45 ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) โดยระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 6.2-6.8 เพื่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในสารละลายค้อพืช (ขงยุทธ โอสดสภา และคณะ. 2541) ดังนั้นระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish จึงมีค่า pH ต่ำกว่าระบบ Fish ซึ่งไม่มีการปรับค่า pH

4.1.3.4 การนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร (electrical conductivity ; EC) พบว่าค่า EC เฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 3.11, 0.52 และ 3.15 มิลลิ

ซีเมนต์ต่อเซนติเมตรตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีการเติมสารละลายธาตุอาหาร ให้อยู่ในช่วง 2.8-3.2 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เพื่อความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (ศิริก ทงอร่าม, 2544) ดังนั้นระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish จึงมีค่า EC สูงกว่าในระบบ Fish ซึ่งไม่มีการเติมสารละลายธาตุอาหาร แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากเป็นระบบปิด ดังนั้นทำให้เกิดการสะสมของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของปลาและเกลือแร่ต่างๆ ที่อยู่ในอาหารปลาทำให้ค่า EC สูงขึ้น

4.1.3.5 ความเป็นด่าง (alkalinity) พบว่า ความเป็นด่างเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 37.05, 85.15 และ 50.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีค่าความเป็นด่างต่ำที่สุด เนื่องจากทั้ง 2 ระบบมีการควบคุมค่า pH ของสารละลายให้อยู่ในช่วง 6.0-6.5 (เป็นกรดอ่อน) ทำให้ความเป็นด่างที่อยู่ในรูปไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนตรวมตัวกับไฮโดรเจนไอออน แยกตัวได้ คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ จึงทำให้ค่าความเป็นด่างลดลง (Timmons and Losordol, 1994)

4.1.3.6 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมด (total ammonia nitrogen) พบว่า ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 0.44, 0.41 และ 2.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยระบบ DRFT-Fish มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด จากการทดลองพบว่าระบบ DRFT-Fish ในช่วงสัปดาห์ที่ 2-4 หลังจากลงปลา มีปริมาณแอมโมเนียสูงเฉลี่ย 3.41-4.01 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากเมื่อเริ่มมีกระบวนการกินอาหาร การหายใจ การขับถ่าย และการย่อยอาหารของปลา ทำให้ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่แบคทีเรียมีปริมาณน้อยอยู่ และปริมาณไบโอบอลที่มีจำนวนน้อยทำให้พื้นที่อาศัยของแบคทีเรียมีน้อยเช่นกัน ทำให้เกิดกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียสะสมอยู่ในระบบสูง แต่จะมีปริมาณลดลงเมื่อมีปริมาณของแบคทีเรียเพิ่มขึ้น ปริมาณแอมโมเนียของระบบ DRFT-Fish ลดลงช้ากว่าระบบ Fish เนื่องจากมีการใส่กรดไนตริกเพื่อปรับค่า pH ให้เหมาะสมกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร มีผลกระทบต่ออาการเจริญของแบคทีเรียที่อยู่ในสภาพ pH ที่ไม่เหมาะสม ส่งผลเสียต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน แต่เนื่องจาก pH และอุณหภูมิของน้ำต่ำ ทำให้เปอร์เซ็นต์ของอัลโออินซ์แอมโมเนียค่าปริมาณน้อย จึงไม่ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของปลา (Wheaton, 1977)

4.1.3.7 ปริมาณไนไตรท์ (nitrite nitrogen) พบว่า ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 0.16, 1.72 และ 1.90 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยสูงกว่าระบบ DRFT ปริมาณไนไตรท์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นผลมาจากปลาที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดของเสียมากขึ้น แบคทีเรียทำงานได้ไม่เพียงพอ ส่งผลให้เกิดการสะสมมากขึ้น แต่จะมีค่าสูงเพียงระยะสั้นเท่านั้น

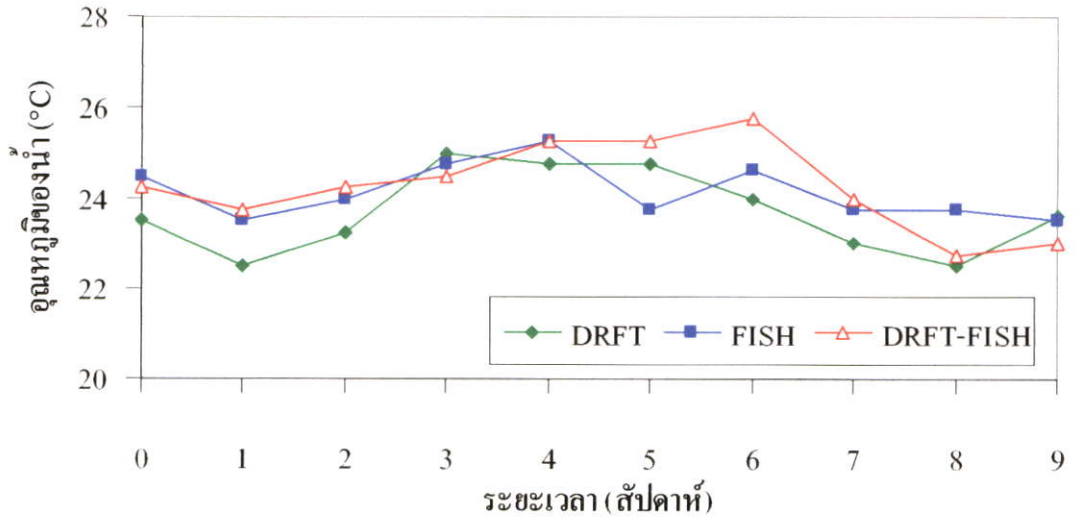
4.1.3.8 ปริมาณไนเตรท (nitrate nitrogen) พบว่า ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 99.73, 22.95 และ 71.49 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไนเตรทสูงกว่าระบบ Fish เนื่องจากมีการเติมสารละลายธาตุอาหารเพิ่ม เพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ต้องมีปริมาณไม่เป็นอันตรายต่อปลา สอดคล้องกับ นงนุช เกาหะวิสุทธิ (2544) ที่กล่าวว่า ในระบบการเลี้ยงปลาผสมผสานร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไม่ใช้ดินควรมีค่าไนเตรทน้อยกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.1.3.9 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (orthophosphate) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 23.19, 2.53 และ 23.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีการเติมสารละลายธาตุอาหารเพิ่ม เพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงมีปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำสูงกว่าระบบ Fish

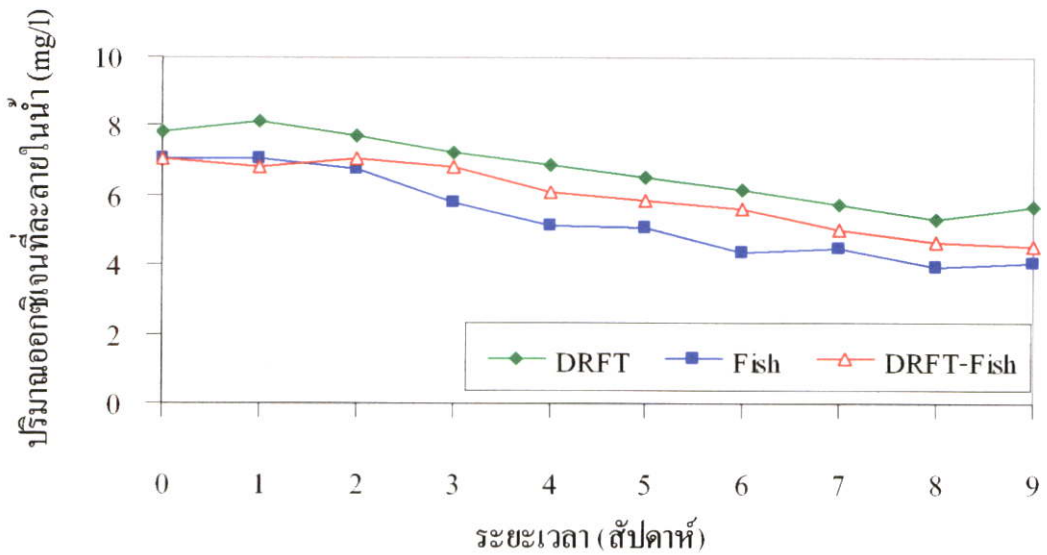
ตารางที่ 4.6 พืชและค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำในระบบ DRFT, Fish และ DRFT-Fish ตลอดจนการทดลอง

คุณภาพน้ำ	DRFT		Fish		DRFT-Fish	
	พืช	เฉลี่ย	พืช	เฉลี่ย	พืช	เฉลี่ย
อุณหภูมิของน้ำ (°C)	22.1-25.3	23.70±0.29a	22.1-25.8	24.16±0.19a	25.8-22.8	24.31±0.31a
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (mg/L)	5.34-8.12	6.73±0.31a	3.95-7.07	5.38±0.39b	4.53-7.08	5.97±0.31ab
ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ	6.04-7.26	6.55±0.11b	7.00-7.48	7.27±0.06a	6.06-7.00	6.45±0.13b
ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	2.8-3.4	3.11±0.06a	0.4-0.7	0.52±0.03b	2.8-3.4	3.15±0.08a
ค่าความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ /L)	17-49	37.05±4.05b	49-156	85.15±10.28a	15-93	50.45±7.37b
แอมโมเนียทั้งหมด (mg/L)	0.01-1.64	0.44±0.17b	0.05-1.95	0.41±0.19b	0.87-4.01	2.56±0.34a
ไนโตรเจน (mg/L)	0.01-0.48	0.16±0.05b	0.03-7.48	1.72±0.81ab	0.23-4.35	1.90±0.46a
ไนเตรท (mg/L)	63.82-123.83	99.73±6.23a	9.09-49.92	22.95±3.95c	47.66-118.00	71.49±6.69b
ฟอสฟอรัส (mg/L)	1.76-44.86	19.04±4.28a	0.24-33.59	5.64±3.14b	11.83-41.81	23.30±2.80a

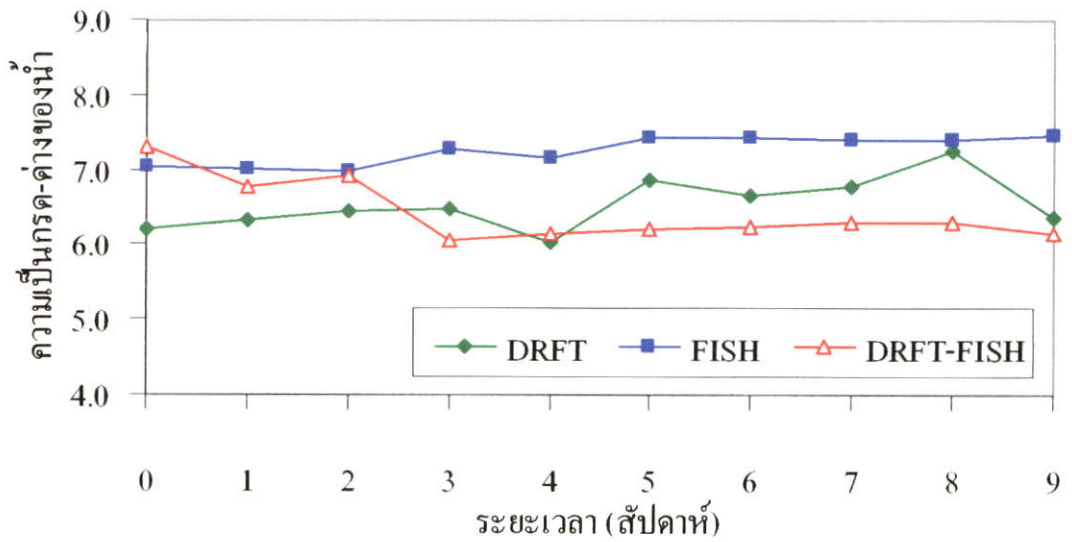
หมายเหตุ : อักษรที่แสดงต่างกันในแต่ละแถวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



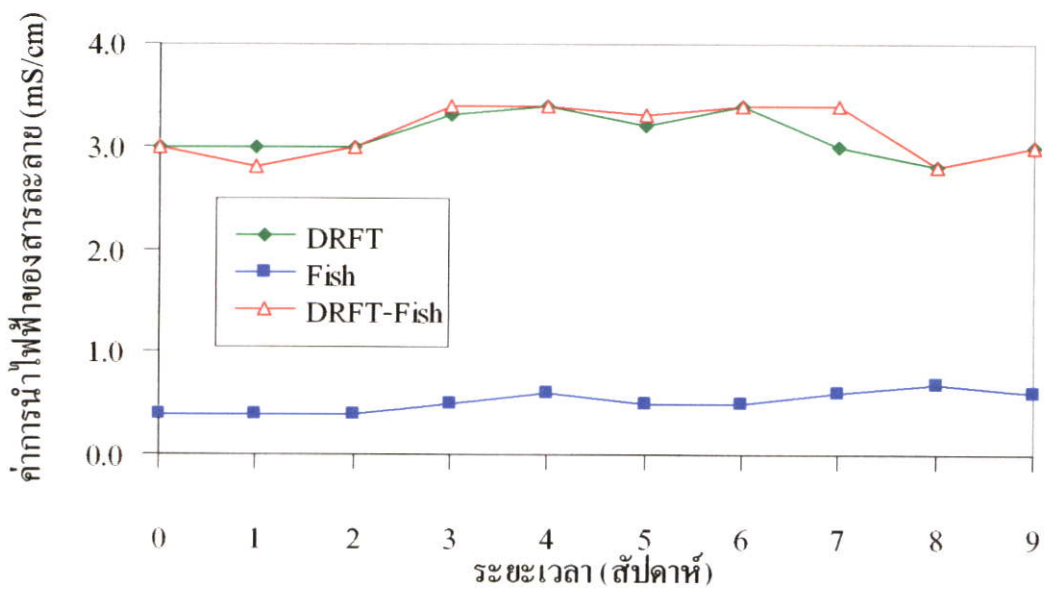
ภาพที่ 4.4 อุณหภูมิของน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



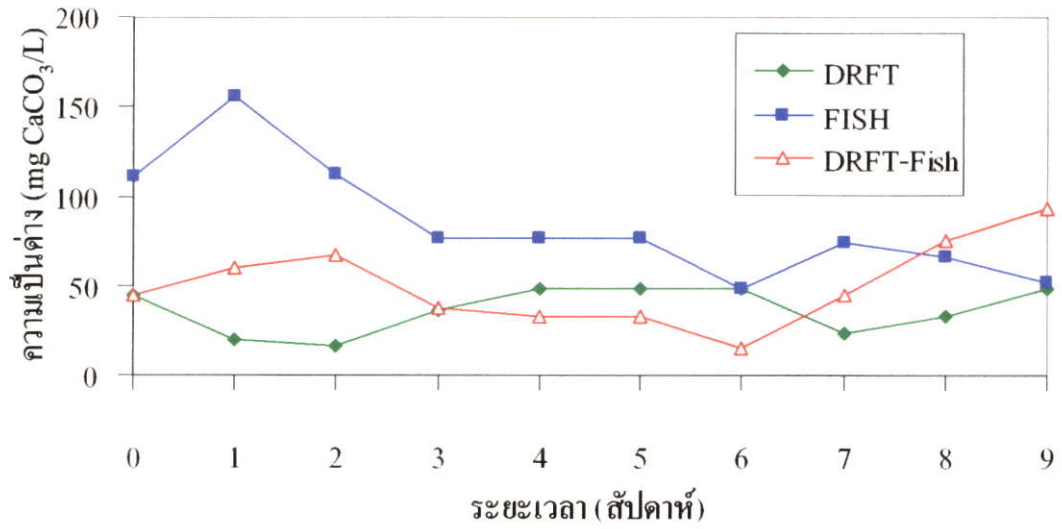
ภาพที่ 4.5 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



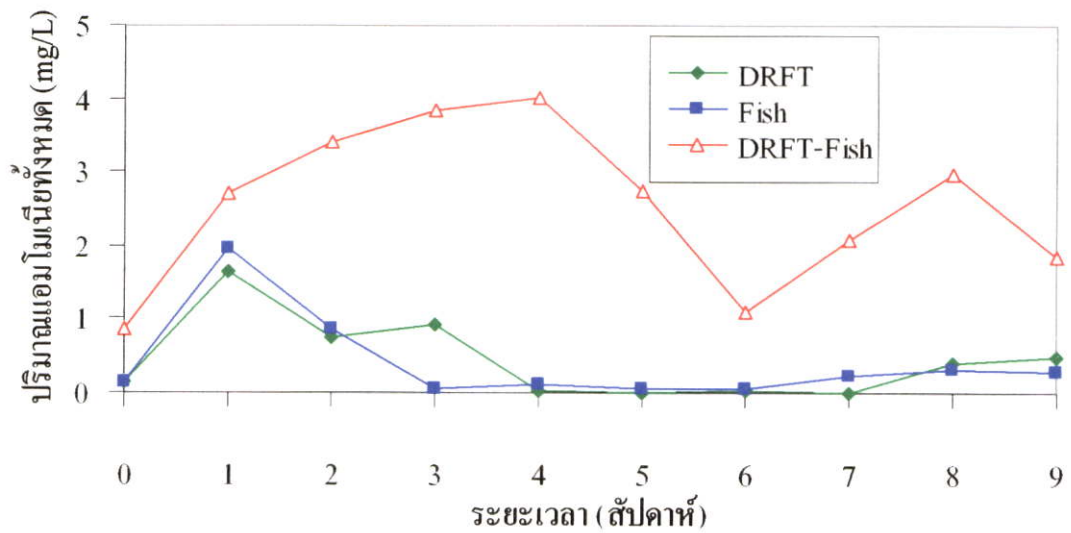
ภาพที่ 4.6 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



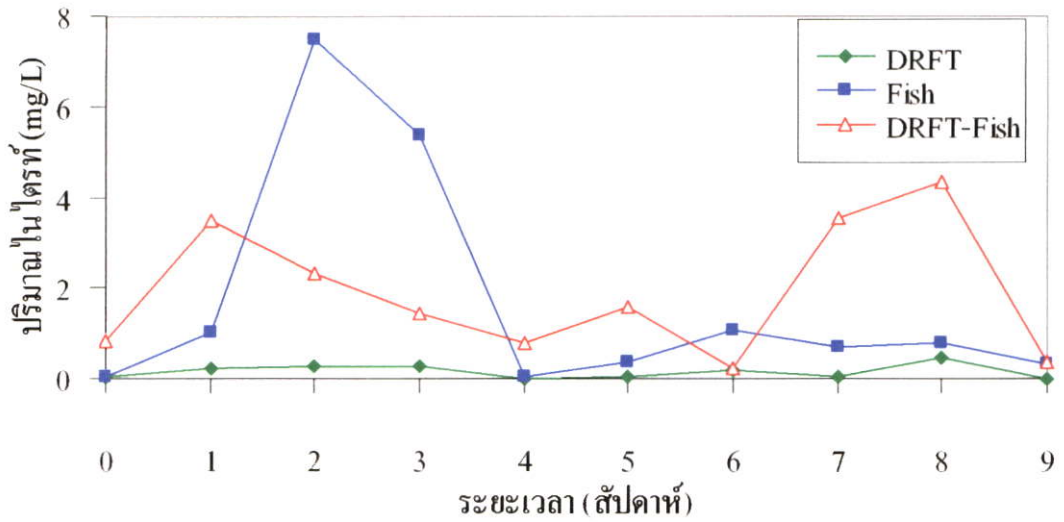
ภาพที่ 4.7 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



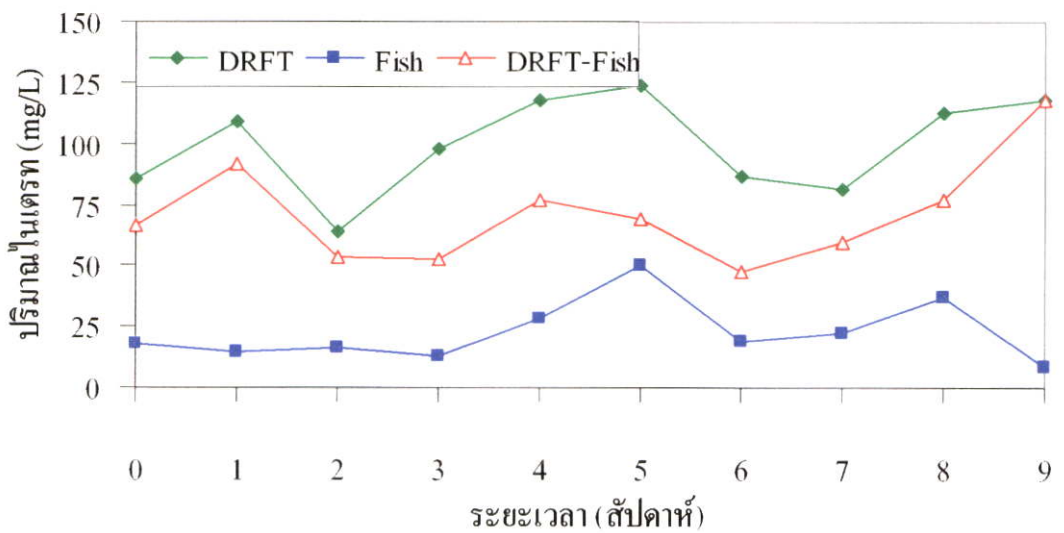
ภาพที่ 4.8 ความเป็นด่างในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



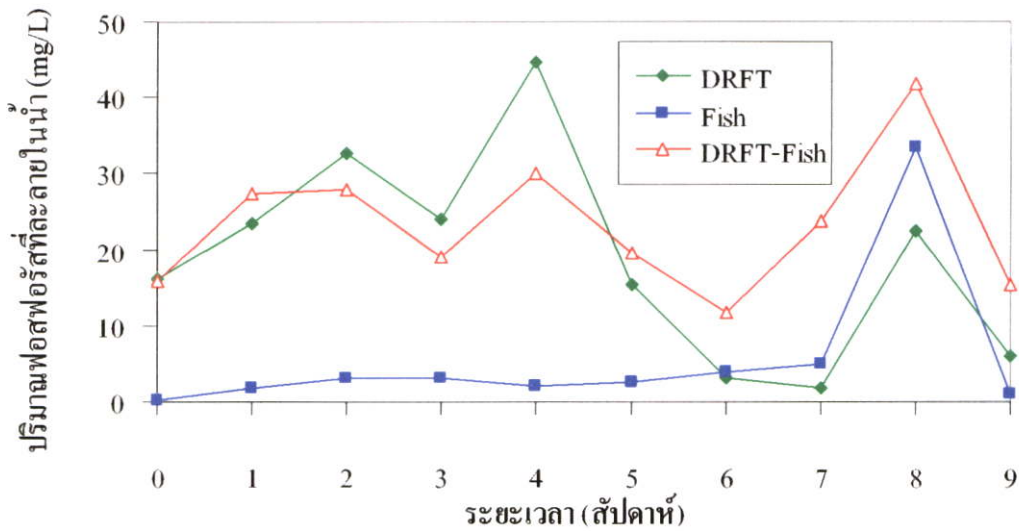
ภาพที่ 4.9 ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.10 ปริมาณไนเตรทในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.11 ปริมาณไนเตรทในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.12 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish

4.1.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของค่น้ำ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของค่น้ำในการบำบัดน้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลาของระบบ DRFT-Fish พบว่าสามารถบำบัดแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท และฟอสฟอรัสในน้ำเฉลี่ยร้อยละ 5.13, 16.50, 14.11 และ 6.06 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) จากภาคผนวกภาพที่ ง.1 แสดงให้เห็นว่าระบบ DRFT-Fish มีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรที่ดีที่สุด แต่ยังมีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียต่ำ เพียง 5.13 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีตะกอนเกาะบริเวณรากพืช และรากบนโต๊ะปลูก ทำให้เกิดการย่อยสลายของตะกอน ส่งผลให้น้ำที่ไหลออกจากโต๊ะปลูก มีปริมาณแอมโมเนียเพิ่มขึ้น

ความสม่ำเสมอของการบำบัดแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท และฟอสฟอรัสในน้ำร้อยละ 70, 60, 10 และ 40 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) จากภาคผนวกภาพที่ ง.2 แสดงให้เห็นว่าระบบ DRFT-Fish มีความสม่ำเสมอของการบำบัดไนเตรทต่ำเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ (1 ครั้งจากการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง) (ภาคผนวกตารางที่ ง.1) แสดงให้เห็นว่าระบบ DRFT-Fish ไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรท ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงมีการปรับปรุงระบบกรอง และระบบชีวภาพ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (รายละเอียดแสดงในหัวข้อ 4.1.5)

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ เกลี่ย (%) และความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำ (%) ของค่น้ำระบบ DRFT-Fish ตลอดจนการทดลอง

□	พิสัย	% การบำบัดน้ำ ¹	% ความสม่ำเสมอของการบำบัด
แอมโมเนีย	1.26-12.57	5.13±1.45	70
ไนโตรที่	1.54-45.39	16.5±6.18	60
ไนเตรท	14.11	14.11	10
ฟอสฟอรัส	1.50-13.62	6.06±2.80	40

หมายเหตุ : ¹ = ข้อมูลจากค่าเฉลี่ยสัปดาห์ที่มีการบำบัดตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

4.1.5 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

โครงสร้างของระบบ DRFT-Fish ในการทดลองที่ 1 มีปัญหาหลายจุดเริ่มจาก

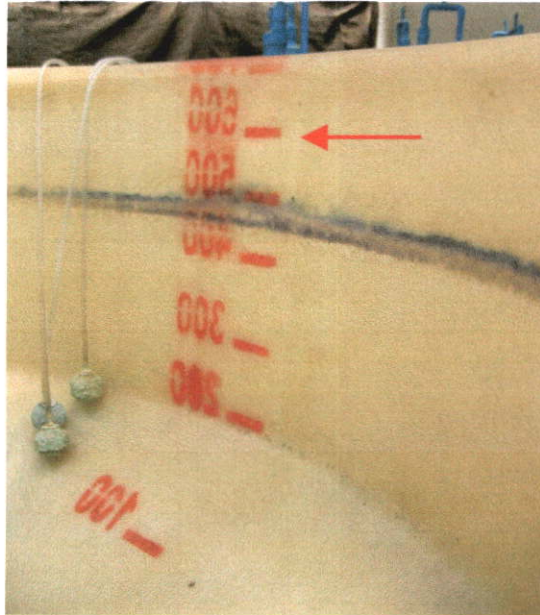
4.1.5.1 ระดับของน้ำที่ใส่ในถังเลี้ยงปลาที่มีปริมาณมากเกินไป ดังว่าขอบถังเพียง 10 เซนติเมตร ทำให้ปลากระโดดออกนอกถังได้ (ภาพที่ 4.13) ในการทดลองที่ 2 จึงปรับระดับน้ำให้ลดลง บรรจุปริมาณน้ำ 500 ลิตร และมีตาข่ายปิดด้านบน

4.1.5.2 ถังตกตะกอน บริเวณท่อต่อเชื่อมระหว่าง 2 ถัง มีขนาดท่อ 3/4 นิ้ว เมื่อมีตะกอนขนาดใหญ่ทำให้ตะกอนอุดตันบริเวณทางเข้าท่อ ส่งผลให้เกิดน้ำล้นออกทางด้านบนของถังตกตะกอน (ภาพที่ 4.14) และบริเวณท่อ PVC เชื่อมระหว่างถังตกตะกอนทั้ง 2 ถัง เมื่อเดินระบบไปประมาณ 2 เดือน เริ่มมีการอุดตันเนื่องจากตะกอนขนาดเล็กเกาะสะสมที่ผิวของท่อ เมื่อมีปริมาณมากทำให้ช่องว่างในท่อ PVC เล็กลงน้ำไหลผ่านช้าลง และเกิดการอุดตันง่าย ต้องถอดมาทำความสะอาด สะอาดบ่อย (ภาพที่ 4.15) ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงปรับปรุงระบบกรองให้มีประสิทธิภาพที่สมบูรณ์ขึ้น เพื่อช่วยลดปริมาณตะกอนที่จะไปอุดตันบริเวณท่อน้ำ

4.1.5.3 การถ่ายตะกอนเวลา 10.00 น. และ 17.00 น. เพียง 2 ครั้ง ไม่เพียงพอเนื่องจากในช่วงเช้ามักจะมีการอุดตันของตะกอนบริเวณช่วงท่อที่เชื่อมของถังตกตะกอน และท่อน้ำออกจากถังตกตะกอน ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงปรับเป็นตั้งเวลาอัตโนมัติ ทุก 4 ชั่วโมงครั้งละ 10 วินาที

4.1.5.4 ถึงชีวภาพ ขนาดของใยกรอง และจำนวนของไบโอบอลน้อยไป เนื่องจากพบตะกอนขนาดใหญ่จำนวนมากในรางบนโต๊ะปลูก (ภาพที่ 4.16) และที่เกาะอยู่บริเวณรากพืชมีการสะสมจำนวนมากขึ้น ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช (ภาพที่ 4.17) ในการทดลองที่ 2 จึงเพิ่มปริมาณใยกรองและไบโอบอล เพื่อช่วยลดปริมาณตะกอนที่จะสะสมอยู่ในระบบและเพิ่มพื้นที่ผิวให้แบคทีเรีย

4.1.5.5 การปลูกคะน้ำในระบบ DRFT-Fish พบว่าเมื่อไม่มีการใส่สารละลายธาตุอาหารเพิ่ม ใบของคะน้ำจะเริ่มมีสีเขียวอ่อน เหลือง และซีด ทำให้ต้องมีการใส่สารละลายธาตุอาหารเพิ่มในปริมาณมากอยู่เสมอ แสดงว่าปริมาณธาตุอาหารที่ได้จากของเสียจากปลาไม่เพียงพอแก่คะน้ำ และลักษณะของใบคะน้ำในสัปดาห์ที่ 12 ของการปลูกแสดงอาการเป็นพิษ (necrosis) มีลักษณะปลายใบมีรอยไหม้ ขอบใบหงิก บางส่วนของใบเป็นสีขาว หรือสีน้ำตาลเข้ม (ภาพที่ 4.2) เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอาจทำให้เกิดปัญหาการสะสมของเกลือในสารละลายที่พืชต้องการปริมาณน้อย และเป็นพิษต่อพืช โดยเฉพาะโซเดียม (อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2548) และเกลือที่เป็นส่วนผสมของอาหารปลาที่ตกค้างอยู่ในระบบ ทำให้ทราบว่าคะน้ำไม่เหมาะสมกับระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืช เนื่องจากต้องการปริมาณธาตุอาหารที่สูง และทนต่อปริมาณเกลือที่ต่ำ ดังนั้นจึงทดลองเลือกชนิดผักที่มีความเหมาะสม และเจริญเติบโตได้ดี เมื่อปลูกร่วมกับระบบการเลี้ยงปลา ในการทดลองที่ 2 ต่อไป



ภาพที่ 4.13 สัญลักษณ์บอกปริมาณน้ำในถังเลี้ยงปลาของระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.14 ลักษณะด้านบนของถังตกตะกอนและทางเข้าท่อของระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.15 บริเวณท่อ PVC เชื่อมระหว่างถังตกตะกอนทั้ง 2 ถัง



ภาพที่ 4.16 ลักษณะของตะกอนในรางบนโต๊ะปลูกในระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.17 ลักษณะของรากค้ำน้ำที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish

4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาชนิดผักที่เหมาะสมกับระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืช โดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT

4.2.1 การเจริญเติบโตของปลาทั้งชนิดและผักทดลอง

4.2.1.1 การเจริญเติบโตของปลาทั้งชนิด

ปลาทั้งชนิดที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกัน โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เท่ากับ 399 และ 426 กรัมต่อตัว น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น 245 และ 271 กรัมต่อตัว และความยาวเฉลี่ยของปลาทั้งชนิด เท่ากับ 27.37 และ 28.56 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8 การเจริญเติบโตของปลาทั้งชนิดที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ค่าเฉลี่ยจาก 30 ตัว)

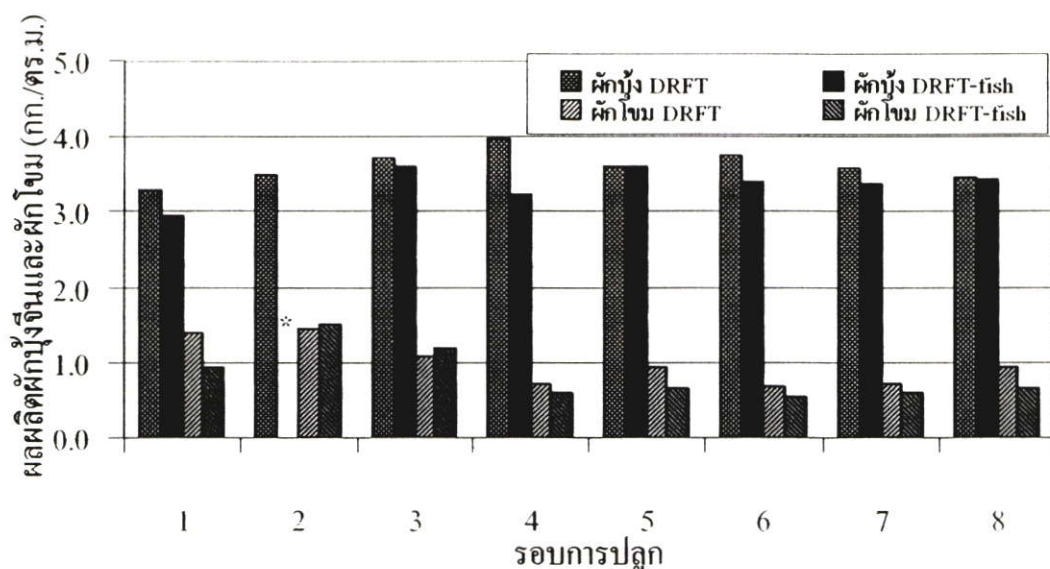
การเจริญเติบโต	ระบบ		T-test
	Fish	DRFT-Fish	
น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	399±21.00	426±12.40	ns
น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	245±14.85	271±6.57	ns
ความยาวเฉลี่ย (เซนติเมตร)	27.37±0.48	28.56±0.40	ns
ความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	6.95±0.41	7.80±0.61	ns

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

4.2.1.2 การเจริญเติบโตของผักทดลอง

ผลผลิตเฉลี่ยของผักบุงเงิน ที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) โดยมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 3.61 และ 3.38 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ผลผลิตรวมของผักบุงเงินเท่ากับ 34.68 และ 28.40 กิโลกรัม (ตารางที่ 4.9) แนวโน้มของผลผลิตผักบุงเงินของระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีน้ำหนักใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 4.18) แสดงให้เห็นว่าระบบ DRFT-Fish ไม่มีผลต่อน้ำหนักของผักบุงเงิน

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 4.9) โดยแนวโน้มของผลผลิตของผักบุงเงินในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณลดลงเล็กน้อยในรอบการปลูกที่ 4 และคงที่จนถึงสิ้นสุดการทดลอง (ภาพที่ 4.18)



ภาพที่ 4.18 ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ของฝักงู๋เงินและฝักโขมที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish (รอบการปลูกคละน้ำ 21 วัน)

หมายเหตุ : 1 รอบการปลูกฝักงู๋เงินและฝักโขมเท่ากับ 21 วัน

: * = สัปดาห์ที่ 2 ฝักงู๋เงินที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish ไม่สามารถชั่งน้ำหนักได้ เนื่องจากเกิดความเสียหายจากการ โคนหนูกัด

ตารางที่ 4.9 ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่และผลผลิตรวมของฝักงู๋เงินและฝักโขมที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

ระบบ	ผลผลิตเฉลี่ย (กก./พื้นที่) ¹		ผลผลิตรวมทั้งหมด (กก.)	
	ฝักงู๋เงิน	ฝักโขม	ฝักงู๋เงิน	ฝักโขม
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)

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 ที่เหมาะสมของผักโขมคือ 1.4-1.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร แต่พบว่าผักโขมเจริญเติบโตได้ไม่ดี แสดงว่าผักโขมต้องการธาตุอาหารปริมาณมากขึ้น จึงควรเพิ่มค่า EC ซึ่งสอดคล้องกับ อวิศา สงครามยศ (2548) ที่กล่าวว่าค่า EC ที่เหมาะสมของผักโขม คือ 2.0-2.5 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ดังนั้นน้ำจากการเลี้ยงปลาจึงไม่เหมาะสมกับการใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับการปลูกผักโขม เพราะน้ำจากการเลี้ยงปลา มีปริมาณธาตุอาหารในปริมาณน้อย ถึงแม้ว่าจะมีการเติมสารละลายธาตุอาหาร ขณะที่น้ำหนักเฉลี่ยผักบุงเงินในระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 3.38 กก.ต่อตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับระบบปลูกที่ฟาร์มทั่วไปมีน้ำหนักประมาณ 2.70-3.04 กก.ต่อตารางเมตร (เรไร นันทนาวัฒน์. 2550) ซึ่งมีน้ำหนักใกล้เคียงกัน แสดงว่าผักบุงเงินสามารถเจริญเติบโตได้ดีในระบบการปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงปลา

4.2.2 คุณภาพน้ำ

ดังแสดงในภาพที่ 4.19-4.27, ตารางที่ 4.10

4.2.2.1 อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายใน ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ การนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร ปริมาณไนเตรท และปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ เป็นไปในทางเดียวกันกับการทดลองที่ 1

4.2.2.2 ความเป็นด่าง (alkalinity) พบว่า ความเป็นด่างเฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 14.88, 28.22 และ 25.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) จากภาพที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นด่างลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากความเป็นด่างที่อยู่ในรูปไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนตเป็นธาตุอาหารของแบคทีเรียกลุ่มไนตริไฟอิงที่ใช้ในการผลิตเชลล์ (Timmons and Losordol. 1994) แบคทีเรียจะกำจัดแอมโมเนียด้วยไบคาร์บอเนตจนหมด เป็นสาเหตุให้ค่าความเป็นด่างในน้ำลดลงในเวลาต่อมา แต่ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีการเติมน้ำเพิ่มแทนส่วนที่หายไป ทั้งจากการระเหย น้ำล้น หรือเปลี่ยนน้ำในปริมาณที่มากกว่าระบบ DRFT จึงทำให้ค่าความเป็นด่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

4.2.2.3 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 มีปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่า

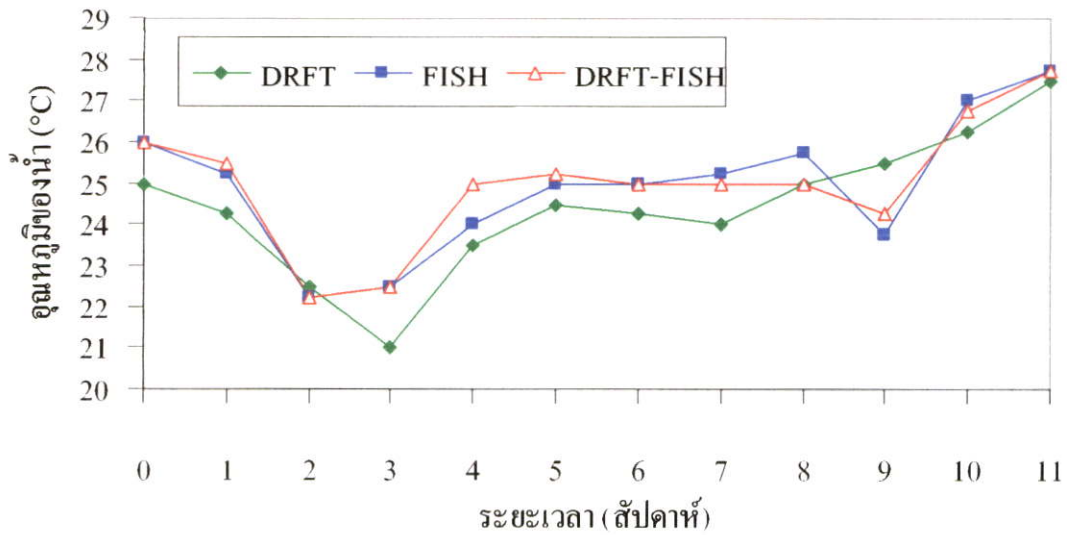
ระบบ DRFT โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 1 หลังจากลงปลา ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณแอมโมเนียสูงถึง 10.68 และ 6.69 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเริ่มมีกระบวนการกินอาหาร การหายใจ การขับถ่าย และการย่อยอาหารของปลา ทำให้มีปริมาณแอมโมเนียในน้ำเพิ่มขึ้น (Quillert, I. et al. 1993) ในขณะที่ปริมาณแบคทีเรียยังคงมีปริมาณน้อยอยู่ ทำให้เกิดกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียช้า สะสมอยู่ในระบบ แต่จะมีปริมาณลดลงเมื่อมีปริมาณของแบคทีเรียเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.24)

4.2.2.4 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 (ภาพที่ 4.25)

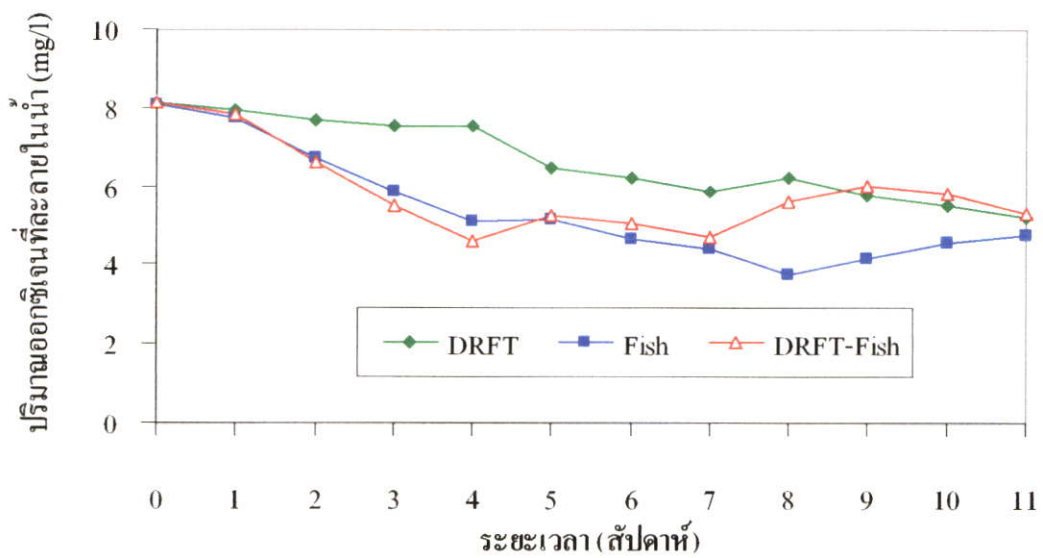
ตารางที่ 4.10 พิสัยและค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำในระบบ DRFT, Fish และ DRFT-Fish ตลอดจนการทดลอง

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

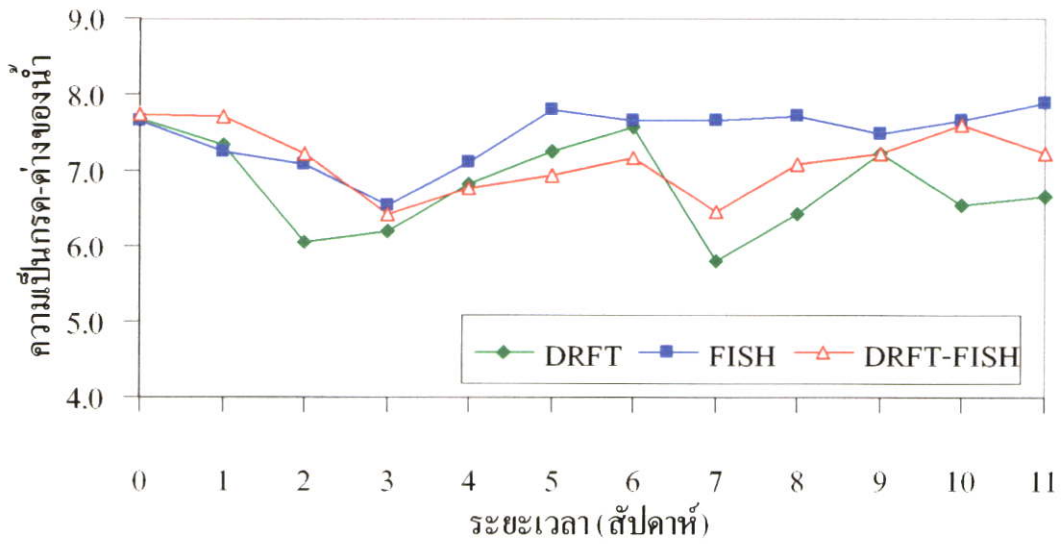
หมายเหตุ : อักษรที่แสดงต่างกันในแต่ละแถวก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



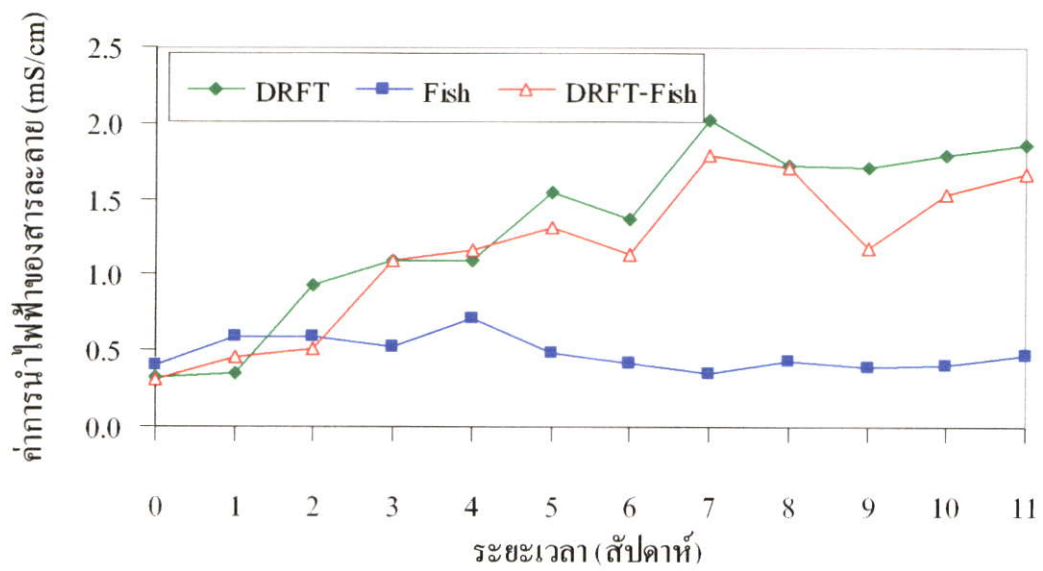
ภาพที่ 4.19 อุณหภูมิของน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



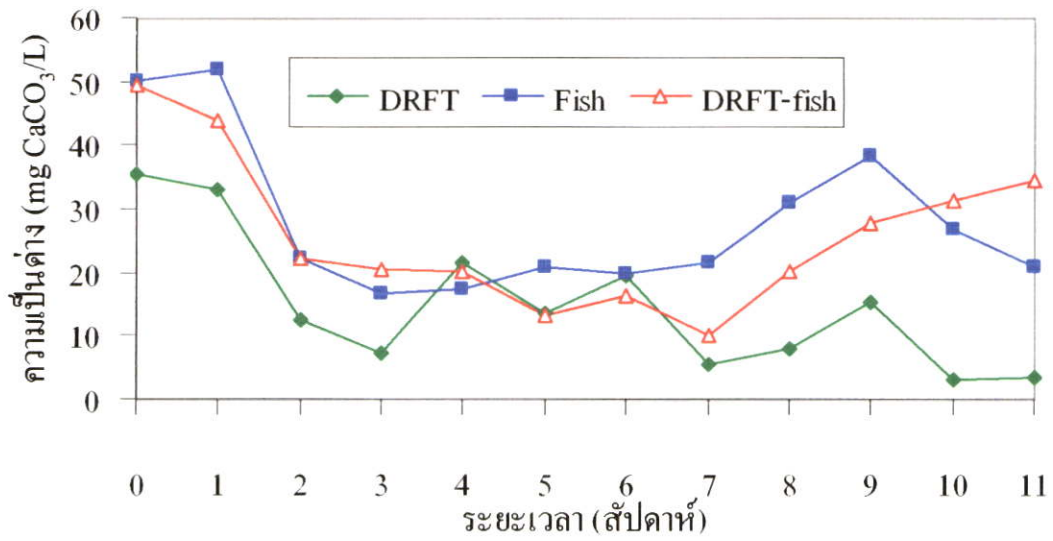
ภาพที่ 4.20 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



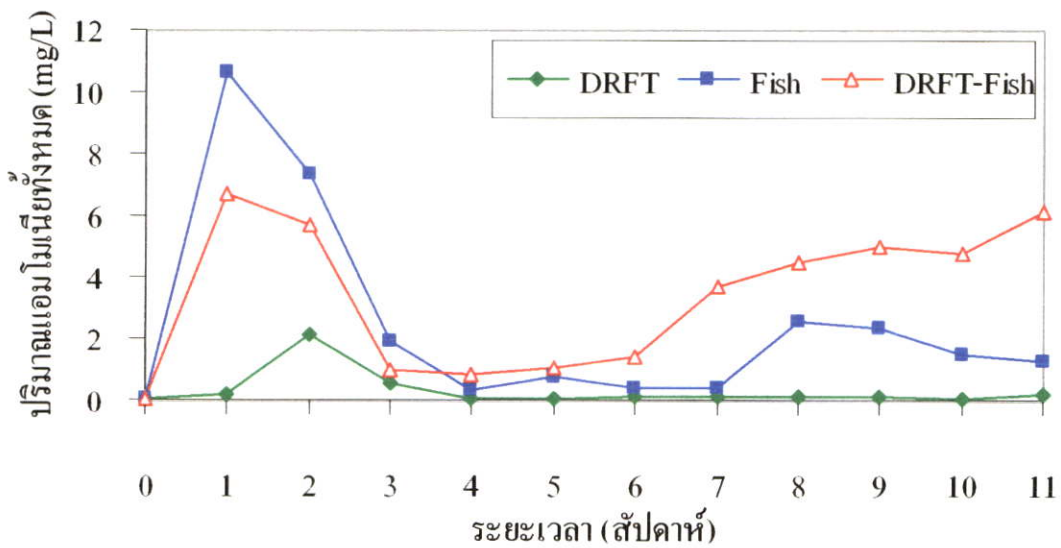
ภาพที่ 4.21 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



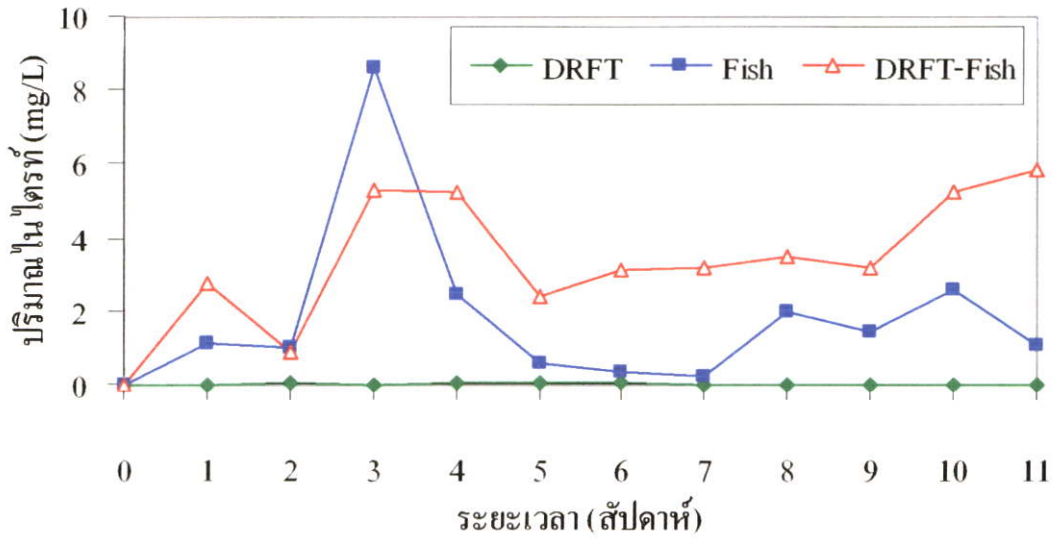
ภาพที่ 4.22 ค่าการนำไฟฟ้าในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



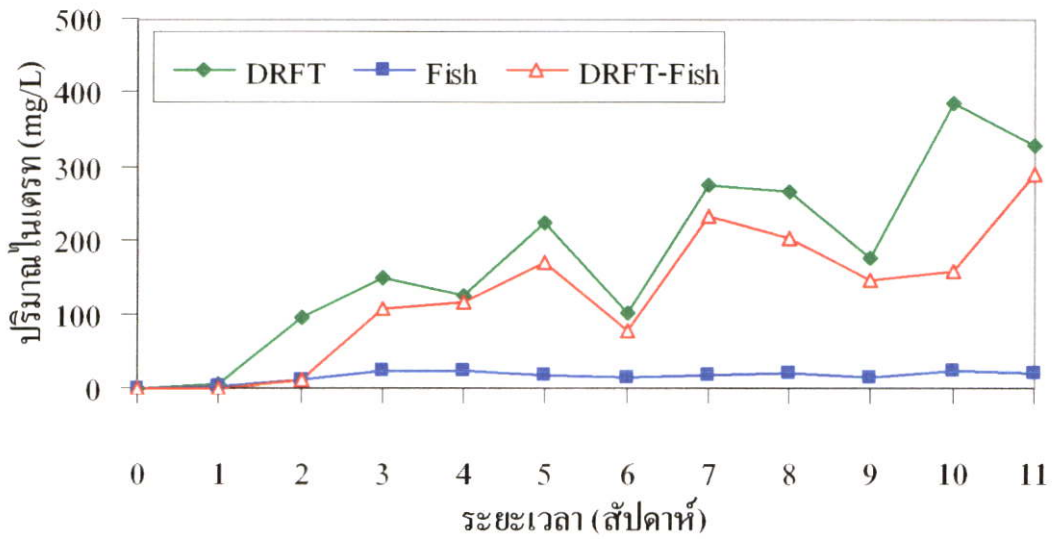
ภาพที่ 4.23 ความเป็นด่างในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



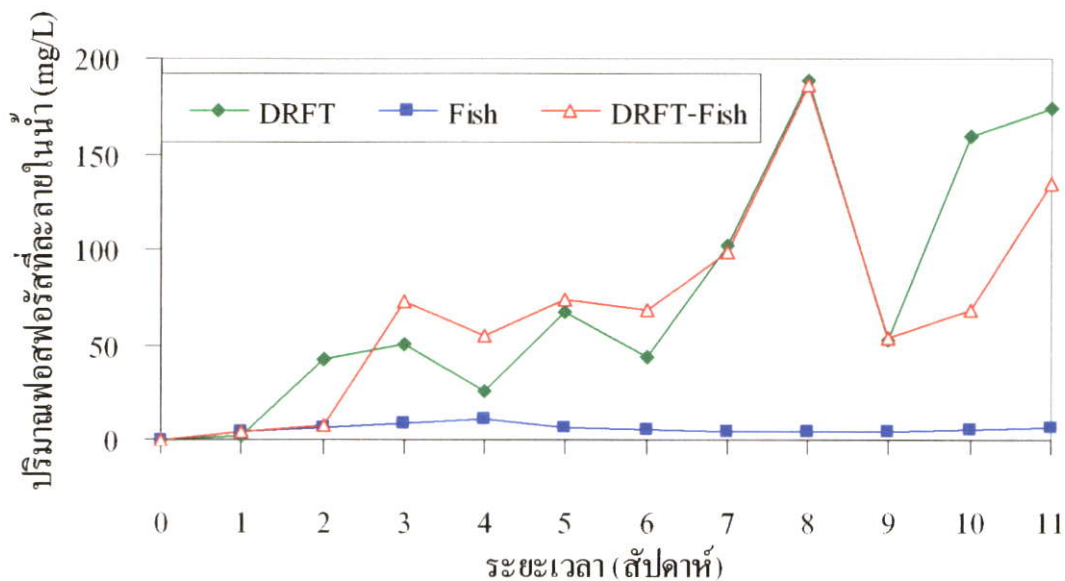
ภาพที่ 4.24 ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.25 ปริมาณไนเตรทในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.26 ปริมาณแอมโมเนียในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.27 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish

4.2.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของผักบั้งจีนและผักโขม

จากการศึกษาประสิทธิภาพของผักบั้งจีนและผักโขมในการบำบัดน้ำที่ได้จากการเลี้ยงปลาของระบบ DRFT-Fish พบว่าระบบ DRFT-Fish สามารถบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเฉลี่ยร้อยละ 11.65, 5.25, 16.79 และ 3.94 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11) จากภาคผนวกภาพที่ ง.1 แสดงให้เห็นว่าระบบ DRFT-Fish มีประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย และไนเตรทดีที่สุด มีค่ามากกว่าการทดลองที่ 1 ในขณะที่มีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำต่ำกว่าการทดลองที่ 1 แต่เมื่อพิจารณาจากปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำที่ลดลงหลังจากออกจากระบบ พบว่ามีการบำบัดเฉลี่ย 3.77 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณมากกว่าการทดลองที่ 1 ที่มีค่าการบำบัดเพียง 0.93 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวกตารางที่ ง.2)

ความสม่ำเสมอของการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสในน้ำร้อยละ 75.00, 25.00, 58.33 และ 33.33 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7) จากภาคผนวกภาพที่ ง.2 แสดงให้เห็นว่าระบบ DRFT-Fish มีความสม่ำเสมอของการบำบัดไนเตรทเพิ่มขึ้นจากการทดลองที่ 1

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ
เฉลี่ย (%) และความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำของ (%) ผักบุงจีนและผักโขมระบบ
DRFT-Fish ตลอดจนการทดลอง

□	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

4.2.4 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

โครงสร้างของระบบ DRFT-Fish ในการทดลองที่ 2 มีปัญหาหลายจุดเริ่มจาก

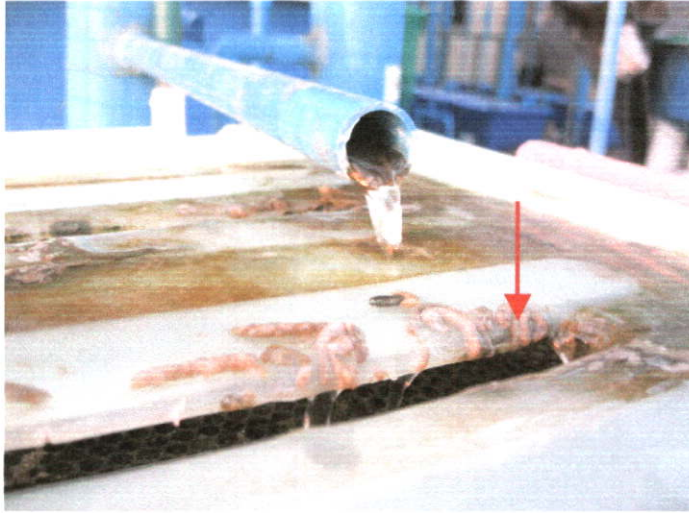
4.2.4.1 จำนวนการถ่ายตะกอนของถังตกตะกอนทุก 4 ชั่วโมงเป็นเวลา 10 วินาที จำนวนครั้งค่อนข้างมาก แต่ตะกอนยังสะสมอยู่เพราะระยะเวลาในการดูดตะกอนแต่ละครั้งออกไปทำให้ตะกอนส่วนหนึ่งไหลไปยังถังชีวภาพและสะสมอยู่บนโต๊ะปลูก (ภาพที่ 4.28, 4.29) ปริมาณน้ำที่ต้องสูญเสียเนื่องจากการถ่ายตะกอนต่อวันมีปริมาตร 25 ลิตร ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จึงปรับปรุงเป็นตั้งเวลาอัตโนมัติ ทุก 6 ชั่วโมงครั้งละ 20 วินาที

4.2.4.2 การถ่ายตะกอน ปริมาณน้ำที่ต้องสูญเสีย 25 ลิตรต่อวัน ถือเป็น การถ่ายน้ำประจำวัน ช่วยลดปัญหาการสะสมของเกลือได้บางส่วน

4.2.4.3 ถึงชีวภาพ ขนาดของใยกรอง และจำนวนของไบโอบอลน้อยไป เนื่องจากพบตะกอนขนาดใหญ่จำนวนมากในรางบนโต๊ะปลูก และบริเวณรากพืชมีจำนวนมากเช่นเดิม และมีการสะสมของปริมาณไนไตรท์สูง ดังนั้นในการทดลองที่ 2 เปลี่ยนขนาดของถังให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพิ่มปริมาณใยกรอง และไบโอบอล เพื่อช่วยลดปริมาณตะกอน และเพิ่มพื้นที่ผิวให้แบคทีเรีย

4.2.4.4 ระบบจะทำงานโดยใช้ปั๊มในการสูบน้ำเพื่อให้มีการไหลเวียนน้ำอยู่ตลอดเวลา เมื่อเกิดไฟดับระบบหยุด เนื่องจากปั๊มไม่ทำงานทำให้เกิดน้ำดันออกจากระบบ ในการทดลองที่ 3 จึงมีการติดตั้งถังล้นที่ท่อของทางออกถังตกตะกอน เพื่อช่วยลดปริมาณน้ำที่สูญเสียจากน้ำดันได้

4.2.4.5 การปลูกผักเพื่อบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลาในการทดลองที่ 2 พบว่าผลผลิตผักบุงจีนในระบบ DRFT-Fish เมื่อเปรียบเทียบกับระบบปลูกที่ฟาร์มทั่วไปพบว่ามีน้ำหนักใกล้เคียงกัน แสดงว่าผักบุงจีนสามารถเจริญเติบโตได้ดี และทนต่อสภาพของคุณภาพน้ำ ทั้งในเรื่องของตะกอนที่เกาะอยู่บริเวณราก และปริมาณธาตุอาหารที่มีปริมาณต่ำ จึงเลือกผักบุงจีนเป็นผักทดลองในการทดลองที่ 3



ภาพที่ 4.28 ลักษณะของตะกอนแขวนลอยบนถังชีวภาพในระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.29 ลักษณะของตะกอนในรางบนโต๊ะปลูกในระบบ DRFT-Fish

4.3 การทดลองที่ 3 การเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักนึ่งจีนโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT

4.3.1 การเจริญเติบโตของปลาทับทิมและผักนึ่งจีน

4.3.1.1 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 4.12)

ตารางที่ 4.12 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 ($P>0.05$)

อัตราการรอดของปลาทับทิมที่เลี้ยงในระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับร้อยละ 87.5 และ 62.5 โดยปลาทับทิมในระบบ DRFT-Fish มีอัตราการรอดน้อยกว่า เพราะช่วง 1 เดือนหลังจากปล่อยปลาลงถึงเลี้ยง เกิดน้ำเป็นไขที่ผิวหน้า และมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำมาก (2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่งผลให้ปลาตายเป็นจำนวนมาก เนื่องจากการทดลองนี้เลือกเลี้ยงปลาขนาดเล็ก ทำให้มีการปล่อยปริมาณแอมโมเนียออกมามากกว่าปลาขนาดใหญ่ (Ng, W.J. et al. 1993) เป็นสาเหตุให้ต้องใช้ออกซิเจนปริมาณมาก เพื่อออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนเตรท ประกอบกับในช่วงสัปดาห์ที่ 4 อุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (จาก 28 เป็น 32 องศาเซลเซียส) ทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำลดลง ในขณะที่ความต้องการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ทั้งจากการหายใจของปลา ฟิช และแบคทีเรีย เมื่อมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอกับกระบวนการไนตริฟิเคชัน จึงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนีย และไนไตรท์ในระบบ เมื่อมีปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรท์สูงมาก ส่งผลให้ปลาเกิด

การระคายเคืองจึงจับเมื่อกออกมา และกินอาหารลดลง ทำให้อาหารเหลือจึงเกิดคราบไขมันจากอาหารลอยอยู่บริเวณผิวน้ำ เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนในน้ำลดลง หลังจากนั้นจึงถ่ายน้ำออกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำในระบบ และเพิ่มออกซิเจนบริเวณรางปลูกพืชโดยการใส่หัวทราย (ภาพที่ 4.41) หลังจากนั้น 6 วันไซท์ที่ผิวน้ำจึงหายไป และปริมาณออกซิเจนในน้ำก็เพิ่มขึ้น ปริมาณแอมโมเนีย และไนไตรท์ลดลง

4.3.1.2 การเจริญเติบโตของผักบุงจีน

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

ในขณะที่ความยาวรากเฉลี่ยของผักบุงจีนที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โคจรากของผักบุงจีนที่ปลูกในระบบ DRFT มีความยาว 28.80 เซนติเมตร ขณะที่ความยาวรากของผักบุงจีนที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish มีความยาวเพียง 23.17 เซนติเมตร การที่ความยาวรากของผักบุงจีนที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish สั้นกว่า อาจเป็นเพราะมีตะกอนเกาะบริเวณราก ทำให้รากผักบุงจีนได้รับออกซิเจนน้อย มีผลทำให้การดูดใช้แร่ธาตุลดลง ซึ่งทำให้รากเจริญไม่ดี และมีรากสั้น (ศิริก ทองอร่าม, 2547 ; นงนุช วงศ์สินชวิน, 2532)

ผลผลิตผักบุงจีนเฉลี่ยต่อพื้นที่ของระบบ 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 4.2) เมื่อดูข้อมูลผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ (ภาพที่ 4.30) พบว่าในสัปดาห์ที่ 5 แนวโน้มการเจริญเติบโตของผักบุงจีนลดลงทั้ง 2 ระบบ เนื่องจากในช่วง 1 สัปดาห์ก่อนเก็บผลผลิตมีฝนตกเกือบทั้งวันและทุกวัน ทำให้มีแดดน้อย (ภาคผนวกภาพที่ จ.1) จึงทำให้พืชเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ แต่โดยสรุปแล้วผักบุงจีนที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish มีผลผลิตต่อพื้นที่ใกล้เคียงกับระบบปลูกทั่วไป

แสดงว่าถ้าปรับระบบการปลูกให้เหมาะสม สามารถเลี้ยงปลาและปลูกผักร่วมกันได้ โดยที่ปลาและผักบุงจีนมีการเจริญเติบโตเป็นปกติ เช่นเดียวกับระบบ Fish และระบบ DRFT

ตารางที่ 4.13 การเจริญเติบโตของผักบึงจีนที่ปลูกในระบบ 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	-

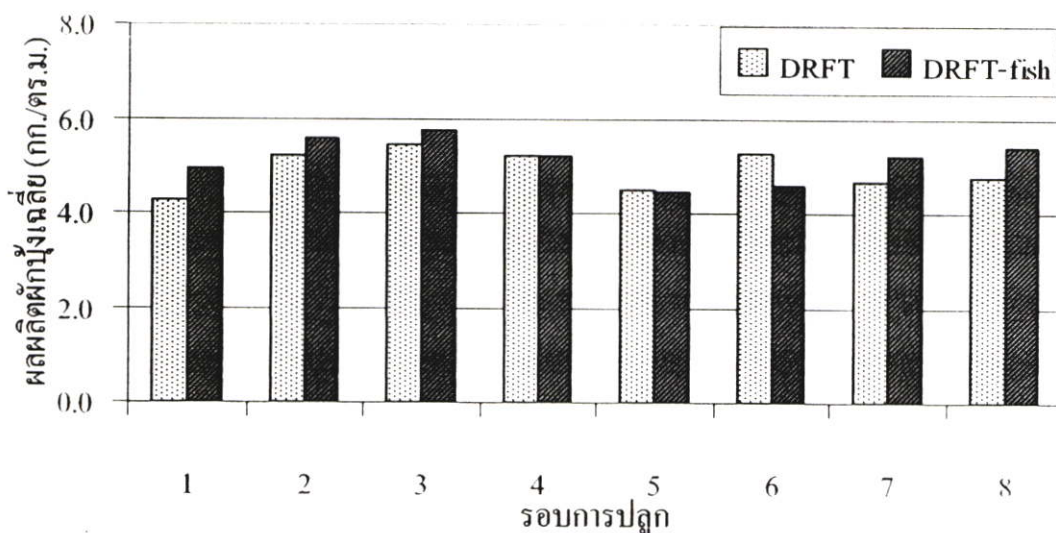
หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

* = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P<0.05)

¹ = ค่าเฉลี่ยจากข้อมูลผักบึงจีน 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 4.30 ผลผลิตเฉลี่ยต่อพื้นที่ของผักบึงจีนที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish

หมายเหตุ : 1 รอบการปลูกผักบึงจีนเท่ากับ 24 วัน

4.3.2 ปริมาณธาตุอาหาร และปริมาณไนโตรเจนในผักบุ้งจีน

4.3.2.1 ปริมาณธาตุอาหารในใบและลำต้นของผักบุ้งจีน

เมื่อพิจารณาดังตารางที่ 4.14 พบว่า มีปริมาณเฉลี่ยของไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ในผักบุ้งจีนของทั้ง 2 ระบบ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

ส่วนปริมาณเฉลี่ยของโพแทสเซียม (K) ในผักบุ้งจีนทั้ง 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,D.E. et al. 1998) จึงเป็นสาเหตุให้ผักมีการดูดใช้ K มากขึ้น ซึ่งเมื่อพืชมีการดูดใช้ K ปริมาณมากจะส่งผลให้พืชมีการดูดใช้ Ca และ Mg ปริมาณลดลง (ขงยุทธ โอสภสภ. 2543)

ตารางที่ 4.14 ปริมาณธาตุอาหารในใบและลำต้นของผักบุ้งจีนที่ปลูกในระบบ 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 ($P<0.01$)

4.3.2.2 ปริมาณธาตุอาหารในรากผักบุ้งจีน

เมื่อพิจารณาดังตารางที่ 4.15 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,D.E. et al. 1998) จึงเป็นสาเหตุให้ผักมีการดูดใช้ K มากขึ้น ซึ่งเมื่อพืชมีการดูดใช้ K ปริมาณมากจะส่งผลให้พืชมีการดูดใช้ Ca และ Mg ปริมาณลดลง (ขงยุทธ โอสภสภ.)

สกา. 2543) และอาจเนื่องจากตะกอนบางส่วนที่เกาะบริเวณรากพืช ทำให้มีปริมาณธาตุอาหารในรากพืชของระบบ DRFT-Fish สูงกว่าระบบ DRFT โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

ตารางที่ 4.15 ปริมาณธาตุอาหารในรากผักบุ้งจีนที่ปลูกในระบบ 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 ($P<0.01$)

4.3.2.3 ปริมาณไนเตรทในผักบุ้งจีน

ระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไนเตรทในต้นผักบุ้งจีนโดยเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 5196.75 และ 5101.24 $\text{mgNO}_3/\text{g FW}$ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าระบบการเลี้ยงปลาพร้อมกับการปลูกพืชไม่มีผลต่อการสะสมปริมาณไนเตรทในผักบุ้งจีน (ตารางที่ 4.16) ปริมาณไนเตรทในผักบุ้งจีนที่วิเคราะห์ได้จากการทดลองนี้พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงกว่าการทดลองของ ออมทอง (2548) ที่วิเคราะห์หาปริมาณไนเตรทในผักบุ้งพบว่ามีค่าเฉลี่ย 3,919 $\text{mgNO}_3/\text{g FW}$ (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 $\text{mgNO}_3/\text{g FW}$ ปริมาณไนเตรทจะมีค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดพืช ระยะเวลา และสถานที่ เป็นต้น (ดิเรก ทองอร่าม. 2547) ถึงแม้ว่าในการทดลองนี้มีปริมาณไนเตรทเกินมาตรฐาน แต่ลักษณะการบริโภคผักของคนไทย ส่วนมากจะนำไปปรุงเป็นอาหารด้วยความร้อนก่อน (โดยการลวก ต้ม และนึ่ง) ซึ่งความร้อนสามารถช่วยลดปริมาณไนเตรทได้ 40-60 เปอร์เซ็นต์ (สุวรรณ. 2547) สอดคล้องกับการทดลองของ ออมทอง (2548) ที่นำผักบุ้งไปต้ม พบว่าปริมาณไนเตรทลดลงจากเดิม 3,919 $\text{mgNO}_3/\text{g FW}$ เหลือเพียง 3,049 $\text{mgNO}_3/\text{g FW}$

ตารางที่ 4.16 ปริมาณไนเตรทในผักบั้งจีนที่ปลูกในระบบ DRFT และระบบ DRFT-Fish จากรอบการปลูก 8 ครั้ง

ระบบ	ปริมาณไนเตรทในผักบั้งจีนเฉลี่ย (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)

4.3.3 คุณภาพน้ำ

ดังแสดงในตารางที่ 4.17/ภาพที่ 4.31-4.39

4.3.3.1 อุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ การนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหาร ปริมาณไนเตรท และปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ เป็นไปในทางเดียวกันกับการทดลองที่ 1 และ 2

4.3.3.2 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 (ภาพที่ 4.32)

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

4.3.3.4 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 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงอย่างมากทำให้ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนทั้งหมดสะสมอยู่มาก และลดลงในสัปดาห์ต่อมา (ภาพที่ 4.36)

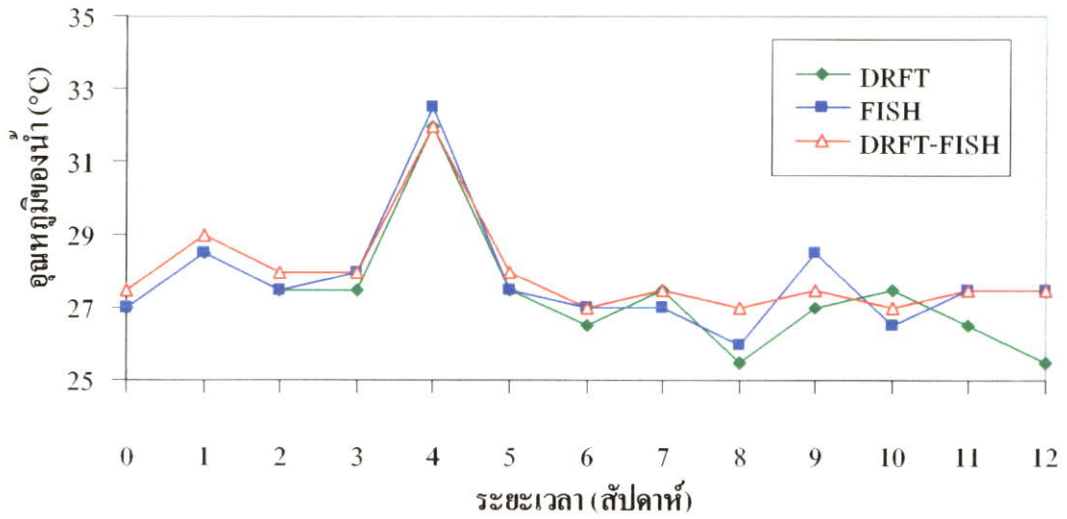
4.3.3.5 ปริมาณไนไตรท์ (nitrite nitrogen) พบว่า ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish เท่ากับ 0.01, 0.83 และ 1.75 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) โดยระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยสูงสุด

เนื่องจากระบบ DRFT-Fish มีปริมาณแอมโมเนียสูง ซึ่งแอมโมเนียเป็นตัวตั้งต้นของการเปลี่ยนแปลงให้เป็นไนเตรท โดยไนไตรท์เป็นตัวกลางของกระบวนการ (Timmons and Losordol. 1994) ดังนั้นในน้ำที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ จึงอาจมีปริมาณไนไตรท์สูงได้เช่นกัน จากภาพที่ 4.37 ในสัปดาห์ที่ 3-5 มีปริมาณไนไตรท์เพิ่มขึ้นอย่างมาก (22.10-40.62 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่งผลกระทบให้สัปดาห์ที่ 4-6 มีปลาตายรวม 38.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงมีการถ่ายน้ำออกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรน้ำทั้งหมด ทำให้มีปริมาณไนไตรท์ลดลงอย่างรวดเร็ว

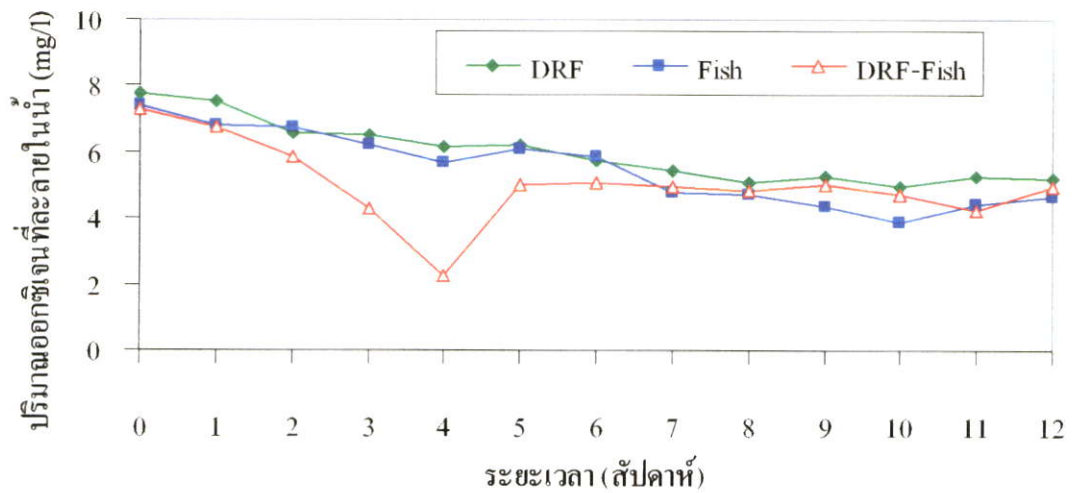
ตารางที่ 4.17 พืชและค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำในระบบ DRFT, Fish และ DRFT-Fish ตลอดจนการทดลอง

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

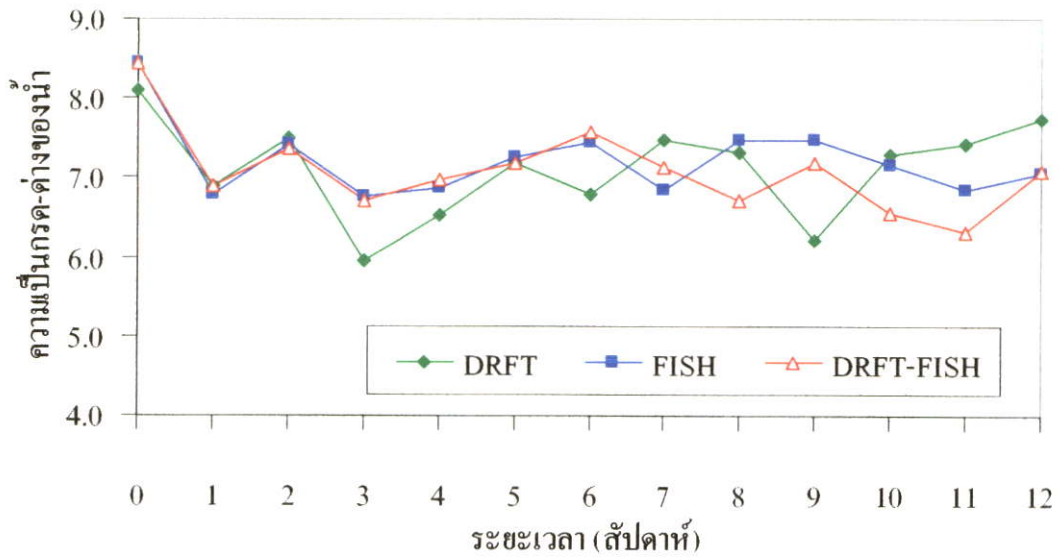
หมายเหตุ : อักษรที่แสดงต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)



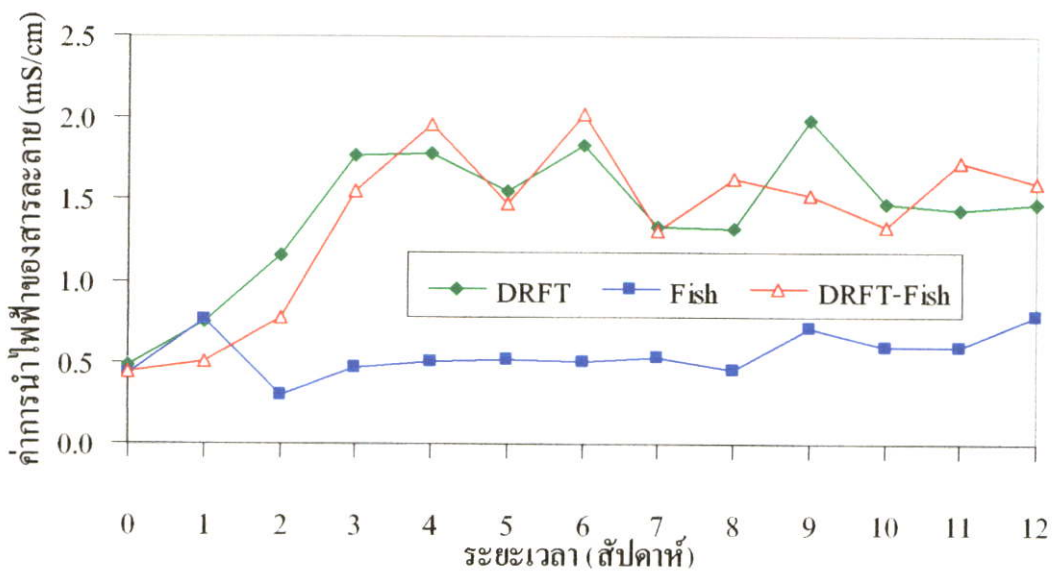
ภาพที่ 4.31 อุณหภูมิของน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



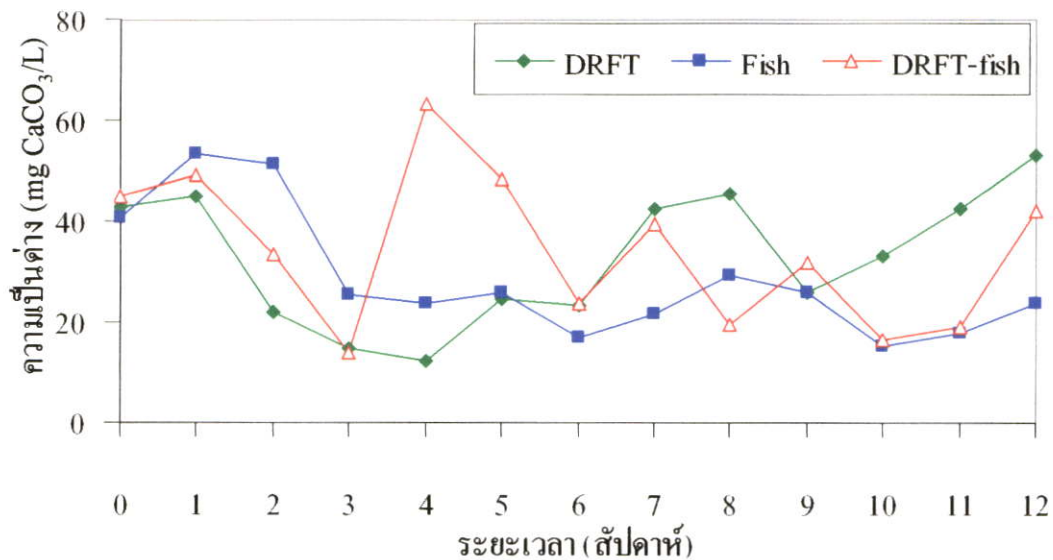
ภาพที่ 4.32 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



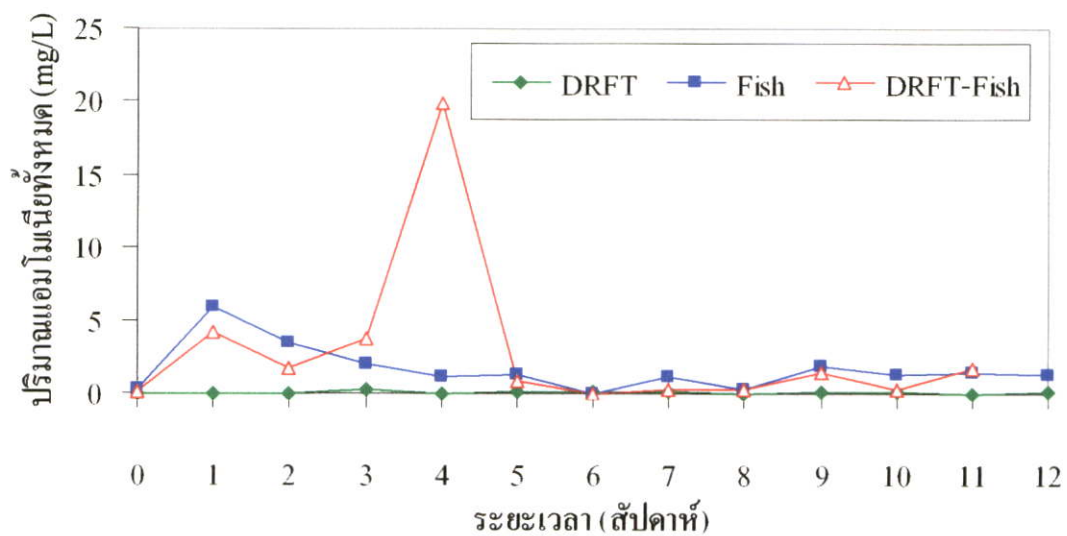
ภาพที่ 4.33 ความเป็นกรด-ด่างของน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



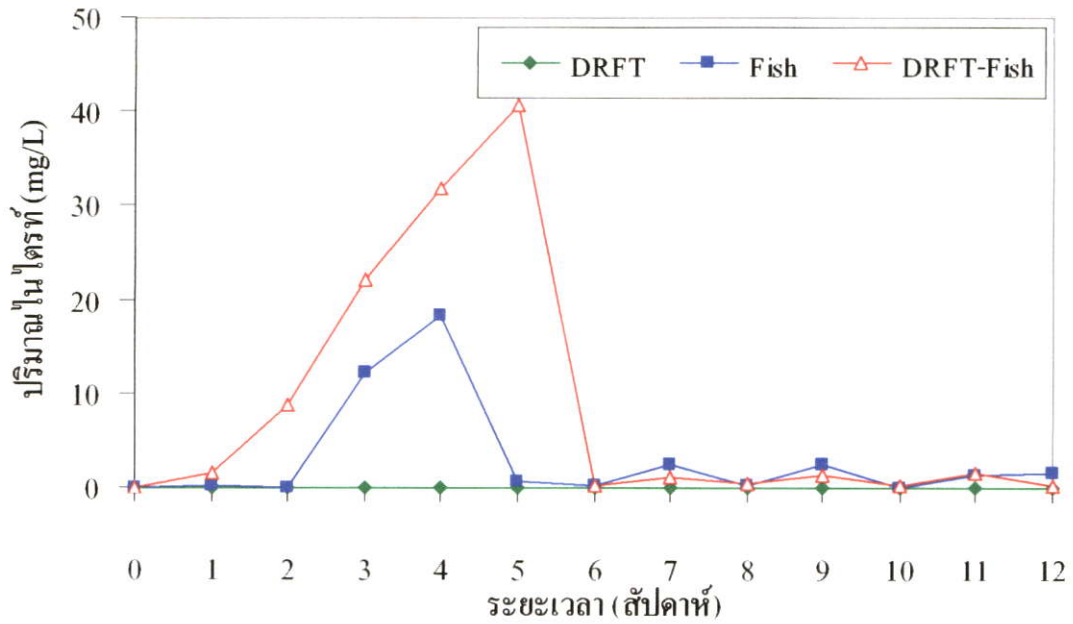
ภาพที่ 4.34 ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



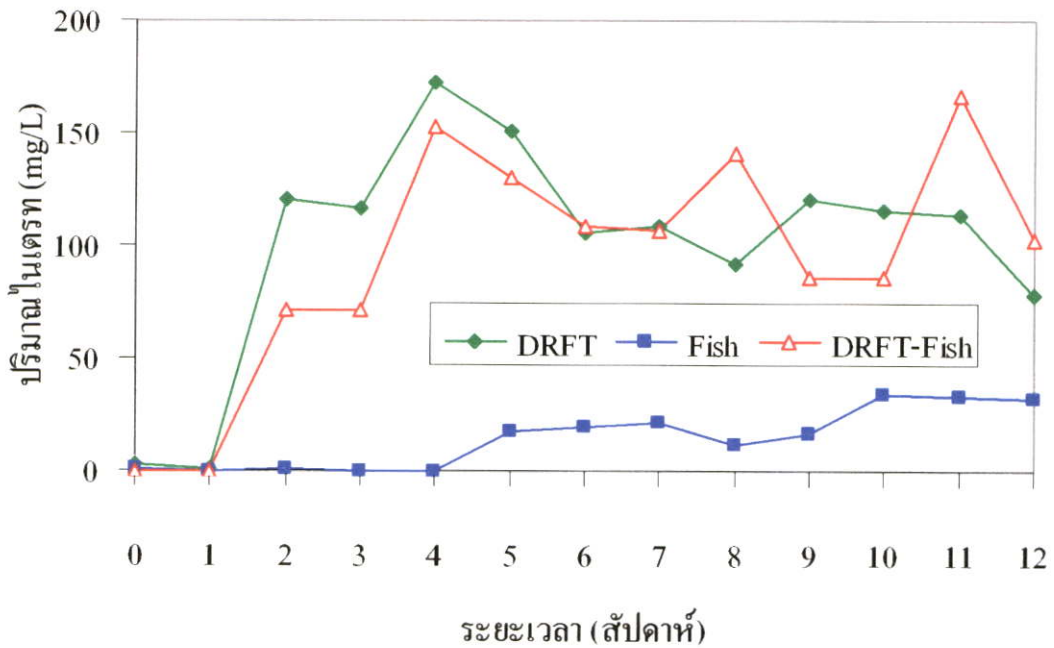
ภาพที่ 4.35 ความเป็นด่างในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



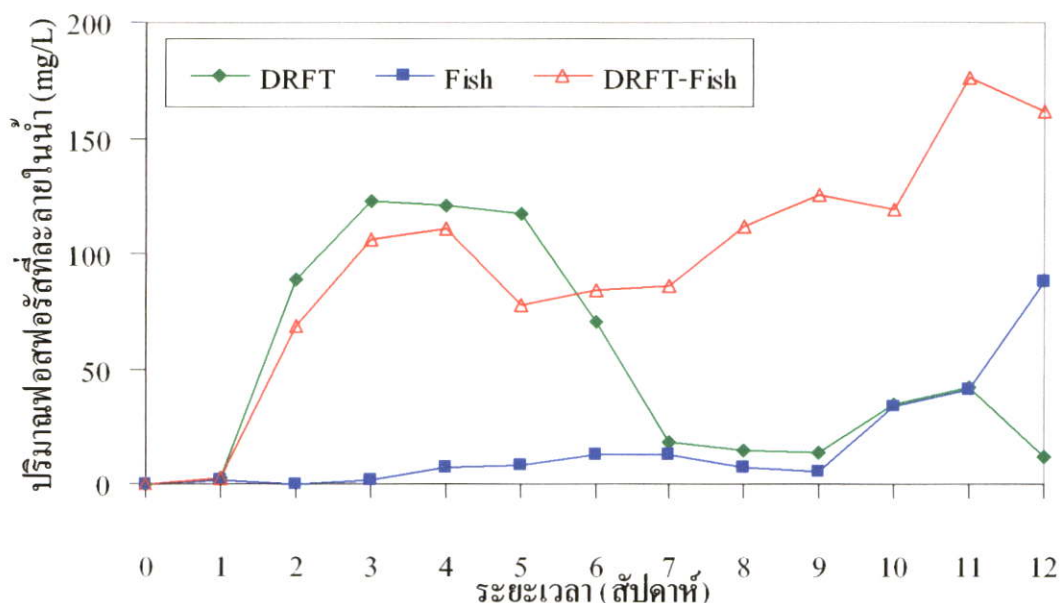
ภาพที่ 4.36 ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.37 ปริมาณไนเตรทในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.38 ปริมาณแอมโมเนียในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish



ภาพที่ 4.39 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำในระบบ DRFT ระบบ Fish และระบบ DRFT-Fish

4.3.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของผักบั้งจีน

จากการศึกษาประสิทธิภาพของผักบั้งจีนในการบำบัดน้ำจากการเลี้ยงปลาของระบบ DRFT-Fish พบว่าระบบ DRFT-Fish สามารถบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำเฉลี่ยร้อยละ 14.08, 5.77, 14.63 และ 3.20 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.18) และจากภาคผนวกภาพที่ ง.1 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียจากการทดลองที่ 3 มีค่ามากที่สุด ประสิทธิภาพในการบำบัดไนเตรท มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองที่ 1 และ 2 และมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณความเข้มข้นที่บำบัดได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในภาคผนวกตารางที่ ง.1-ง.3 (ค่าของผลต่าง) 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 4.7) จากภาคผนวกภาพที่ ง.2 แสดงให้เห็นว่าระบบ DRFT-Fish มีความสม่ำเสมอของการบำบัดไนเตรทเพิ่มขึ้นจากการทดลองที่ 1 ซึ่งมีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นไนไตรท์ เนื่องจากปริมาณไนไตรท์จะมีค่าสูงในช่วงแรกของการ

บำบัดเท่านั้น จึงทำให้มีจำนวนสัปดาห์ที่บำบัดได้น้อย แสดงให้เห็นว่าการทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำค้ำดีที่สุด

ตารางที่ 4.18 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสในน้ำโดยเฉลี่ย (%) และความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำ (%) ของฝักบัวจลินระบบ 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

4.3.5 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

จากการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ทำให้มีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการทดลองที่ 1 และ 2 ดังนั้นปัญหาที่เกิดจากโครงสร้างของระบบจึงลดลง

4.3.5.1 ถึงตกตะกอน หลังจากปรับปรุงบริเวณท่อต่อเชื่อมระหว่าง 2 ถึง ให้มีขนาดท่อ 1 นิ้ว ทำให้ไม่เกิดน้ำดันออกทางด้านบนของถังตกตะกอนอีก และออกแบบให้สามารถเปิดด้านบนของท่อ PVC ที่เชื่อมระหว่างถังตกตะกอนทั้ง 2 ถังได้ (ภาพที่ 4.40ก, ข) เพื่อสะดวกต่อการทำความสะอาด และลดการเกาะของตะกอนบริเวณผิวด้านในของท่อ ซึ่งทำให้น้ำไหลผ่านอย่างสม่ำเสมอ และลดการอุดตันได้

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

4.3.5.3 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของระบบ DRFT-Fish มีปริมาณไม่เพียงพอกับกระบวนการไนตริฟิเคชัน เนื่องจากการทดลองที่ 3 เล็กถึงขนาดเล็กลงจึงมีการปล่อยปริมาณแอมโมเนียออกมามากกว่าขนาดใหญ่มาก ทำให้ต้องใช้ปริมาณออกซิเจนปริมาณมากเพื่อออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนเตรท เมื่อมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอจึงทำให้เกิดการสะสมของแอมโมเนีย และไนไตรท์ในระบบ จึงควรมีการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในระบบ โดยเฉพาะบริเวณถังชีวภาพ หรือ โตะปลูก (ภาพที่ 4.41) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันมากที่สุด



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.40 ลักษณะของถังตกตะกอน (ก) และท่อ PVC ที่เชื่อมระหว่างถัง (ข)



ภาพที่ 4.41 การเพิ่มปริมาณออกซิเจนในโตะปลูก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การเจริญเติบโตของปลาและฟิช

จากการศึกษาความเป็นไปได้ของการเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองของปลาทับทิมที่เลี้ยงในระบบ DRFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกับระบบ Fish น้ำหนักเฉลี่ยของคะน้าในระบบ DRFT-Fish พบว่าไม่มีความแตกต่างกับระบบ DRFT แต่ผักคะน้าที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish แสดงอาการเป็นพิษของใบพืช (necrosis) นอกจากนี้ค่า EC ที่คะน้าต้องการมีค่าสูง ($EC=3.0-3.6$) เกินกว่าความสามารถของปลา (100 กรัม:30 ตัว) ที่จะผลิตธาตุอาหารให้เพียงพอกับคะน้า (400 ต้น) ฉะนั้นจึงควรเลือกชนิดผักที่มีความต้องการค่า EC ที่ต่ำกว่าในการทดลองที่ 1 เพื่อความเหมาะสมของปริมาณธาตุอาหารที่ได้จากการเลี้ยงปลา ฉะนั้นในการทดลองที่ 2 จึงมีการศึกษาชนิดผักที่เหมาะสมกับระบบการเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผัก

การศึกษานิตผักที่เหมาะสมกับระบบการเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT โดยเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักบุงจิ้นและผักโขม พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองของปลาทับทิมที่เลี้ยงในระบบ DRFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกับระบบ Fish น้ำหนักเฉลี่ยของผักบุงจิ้นและผักโขมระบบ DRFT-Fish พบว่าไม่มีความแตกต่างกับระบบ DRFT ผักบุงจิ้นที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish มีลักษณะของใบและลำต้นไม่แตกต่างกับระบบ DRFT ผลผลิตที่ได้มีปริมาณใกล้เคียงกับระยะเก็บเกี่ยวของระบบทั่วไป แต่ผักโขมจิ้นที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish และระบบ DRFT มีลักษณะของใบและลำต้น แคระแกร็น ผลผลิตที่ได้มีปริมาณน้อยกว่าระยะเก็บเกี่ยวของระบบทั่วไป แสดงว่าผักบุงจิ้นสามารถเจริญเติบโตได้ดีในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืช จึงเลือกผักบุงจิ้นเป็นผักทดลองในการทดลองที่ 3

ระบบการเลี้ยงปลาทับทิมร่วมกับการปลูกผักบุงจิ้นโดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT น้ำหนักเฉลี่ยเมื่อสิ้นสุดการทดลองของปลาทับทิมที่เลี้ยงในระบบ DRFT-Fish ไม่มีความแตกต่างกับระบบ Fish น้ำหนักเฉลี่ยของผักบุงจิ้นระบบ DRFT-Fish พบว่าไม่มีความแตกต่างกับระบบ DRFT แต่ความยาวรากเฉลี่ยของผักบุงจิ้นที่ปลูกในระบบ DRFT-Fish พบว่ามีความแตกต่างกับระบบ DRFT โดยระบบ DRFT-Fish มีความยาวรากสั้นกว่าระบบ DRFT

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของระบบการเลี้ยงปลา ร่วมกับการปลูกผัก

การพัฒนา ระบบทั้ง 3 การทดลอง พบว่าส่วนประกอบของระบบในการทดลองที่ 3 (ระบบการเลี้ยงปลา ทับทิม ร่วมกับการปลูกผัก บัง โดยไม่ใช้ดินแบบ DRFT) มีประสิทธิภาพการบำบัดคุณภาพน้ำดี ที่สุด สามารถลดปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรที่ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ ได้ร้อยละ 14.08, 5.77, 14.63 และ 3.20 ตามลำดับ โดยที่การเจริญเติบโตของปลา และผักของทั้ง 3 ระบบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) และสามารถเจริญเติบโตได้ปกติ

จากการศึกษาระบบการเลี้ยงปลา ทับทิม ร่วมกับการปลูกผัก โดยการใช้ น้ำจากบ่อเลี้ยงปลาผสมกับสารละลายธาตุอาหารพืช เพื่อให้ผักบำบัดน้ำจากบ่อเลี้ยงปลา ให้มีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้น และน้ำดังกล่าวสามารถนำกลับมาเลี้ยงปลาได้อีก พบว่าผักบ่งจิ้นสามารถเจริญเติบโต ร่วมกับการเลี้ยงปลา ทับทิม ได้ แต่ต้องปรับองค์ประกอบของน้ำ ให้มีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดี และการเติมสารละลายธาตุอาหารในระบบ ต้องมีปริมาณที่ ไม่มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของปลา ทับทิม

ข้อเสนอแนะ

1. น้ำจากการเพาะเลี้ยงปลา ไม่สามารถนำมาใช้ปลูกพืชได้โดยตรง จะต้องผ่านกระบวนการตกตะกอน กระบวนการทางชีวภาพ และมีการปรับองค์ประกอบของน้ำ ให้มีปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช ก่อนนำมาใช้ โดยเฉพาะจุลธาตุอาหารที่มีปริมาณน้อยในน้ำ
2. เพื่อลดปัญหาการสะสมของเกลือในสารละลายธาตุอาหาร เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำต่อเนื่องเป็นเวลานาน ต้องมีการถ่ายตะกอน และน้ำ ออกจากระบบบางส่วน

บรรณานุกรม

- กรมอุตุนิคมวิทยา. 2550. ข้อมูลปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์. สถานีกรุงเทพฯ บางนา, สถานีอุตุนิคมวิทยาเกษตร.
- เฉลิมเกียรติ โภควัฒนาและภัตรา ชวประดิษฐ์. 2539. “ผักบุ้ง.” กองส่งเสริมพืชสวน, กรมส่งเสริมการเกษตร. [Online]. Available :
http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/plant/herb_gar/veget4.pdf
- ช่วยชูศรี ศรีภูมิและจารุวรรณ สมศิริ. 2525. “พืชเห็บพด้นของแอมโมเนียและไนโตรเจนที่มีผลต่อปลาแคคคาน.” วารสารการประมง. 35(4) : 373-378.
- ศิริก ทงอร่วม. 2547. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน หลักการจัดการการผลิต และเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.
- ตลาดกลางสินค้าเกษตรแห่งประเทศไทย.2007. “ราคาสินค้าเกษตร.” [Online]. Available :
<http://www.talaadthai.com/web/pricebase/default.asp>
- ทองพล วรรณโพธิ์ และอัมพา คำวงษา. 2543. ปลาทับทิมในกระชัง. กรุงเทพฯ : นาคาอินเตอร์มีเดีย.
- นนุช เลาหะวิสุทธ์. 2544. “ระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดินในระบบปิด.” วารสารเคหะการเกษตร. 25(7) : 205-215.
- นนุช วงศ์สินชวน. 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>
- ประเทือง เชาว์วันกลาง. 2534. คุณภาพน้ำทางการประมง. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- ประสิทธิ์ โนรี. 2550. “การปลูกคะน้า (KALE).” [Online]. Available :
<http://www.it.mju.ac.th/dbresearch/organize/extention/book-veget/ book06.html>
- ปรีดา พากเพียร, พิชิต พงษ์สกุล และวิศิษฐ์ โชติคุณ. 2536. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.

- ไพรัตน์ พิมพ์ศิริกุล. 2547. “การสำรวจเบื้องต้นปริมาณไนเตรทในผักที่ปลูกโดยไม่ใช้ดินและ/หรือผักอนามัยที่จำหน่ายในตลาด”. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. ชุดโครงการวิจัยดินและปุ๋ยพืชสวน, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สุนทร คุริยะประพันธ์, พันธ บูรณศิลป์, จิราภรณ์ วัฒนะกุล และสาธิต์ ดันพานิช. 2530. ผักโคมพืชโปรตีนในอนาคต. สาขาวิจัยอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 21-29.
- ภานุ เทวรัตน์มณีกุล, สุจินต์ หนูขวัญ, กำชัย ลาวัลย์วุฒิ, วีระ วัชรโยธิน และนวลมณี พงศ์ธนา. 2539. หลักการเพาะเลี้ยงปลา. ข่าวกรมประมง. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง. 19-23.
- มันสิน ดันกุลเวศม์ 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.
- ขงยุทธ ปรีดาลัมพะบุตร, เพิ่มศักดิ์ เฝิงมาก, พุทธ ส่องแสงจินดา, สุภโยค 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. ภวรรณศรี สมบุญโต ผู้สัมภาษณ์. ผลผลิตของผักในระบบ DRFT จาก Higreen Hydroponics Farm. ทางโทรศัพท์.
- วรางคณา กาชัม. 2545. “การศึกษาแนวโน้มประสิทธิภาพของระบบการปลูกใบพวยศรีลังการและ อเมซอนแบบไร้ดินร่วมกับการเลี้ยงปลาทองในระบบปิด.” ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง, คณะเทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

- สมศรี อรุณินท์. 2534. “การคัดเลือกชนิดพืชปลูกในดินที่มีระดับความเค็มต่างกัน.” [Online]. Available : <http://agriman.doae.go.th/smartfarmer/soiltest/%E0%B8%84%E0%B9%88%E0%B8%B2Ec.htm>
- สังเทพ สุขแก้ว. 2544. “การเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกใบพวยศรีลังกาแบบไร้ดินในระบบปิด.” ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง เทคโนโลยีการเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุชาติ อิงธรรมจิตร, โสกา อารีรัตน์, ไพพรรณ เทียนทอง และเสาวคนธ์ วัลลีย์. 2534. “การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำ แผลงก่อดอนพืชและแบคทีเรียในบ่อเลี้ยงปลา.” รายงานสัมมนาวิชาการประจำปี 2534. กรมประมง. 203-254.
- สุวรรณา เหลืองชลธาร. 2547. สารเคมีเจือปนในอาหาร. ภาควิชาเกษตรเคมี, คณะเกษตรศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- องค์การสะพานปลา. 2007. ราคาสถิติสัตว์น้ำ สะพานปลากรุงเทพ ประจำเดือนกันยายน 2550. [Online]. Available : <http://www.fishmarket.co.th>.
- อดิสร กฤษณวงศ์. 2543. วิจารณ์เรื่อง “การเลี้ยงปลานิลในกระชัง สัตว์น้ำเศรษฐกิจปี 2000.” โดยยุพินท์ วิวัฒน์ชัยเศรษฐ์. วารสารการประมง. กรมประมง. 53(1) : 87-92.
- อวิศา 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>.
- 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 Miao, 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.
- Maynard, D.N. and Barker, A.V. 1972. "Nitrate Content of Vegetable Crops." **Hort Science**. 7(3) : 224-226.
- 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.
- Quillere, 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.

- 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.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
สารละลายธาตุอาหาร

ก.1 สารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการทดลอง

เตรียมสารละลายธาตุอาหาร ดังตารางที่ ก.1 ละลายในน้ำ 20 ลิตร ได้สารละลายเข้มข้น 200 เท่า สำหรับการทดลองที่ 1, 2 และ 3

ตารางที่ ก.1 องค์ประกอบธาตุอาหารในสารละลายสูตร KMITL2 ปริมาณ 20 ลิตร

ชนิดของสารละลายธาตุอาหาร	น้ำหนัก (กรัม)
สารละลาย A	
Calcium nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	3,767
Iron chelate (Fe-DTPA 7%)	175
สารละลาย B	
Potassium nitrate (KNO_3)	1,796
Potassium phosphate (KH_2PO_4)	653
Magnesium sulphate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	1,048
Zinc sulphate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	4.756
Copper sulphate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	1.016
Manganese sulphate ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	14.194
Boric acid (H_3BO_3)	8.894
Ammonium molybdate ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$)	0.343

หมายเหตุ: ปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) โดยใช้กรด HNO_3 ให้อยู่ในช่วง 3-6

: Iron chelate (Fe-DTPA 7%) (Di-ethylene Triamine Pentaacetic Acid) ช่วงค่า pH ที่เหมาะสม 1.5-7.5

ภาคผนวก ข.
โรงเรียนทดลอง

ภาคผนวก ค.
วิธีการวิเคราะห์

ค.1 วิธีการวิเคราะห์น้ำ

ค.1.1 วิธีวัดอุณหภูมิ (Temperature) โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์

ค.1.2 วิธีวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) โดย เปิดเครื่อง pH Meter แล้วอุ่นเครื่องประมาณ 10-15 นาที ปรับค่าด้วย Standard Buffer Solution ที่ pH 4 และ 7 โดยเลือกค่าที่คิดว่าใกล้เคียงน้ำตัวอย่าง โดยจุ่ม Electrode ลงไปใน Buffer Solution จากนั้น กดปุ่ม Stand by แล้วจึงเอา Electrode ไปล้างด้วยน้ำกลั่น ซับให้แห้ง แล้วนำมาจุ่มลงในน้ำตัวอย่าง อ่านค่าเมื่อเข็มอยู่นิ่ง

ค.1.3 วิธีวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) โดยปรับเครื่องมือวัดค่าความนำไฟฟ้าโดยใช้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมคลอไรด์ ดังอิเล็กโทรด ด้วยน้ำกลั่น แล้ววัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำตัวอย่าง โดยเขย่าน้ำตัวอย่างประมาณ 30-60 วินาที แล้วทำการบันทึกผล

ค.1.4 วิธีวิเคราะห์แอมโมเนีย (Ammonia Nitrogen) โดยนำน้ำตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร เติม $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 1 หยด เติม Hypochlorous Acid Solution 1 มิลลิลิตร เขย่า แล้วเติม Phenate Solution 1.2 มิลลิลิตร เขย่า ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 630 นาโนเมตร

ค.1.5 วิธีวิเคราะห์ไนไตรท์ (Nitrite Nitrogen) โดยนำน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร เติม Diazotizing Reagent จำนวน 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 2 นาที แต่ไม่เกิน 8 นาที เติม NNED (N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine-Dihydrochloride) 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 543 นาโนเมตร

ค.1.6 วิธีวิเคราะห์ไนเตรท (Nitrate Nitrogen) โดยนำน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร เติม สารละลายบัพเฟอร์ I ซึ่งประกอบด้วย 25 กรัมของ NH_4Cl , Disodiumtetraborate 5 กรัมและ EDTA 0.5 กรัมปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปผ่าน Column ครั้งที่ 1 จำนวน 25 มิลลิลิตร (ซึ่งสารละลายที่ผ่าน Column ครั้งที่ 1) จากนั้นนำสารที่ต้องการวิเคราะห์ไปผ่าน Column ครั้งที่ 2 จำนวน 25 มิลลิลิตร เก็บไว้ จากนั้นเติม Diazotizing Reagent จำนวน 2 มิลลิลิตร จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 2 นาที แต่ไม่เกิน 8 นาที เติม NNED (N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine-Dihydrochloride) 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 543 นาโนเมตร

ค.1.7 วิธีการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (Orthophosphate) โดยนำน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร แล้วเติม 8 มิลลิลิตร ของสารประกอบ Combine Reagent ซึ่งประกอบด้วย 5N H_2SO_4 , Potassium Antimonyl Tertrate, Ammonium Molybdate Solution และ Ascorbic Acid เขย่า ตั้งทิ้งไว้ 10 นาทีแต่ไม่เกิน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 880 นาโนเมตร

ค.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ (\%)} = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100$$

A = ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรต หรือฟอสฟอรัสของน้ำตั้งต้น (mg/L)

B = ปริมาณแอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรต หรือฟอสฟอรัสของน้ำที่ไหลออกจากระบบ (mg/L)

ค.3 ความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำ

$$\text{ความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำ (\%)} = \left(\frac{n}{N} \right) \times 100$$

n = จำนวนครั้งที่มมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ

N = จำนวนครั้งที่วิเคราะห์น้ำทั้งหมด

ค.4 วิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช

ค.4.1 การวิเคราะห์ไนโตรเจน ใช้วิธี Micro Kjeldahl แล้วยหา N โดยการกลั่น โดยชั่งพืช ประมาณ 200 mg เติมสารเร่งปฏิกิริยา (Salt Mixture : K_2SO_4 , $CuSO_4$, และ Selenium Metal ใน อัตราส่วน 100:10:1) ปริมาณใกล้เคียงกับน้ำหนักพืชที่ใช้ เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น ปริมาตร 4 มิลลิลิตร (Pre-Digest ใว้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง) หลังจากนั้นนำไปย่อยสลายบนเตาด้วยความร้อนที่ อุณหภูมิเริ่มต้น 100 องศาเซลเซียส ค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิขึ้นจนกระทั่งถึง 380 องศาเซลเซียส เมื่อได้ สารละลายใส ให้ย่อยต่อไปอีกประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปกลั่นหาไนโตรเจน

ค.4.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส โดยนำตัวอย่างพืช ให้ทำปฏิกิริยากับสารละลาย แอมโมเนียมโมลิบเดต และแอมโมเนียมวานาเดต ในสภาพเป็นกรด ได้สารละลายสีเหลือง นำไป วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 420 นาโนเมตรเปรียบ เทียบความเข้มสีกับสารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 0-15 ppm

ค.4.3 การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โดยใช้ เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 769.9, 422.7 และ 202.5 นาโน เมตร ตามลำดับ เปรียบเทียบความเข้มสีกับสารละลายมาตรฐาน

ค.5 วิธีการวิเคราะห์ไนเตรทในผักด้วยวิธี salicylic acid

ค.5.1 นำตัวอย่างพืชสดที่เก็บมาตัดรากทิ้ง และชั่งน้ำหนักสดของต้นพืช แล้วล้างด้วยน้ำประปา และน้ำกลั่นให้สะอาด ชับให้แห้งด้วยกระดาษทิชชู ใส่งูกระดาษเพื่อนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักแห้งคงที่ แล้วชั่งน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำตัวอย่างแห้งที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดพืช ผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร

ค.5.2 นำตัวอย่างพืชที่ผ่านการบดแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อีกครั้งเป็นเวลา 15-30 นาทีเพื่อไล่ความชื้น แล้วชั่งตัวอย่างพืช 0.10 กรัม ลงใน Erlenmeyer flash ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร นำไปเขย่า 180 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้ไปเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนออกด้วยเครื่อง centrifuge ที่ 2,500 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที

ค.5.3 เมื่อได้สารละลายส่วนใสแล้ว คูณสารละลาย 0.2 มิลลิลิตร ใส่งูหลอดทดลอง เติม 95 % w/v salicylic acid 1 มิลลิลิตร เขย่าแล้วทิ้งไว้ 20 นาที จากนั้นเติม 4 M NaOH 10 มิลลิลิตร เขย่าแล้วทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำไปวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 410 นาโนเมตร โดยเปรียบเทียบกับสารละลายไนเตรทมาตรฐาน

ภาคผนวก ง.

ประสิทธิภาพและความสม่ำเสมอของการบำบัดน้ำ

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ในไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ (%) ตลอดการทดลองที่ 1

	สัปดาห์ที่									Min	Max	Average	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8				9
แอมโมเนีย													
ตั้งเคียงปลา (mg/L)	0.85	2.81	3.25	3.83	4.04	2.51	1.09	2.12	2.95	1.83	0.85	4.04	2.53
ออกจากโต๊ะปลูก (mg/L)	0.91	2.77	3.70	3.73	3.84	2.74	1.06	1.97	2.58	1.74	0.91	3.84	2.50
ผลต่าง	-	0.04	-	0.11	0.20	-	0.02	0.15	0.37	0.09	0.02	0.37	0.14
%การบำบัด	-	1.26	-	2.78	4.97	-	2.17	6.98	12.57	5.16	1.26	12.57	5.13
ไนไตรท์													
ตั้งเคียงปลา (mg/L)	1.09	4.78	3.69	2.31	1.27	2.61	0.39	4.65	6.47	0.75	0.39	6.47	2.80
ออกจากโต๊ะปลูก (mg/L)	1.10	5.53	3.36	2.27	1.21	2.29	0.21	5.36	5.89	0.50	0.21	5.89	2.77
ผลต่าง	-	-	0.33	0.04	0.06	0.32	0.18	-	0.58	0.25	0.04	0.58	0.25
%การบำบัด	-	-	8.97	1.54	5.09	12.21	45.39	-	8.96	33.31	1.54	45.39	16.50
ไนเตรท													
ตั้งเคียงปลา (mg/L)	52.58	84.21	52.88	48.74	68.84	69.14	45.49	54.65	68.25	114.51	45.49	114.51	65.93
ออกจากโต๊ะปลูก (mg/L)	62.34	98.40	58.20	57.91	85.69	59.38	49.63	59.38	78.01	122.64	49.63	122.64	73.16
ผลต่าง	-	-	-	-	-	9.76	-	-	-	-	9.76	9.76	9.76
%การบำบัด	-	-	-	-	-	14.11	-	-	-	-	14.11	14.11	14.11
ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ													
ตั้งเคียงปลา (mg/L)	17.50	24.58	25.97	20.00	29.28	18.84	12.18	23.79	42.48	15.17	12.18	42.48	22.98
ออกจากโต๊ะปลูก (mg/L)	15.11	31.00	29.93	18.61	31.48	20.30	12.00	23.79	41.56	15.17	12.00	41.56	23.90
ผลต่าง	2.38	-	-	1.39	-	-	0.18	-	0.92	-	0.18	2.38	1.22
%การบำบัด	13.62	-	-	6.96	-	-	1.50	-	2.16	-	1.50	13.62	6.06

หมายเหตุ : - = ไม่มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ

ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ในไนโตรที่ไนเตรท และฟอสฟอรัสในน้ำ (%) ตลอดการทดลองที่ 2

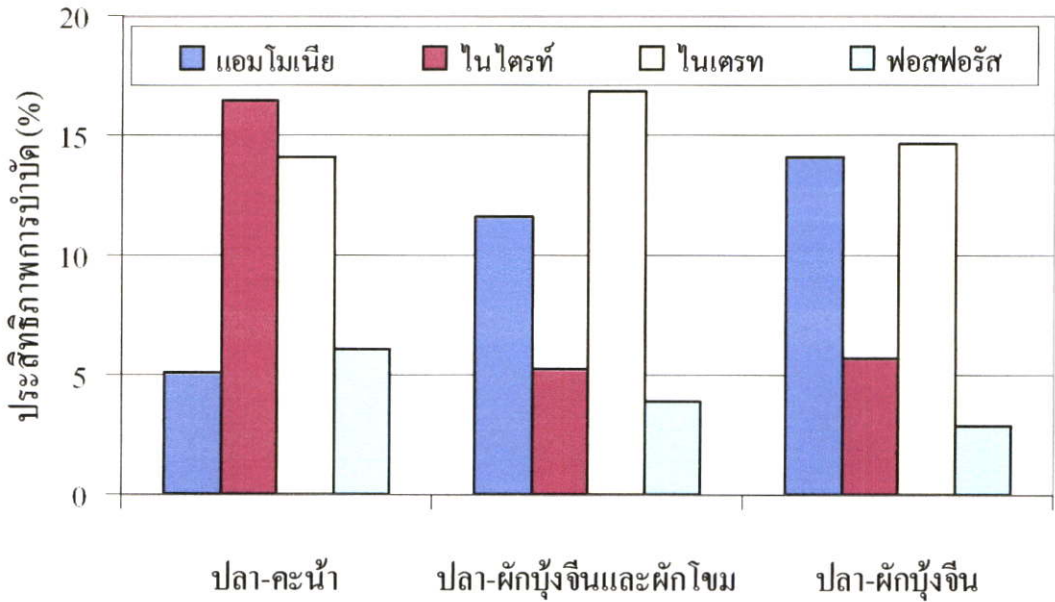
	สัปดาห์ที่											Min	Max	Average			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				11		
แอมโมเนีย																	
ถึงเคียงปลา (mg/L)	0.06	7.29	4.59	1.62	1.04	1.29	1.47	4.09	4.08	5.32	4.93	6.30	0.06	7.29	3.51		
ออกจากโต๊ะปลูก (mg/L)	0.06	6.69	5.72	1.02	0.83	1.06	1.46	3.71	4.47	4.99	4.76	6.11	0.06	6.69	3.41		
ผลต่าง	-	0.60	-	0.60	0.20	0.23	0.01	0.38	-	0.33	0.17	0.19	0.01	0.60	0.30		
%การบำบัด	-	8.18	-	36.82	19.64	17.75	0.64	9.21	-	6.14	3.50	2.99	0.64	36.82	11.65		
ไนโตรที่																	
ถึงเคียงปลา (mg/L)	0.00	2.59	0.92	5.72	4.56	2.05	3.10	3.08	3.69	3.14	5.15	5.23	0.00	5.72	3.27		
ออกจากโต๊ะปลูก (mg/L)	0.00	2.78	0.90	5.27	5.24	2.41	3.13	3.17	3.48	3.18	5.21	5.85	0.00	5.85	3.38		
ผลต่าง	-	-	0.02	0.45	-	-	-	-	0.21	-	-	-	0.02	0.45	0.23		
%การบำบัด	-	-	2.08	7.89	-	-	-	-	5.79	-	-	-	2.08	7.89	5.25		
ไนเตรท																	
ถึงเคียงปลา (mg/L)	0.51	3.88	12.68	117.03	125.59	138.32	88.51	202.83	203.64	163.38	140.94	252.80	0.51	252.80	120.84		
ออกจากโต๊ะปลูก (mg/L)	0.52	1.01	11.81	106.44	116.18	169.25	79.16	232.23	203.33	148.01	157.54	288.99	0.52	288.99	126.21		
ผลต่าง	-	2.87	0.88	10.59	9.41	-	9.35	-	0.31	15.37	-	-	0.31	15.37	6.97		
%การบำบัด	-	73.94	6.90	9.05	7.50	-	10.56	-	0.15	9.41	-	-	0.15	73.94	16.79		
ฟอสฟอรัสที่																	
ถึงเคียงปลา (mg/L)	0.06	4.18	7.49	62.50	55.60	71.58	59.23	111.56	177.23	53.42	45.06	136.63	0.06	177.23	65.38		
ตะกอนในน้ำ	0.06	4.91	7.30	72.67	55.23	73.76	69.04	99.20	186.49	53.42	69.04	134.45	0.06	186.49	68.80		
ผลต่าง	-	-	0.18	-	0.36	-	-	12.35	-	-	-	2.18	0.18	12.35	3.77		
%การบำบัด	-	-	2.43	-	0.65	-	-	11.07	-	-	-	1.60	0.65	11.07	3.94		

หมายเหตุ :- ไม่มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ

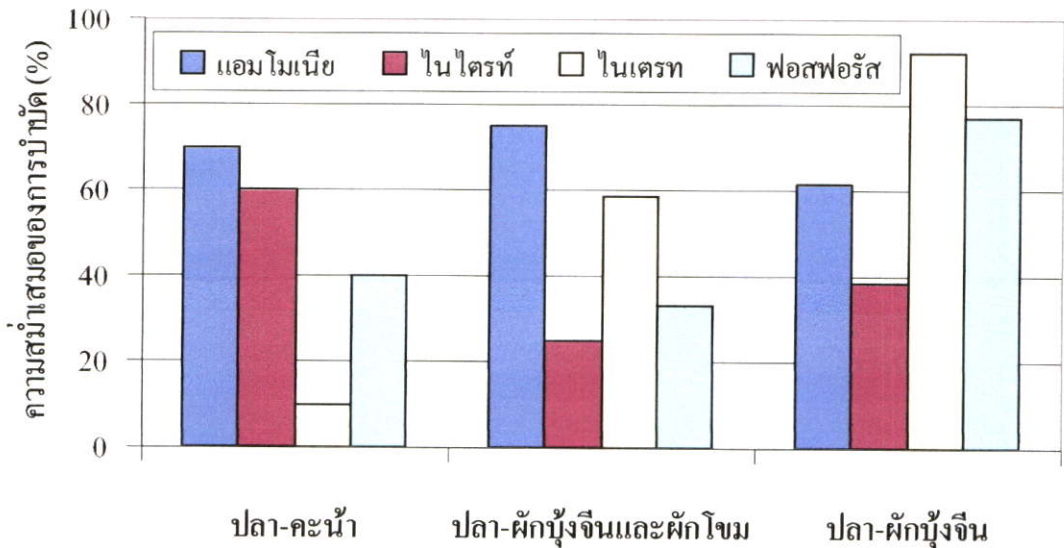
ตารางที่ ง.3 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสในน้ำ (%) ตลอดการทดลองที่ 3

	สัปดาห์ที่												Min	Max	Average			
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				12		
แอมโมเนีย																		
ถึงเคียงปลา (mg/L)	0.12	3.20	2.01	4.73	19.00	0.51	0.02	0.28	0.26	1.51	0.30	1.85	9.74	0.02	19.00	3.35		
ออกจากตู้ะปลูก (mg/L)	0.09	4.22	1.77	3.83	19.88	0.88	0.01	0.30	0.28	1.44	0.25	1.78	8.78	0.01	19.88	3.34		
ผลต่าง	0.03	-	0.25	0.90	-	-	0.00	-	-	0.07	0.05	0.07	0.96	0.00	0.96	0.29		
%การบำบัด	27.42	-	12.20	19.05	-	-	19.61	-	-	4.85	15.67	3.95	9.89	3.95	27.42	14.08		
ไนไตรท์																		
ถึงเคียงปลา (mg/L)	0.03	1.85	6.39	21.45	33.57	43.10	0.20	1.10	0.39	1.34	0.25	1.63	2.33	0.03	43.10	8.74		
ออกจากตู้ะปลูก (mg/L)	0.03	1.68	8.80	22.10	32.01	40.62	0.20	1.15	0.37	1.39	0.30	1.58	2.33	0.03	40.62	8.66		
ผลต่าง	-	0.18	-	-	1.56	2.48	-	-	0.02	-	-	0.05	-	0.023	2.48	0.86		
%การบำบัด	-	9.59	-	-	4.65	5.75	-	-	5.76	-	-	3.08	-	3.08	9.59	5.77		
ไนเตรท																		
ถึงเคียงปลา (mg/L)	0.60	1.96	65.80	104.50	185.38	179.98	121.59	140.48	141.85	99.00	109.87	172.97	124.15	0.60	185.38	111.39		
ออกจากตู้ะปลูก (mg/L)	0.33	1.39	80.29	94.00	184.77	170.86	108.96	108.01	141.08	87.50	87.05	168.46	103.75	0.33	184.77	102.80		
ผลต่าง	0.28	0.56	-	10.50	0.60	9.12	12.63	32.47	0.78	11.50	22.82	4.51	20.40	0.28	32.47	10.51		
%การบำบัด	45.83	28.79	-	10.05	0.33	5.07	10.39	23.11	0.55	11.62	20.77	2.61	16.43	0.33	45.83	14.63		
ฟอสฟอรัสที่																		
ถึงเคียงปลา (mg/L)	0.10	2.51	45.50	103.79	111.73	84.48	86.75	90.70	112.89	125.50	129.86	179.86	164.85	0.10	179.86	95.27		
ละลายในน้ำ																		
ออกจากตู้ะปลูก (mg/L)	0.10	3.00	68.96	106.06	111.36	78.05	84.86	86.68	112.21	125.40	119.31	176.46	161.70	0.10	176.46	94.93		
ผลต่าง	-	-	-	-	0.38	6.43	1.89	4.03	0.68	0.10	10.56	3.41	3.15	0.10	10.56	3.40		
%การบำบัด	-	-	-	-	0.34	7.62	2.18	4.44	0.60	0.08	8.13	1.89	1.91	0.08	8.13	3.02		

หมายเหตุ :- ไม่มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำ



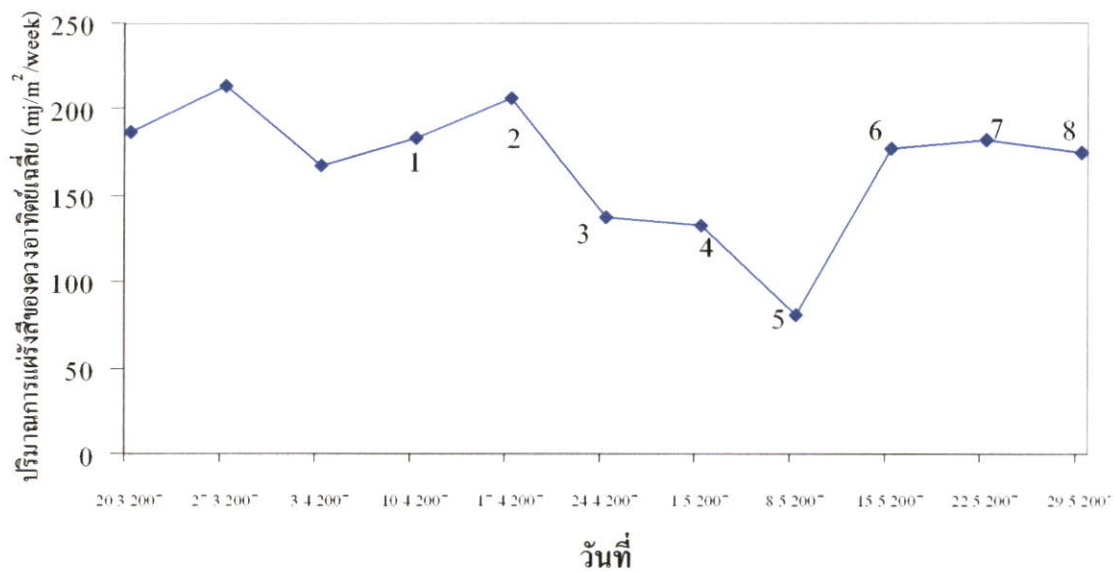
ภาพที่ ง.1 ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ
เฉลี่ย (%) ของระบบ DRFT-Fish ทั้ง 3 การทดลอง



ภาพที่ ง.2 ความสม่ำเสมอในการบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรท และฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ
(%) ของระบบ DRFT-Fish ทั้ง 3 การทดลอง

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์



ภาพที่ จ.1 แนวโน้มปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ยต่อสัปดาห์ระหว่างวันที่ 20 มีนาคม 2550 ถึง 29 พฤษภาคม 2550

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา (2550)

หมายเหตุ : ตัวเลขที่ระบุในกราฟ แสดงถึงรอบการปลูกพืชที่เก็บผลผลิต

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นางสาวภววรรณตรี สมบุญโต
วัน เดือน ปีเกิด	11 กุมภาพันธ์ 2526
ที่อยู่	3/188 หมู่ที่ 7 ตำบลพุดตาทอง อำเภอเสด็จพิสัย จังหวัดชลบุรี 20180
ประวัติการศึกษา	2548 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง