

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของการปลูกพรรณไม้น้ำร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบต่างๆ
ที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำ

EFFECT OF DIFFERENT AQUAPONIC SYSTEMS ON YIELDS
AND WATER QUALITY



นันทิมา สุทธิวรรณกุล
NUNTIMA SUTTHIWANNAKUL

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49411
วัน, เดือน, ปี 20.03.2547

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปฐพีวิทยา

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324- 955-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF DIFFERENT AQUAPONIC SYSTEMS ON YIELDS
AND WATER QUALITY



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

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ISBN 974-324-955-9
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Effect of Different Aquaponic Systems on Yields and Water Quality
Student	Miss Nuntima Sutthiwannakul
Student ID.	43066505
Degree	Master of Science
Programme	Soil Science
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Ittisunthon Nuntagij
Thesis Co Advisor	Asst.Prof.Dr.Nongnuch Laohavisuti

Abstract

The goldfish (*Carassius auratus*) culturing systems were studied in combination with two aquatic plant types (*Cryptocoryne wendtii* and *Aglaonema* sp.) This trial was aimed to reduce the amount of water used and wasting water generated in the systems. The experimental design was split plot in RCBD. The first treatment was cultured goldfish without aquatic plant (this was used as a controller in the trial). Another treatment was cultured goldfish with aquatic plants in three systems, which were Nutrient Film Technique (NFT-Fish), Deep Flow Technique (DFT-Fish) and Sand Culture (Sand-Fish). In culturing goldfish without aquatic plant, changing of water was done periodically throughout the study. In contrast, certain amounts of water were added to maintain sufficient levels of water in aquarium in the other treatments. The results showed that culturing goldfish with aquatic plants did not produce any effect on growth of aquatic plants but obviously affected on growth of the goldfish. It was found that the NFT-Fish system gave the highest weight of the goldfish. (about 10.48 grams per fish when compared with the other). However, from the result of all treatments, it was found that Sand fish system provided the best quality of the water because it could reduce the highest amount of ammonia. Interestingly, culturing goldfish with aquatic plants enhanced on saving water in the systems at test four times when compared with (the fish system that) culturing goldfish alone.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิสุนทร นันทกิจ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยตรวจสอบ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นงนุช เลหาะวิสุทธิ ซึ่งเป็นผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขปัญหาต่างๆตลอดระยะเวลาทำการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณบุปผา จงพิพัฒน์ ที่ให้คำช่วยเหลือในเรื่องอุปกรณ์ และสารเคมีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พร้อมทั้งคำแนะนำตลอดการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณนงลักษณ์ พลทองสถิตย์ ที่คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจตลอดระยะเวลาทำการทดลอง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาทั้งในด้านการเรียน และช่วยชี้แนะในสิ่งต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณน้องๆ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงทุกคน ที่เคยช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้าย ขอกราบขอบพระคุณ คุณปู่ คุณย่า คุณอา คุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อนๆ ที่คอยให้ความสนับสนุนช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นันทิมา สุทธิวรรณกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

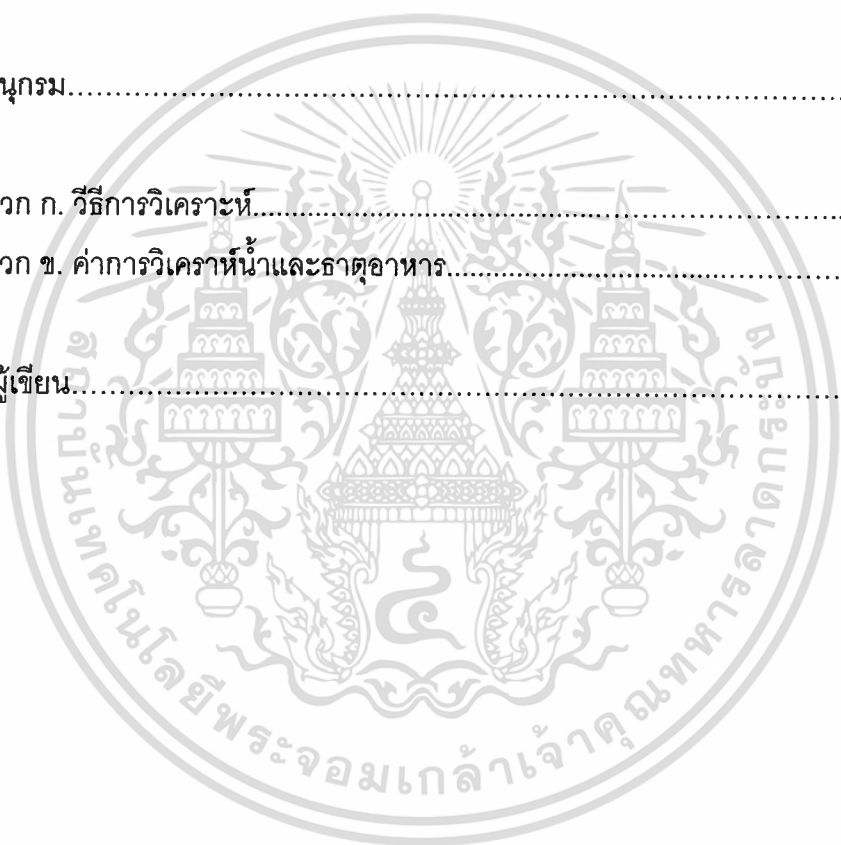
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	
2.1 นิยามและความหมาย.....	3
2.2 การเจริญเติบโตของปลาและผลผลิตของพืชในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับพืช.....	8
2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับพืช.....	9
2.4 คุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไม่ใช้ดิน.....	10
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	14
3.2 การวางแผนการทดลอง.....	14
3.3 วิธีการเตรียมการทดลอง.....	15
3.4 วิธีการทดลอง.....	17
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	
4.1 การเจริญเติบโตของปลาทองและพรรณไม้น้ำ.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่
4.2 ปริมาณธาตุอาหารในพรรณไม้น้ำศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
23
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 คุณภาพน้ำในระบบบอควาโปนิก (aquaponic system).....	28
4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของไบโอฟายคีสลิงกาและพัตวี.....	38
4.5 ปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบ.....	39
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	41
บรรณานุกรม.....	44
ภาคผนวก ก. วิธีการวิเคราะห์.....	47
ภาคผนวก ข. ค่าการวิเคราะห์น้ำและธาตุอาหาร.....	50
ประวัติผู้เขียน.....	72



สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.6 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของใบพายศรีลังกาลังการทดลอง.....	56
ข.7 ปริมาณธาตุอาหารของพดวีหลังการทดลอง.....	57
ข.8 ปริมาณธาตุอาหารของรากพดวีหลังการทดลอง.....	58
ข.9 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของพดวีหลังการทดลอง.....	59
ข.10 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	60
ข.11 ความเป็นกรดเป็นด่างในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	61
ข.12 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของระบบ NFT-Fish, DFT-Fish, Sand-Fish และ Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	62
ข.13 ค่าความเป็นด่างในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	63
ข.14 ปริมาณแอมโมเนียในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	64
ข.15 ปริมาณไนโตรเจนในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	65
ข.16 ปริมาณไนเตรทในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	66
ข.17 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	67
ข.18 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	68
ข.19 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	69
ข.20 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของใบพายศรีลังกา ช่วงสัปดาห์ที่ 3 ถึง สัปดาห์ที่ 10	70
ข.21 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของพดวี ช่วงสัปดาห์ที่ 3 ถึง สัปดาห์ที่ 10.....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ไบพายศรีลังกา (<i>Cryptocoryne wendtii</i>).....	3
2.2 พัดวี (<i>Aglaonema simplex</i>).....	4
3.1 ระบบการเพาะเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำ แบบ Nutrient film technique (NFT).....	16
3.2 ระบบการเพาะเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำ แบบ Deep flow technique (DFT).....	16
3.3 ระบบการเพาะเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำ แบบ Sand culture...	16
4.1 การเจริญเติบโตของปลาทองในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish, และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	20
4.2 การเจริญเติบโตของไบพายศรีลังกาในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	21
4.3 การเจริญเติบโตของพัดวีในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	22
4.4 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	31
4.5 ความเป็นกรดเป็นด่างในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	31
4.6 ค่าการนำไฟฟ้าในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	32
4.7 ค่าความเป็นด่างในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	32
4.8 ปริมาณแอมโมเนียในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	34
4.9 ปริมาณไนโตรทรีในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	34
4.10 ปริมาณไนเตรทในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.11 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	35
4.12 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	37
4.13 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ธุรกิจการเลี้ยงปลาสวยงามมีแนวโน้มขยายตัวเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเลี้ยงปลาสวยงามได้รับความนิยมแพร่หลายทั่วโลก แต่การเพาะเลี้ยงปลาสวยงามมีข้อจำกัดคือ มีการปล่อยน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวประกอบด้วยสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณสูง ซึ่งทำให้แพลงก์ตอนเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดปัญหาน้ำเสียได้ จึงได้มีการปลูกพรรณไม้น้ำควบคู่กับการเลี้ยงปลาสวยงาม เนื่องจาก น้ำเสียจากการเลี้ยงปลา มีปริมาณธาตุอาหารต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ โดยพรรณไม้น้ำจะดูดซับธาตุอาหาร ทำให้ปริมาณธาตุอาหารในน้ำเสียมีปริมาณลดลง เมื่อพิจารณาถึงข้อเสียของระบบการเพาะเลี้ยงปลาสวยงาม และนำข้อดีของการปลูกพรรณไม้น้ำรวมเข้าด้วยกัน จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตปลาสวยงามและแก้ไขปัญหาในเรื่องน้ำ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการเลี้ยงปลาทอง (*Carassius auratus*) ซึ่งเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว และสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี มีสีสันสวยงาม ได้รับความนิยมสูงมากและมีราคาดี ร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไม่ใช้ดิน ได้แก่ ไบพาสีร์ลิ่งกา (*Cryptocoryne wendtii*) และ พัดวี (*Aglaonema simplex*) ซึ่งเป็นพรรณไม้น้ำที่เลี้ยงดูแลรักษาง่าย โดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยผสมผสานกับการนำหลักการทางนิเวศวิทยามาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และคุณภาพน้ำในระบบการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไม่ใช้ดินร่วมกับการเลี้ยงปลาทองในระบบปิด แบบ Nutrient Film Technique (NFT-Fish), Deep Flow Technique (DFT-Fish) และ Sand Culture (Sand-Fish) ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มผลผลิตพรรณไม้น้ำและปลาสวยงามต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไม่ใช้ดินแบบต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาและพรรณไม้น้ำ

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไม่ใช้ดินแบบต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพน้ำ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงและภาควิชาประมงวิทยา โรงเรียนทดลอง ชั้น 5 อาคารเจ้าคุณทหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้ระยะเวลาในการดำเนินการ ตั้งแต่ เดือนมิถุนายน 2545 ถึง เดือนมกราคม 2546 รวมทั้งหมด 8 เดือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

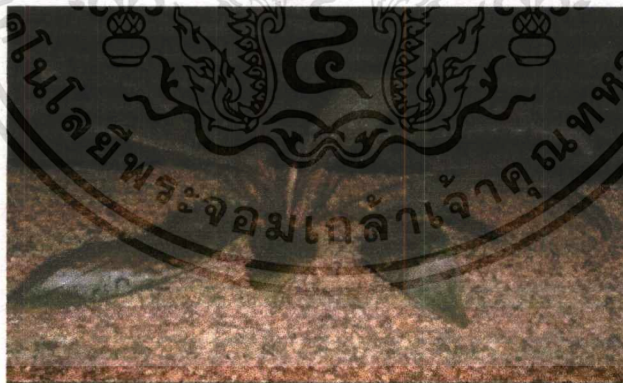
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามและความหมาย

2.1.1 พืชน้ำ (aquatic plants)

พืชน้ำที่เหมาะสมในการนำมาใช้ร่วมกับระบบเลี้ยงปลาสวยงาม ได้แก่ พืชน้ำใต้น้ำ (submerged plant) และกลุ่มพืชน้ำโผล่พ้นน้ำ (emerged plant) เนื่องจากพืชน้ำใต้น้ำในกลุ่มดังกล่าวมีมูลค่าในตลาดพืชน้ำสวยงามค่อนข้างสูง ส่วนพืชน้ำประเภทลอยน้ำ (floating) นิยมใช้บำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (นงนุช เลาหะวิสุทธิ. 2544) หลักของพืชน้ำใน ระบบอควาโปนิค คือ เพิ่มออกซิเจนให้กับแหล่งน้ำและกำจัดของเสียในน้ำที่เกิดจากปลาซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งลักษณะของพืชน้ำที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

ใบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii*) ลักษณะลำต้นเป็นเหง้าใต้ดิน มีไหลสั้น ใบแตกออกเป็นกระจุกรอบข้อแทงขึ้นมาจากพื้น เส้นใบเรียงตัวขนานกัน ก้านใบเป็นโพรง มีใบและก้านใบสีเขียวอมแดง ออกดอกเป็นช่อชูขึ้นมาเหนือน้ำ หุ้มกาบประดับที่มีลักษณะเป็นหลอดปลายแผ่ออกคล้ายปากแตรมีส่วนโค้งโปร่ง จัดเป็นพืชน้ำใต้น้ำที่นิยมแพร่หลายมากเนื่องจากความสวยงามแปลกตา (วันเพ็ญ มีนกาญจน์ และกาญจนาพร พงษ์ฉวี. 2543) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ใบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii*)

พืดวี (*Aglaonema simplex*) จัดเป็นพืชน้ำชนิดใต้น้ำ ลักษณะของก้านใบจะยาวสร้างใบได้ 4-7 ใบ ก้านใบเหมือนมีดดาบ หัวแหลมท้ายแหลมใบหนาไม่โค้งงอ ที่ฐานเป็นรูป

หัวใจ มีสีตั้งแต่สีเขียวอ่อนจนถึงเขียวเข้ม เมื่อโตเต็มที่อาจมีความสูงของลำต้นตั้งแต่ 30-40 เซนติเมตร ใบมีความยาว 10-15 เซนติเมตร จึงนิยมใช้เป็นไม้ประดับในตู้ (Rataj and Horeman, 1977) ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 พัดวี (*Aglaonema simplex*)

ปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ ได้แก่ ความต้องการธาตุอาหารของพรรณไม้น้ำ (nutrient requirement) จะขึ้นอยู่กับ 6 ธาตุอาหารที่ต้องการในปริมาณมาก (macronutrients) และอีก 7 ธาตุอาหารที่ต้องการในปริมาณน้อย (micronutrients) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) ควรจะมีค่าสูง (มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งจะมีผลต่อการดูดซับธาตุอาหาร และขบวนการ nitrification ได้ดีขึ้น ปริมาณความเข้มของแสง (light intensity) พรรณไม้น้ำเจริญเติบโตในความเข้มแสงค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับผัก ส่วนใหญ่ พรรณไม้น้ำต้องการความเข้มแสง ประมาณ 3,000-7,500 ลักซ์ ดังนั้นในการปลูกพรรณไม้น้ำจึงควรจะใช้ไฟฟลูออโรลูเมนหรือหลอดฮาโลเจนที่ส่องสว่างด้วยผ้าคลุมตาข่ายด้วย อุณหภูมิ (temperature) ประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (humidity) ประมาณร้อยละ 80-90 และปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความเค็มของน้ำ สารพิษที่ละลายอยู่ในน้ำ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และวัสดุปลูก ฯลฯ (นงนุช เลหาะวิสุทธิ. 2544)

2.1.2 การเลี้ยงปลาสวยงาม

ปลาสวยงามมีหลายชนิด ปลาทองก็เป็นอีกชนิดที่นิยมเลี้ยงมากในประเทศไทย เนื่องจากปลาทอง (*Carassius auratus*) เป็นปลาสวยงามที่เลี้ยงง่าย โตเร็ว และสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้อย่างดี มีสีสันสวยงาม ซึ่งปลาทองที่นิยมเลี้ยงในประเทศไทย คือ ปลาทองสายพันธุ์ ออเรนดา มีลักษณะลำตัวค่อนข้างยาว ลำตัวมองดูด้านข้างคล้ายรูปไข่หรือรูปรี

ส่วนห้องไม่ปองมากครีบทุกครีบยาวและใหญ่ โดยเฉพาะครีบหางจะยาวแผ่เป็นพวงสวยงาม แบ่งออกเป็น 3 สายพันธุ์ย่อย คือ

- ออเรนดาร์ธรรมา ลำตัวค่อนข้างยาว หัวไม่มีงู้น ครีบทุกครีบยาวมาก
- ออเรนดาหัวงู้น ลำตัวและหางไม่ยาวเท่าออเรนดาร์ธรรมา แต่บริเวณหัวจะมีงู้น

คลุมอยู่

- ออเรนดาหัวแดง งู้นบนหัวจะเป็นสีแดงและลำตัวมีสีขาว (กาญจนรี พงษ์ฉวี. 2543)

การเลี้ยงปลาในระบบปิดโดยทั่วไปจะใช้บ่อที่สามารถควบคุมปริมาณน้ำ ที่มีอยู่ในระบบได้ โดยที่ปริมาณน้ำจะไม่สูญหายไปจากระบบ ปลาที่เลี้ยงในระบบปิดนิยมเลี้ยงในถังไฟเบอร์หรือบ่อซีเมนต์มากกว่าเลี้ยงในบ่อดิน เนื่องจากการเลี้ยงในบ่อดินควบคุมของเสียที่ปลาขับถ่ายได้ยากกว่าการเลี้ยงในถังไฟเบอร์หรือบ่อซีเมนต์ โดยขนาดของถังหรือบ่อที่ใช้จะขึ้นอยู่กับจำนวนปลาที่เลี้ยงและมีความเหมาะสมกับปริมาณของพืชที่ใช้ปลูกในระบบ กล่าวคือถ้าเลี้ยงปลาจำนวนมากต้องปลูกพืชจำนวนมากตามไปด้วย เพราะของเสียที่ปลาขับถ่ายออกมา พืชสามารถดูดซับเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตในปริมาณที่มากพอที่จะทำให้ของเสียในบ่อลดลง อยู่ในปริมาณที่ปลาสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ โดยอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปลูกพืชต่อปริมาตรน้ำในบ่อจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณปลาที่เลี้ยง การเลี้ยงในบ่อที่นิยมจะอยู่ในช่วง 0.6-2.4 ตารางเมตร /ลูกบาศก์เมตร (Rakocy *et al.* 1993) ตารางที่ 2.1

แหล่งน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงปลา เป็นปัจจัยสำคัญในการเลี้ยงปลา ซึ่งนอกจากจะต้องมีปริมาณน้ำเพียงพอตลอดช่วงฤดูเพาะพันธุ์ปลาแล้ว คุณสมบัติของน้ำก็เป็นสิ่งสำคัญที่จะคำนึงถึง น้ำที่ใช้ในการเพาะพันธุ์ปลาควรมีคุณสมบัติ ดังนี้ คือ

อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ปลาเป็นสัตว์เลือดเย็น จึงไม่สามารถรักษาอุณหภูมิร่างกายให้คงที่ได้เหมือนสัตว์เลือดอุ่น ดังนั้นอุณหภูมิร่างกายจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิน้ำที่อาศัยอยู่ หากอุณหภูมิน้ำกับอุณหภูมิร่างกายต่างกันไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส การดำเนินชีวิตของสัตว์น้ำก็ยังคงเป็นไปตามปกติ แต่เมื่อหากอุณหภูมิน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน อาจทำให้ปลาตายได้ ซึ่งสอดคล้องกับ ประเทือง เชาววันกลาง (2534) ซึ่งกล่าวว่า อุณหภูมิที่ทำให้ปลาช็อคและตายได้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันต่างกัน 5 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำมีผลต่อการแพร่ขยายพันธุ์การเจริญเติบโตและเมตาบอลิซึมของสัตว์น้ำ คือถ้าอุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้อัตราเมตาบอลิซึมของสัตว์น้ำสูงขึ้นด้วยไขปลาจะฟักเป็นตัวและลูกปลาจะเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิช่วงหนึ่ง ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของปลา การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันจะทำให้ไขตาย ส่วนลูก

ปลาว่ายอ่อนจะช็อคและตายในที่สุด ข้อควรพิจารณาก็คือแหล่งน้ำที่จะนำมาใช้ต้องไม่เย็นเกินไป ซึ่งหากจำเป็นจะต้องนำมาใช้ควรนำมาพักไว้ก่อนให้อุณหภูมิอยู่ในระดับปกติเสียก่อน

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนพื้นที่การเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน

บ่อเลี้ยงปลา (m^3)	ปริมาตร ของระบบ (m^3)	พื้นที่ของระบบ ปลูกแบบไม่ใช้ดิน (m^2)	อัตราส่วน (m^2/m^3)	เอกสารอ้างอิง
0.25	2.0	0.74	0.37	Neigel, 1977
0.87	3.85	8.8	2.29	Lewis et al., 1978
2.3	2.6	1.6	0.62	NAI, 1980
1.7	2.84	1.4	0.49	Pierce, 1980
2.3	2.3	1.7	0.74	Zweig, 1980
0.19	0.75	1.55	2.07	Sutton and Lewis, 1982
6.4	6.6	1.8	0.27	Head, 1984
6.9	7.4	9.0	1.22	Wattan and Busch, 1984
2.2	7.2	2.0	0.28	Wren, 1984
0.5	0.5	3.4	6.8	McMutry, 1989
0.5	0.5	2.3	4.6	McMutry, 1989
0.5	0.5	1.5	3.0	McMutry, 1989
0.5	0.5	1.2	2.4	McMutry, 1989
11.2	17.8	13.8	0.78	Rokocy, 1989a
22.5	22.5	100	4.44	McMutry et al., 1989
11.2	15.1	13.8	0.91	Rakocy et al., 1993

Ratio = Hydroponic Area/System volume (m^2/m^3)

ที่มา : Rakocy et al. (1993)

ออกซิเจน นับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อการดำรงชีวิต เพราะเป็นตัวควบคุมขบวนการใช้พลังงานของแหล่งน้ำ ความสามารถในการละลายของออกซิเจนนั้นขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำ ความกดอากาศ และปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำ สุภาพร อารีย์กิจ (2542) กล่าวว่า น้ำที่ใช้ในการฟักไข่และอนุบาลลูกปลาต้องมีปริมาณออกซิเจนสูง โดยมีความเข้มข้นของออกซิเจนไม่ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งหากมีก๊าซออกซิเจนต่ำเกินไป มีผลให้ไข่เจริญช้า อัตราการฟักต่ำ และลูกปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำข้อมูลไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกการมาก และเมื่อปริมาณออกซิเจนต่ำลงถึงระดับหนึ่งไข่จะตาย ในทำนองเดียวกันก๊าซออกซิเจนในน้ำมีความเข้มข้นต่ำจะมีผลให้ลูกปลาเจริญเติบโตช้า หรืออาจตายเช่นเดียวกัน Boyd. 1989 กล่าวไว้ว่า ปริมาณออกซิเจนจะมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต ของสัตว์น้ำ โดยปริมาณออกซิเจนตั้งแต่ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไป จะเหมาะแก่การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำระหว่าง 1.0-4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สัตว์น้ำจะพอนอนอาศัยอยู่ได้ แต่การเจริญเติบโตจะไม่ดีเท่าที่ควร และตั้งแต่ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงมาจะเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นเครื่องแสดงให้ทราบว่าน้ำหรือสารละลายนั้นมีคุณสมบัติเป็นกรดหรือเป็นด่าง น้ำที่เหมาะสมในการเพาะพันธุ์ปลาทั่วไปควรมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ควรอยู่ในช่วง 6.5-9.0 หากเมื่อใดที่มีค่าต่ำกว่าหรือสูงกว่าระดับที่เหมาะสมนี้ จะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (มันสิน ตันจูลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539)

2.1.2 ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

การปลูกพืชไม่ใช้ดิน (hydroponics) เป็นการปลูกพืชที่ไม่ใช้วัสดุปลูกเป็นการปลูกพืชลงบนสารละลายธาตุอาหารพืช โดยให้รากพืชสัมผัสกับสารอาหารโดยตรงนั่นเอง (อิทธิสุนทร นันทกิจ และคณะ. 2544) ซึ่งระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (hydroponics) นั้นมีหลายระบบ ได้แก่

2.1.2.1 ระบบ Nutrient film technique (NFT) เป็นระบบหนึ่งของการปลูกด้วยสารละลายโดยที่รากของพืชจะสัมผัสกับสารละลายที่ไหลเป็นแผ่นฟิล์ม ซึ่งเป็นระบบที่นิยมมากและได้รับการยอมรับว่าเป็นการปลูกพืชไร้ดินที่ให้ผลผลิตมากและมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากลักษณะการไหลผ่านของสารละลายและออกซิเจน คือลักษณะการไหลของสารละลายจะไหลไปตามแรงโน้มถ่วงเพราะรางปลูกแบบนี้มีลักษณะลาดเอียง และมีปั้มน้ำเป็นตัวช่วยในการดึงสารละลายไปใช้บนรางปลูก (Mathew. 2001)

2.1.2.2 ระบบ Deep flow technique (DFT) เป็นระบบที่มีลักษณะคล้ายระบบ NFT เพียงแตกต่างกันตรงที่ความสูงของสารละลายในรางปลูกจะสูงมากกว่า

2.1.2.3 ระบบ Sand culture เป็นระบบหนึ่งที่เลียนแบบในการปลูกพรรณไม้ตามธรรมชาติ คือการปลูกพืชบนกระเบื้องทราย โดยสารละลายธาตุอาหารจะไหลซึมลงไปในทราย และรากพืชสามารถดูดซึมธาตุอาหารได้ (Rakocy *et al.* 1993)

2.1.3 ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

2.1.4.1 ระบบอควาโปนิค (aquaponic system) คือ ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไร้ดิน โดยของเสียจากปลาจะถูกย่อยสลายด้วยแบคทีเรียกลุ่ม nitrification ซึ่งสามารถ

ออกซิโดสแอมโมเนีย ให้เป็นไนโตรท์ และจากไนโตรท์ให้เป็นไนเตรท ซึ่งพืชสามารถดูดซับไนเตรทที่ละลายอยู่ในน้ำได้ โดยระบบบอควาโปนิค นี้กำลังเป็นที่นิยม เป็นการเพิ่มผลผลิตทางพาณิชย์ ปลาที่นิยมเลี้ยงในระบบ คือ ปลานิล (*Oreochromis nitoticus*) นอกจากนี้ยังมีปลา rainbow trout, ปลาคาร์ป และปลาดุก ส่วนพืชที่นิยมปลูกในระบบนี้ คือ ผักกาดหอม ผักสลัด รวมทั้งพืชเศรษฐกิจด้วย เช่น มะเขือเทศ แตงกวา พริกไทย และพืชจำพวกแตง (Anon. 2001)

2.1.4.2 ส่วนประกอบของระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับพรรณไม้น้ำแบบไม่ใช้ดิน ที่สำคัญ ได้แก่ บ่อเลี้ยงปลา บ่อตกตะกอน ระบบกรองชีวภาพ (biofiltration) ระบบปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดิน (hydroponic system) และ บ่อเก็บน้ำ ส่วนระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับพรรณไม้น้ำแบบไร้ดินในระบบปิดนั้น ส่วนประกอบของระบบบางส่วนอาจจะรวมกันหรือไม่ก็ได้ เช่น ระบบกรองชีวภาพร่วมกับระบบปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดิน

2.2 การเจริญเติบโตของปลาและผลผลิตพืชในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับพืช

Naegel (1977) ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล (*Tilapia mossambica*) และปลาคาร์ป (*Cyprinus carpio*) ร่วมกับผักกาดหอม และมะเขือเทศ พบว่า การเจริญเติบโตของปลานิลใน 3 เดือนแรก มีการเจริญเติบโตเร็วกว่าปลาคาร์ป แต่เมื่ออายุประมาณ 4 เดือน น้ำหนักปลาคาร์ปเฉลี่ยไม่แตกต่างกับปลานิล ซึ่งในระบบ recirculating system ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ปลาคาร์ป มีน้ำหนัก 0.6 กิโลกรัม ภายใน 6 เดือน ส่วนปลานิลสามารถโตได้ถึง 200 กรัม ภายใน 6 เดือน ส่วนการเจริญเติบโตของผักกาดหอม และ มะเขือเทศ หลังจาก 8 สัปดาห์ ได้ผลผลิตของมะเขือเทศถึง 24 กิโลกรัม ส่วนผักกาดหอมนั้นเพียง 4 สัปดาห์ ก็สามารถเก็บผลผลิตได้

Rakocy and Allison (1981) ได้ทดลองเลี้ยงปลานิล (*Tilapia aurea*) ร่วมกับการปลูกผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*), แหนเป็ด (*Spirodela oligorhiza*), สาหร่ายเดนซ่า (*Egeria densa*) และเทป (*Vallisneria* sp.) ในระบบปิด พบว่าได้ผลผลิตปลานิล 596 กิโลกรัมต่อปริมาตรน้ำ 15,400 ลิตร อัตรารอดร้อยละ 97.5 ได้ผลผลิตพืชน้ำทั้ง 4 ชนิด เท่ากับ 36 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (น้ำหนักสด)

Watten and Busch (1984) ทำการทดลองเลี้ยงปลาหมอเทศ (*Sarotherodon aurea*) ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum*) แบบไม่ใช้ดิน เป็นเวลา 181 วัน พบว่าได้ผลผลิตปลา 63.6 กิโลกรัมต่อ ปริมาตรน้ำ 9.72 ลูกบาศก์เมตร อัตราการรอดของปลาร้อยละ 97.5 ได้ผลผลิตมะเขือเทศทั้งหมดเท่ากับ 87 กิโลกรัม (น้ำหนักสด)

Xiangfu et al. (2000) ทดลองเลี้ยงปลาคาร์ปร่วมกับการปลูกข้าวแบบไม่ใช้ดินในระบบปิดโดยใช้พื้นที่ของระบบปลูกข้าวร้อยละ 15 พบว่า ได้ผลผลิตปลาคาร์ป 1,680 กิโลกรัม / เฮกตาร์

และปลาที่มีอัตราการตายเท่ากับร้อยละ 9.6 ได้ผลผลิตข้าว เท่ากับ 8.46 ตัน / เฮกตาร์ (น้ำหนักสด) และมวลชีวภาพเท่ากับ 16.78 ตัน / เฮกตาร์ (น้ำหนักสด)

2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับพืช

Rakocy and Allison (1981) ทดลองเลี้ยงปลานิล (*Tilapia aurea*) โดยใช้ผักตบชวา (*Eichhornia crassipes*), แหนเป็ด (*Spirodela oligorhiza*), สาหร่ายเดนซ่า (*Egeria densa*) และเทป (*Vallisneria* sp.) บำบัดของเสียในน้ำที่เกิดจากปลา พบว่าผักตบชวาสามารถดูดซับสารประกอบไนโตรเจนในน้ำได้มากที่สุด รองลงมาคือ แหนเป็ด, สาหร่ายเดนซ่า และเทป ตามลำดับ

McMurtry et al. (1993) ทดลองเลี้ยงปลานิล ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 2 สายพันธุ์ในระบบ sand culture โดยสายพันธุ์ laura ปลูกในช่วงฤดูร้อนและพันธุ์ kewalo ปลูกในช่วงฤดูใบไม้ผลิ พบว่า ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในดินมะเขือเทศพันธุ์ laura จะมากกว่ามะเขือเทศพันธุ์ kewalo

Quillere et al. (1993) ได้ทดลองเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ร่วมกับการปลูกมะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum*) ในระบบนิเวศแบบปิดพบว่า ในช่วงที่มะเขือเทศมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ในระบบมีไนเตรท (NO_3^-) แอมโมเนียม (NH_4^+) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) เหลืออยู่น้อยมาก หลังจากนั้นไนเตรต, แอมโมเนียม และฟอสเฟต ในระบบจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากพืชมีอัตราการเจริญเติบโตลดลง ส่วนธาตุไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัส (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) ที่สะสมอยู่ในใบมะเขือเทศเท่ากับ 3.4 และ 1.1 ตามลำดับ ส่วนในผลของมะเขือเทศ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) เท่ากับ 2.7 และ 0.7 ตามลำดับ และในน้ำที่มีค่าพีเอช (pH) ต่ำ จะทำให้ปริมาณไนเตรท แอมโมเนียม และไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (H_2PO_4) มากขึ้น แต่ถ้าในน้ำมีค่าพีเอชสูง จะทำให้ปริมาณไนเตรท แอมโมเนียม และไดไฮโดรเจนฟอสเฟตน้อยลง

Rakocy et al. (1993) ได้ทดลองเลี้ยงปลานิล (*Oreochromis* spp) ร่วมกับการปลูกผักใบเขียว, มะเขือเทศ และผักกาดแบบไม่ใช้ดิน พบว่า ผักกาดสามารถดูดซับไนเตรท (NO_3^-) และฟอสเฟต (PO_4^{3-}) ในน้ำได้มากกว่ามะเขือเทศและผักใบเขียว

Quillere et al. (1995) ได้ทดลองเลี้ยงปลานิลร่วมกับการปลูกมะเขือเทศและผักกาดแบบไร้ดินในระบบนิเวศแบบปิดโดยกระทำในฤดูที่ต่างกัน พบว่ามะเขือเทศที่ปลูกในช่วงฤดูใบไม้ร่วงและฤดูใบไม้ร่วง - ฤดูร้อนมีการสะสมธาตุไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 31 และ 28 ตามลำดับ ส่วนการสะสมธาตุไนโตรเจนในผักกาดที่ปลูกในช่วงฤดูหนาวเท่ากับร้อยละ 8.5 และมะเขือเทศกับผักกาดสามารถดูดซับไนเตรทในช่วงกลางวันได้มากกว่ากลางคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Takeda *et al.* (1997) ได้ทดลองเปรียบเทียบการดูดซับธาตุฟอสฟอรัสของ สตรอบเบอร์รี่ ที่ปลูกแบบไม่ใช้ดินบนระบบ NFT ร่วมกับการเลี้ยงปลา rainbow trout โดยใช้อัตราการไหลของ น้ำที่แตกต่างกันในปี 1994 และปี 1995 พบว่า การลดอัตราการไหลของน้ำลงทำให้สตรอบเบอร์รี่ สามารถดูดซับธาตุฟอสฟอรัสในน้ำได้มากขึ้น และในใบสตรอบเบอร์รี่มีการสะสมธาตุไนโตรเจนและ ธาตุฟอสฟอรัส (ร้อยละน้ำหนักแห้ง) ได้เท่ากับ 3.9 และ 0.9 ตามลำดับ

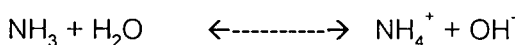
2.4 คุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชไม่ใช้ดิน

นงนุช เลหาะวิสุทธิ (2544) ได้ศึกษาถึงระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพรรณไม้ น้ำแบบไร้ดินในระบบปิด ควรเริ่มหมุนเวียนน้ำในระบบก่อนทำการเลี้ยงปลาสวยงามและพรรณไม้ น้ำ ประมาณ 3 – 4 สัปดาห์ เพื่อเพิ่มจำนวนแบคทีเรียกลุ่ม nitrification ให้มากพอที่จะทำหน้าที่อย่าง สมบูรณ์ในระบบกรองชีวภาพ และทำให้คุณภาพน้ำมีความเหมาะสมกับความต้องการของพรรณ ไม้ น้ำที่ใช้ในการเจริญเติบโต เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำของบ่อเลี้ยงปลา ควรมากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีความสำคัญต่อการหายใจของปลา และขบวนการ nitrification ของแบคทีเรียในระบบกรองชีวภาพ สามารถสรุปปัจจัยของคุณภาพน้ำ ที่เหมาะสมของระบบเลี้ยงปลาที่ร่วมกับพรรณไม้แบบไม่ใช้ดินได้ ดังนี้ อุณหภูมิ 27.0-32.0 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 6.5-7.0 ความเป็นด่างของน้ำ 100-150 mg CaCO₃/L ความกระด้างของน้ำ 100-150 mg CaCO₃/L แอมโมเนียทั้งหมด น้อยกว่า 2.0 mg/L ไนโตรเจน น้อยกว่า 2.0 mg/L ไนเตรท น้อยกว่า 400 mg/L และค่าการนำไฟฟ้า อยู่ระหว่าง 0.5-1.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

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

2.4.1 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen)

แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในแหล่งน้ำมี 2 รูปแบบ คือ รูปอันไอออนไนซ์แอมโมเนีย (NH₃) และ รูปไอออนไนซ์แอมโมเนีย (NH₄⁺) ซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลกันดังสมการ



รูป un-ionized

รูป ionized

แอมโมเนียรูปใดจะมีมากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และอุณหภูมิของน้ำ โดยปริมาณอันไอออนไนซ์แอมโมเนียจะแปรผันตามค่าความเป็นกรดต่าง กล่าวคือ หากความเป็นกรดเป็นด่างลดลง แอมโมเนียจะแตกตัวมาอยู่ในรูปอันไอออนไนซ์

แอมโมเนีย ซึ่งเป็นรูปที่เป็นพิษต่อสัตว์มากที่สุด เพราะแอมโมเนียในรูป อัมโมเนียมไนต์มีความสามารถแพร่กระจายผ่านผนังเซลล์ได้ เนื่องจากสามารถละลายไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของผนังเซลล์ได้ ประเทือง เซาวันกลาง (2541) กล่าวว่า แอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่มี ปริมาณ ค่อนข้างสูงเกิดจากการเน่าเสียของเศษอาหารและการขับถ่ายของสัตว์น้ำ

Naegel (1977) ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล (*Tilapia mossambica*) และปลาแคร์ป (*Cyprinus carpio*) ร่วมกับผักกาดหอม และมะเขือเทศ ปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบประมาณ 200 ลิตร โดยเลี้ยงปลานิลและปลาแคร์ปอย่างละ 5 กิโลกรัมต่อปริมาณน้ำ 250 ลิตร โดยให้อาหาร ร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักตัว/วัน พบว่า ในช่วงเวลา 7 สัปดาห์แรก ความเข้มข้นของ NO_3^- -N สูงถึง 1200 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากเกิดขบวนการ nitrification และในระหว่าง 10 สัปดาห์ เกิด ปฏิกริยา denitrification ในระบบ ทำให้ความเข้มข้นของ NO_3^- -N ลดลงเหลือเพียง 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วน NH_3^+ และ NO_2^- มีปริมาณที่พบเพียงเล็กน้อย

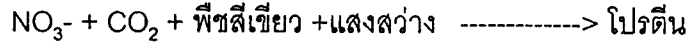
2.4.2 ไนไตรท์-ไนโตรเจน (nitrite-nitrogen)

ไนไตรท์-ไนโตรเจน เป็นปฏิกริยาระหว่างกลางที่เกิดขึ้นระหว่างแอมโมเนียกับไนเตรท แบคทีเรียจะเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ และเปลี่ยนไนไตรท์เป็นไนเตรท ซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช ไนไตรท์มีพิษกับสัตว์น้ำเช่นเดียวกับแอมโมเนีย-ไนโตรเจน โดยทั่วไปไนไตรท์ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีปริมาณน้อยมาก คือเพียง 0.0001 มิลลิกรัมต่อลิตร เว้นแต่ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการเลี้ยงกันอย่างหนาแน่นและมีการให้อาหารโปรตีนสูงเท่านั้น

Quillere *et al.* (1993) ได้ทำการทดลองสร้างระบบนิเวศเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปลานิล (*Oreochromis niloticus*) และมะเขือเทศ (*Lycopersicum esculentum*) เป็นเวลา 120 วัน พบว่า ตั้งแต่ในช่วง 10 วันแรกก่อนมะเขือเทศจะเริ่มเติบโตจนถึงวันที่ 70 (มะเขือเทศเติบโตเต็มที่) ของการทดลอง ในระบบจะมีไนเตรท (NO_3^-) อยู่เล็กน้อย คือ อยู่ในช่วง 0.5 – 1.5 mmol/L ซึ่งบ่งชี้ว่ามะเขือเทศมีการดูดซับไนเตรทไปใช้มาก ส่วนแอมโมเนียม (NH_4^+) ในระบบจะมีอยู่ลดลง หลังจากนั้น พบว่า ไนเตรท และแอมโมเนียมในระบบจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากพืชมีการดูดซับน้อยลง ส่วนธาตุฟอสฟอรัส ในระบบนั้นพบว่า ในช่วงวันที่ 10-60 ของการทดลองจะมีน้อยมาก แต่หลังจากนั้นธาตุฟอสฟอรัสในระบบจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่า pH มีผลต่อระดับไนเตรทแอมโมเนียม และไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (H_2PO_4) ในน้ำอีกด้วย

2.4.3 ไนเตรท (Nitrate-Nitrogen)

ไนเตรท-ไนโตรเจนเป็นผลผลิตขั้นสุดท้ายของปฏิกิริยา oxidation เป็นรูปที่ไม่มีพิษต่อสัตว์น้ำโดยตรง แต่ถือว่าเป็นปัจจัยจำกัด (limiting factor) ที่สำคัญที่แปลงก๊ตอนพีชจะนำไปใช้ในการสร้างโปรตีน



ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำคือ การย่อยสลายของจุลินทรีย์จำพวก nitrificant ได้เปลี่ยนแอมโมเนียมาเป็น ไนไตรท์-ไนโตรเจนและไนเตรท-ไนโตรเจน ตามลำดับ ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำไม่ควรมีไนเตรท-ไนโตรเจนเกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (Boyd, 1989)

Quillere *et al.* (1995) ทำการทดลองการสวนของการดูดซับไนเตรทในช่วงเวลาต่างๆ ในรอบ 1 วัน พบว่าพีชจะสามารถดูดซับไนเตรทในช่วงเวลากลางวันได้มากกว่าเวลากลางคืน

2.4.4 ออร์โธฟอสเฟต (Orthrophosphate)

Rakocy *et al.* (1993) ทดลองเลี้ยงปลาชนิด (*Oreochromis aureus*) ร่วมกับการปลูกผักใบเขียว มะเขือเทศและผักกาดแบบไม่ใช้ดิน พบว่า มีการสะสมของธาตุอาหารต่าง ๆ ดังนี้ การสะสมฟอสเฟตและซัลเฟต มีระดับต่ำ โฟแทสเซียมมีอัตราการสะสมมากที่สุดในจำนวนแร่ธาตุทั้งหมด เนื่องจากมีอัตราการนำไปใช้ประโยชน์ของโฟแทสเซียมต่ำ อัตราการสะสมของโฟแทสเซียมในระบบที่เลี้ยงปลาพร้อมกับปลูกผักใบเขียว เท่ากับร้อยละ 4 ส่วนในระบบที่ปลูกมะเขือเทศร้อยละ 12 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีพืช การสะสมไนเตรทภายในระบบมีอัตราเพิ่มขึ้น เป็นผลเนื่องมาจากการให้อาหาร ปริมาณที่พืชดูดซึมเข้าไปจะไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อ ซึ่งทำให้พืชเจริญเติบโต ส่วนการสะสมไนเตรท ในของเสียจะมีปริมาณมากหรือน้อยในระบบขึ้นอยู่กับขบวนการ nitrification จะทำให้น้ำในระบบมีการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุ

Takeda *et al.* (1999) ทดลองเปรียบเทียบการดูดซับธาตุฟอสฟอรัสของสตรอบเบอร์รี่ที่ปลูกแบบไม่ใช้ดินบนระบบ NFT ร่วมกับการเลี้ยงปลา rainbow trout พบว่า ต้นสตรอบเบอร์รี่สามารถดูดซับธาตุฟอสฟอรัสได้ดี ซึ่งดูได้จากค่าวิเคราะห์น้ำที่ไหลเข้าสู่ต้นสตรอบเบอร์รี่จะมีธาตุฟอสฟอรัสอยู่ 1.2 mg/ L แต่น้ำที่ไหลออกจะมีธาตุฟอสฟอรัส เหลือเพียง 0.1 mg/ L เมื่อเปลี่ยนปลา rainbow trout เป็นปลานิล พบว่า ต้นสตรอบเบอร์รี่จะมีธาตุฟอสฟอรัสไว้ได้มากกว่าทำให้ในน้ำมีธาตุฟอสฟอรัสเหลืออยู่เพียง 0.33 mg/ L

Xiangfu *et al.* (2000) ทดลองเลี้ยงปลาคาร์ปร่วมกับการปลูกข้าว พบว่า ค่าโฟแทสเซียม ไนโตรเจน กับค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในน้ำถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น และการใช้พื้นที่การปลูกข้าวมากก็จะทำให้สามารถกำจัดน้ำเสียได้มากกว่าการใช้พื้นที่น้อย คือ หากทำการใช้พื้นที่ปลูก

ข้าวร้อยละ 15 พบว่า สามารถกำจัดโพแทสเซียม ไนโตรเจน ได้เท่ากับร้อยละ 10.7 และกำจัด ฟอสฟอรัสได้เท่ากับร้อยละ 4.0 หากเพิ่มพื้นที่ปลูกข้าวเป็นร้อยละ 25 อัตราการกำจัดโพแทสเซียม ไนโตรเจน จะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20.0 และอัตราการกำจัดฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16.0 ใน ทำนองเดียวกันหากเพิ่มพื้นที่ปลูกข้าวเป็นร้อยละ 40 อัตราการกำจัดโพแทสเซียม ไนโตรเจน และ อัตราการกำจัดฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น เป็นร้อยละ 28.8 และ 24.0 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ปลาที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ปลาทอง พันธุ์ออแรนดา (*Carassius auratus*)
2. พืชน้ำที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ไบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii*) และ พัดวี (*Aglaonema simplex*)
3. ถังพักน้ำ ขนาด 300 ลิตร ใส่น้ำปริมาตร 205.35 ลิตร
4. บิ๊มน้ำ Heto Model QD-3800 ขนาด 35 วัตต์ 4 เครื่อง
5. แอร์บิ๊ม สายยาง หัวทราย
6. ถ้วยปลูกพืชน้ำเป็นถ้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.8 เซนติเมตร ลึก 5.5 เซนติเมตร
7. โยหิน (rock wool) เพื่อใช้เป็นวัสดุปลูก
8. ทรายหยาบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใช้ 0.5-2.0 มิลลิเมตร
9. เทอร์โมมิเตอร์ 4 อัน
10. อาหารปลา สารละลายธาตุอาหาร

3.2 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ split-plots in RCBD โดยกำหนดหน่วยการทดลอง ได้แก่ main plot คือ ระบบการปลูกพืชน้ำแบบไร้ดินทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบการเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกพืชน้ำแบบ Nutrient Film Technique (NFT-Fish) ระบบการเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกพืชน้ำแบบ Deep Flow Technique (DFT-Fish) และระบบการเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกพืชน้ำแบบ Sand Culture (Sand-Fish) รวมทั้งหมด 3 ระบบการทดลอง

sub plots คือ ชนิดพืชน้ำ ได้แก่ ไบพายศรีลังกา (*Cryptocoryne wendtii*) และ พัดวี (*Aglaonema simplex*)

โดยกำหนดให้ block เป็นระยะเวลา 3 ช่วงเวลา ช่วงเวลาละ 10 สัปดาห์

3.3 วิธีการเตรียมการทดลอง

3.3.1 จัดตั้งระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดิน ซึ่งระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish จะประกอบไปด้วย บ่อเลี้ยงปลา บ่อตกตะกอน และระบบปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้ดิน ซึ่งมีรายละเอียดของส่วนประกอบแต่ละส่วน ดังนี้

3.3.1.1 ถังเลี้ยงปลามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.45 เมตร สูง 50 เซนติเมตร โดยเติมน้ำสูง 32 เซนติเมตร คิดเป็นปริมาตรน้ำ 528 ลิตร

3.3.1.2 ถังตกตะกอน ขนาด 35x54.5x40 เซนติเมตร ที่ใส่แผ่นกรองแบบหยาบ

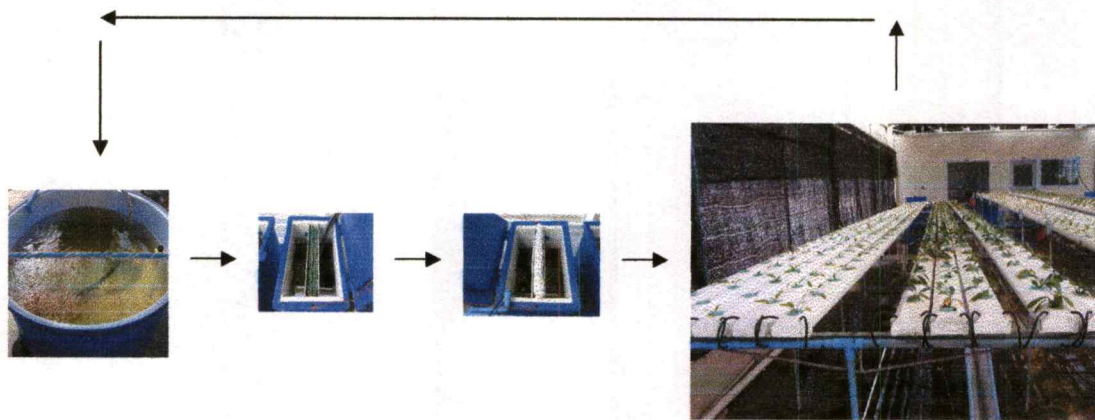
3.3.1.3 ถังตกตะกอน ขนาด 35x54.5x40 เซนติเมตร ที่ใส่แผ่นกรองแบบละเอียด

3.3.1.4 ระบบปลูกพรรณไม้น้ำ ประกอบด้วย 3 ระบบ ดังนี้

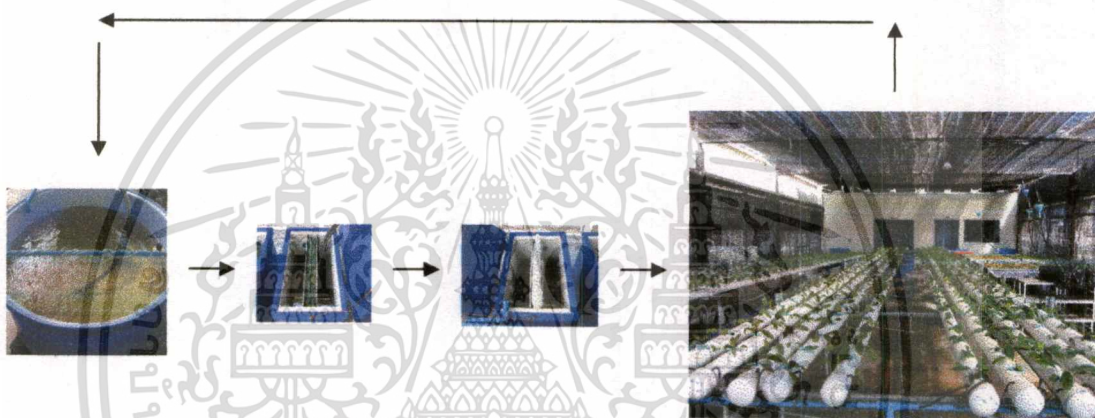
1) Nutrient film technique (NFT) ประกอบด้วยรางปลูก ขนาดฐานกว้าง 10 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร รางแต่ละรางยาว 6 เมตร นำมาเชื่อมติดกัน 2 ราง และเจาะรูปลูกพืช รูวงกลมรัศมี 2.5 เซนติเมตร ระยะระหว่างช่องปลูกพืช 25 เซนติเมตร ใน 1 เมตรจะมีช่องปลูกพืช 4 ช่อง ด้านฐานรางเขาเป็นร่องเล็กๆ เพื่อช่วยกระจายให้สารละลายไหลเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ (หนา ประมาณ 2-3 มิลลิเมตร) อัตราไหล 1-2 ลิตร/นาที่ราง จำนวน 10 ราง โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายจากบ่อตกตะกอนที่ใส่แผ่นกรองแบบละเอียดให้ไหลผ่านรางและรากพืช และเวียนกลับลงสู่บ่อเลี้ยงปลา (ดังภาพที่ 3.1)

2) Deep flow technique (DFT) ประกอบด้วยรางปลูกเป็นท่อพีวีซีทำด้วยสีขาว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ราง แต่ละรางยาว 4 เมตร นำมาเชื่อมติดกัน 2 ราง และเจาะรูปลูกพืช รูวงกลมรัศมี 2.5 เซนติเมตร สารละลายที่อยู่ในรางจะสูงประมาณ 3.5 เซนติเมตรจำนวน 10 ราง โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายจากบ่อตกตะกอนที่ใส่แผ่นกรองแบบละเอียดให้ไหลผ่านรางและรากพืช และเวียนกลับลงสู่บ่อเลี้ยงปลา (ดังภาพที่ 3.2)

3) Sand culture เป็นระบบที่ใช้ทรายเป็นวัสดุปลูก ประกอบด้วยกระบะไฟเบอร์กลาสสีดำปลูกพืช ขนาด 1.05x2.25 เมตร จำนวน 4 กระบะ โดยจะมีปั๊มดูดสารละลายจากบ่อตกตะกอนที่ใส่แผ่นกรองแบบละเอียดให้น้ำไหลเข้ากระบะด้านหัวกระบะซึมผ่านรากพืช และเวียนกลับลงสู่บ่อเลี้ยงปลา (ดังภาพที่ 3.3)



บ่อเลี้ยงปลา ถังกรองแบบหยาบ ถังกรองแบบละเอียด ระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ NFT
 ภาพที่ 3.1 ระบบการเลี้ยงปลาของร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบ Nutrient Film Technique



บ่อเลี้ยงปลา ถังกรองแบบหยาบ ถังกรองแบบละเอียด ระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ DFT
 ภาพที่ 3.2 ระบบการเลี้ยงปลาของร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบ Deep Flow Technique



บ่อเลี้ยงปลา ถังกรองแบบหยาบ ถังกรองแบบละเอียด ระบบการปลูกพืชไร้ดินแบบ Sand
 ภาพที่ 3.3 ระบบการเลี้ยงปลาของร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบ Sand Culture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 จัดเตรียมสารละลายแร่ธาตุอาหารสำหรับพรรณไม้น้ำ (ตามสูตรในภาคผนวก ก.3)

3.3.3 สุ่มปลาทองพันธุ้อเรนดา อายุประมาณ 1 เดือน ใส่ในบ่อทดลองขนาด 800 ลิตร โดยใช้ น้ำ 528 ลิตร อัตราความหนาแน่น 90 ตัวต่อตารางเมตร จำนวน 150 ตัวต่อบ่อ

3.3.4 สุ่มพรรณไม้น้ำ คือ ไบพายศรีลังกา และพัควี ที่นำมาจากฟาร์มพรรณไม้น้ำ ซึ่งตัดรากและใบออกบางส่วน เพื่อเร่งให้รากใหม่งอกเร็วขึ้นและช่วยลดการคายน้ำ นำมาปลูกด้วยใยหิน (rock wool) ใส่ในรางปลูก โดยแต่ละชนิดใช้ 240 ต้นต่อระบบ

3.3.5 เริ่มเก็บน้ำตัวอย่างเริ่มต้น หลังจากใส่ปลาทองและปลูกพรรณไม้น้ำ 1 วัน

3.3.6 จะใส่สารละลายธาตุอาหาร โดยปรับเป็น 0.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6.5-7.0

3.3.7 ให้อาหารปลาร้อยละ 3 ของน้ำหนักปลา ต่อวัน โดยให้วันละ 2 ครั้ง คือ เวลาเช้าและเย็น และปรับอาหารที่ให้ตามน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้นทุก 2 สัปดาห์

3.3.8 สเปรย์น้ำให้พรรณไม้น้ำทุกชั่วโมง ครั้งละ 1 นาที เพื่อช่วยเพิ่มความชื้นในโรงเรือน

3.3.9 ในช่วงฤดูหนาว จะมีการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงปลา ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของปลา

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การวัดการเจริญเติบโตของปลาทองและพรรณไม้น้ำ

3.4.1.1 วัดการเจริญเติบโตของปลาทองด้วยการชั่งน้ำหนักของปลาทองก่อนการทดลอง จากนั้นสุ่มตัวอย่างปลาทองบ่อละ 20 ตัวนำมาชั่งน้ำหนักและวัดความยาวทุก 2 สัปดาห์จนครบ 10 สัปดาห์

3.4.1.2 วัดการเจริญเติบโตของไบพายศรีลังกา และพัควี ด้วยการชั่งน้ำหนักเปียกของไบพายศรีลังกา และพัควี ก่อนการทดลอง จากนั้นสุ่มตัวอย่างไบพายศรีลังกา 20 ต้น และพัควี 20 ต้นต่อระบบ นำมาชั่งน้ำหนักทุก 2 สัปดาห์จนครบ 10 สัปดาห์

3.4.2 ทุกสัปดาห์จะมีการเติมน้ำเพื่อชดเชยส่วนที่พืชใช้ไปหรือระเหยไปจากระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand - Fish และบันทึกปริมาณน้ำที่ใช้ ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุกๆ สัปดาห์ โดยที่ระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand - Fish โดยเก็บน้ำตัวอย่าง 4 จุดๆ ละ 3 ซ้ำ คือ จุดที่ 1 น้ำในบ่อเลี้ยงปลาทอง จุดที่ 2 น้ำที่ผ่านจากถังกรองชีวภาพ จุดที่ 3 น้ำที่ผ่านรางปลูกพัควี จุดที่ 4 น้ำที่ผ่านรางปลูกไบพายศรีลังกา ส่วนในระบบการเลี้ยงปลาทองทำการเก็บน้ำ 2 จุด คือ น้ำจากบ่อเลี้ยงปลาและน้ำที่ผ่านจากระบบกรอง โดยคุณภาพน้ำที่ทำกรวิเคราะห์ ได้แก่

อุณหภูมิ (temperature) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ความเป็นด่าง (alkalinity) แอมโมเนีย

ไม่จำกัดจำนวนครั้ง หากมีเหตุผิดปกติของน้ำ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ammonia nitrogen) ไนไตรท์ (nitrite nitrogen) ไนเตรท(nitrate nitrogen) ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) ฟอสฟอรัส (orthophosphate) และ ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphate) ดังตารางที่ 3.1 (ภาคผนวก ก.1)

ตารางที่ 3.1 คุณภาพน้ำและวิธีการวิเคราะห์น้ำ

คุณภาพน้ำ	วิธี
อุณหภูมิ (temperature)	Oakton min-max Thermometer
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen)	Hanna model HI 9143
ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	Hanna model HI 9025
ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity)	Elmeco Conductivity Meter
ความเป็นด่าง (alkalinity)	Titration method
แอมโมเนีย (total ammonia nitrogen)	Phenate method
ไนไตรท์ (nitrite nitrogen)	Azo dry method
ไนเตรท(nitrate nitrogen)	Cadmium reduction method
ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	Kjeldahl method
ฟอสฟอรัส (orthophosphate)	Ascorbic method
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphate)	Ascorbic method

ที่มา : APHA (1992)

3.4.3 วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารไนโบพายศรีลังกา และพัตวี วิเคราะห์หาไนโตรเจน (N) โดยใช้วิธี micro kjeldahl แล้วหา N โดยการกลั่น ส่วนธาตุที่เหลือใช้วิธี $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ digestion (5:1) นำไปวิเคราะห์หา ฟอสฟอรัส(P) โดยวิธี molybdate-vanadate yellow color สำหรับโพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และจุลธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) และ ทองแดง (Cu) วิเคราะห์โดยใช้ atomic absorption spectrophotometer (ภาคผนวก ก.2)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลน้ำหนักปลา น้ำหนักพรรณไม้ น้ำ ปริมาณน้ำที่ใช้ คุณภาพน้ำและปริมาณธาตุอาหาร มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดย Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่าง โดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ใช้โปรแกรม SAS (statistical analysis system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การเจริญเติบโตของปลาทองและพรรณไม้น้ำ

4.1.1 การเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของปลาทอง

การเจริญเติบโตของปลาทองที่เลี้ยงจากระบบ อควาโปนิค (aquaponic system) ทั้ง 3 ระบบ คือ ระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish โดยมีความหนาแน่นของการเลี้ยงเท่ากับ 90 ตัวต่อตารางเมตร ซึ่งน้ำหนักของปลาทองทุก 2 สัปดาห์ จนถึงสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 10

น้ำหนักสิ้นสุดเฉลี่ยของปลาทองในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 12.58, 15.34, 14.79 และ 14.56 กรัมต่อตัว ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาทองในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 7.81, 10.48, 9.69 และ 9.68 กรัมต่อตัว ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) พบว่า การเลี้ยงปลาทองในระบบ NFT-Fish นั้นมีน้ำหนักเฉลี่ยและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด ส่วนในระบบการเลี้ยงปลาทองอย่างเดียว มีน้ำหนักเฉลี่ยและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

อัตราการรอดของปลาทองของระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ ร้อยละ 98, 98, 98 และ 100 ตามลำดับ ซึ่งระบบ Sand-Fish มีอัตราการรอดของปลาทองสูงถึง ร้อยละ 100 และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับการทดลองของ Rakocy and Allison (1981) ซึ่งเลี้ยงปลานิล (*Tilapia aurea*) ร่วมกับพรรณไม้น้ำ (*Egeria densa* and *Vallisneria* sp.) พบว่า มีอัตราการรอดของปลานิลร้อยละ 97.5 และเช่นเดียวกับการทดลองของ Watten and Busch (1984) ที่ทำการเลี้ยงปลาหมอเทศ (*Sarotherodon aurea*) ร่วมกับมะเขือเทศ พบว่า อัตราการรอดของปลาหมอเทศร้อยละ 97.5 เช่นเดียวกัน)

4.1.2 การเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ

ในการศึกษาการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ ที่เลี้ยงจากระบบอควาโปนิค (aquaponic system) ทั้ง 3 ระบบ คือ ระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า น้ำหนักสดเฉลี่ยใบพวยศรีลังกามีน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 1.65, 1.59 และ 1.80 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ดังตารางที่ 4.2 ส่วนของน้ำหนักสดสิ้นสุดเฉลี่ยของพตวี มีเท่ากับ 4.34, 4.27 และ 4.44 กรัมต่อต้น และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่าการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำทั้งใบพวยศรีลังกาและพตวี ในระบบ Sand-Fish มีน้ำหนักสดเฉลี่ยมากที่สุด

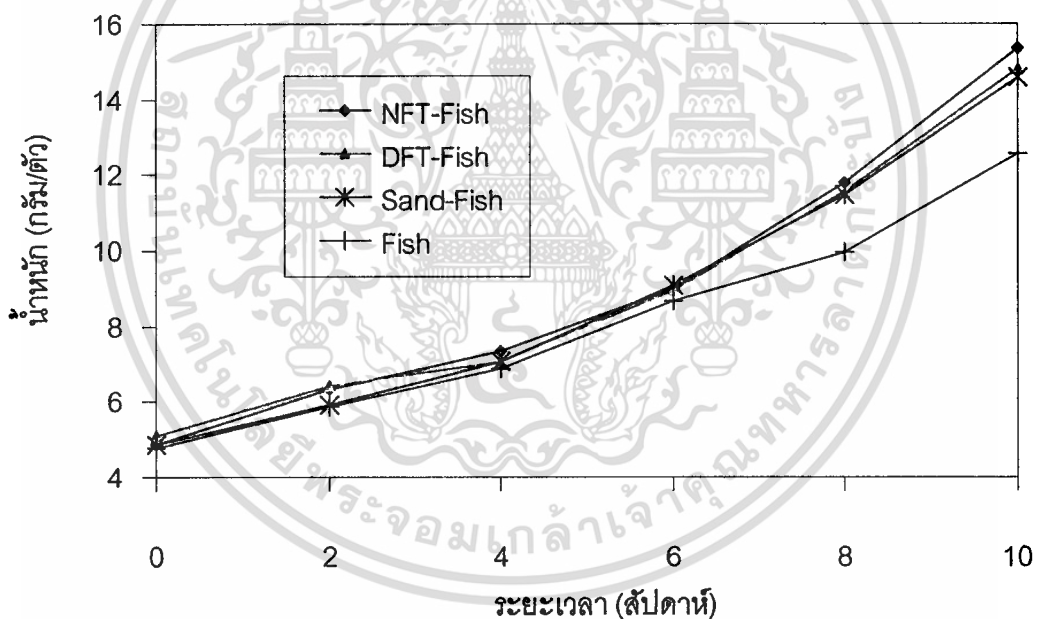
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลาทองที่เลี้ยงในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

	ระบบ				
	Fish	NFT-Fish	DFT-Fish	Sand-Fish	
น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	4.77	4.85	5.10	4.89	ns
น้ำหนักสิ้นสุดเฉลี่ย (กรัม/ตัว)	12.58b	15.34a	14.79a	14.56a	*
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ตัว)	7.81b	10.48a	9.69a	9.68a	*
อัตราการรอด (%)	98.00	98.33	98.00	100.00	ns

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

* = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)



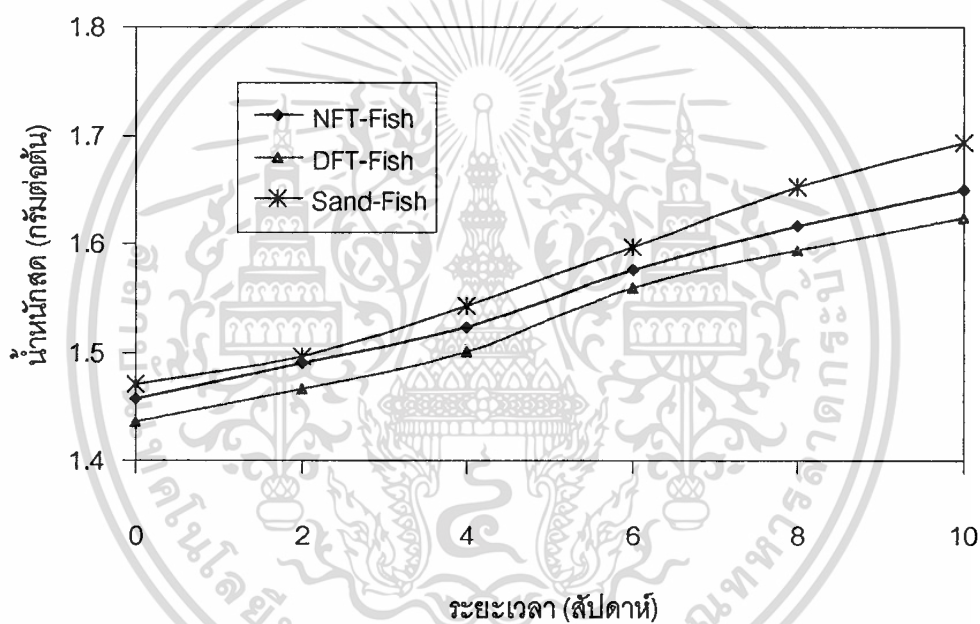
ภาพที่ 4.1 การเจริญเติบโตของปลาทองในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish, และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การเจริญเติบโตของใบพวยศรีลังกาที่ปลูกในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

	ระบบ			
	NFT-Fish	DFT-Fish	Sand-Fish	
น้ำหนักสดเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม/ต้น)	1.46 ± 0.05	1.45 ± 0.06	1.48 ± 0.06	ns
น้ำหนักสดสิ้นสุดเฉลี่ย (กรัม/ต้น)	1.65 ± 0.07	1.59 ± 0.08	1.80 ± 0.03	ns
น้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ต้น)	0.19 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.32 ± 0.00	ns

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

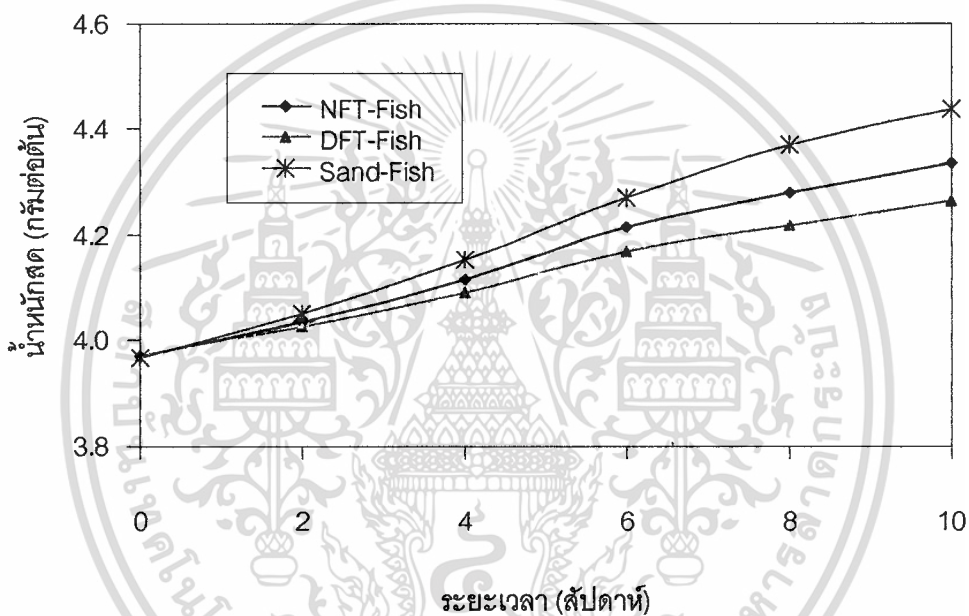


ภาพที่ 4.2 การเจริญเติบโตของใบพวยศรีลังกาในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

ตารางที่ 4.3 การเจริญเติบโตของพื้ที่ปลูกในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish
ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

	ระบบ			
	NFT-Fish	DFT-Fish	Sand-Fish	
น้ำหนักสดเริ่มต้นเฉลี่ย (กรัม/ต้น)	3.97 ± 0.05	3.97 ± 0.08	3.97 ± 0.06	ns
น้ำหนักสดสิ้นสุดเฉลี่ย (กรัม/ต้น)	4.34 ± 0.07	4.27 ± 0.01	4.44 ± 0.09	ns
น้ำหนักสดที่เพิ่มขึ้น (กรัม/ต้น)	0.37 ± 0.02	0.30 ± 0.00	0.47 ± 0.02	ns

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



ภาพที่ 4.3 การเจริญเติบโตของพื้ที่ปลูกในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish
ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของพรรณไม้ น้ำ 2 ชนิด คือ ไบพาสครีลังกา และ พื้ที่ปลูกในระบบการปลูกแบบไม่ใช้ดิน 3 ระบบ คือ ระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish จากการวิเคราะห์น้ำหนักสดหลังจากการทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่า ไบพาสครีลังกา มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเฉลี่ยน้อยกว่าพื้ที่ปลูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยพบว่าในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ไบพาสครีลังกา มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 0.19, 0.14 และ 0.32 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนพื้ที่มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 0.37, 0.30 และ 0.47 กรัม/ต้น ตามลำดับ แต่จากการทดลองพบว่า

ระบบการเลี้ยงทั้ง 3 ระบบไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของใบพายศรีลังกาและพัตวีหลังจากทดลอง 10 สัปดาห์

4.2 ปริมาณธาตุอาหารในพรรณไม้

ผลการศึกษาธาตุอาหารซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ธาตุอาหารทั้งหมด 9 ชนิด ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) และ ทองแดง (Cu) ในพรรณไม้ทั้ง 2 ชนิด (ใบพายศรีลังกา และพัตวี) ใน 3 ระบบ ได้แก่ ระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ในระยะเวลาทดลอง 10 สัปดาห์

4.2.1 ปริมาณธาตุอาหารของใบพายศรีลังกา

4.2.1.1 ปริมาณธาตุอาหารในใบของใบพายศรีลังกา พบว่า

ระบบ NFT-Fish มีปริมาณ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) เท่ากับ ร้อยละ 5.95, 0.41, 5.71, 0.51, และ 0.10 ตามลำดับ ส่วนของแมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และ ทองแดง (Cu) มีค่าเท่ากับ 126.01, 345.21, 94.63 และ 22.05 ppm ตามลำดับ

ระบบ DFT-Fish มีปริมาณ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) เท่ากับ ร้อยละ 5.76, 0.41, 5.87, 0.46 และ 0.09 ตามลำดับ ส่วนของแมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และ ทองแดง (Cu) มีค่าเท่ากับ 120.85, 342.39, 91.29 และ 21.20 ppm ตามลำดับ

ระบบ Sand-Fish มีปริมาณ ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) เท่ากับ ร้อยละ 4.37, 0.40, 5.83, 0.56 และ 0.11 ตามลำดับ ส่วนของแมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และ ทองแดง (Cu) มีค่าเท่ากับ 52.86, 353.29, 128.32 และ 18.59 ppm ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารในใบพายศรีลังกา ดังตารางที่ 4.4 พบว่า ปริมาณไนโตรเจน ในระบบ NFT-Fish มีมากที่สุด คือ ร้อยละ 5.95 แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับระบบ DFT-Fish ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$) แต่จะแตกต่างกันทางสถิติกับระบบ Sand-Fish ($P < 0.05$)

ความเข้มข้นของแมงกานีส ในระบบ NFT-Fish มีมากที่สุดเท่ากับ 126.01 ppm และไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับระบบ DFT-Fish ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$) แต่จะแตกต่างกันทางสถิติกับระบบ Sand-Fish ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของสังกะสี มีมากที่สุด เท่ากับ 128.32 ppm ในระบบ Sand-Fish ซึ่งแตกต่างจากระบบอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด และมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

ความเข้มข้นของทองแดง ในระบบ NFT-Fish เท่ากับ 22.05 มีค่าความเข้มข้นมากที่สุดและมีความแตกต่างกันทางสถิติกับอีก 2 ระบบ ดังตารางที่ 4.4

ปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และความเข้มข้นของเหล็ก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติทั้ง 3 ระบบ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$)

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.4 จะพบว่า ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนในใบพายศรีลังกาของระบบ NFT-Fish มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดที่ร้อยละ 5.95 และความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุดที่ 345.21 ppm ระบบ DFT-Fish มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดที่ร้อยละ 5.87 และความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุดที่ 342.39 ppm ส่วนระบบ Sand-Fish นั้น พบว่ามีปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมมีมากที่สุดคือร้อยละ 0.56 และ 0.11 ตามลำดับ และความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุดที่ 353.29 ppm

ตารางที่ 4.4 ปริมาณธาตุอาหารของใบพายศรีลังกาหลังการทดลอง

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	Mn(ppm)	Fe(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)
NFT-Fish	5.95a*	0.41	5.71	0.51	0.10	126.01a	345.21	94.63b	22.05a
DFT-Fish	5.76a	0.41	5.87	0.46	0.09	120.85a	342.39	91.29b	21.20ab
Sand-Fish	4.37b	0.40	5.83	0.56	0.11	52.86b	353.29	128.32a	18.59b
	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*

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

* = มีความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

4.2.1.2 ปริมาณธาตุอาหารของรากใบพายศรีลังกา

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.5 จะพบว่า ปริมาณธาตุอาหารของรากใบพายศรีลังกา ระบบ DFT-Fish มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดร้อยละ 6.29 ระบบ Sand-Fish มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุดที่ร้อยละ 1.96 และความเข้มข้นของสังกะสีมากที่สุดที่ 72.96 ppm ระบบ NFT-Fish พบว่ามีปริมาณแมกนีเซียมมีมากที่สุด คือ 108.16 ppm ส่วนปริมาณฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก และสังกะสี จะไม่พบความแตกต่างกันในระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินทั้ง 3 ระบบ

ตารางที่ 4.5 ปริมาณธาตุอาหารของรากใบพายศรีลังกาหลังการทดลอง

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	Mn(ppm)	Fe(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)
NFT-Fish	5.52b	0.39	1.39b	0.31	0.08	108.16a	170.41	58.45a	11.08
DFT-Fish	6.29a	0.40	1.41b	0.33	0.06	93.54b	175.87	69.53a	10.46
Sand-Fish	3.28c	0.36	1.96a	0.35	0.04	101.12ab	174.96	72.96b	10.24
	*	ns	*	ns	ns	*	ns	*	ns

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

* = มีความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

4.2.1.3 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของใบพายศรีลังกา

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ในระบบ DFT-Fish ใบพายศรีลังกามีปริมาณการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน มากที่สุด คือ 22.78 มิลลิกรัมต่อต้น รองลงมาคือระบบ NFT-Fish และ Sand-Fish โดยพบว่าพืชมีปริมาณการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนเป็น 18.85 และ 10.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และพบว่าพรรณไม้ในปลูกลงในระบบ Sand-Fish สามารถดูดใช้ธาตุอาหารในปริมาณที่ต่ำ อาจเนื่องมาจากในระบบการเลี้ยงแบบ Sand-Fish วัสดุปลูกเกิดตะไคร่น้ำซึ่งมีผลทำให้ไปแย่งการดูดใช้ธาตุอาหารของพรรณไม้ในน้ำ ทำให้พรรณไม้ในน้ำสามารถดูดใช้ธาตุอาหารในปริมาณที่ต่ำลง

ตารางที่ 4.6 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของใบศรีลังกา (มิลลิกรัมต่อต้น)

ระบบ	N	P	K	Ca	Mg
NFT-Fish	18.85b	1.06	8.72c	1.28b	0.23
DFT-Fish	22.78a	1.23	10.98b	1.34b	0.17
Sand-Fish	10.42c	1.23	14.04a	1.87a	0.21
	*	ns	*	*	ns

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

* = มีความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

4.2.2 ปริมาณธาตุอาหารในพืชี

4.2.2.1 ปริมาณธาตุอาหารพืชในใบของพืชี พบว่า

ระบบ NFT-Fish มีปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) เท่ากับ ร้อยละ 4.07, 0.57, 3.38, 2.30,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 0.34 ตามลำดับ ส่วนแมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และ ทองแดง (Cu) มีค่าเท่ากับ 232.45, 276.20, 68.03 และ 22.26 ppm ตามลำดับ

ระบบ DFT-Fish มีปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) เท่ากับ ร้อยละ 3.84, 0.59, 3.41, 2.27 และ 0.30 ตามลำดับ ส่วนแมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และ ทองแดง (Cu) มีค่าเท่ากับ 229.35, 261.42, 59.46 และ 21.01 ppm ตามลำดับ

ระบบ Sand-Fish มีปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) เท่ากับ ร้อยละ 2.78, 0.30, 3.38, 2.46 และ 0.36 ตามลำดับ ส่วนแมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และ ทองแดง (Cu) มีค่าเท่ากับ 197.15, 294.94, 57.84 และ 20.62 ppm ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารในใบพัดวี ดังตารางที่ 4.7 พบว่าปริมาณไนโตรเจน ในระบบ NFT-Fish จะมีมากที่สุด คือร้อยละ 4.07 และมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

ปริมาณฟอสฟอรัส มีมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.59 ในระบบ DFT-Fish และไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติกับระบบ NFT-Fish แต่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับระบบ Sand-Fish ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

ปริมาณแคลเซียมสูงสุดที่ร้อยละ 2.46 ในระบบ Sand-Fish และมีความแตกต่างกันทางสถิติทั้ง 3 ระบบ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

ความเข้มข้นของแมงกานีส ในระบบ NFT-Fish มีมากที่สุดเท่ากับ 232.45 ppm และไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติกับระบบ DFT-Fish ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$) แต่จะแตกต่างกันทางสถิติกับระบบ Sand-Fish

ความเข้มข้นของเหล็กที่มีมากที่สุดอยู่ที่ 294.94 ppm ในระบบ Sand-Fish และมีความแตกต่างกันทางสถิติกับอีก 2 ระบบ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

ความเข้มข้นของสังกะสี มีมากที่สุดอยู่ที่ 68.03 ppm ในระบบ NFT-Fish ซึ่งแตกต่างจากระบบอื่น ๆ อย่างเห็นได้ชัด และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$) ดังตารางที่ 4.7

ปริมาณโพแทสเซียม แมกนีเซียม และความเข้มข้นของทองแดง ไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติทั้ง 3 ระบบ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$)

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.7 จะพบว่า ปริมาณธาตุอาหารในใบพัดวี ของระบบ NFT-Fish มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดคือ ร้อยละ 4.07 ความเข้มข้นของแมงกานีส สังกะสี และ

ทองแดงมากที่สุดที่ 232.45 68.03 และ 22.26 ppm ตามลำดับ ระบบ DFT-Fish มีปริมาณ ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงสุดที่ ร้อยละ 0.59 และ 3.41 ตามลำดับ ส่วนระบบ Sand-Fish นั้น พบว่ามีปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมมีมากที่สุด คือร้อยละ 2.46 และ 0.36 ตามลำดับ และ ความเข้มข้นของธาตุเหล็กมากที่สุดที่ 294.94 ppm

ตารางที่ 4.7 ปริมาณธาตุอาหารของพดวีหลังการทดลอง

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	Mn(ppm)	Fe(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)
NFT-Fish	4.07a	0.57a	3.38	2.3ab	0.34	232.45a	276.2b	68.03a	22.26
DFT-Fish	3.84b	0.59a	3.41	2.27b	0.30	229.35a	261.42b	59.46b	21.01
Sand-Fish	2.78c	0.30b	3.38	2.46a	0.36	197.15b	294.94a	57.84b	20.62
	*	*	ns	*	ns	*	*	*	ns

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

* = มีความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

4.2.2.2 ปริมาณธาตุอาหารของรากพดวี พบว่า

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.9 จะพบว่า ปริมาณธาตุอาหารของรากพดวี ระบบ DFT-Fish มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุดคือ ร้อยละ 3.84 และความเข้มข้นของเหล็กสูงสุด คือ 194.47 ppm ปริมาณโพแทสเซียมสูงสุดที่ ร้อยละ 2.25 ในระบบ Sand-Fish ส่วนปริมาณ ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส สังกะสี และทองแดง จะไม่พบความแตกต่างกันใน ระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินทั้ง 3 ระบบ

ตารางที่ 4.8 ปริมาณธาตุอาหารของรากพดวีหลังการทดลอง

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	Mn(ppm)	Fe(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)
NFT-Fish	3.83a	0.40	1.90b	0.43	0.20	118.65	194.47a	37.72	13.59
DFT-Fish	3.84a	0.41	2.00ab	0.45	0.18	123.99	176.01b	37.86	14.07
Sand-Fish	2.26b	0.39	2.25a	0.46	0.19	125.35	175.06b	40.84	13.78
	*	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns

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

* = มีความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

4.2.2.3 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของพดวี

จากตารางที่ 4.9 พบว่า ในระบบ NFT-Fish พดวีมีปริมาณการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนมากที่สุด คือ 27.78 มิลลิกรัมต่อตัน รองลงมาคือระบบ DFT-Fish และ Sand-Fish โดยพบว่าพืชมีปริมาณการดูดใช้ธาตุไนโตรเจนเป็น 27.67 และ 6.14 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และพบว่าพรรณไม้ น้ำซึ่งปลูกในระบบ Sand-Fish ดูดใช้ธาตุอาหารในปริมาณที่ต่ำ อาจเนื่องมาจากในระบบการเลี้ยงแบบ Sand-Fish วัสดุปลูกเกิดตะไคร่น้ำซึ่งมีผลทำให้ไปแย่งการดูดใช้ธาตุอาหารของพรรณไม้ น้ำ ทำให้พรรณไม้ น้ำสามารถดูดใช้ธาตุอาหารในปริมาณที่ต่ำลง

ตารางที่ 4.9 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของพดวี (มิลลิกรัมต่อตัน)

ระบบ	N	P	K	Ca	Mg
NFT-Fish	27.78a	1.18b	8.10b	13.77b	0.34
DFT-Fish	27.67a	1.86a	10.51ab	14.89ab	0.30
Sand-Fish	6.14b	1.02b	10.97a	15.10a	0.36
	*	*	*	*	ns

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

* = มีความแตกต่างทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$)

4.3 คุณภาพน้ำในระบบอควาโปนิค (aquaponic system)

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทั้ง 4 ระบบ ได้แก่ ระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ SAND-Fish ในระยะเวลาทดลอง 10 สัปดาห์ พบว่า อุณหภูมิ (temperature) และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนความเป็นกรดเป็นด่าง (pH), ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity), ความเป็นด่าง (alkalinity), แอมโมเนีย (total ammonia nitrogen), ไนไตรท์ (nitrite nitrogen), ไนเตรท (nitrate nitrogen), ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen), ฟอสฟอรัส (orthophosphate) และฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphate) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ดังตารางที่ 4.10

4.3.1 อุณหภูมิ (temperature) จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิ น้ำเฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 28.5, 28.2, 28.5 และ 28.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) เนื่องจากในการทดลองนี้ในช่วงฤดูหนาวจะทำการติดตั้งเครื่องทำความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้อยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับปลาทอง

ตารางที่ 4.10 ช่วงและค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

คุณภาพน้ำ	Fish		NFT - Fish		DFT - Fish		Sand - Fish	
	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย	ช่วง	เฉลี่ย
อุณหภูมิ (°C)	22.5-32.7	28.5	21.0-33.0	28.2	22.7-32.5	28.5	22.4-32.9	28.6
ค่าการนำไฟฟ้า (mS/cm)	0.32-0.38	0.34b	0.34-1.28	0.80a	0.37-1.22	0.79a	0.36-1.18	0.76a *
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำ (mg/L)	5.20-6.43	5.53	5.17-6.28	5.43	5.10-6.42	5.47	5.07-6.40	5.45
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง	7.29-7.91	7.60a	5.67-7.84	6.35c	5.56-7.60	6.32c	6.59-7.82	7.06b *
ค่าความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ /L)	61.56-78.28	71.17a	19.78-69.47	33.92d	19.86-67.44	36.03c	26.17-74.50	44.96b *
แอมโมเนียทั้งหมด (mg/L)	0.21-1.53	0.55c	0.04-4.39	2.20a	0.03-4.06	1.99b	0.01-0.30	0.11d *
ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/L)	0.28-0.60	0.46a	0.03-0.66	0.22b	0.03-0.39	0.17c	0.00-0.05	0.02d *
ไนเตรต (mg/L)	4.70-28.84	20.00d	17.85-140.43	77.68a	18.90-124.02	64.04b	12.84-106.00	60.13c *
ไนโตรเจนทั้งหมด (mg/L)	16.40-37.87	29.89d	20.00-218.95	112.83a	15.01-194.93	94.42b	16.10-149.96	84.04c *
ฟอสฟอรัส (mg/L)	0.09-0.30	0.20d	0.77-2.99	2.06a	0.65-3.19	1.93b	0.47-1.82	1.40c *
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/L)	0.26-0.76	0.43d	0.70-3.54	2.26a	0.75-2.96	2.00b	0.43-2.59	1.55c *

หมายเหตุ : ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

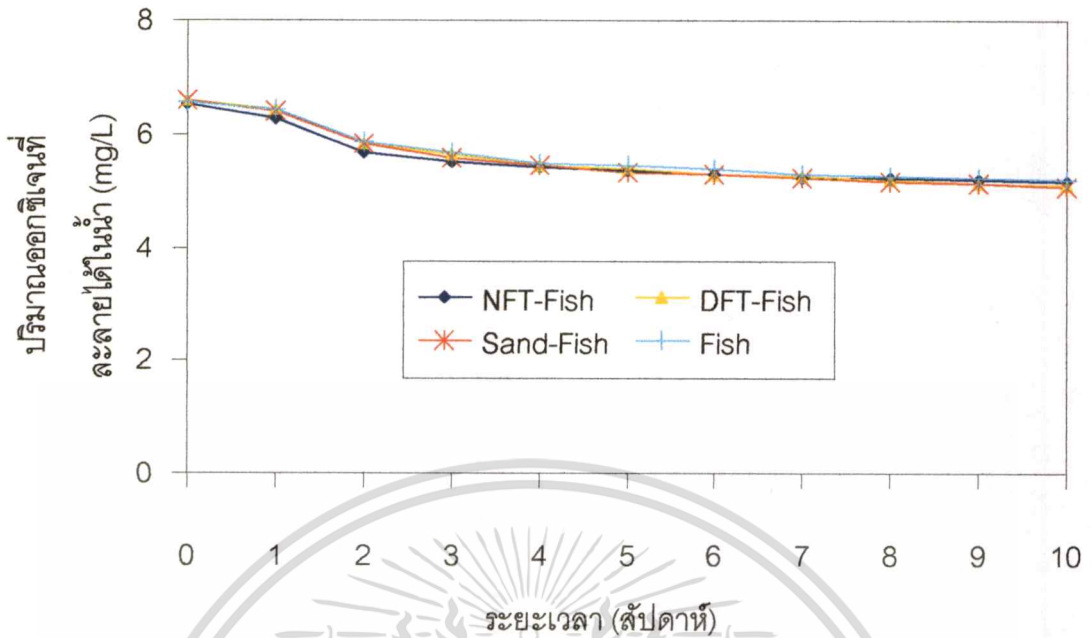
* = มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P<0.05)

4.3.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) พบว่า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 5.53, 5.43 , 5.18 และ 5.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) จากการทดลองพบว่า ระบบการปลูกพืชไม่ใช้ดินที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อการละลายตัวของออกซิเจนในน้ำ ดังภาพที่ 4.4

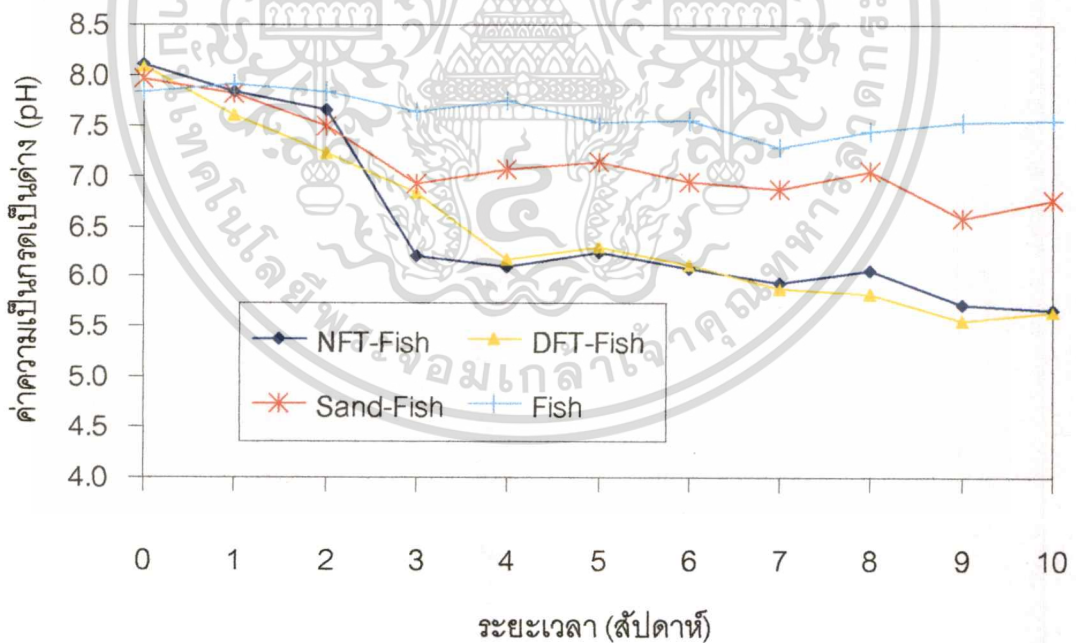
4.3.3 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) พบว่า pH เฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 7.60, 6.35, 6.32 และ 7.06 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5) และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ในการทดลองนี้จะมีการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 6.0-6.5 จึงพบว่า ระบบ NFT-Fish และ DFT-Fish มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำ ส่วนในระบบ Sand-Fish แม้จะมีการปรับค่า pH แต่เนื่องจาก ในระบบ Sand-Fish เป็นระบบที่ปลูกในวัสดุปลูก ซึ่งตัววัสดุปลูกมีความสามารถในการยับยั้งการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลาย ทำให้มีค่า pH เฉลี่ยสูงกว่าระบบ NFT-Fish และ DFT-Fish ส่วนในระบบ Fish ไม่มีการเติมสารละลายธาตุอาหารหรือกรด และมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำทุกสัปดาห์ค่า pH จึงสูง

4.3.4 ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) พบว่า การนำไฟฟ้า เฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.34, 0.80, 0.79 และ 0.76 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ค่าการนำไฟฟ้าในระบบ Fish มีค่าการนำไฟฟ้าคงที่ เพราะมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำปลาทุกสัปดาห์ ส่วนในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ในระหว่างการทดลองจะค่อยๆเติมสารละลายธาตุอาหารพืช จึงมีผลให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้นตามลำดับ หลังจากค่าการนำไฟฟ้า 0.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ก็จะไม่มีการเติมสารละลายธาตุอาหารพืช แต่ค่าการนำไฟฟ้าในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ยังมีการเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง เนื่องจากระบบทั้ง 3 ระบบ ไม่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ดังนั้นของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของปลาและเกลือแร่ต่างๆที่อยู่ในอาหารปลา เกิดการสะสมในบ่อทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น (ภาพที่ 4.6)

4.3.5 ความเป็นด่าง (alkalinity) พบว่า ความเป็นด่างเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 71.17, 33.92, 36.03 และ 44.96 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และค่าความเป็นด่างในระบบ NFT-Fish DFT-Fish และ Sand-Fish มีความแตกต่างกับระบบ Fish ($P<0.05$) ดังภาพที่ 4.7

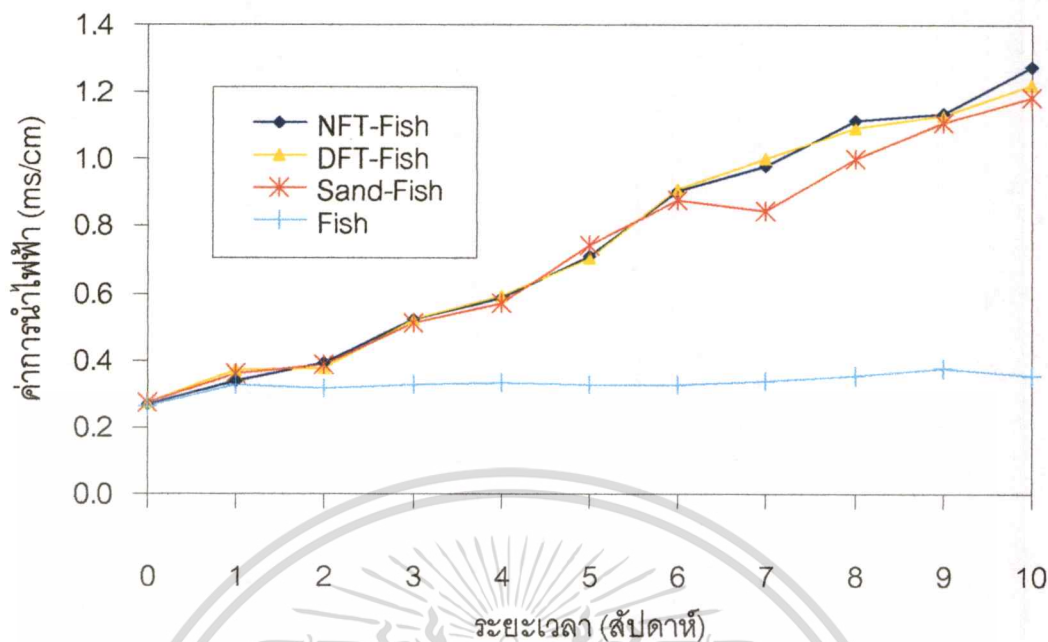


ภาพที่ 4.4 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายได้ในน้ำในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

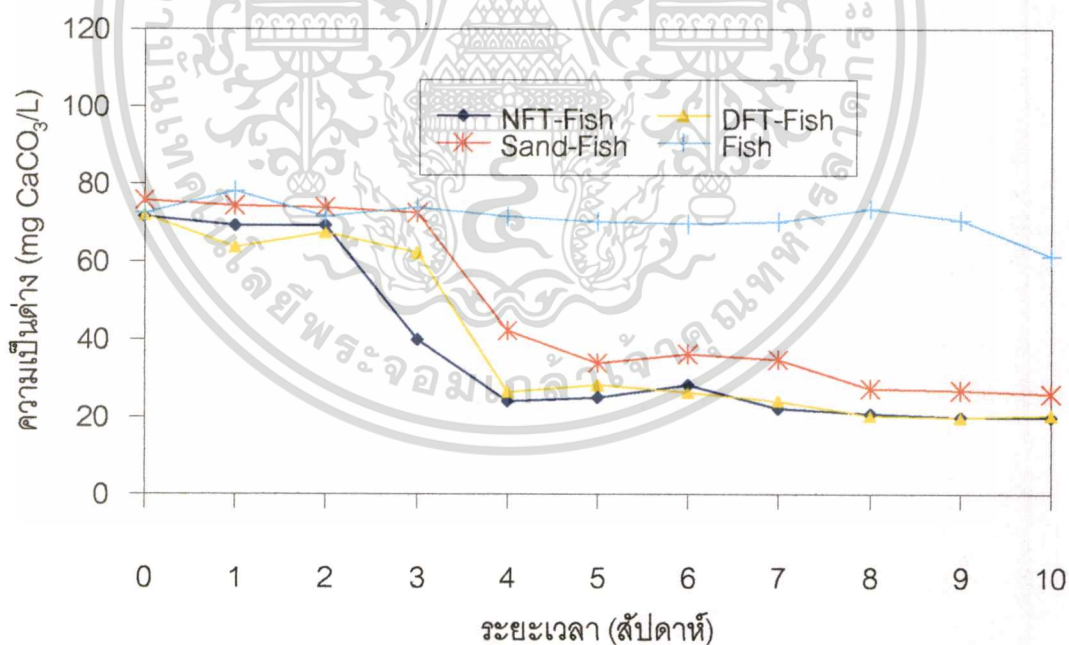


ภาพที่ 4.5 ความเป็นกรดเป็นด่างในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 ค่าการนำไฟฟ้าในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์



ภาพที่ 4.7 ค่าความเป็นด่างในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

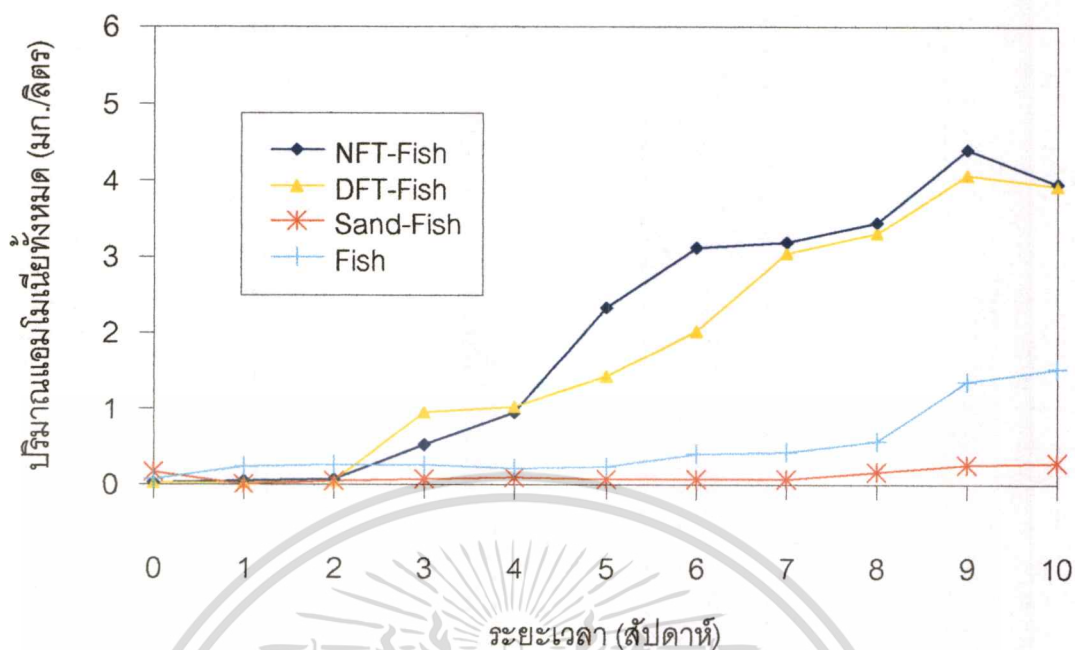
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด (total ammonia nitrogen) จากการทดลองพบว่า ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดเฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.55, 2.20, 1.99 และ 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยจากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า ปริมาณแอมโมเนียในระบบ Sand-Fish จะมีปริมาณแอมโมเนียต่ำสุด เนื่องจากระบบ Sand Culture มีวัสดุปลูกเป็นทรายและมีสารแขวนลอยที่มีอยู่ในวัสดุปลูกจะมีประจุลบซึ่งสามารถดูดซับประจุบวกได้บางส่วน และมีที่เกาะของจุลินทรีย์ในการแลกเปลี่ยนแอมโมเนีย เป็นไนเตรท ทำให้ลดปริมาณแอมโมเนียลง และปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบ Sand-Fish มากจึงทำให้ระบบ Sand-Fish มีปริมาณแอมโมเนียน้อยที่สุด ดังภาพที่ 4.8

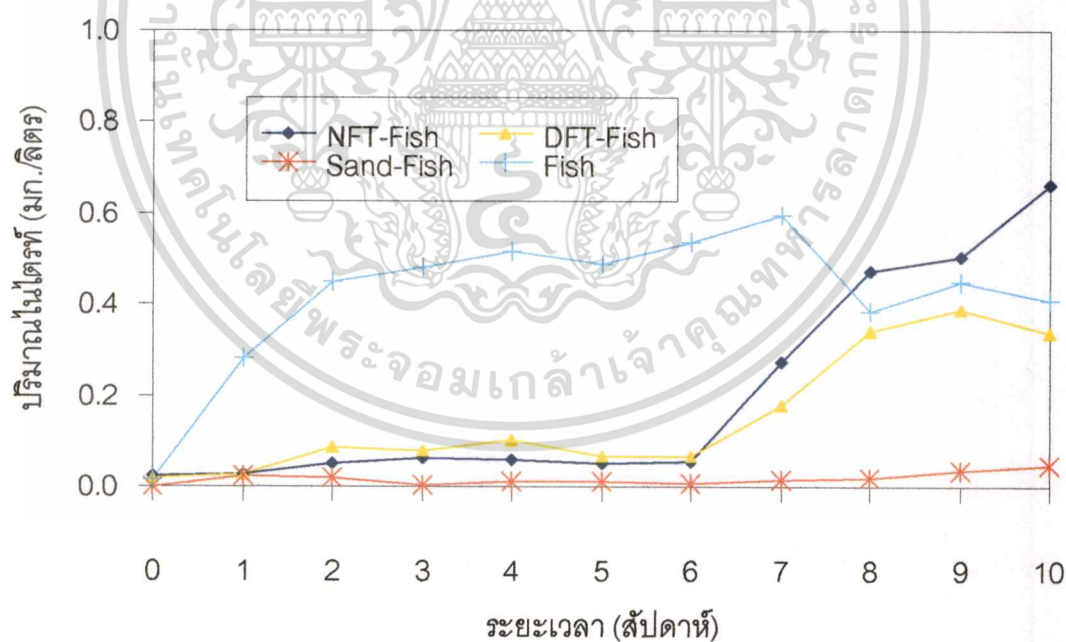
4.6.7 ปริมาณไนไตรท์ (nitrite nitrogen) จากการทดลองพบว่า ปริมาณไนไตรท์เฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.46, 0.22, 0.17 และ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ในระบบ Sand-Fish มีปริมาณไนไตรท์น้อยที่สุด (ภาพที่ 4.9) เนื่องจากระบบ Sand-Fish มีวัสดุปลูกเป็นทรายซึ่งมีพื้นที่ผิวมาก ทำให้แบคทีเรียมีการยึดเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้กระบวนการเปลี่ยนไนไตรท์ให้เป็นไนเตรทโดยแบคทีเรียกลุ่ม nitrification ซึ่งใช้ออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดส์ในปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Naegel (1977) ที่ได้ทำการทดลองเลี้ยงปลานิล (*Tilapia mossambica*) และปลาคาร์พ (*Cyprinus carpio*) ร่วมกับผักกาดหอม และมะเขือเทศในระบบปิด พบปริมาณของไนไตรท์และแอมโมเนียในปริมาณที่ต่ำ นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่าในสัปดาห์ที่ 6-10 ไนไตรท์ในระบบมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากปลาที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดของเสียที่ขับถ่ายออกมามากขึ้น ส่งผลให้เกิดการสะสมของไนไตรท์เพิ่มขึ้น

4.6.8 ปริมาณไนเตรท (nitrate nitrogen) จากการทดลองพบว่า ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 20.00, 77.68, 64.04 และ 60.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณไนเตรทในทุกระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตลอดการทดลอง (ภาพที่ 4.10) เนื่องจากปลาที่มีการกินอาหารเพิ่มขึ้นจึงทำให้มีการขับถ่ายของเสียซึ่งอยู่ในรูปของแอมโมเนียมากขึ้น ส่งผลให้แบคทีเรียกลุ่ม Nitrification ที่อยู่ภายในระบบเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรทมากขึ้น ทำให้พืชสามารถดูดไนเตรทได้มากขึ้น ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนพบปริมาณของไนเตรทที่สูงในทั้ง 3 ระบบ ซึ่งไนเตรทเป็นสารประกอบไนโตรเจนรูปหนึ่งที่พรรณไม้สามารถดูดซึมธาตุไนโตรเจนไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

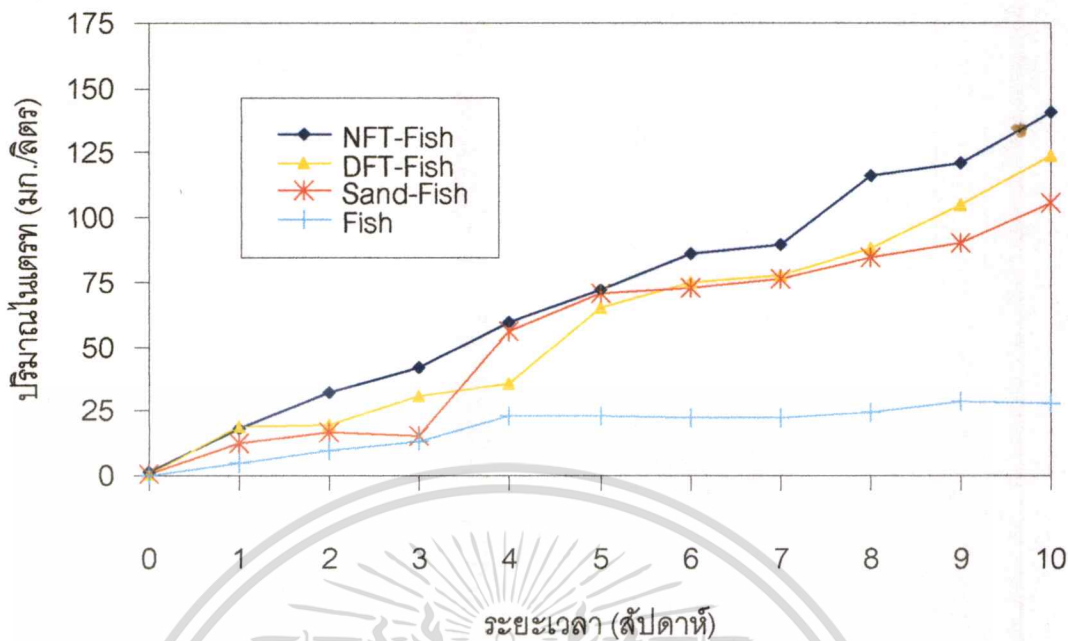


ภาพที่ 4.8 ปริมาณแอมโมเนียในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

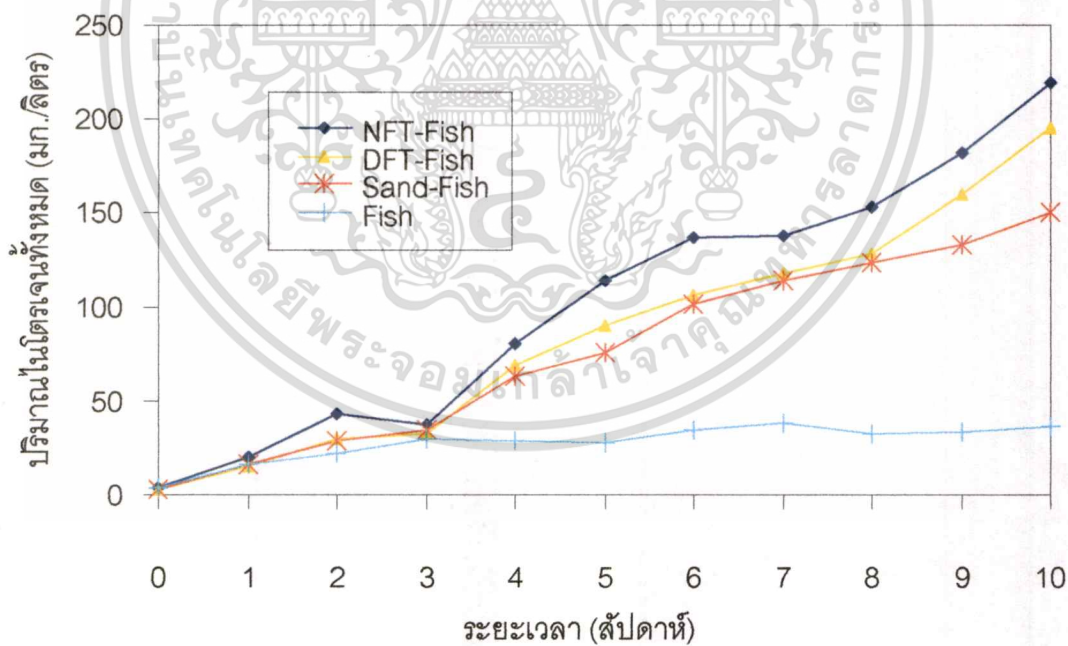


ภาพที่ 4.9 ปริมาณไนไตรท์ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 ปริมาณไนโตรเจนในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์



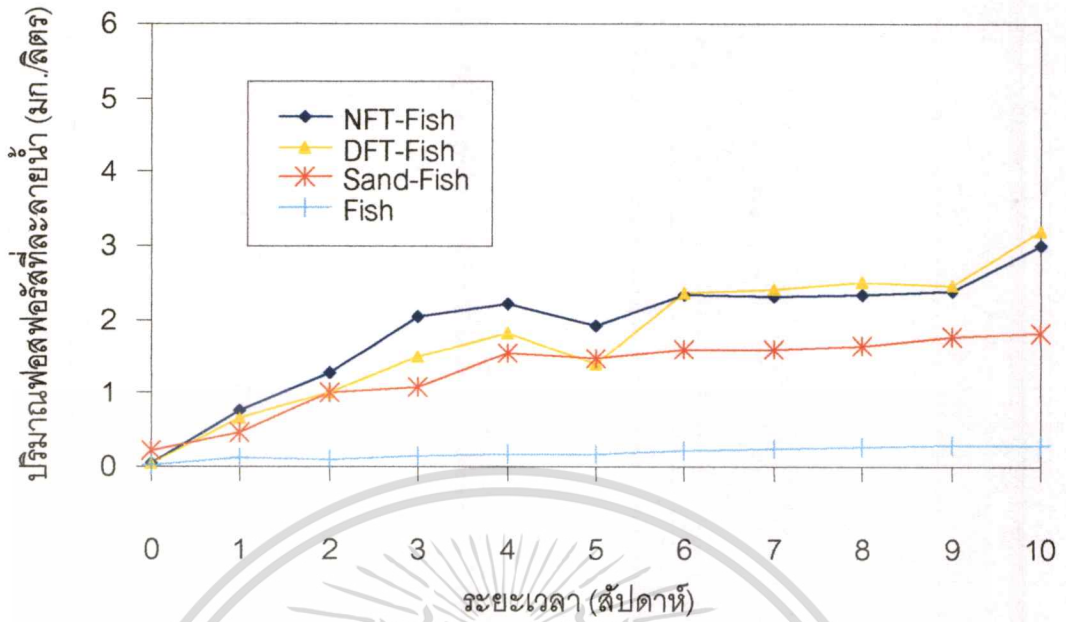
ภาพที่ 4.11 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

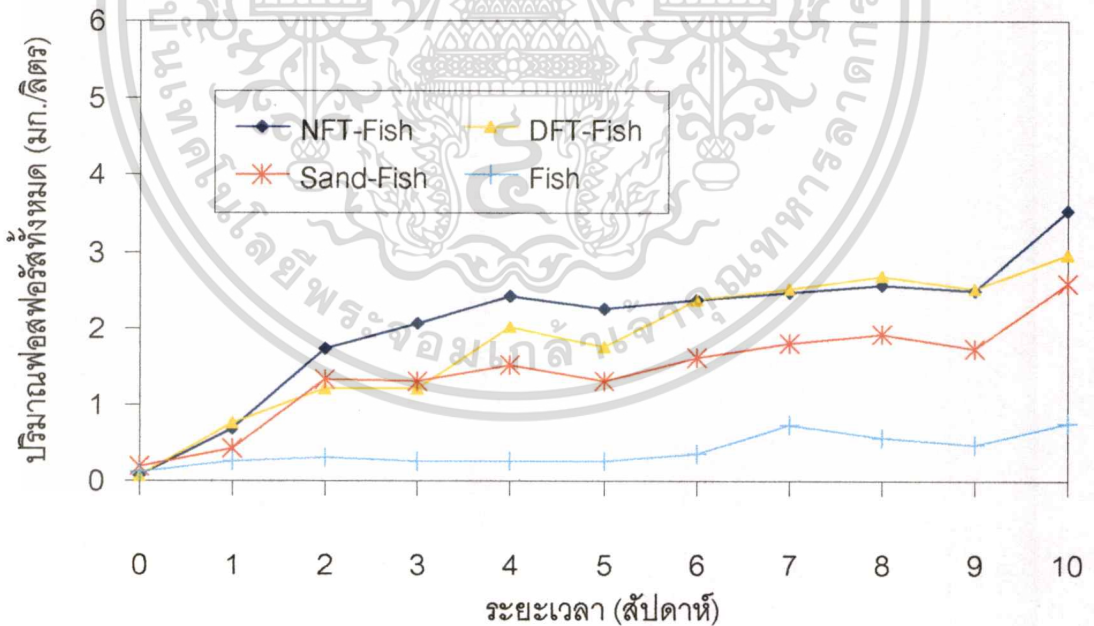
4.6.9 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) พบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 29.89, 112.83, 94.42 และ 84.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยจากการทดลองพบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในทุกระบบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตลอดการทดลอง (ภาพที่ 4.11) เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด คือ ผลรวมของปริมาณแอมโมเนีย, ไนไตรท์ และไนเตรทซึ่งเป็นอนินทรีย์ไนโตรเจนกับปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำนั้น

4.6.10 ปริมาณฟอสฟอรัส (orthophosphate) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.20, 2.06, 1.93 และ 1.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำทั้ง 4 ระบบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยจากการทดลองพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำในระบบ NFT-Fish และ DFT-Fish มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตลอดการทดลอง แต่ในระบบ Sand-Fish และ Fish จะมีค่าคงที่ (ภาพที่ 4.12)

4.6.11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphate) พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.43, 2.26, 2.00 และ 1.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 4 ระบบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) โดยจากการทดลองนั้นปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบ NFT-Fish และ DFT-Fish มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตลอดการทดลอง แต่ในระบบ Sand-Fish และ Fish จะมีค่าคงที่ (ภาพที่ 4.13) เนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดคือผลรวมของปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำ (Orthophosphates) ซึ่งเป็นสารประกอบ อนินทรีย์ฟอสเฟตกับสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟต และฟอสฟอรัสส่วนใหญ่ที่ได้จากของเสียปลาจะอยู่ในรูปของตะกอนที่ก้นบ่อเลี้ยงปลาและบ่อกรองชีวภาพ (Takeda. 1999) เมื่อมีการปั้มน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาและบ่อกรองชีวภาพขึ้นสู่นิเวศปลูกพรรณไม้น้ำแบบไม่ใช้ดินก็จะมีตะกอนดังกล่าวติดขึ้นมาด้วยทำให้ในระบบ Sand-Fish มีตะกอนสะสมอยู่มาก เพราะในระบบ Sand-Fish มีพื้นที่ผิวมากแต่ระบบ NFT-Fish และ DFT-Fish มีพื้นที่ผิวน้อย ทำให้มีการตกค้างของตะกอนมากกว่า ส่งผลน้ำในระบบ Sand-Fish มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดน้อยกว่า



ภาพที่ 4.12 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์



ภาพที่ 4.13 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของไบพายศรีลังกาและพัทวิ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำในแต่ละระบบ โดยการวัดปริมาณของแอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมดที่ลดลงของน้ำก่อนเข้ามาในระบบกับหลังจากที่น้ำผ่านออกจากระบบหลังจากสัปดาห์ที่ 3 จากการทดลองพบว่าในระบบ Sand-Fish ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของพัทวิและไบพายศรีลังกาที่ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ ระบบ DFT-Fish และ NFT-Fish ตามลำดับ จากการทดลองในระบบ Sand-Fish พบว่าสามารถบำบัดแอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 34.86, 38.99, 8.48, 14.06, 4.24 และ 4.86 ตามลำดับในไบพายศรีลังกา ส่วนพัทวิเท่ากับร้อยละ 47.34, 45.23, 14.61, 20.27, 5.60 และ 5.92 ตามลำดับ

จากการทดลองในระบบ DFT-Fish พบว่าสามารถบำบัดแอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 5.23, 8.92, 7.93, 12.26, 2.36 และ 3.80 ตามลำดับในไบพายศรีลังกา ส่วนพัทวิที่ปลูกในระบบ NFT-Fish เท่ากับร้อยละ 8.12, 12.97, 12.08, 18.62, 3.01 และ 5.64 ตามลำดับ

จากการทดลองในระบบ NFT-Fish พบว่าสามารถบำบัดแอมโมเนีย ไนโตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัส และฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 3.83, 7.74, 7.21, 11.86, 1.82 และ 2.56 ตามลำดับในไบพายศรีลังกา ส่วนพัทวิที่ปลูกในระบบ NFT-Fish เท่ากับร้อยละ 5.02, 11.72, 13.66, 17.53, 2.78 และ 4.77 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.11)

จากการทดลองพบว่าระบบ Sand-Fish สามารถบำบัดน้ำได้ดีที่สุด โดยสามารถลดความเป็นพิษของแอมโมเนียได้มากกว่าระบบ NFT-Fish และ DFT-Fish

ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของไบพายศรีลังกา และพัดีวี (เฉลี่ยสัปดาห์ที่3 ถึงสัปดาห์ที่ 10)

คุณภาพน้ำ	NFT-Fish	DFT-Fish	Sand-Fish
	ประสิทธิภาพ (%)	ประสิทธิภาพ (%)	ประสิทธิภาพ (%)
1. แอมโมเนีย			
ไบพายศรีลังกา	3.83±0.23	4.57±0.51	34.86±2.07
พัดีวี	5.02±0.28	8.12±0.55	47.34±2.18
2. ไนไตรท์			
ไบพายศรีลังกา	7.74±1.82	8.92±3.52	38.99±3.29
พัดีวี	11.72±2.24	12.97±3.59	45.23±2.81
3. ไนเตรท			
ไบพายศรีลังกา	7.21±1.35	7.93±1.92	8.48±2.02
พัดีวี	12.08±1.95	13.66±2.34	14.61±3.13
4. ไนโตรเจนทั้งหมด			
ไบพายศรีลังกา	11.86±2.47	12.26±3.08	14.06±3.28
พัดีวี	17.53±3.16	18.62±2.99	20.27±3.99
5. ฟอสฟอรัส			
ไบพายศรีลังกา	1.82±0.55	2.36±0.33	4.24±0.81
พัดีวี	2.78±0.76	3.01±0.37	5.60±1.01
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด			
ไบพายศรีลังกา	2.56±0.57	3.80±0.84	4.86±1.03
พัดีวี	4.77±1.47	5.64±1.69	5.92±1.17

4.5 ปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบ

ระบบการเลี้ยงปลาทองอย่างเดียวมีการถ่ายน้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปริมาณน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองอย่างเดียว 5.14 ลูกบาศก์เมตร ส่วนระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ใช้น้ำ 1.27, 1.35 และ 1.49 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่า ระบบ NFT-Fish นั้นใช้ปริมาณน้ำน้อยที่สุด รองลงมาคือ ระบบ DFT-FISH เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Sand-Fish ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่า การเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกพรรณไม้ น้ำทั้ง 3 ระบบ สามารถประหยัดน้ำได้ประมาณ 4 เท่า (ตารางที่ 4.12)

ตารางที่ 4.12 ปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ตลอดการทดลอง 10 สัปดาห์

	ระบบ			
	Fish	NFT-Fish	DFT- Fish	Sand- Fish
น้ำที่ใช้เริ่มต้นในการเลี้ยง (ลบ.ม.)	0.6	0.66	0.81	1.08
น้ำที่ใช้ระหว่างการเลี้ยง (ลบ.ม.)	4.53	-	-	-
น้ำที่ใช้เติมในระบบ (ลบ.ม.)	-	0.61	0.54	0.41
น้ำที่ใช้ทั้งหมด/รุ่น (ลบ.ม.)	5.14	1.27	1.35	1.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มักมีของเสียที่เกิดขึ้น ทำให้คุณภาพน้ำไม่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลา ดังนั้นในการศึกษาการปลูกพรรณไม้น้ำร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบต่าง ๆ ที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพน้ำ เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการช่วยบำบัดน้ำให้มีความเหมาะสมกับการเลี้ยงปลา โดยทำการเปรียบเทียบผลผลิตและคุณภาพน้ำของการเลี้ยงปลาของร่วมกับการปลูกใบพวยศรีลังกาและพืดวีแบบไม่ใช้ดินในระบบปิด พบว่า

1. อัตราการเจริญเติบโตของปลาทองในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งน้ำหนักสดสิ้นสุดการทดลองเฉลี่ยของปลาทองในระบบ NFT-Fish มีค่ามากที่สุด คือ 15.34 กรัมต่อตัว รองลงมาได้แก่ระบบ DFT-Fish , Sand-Fish, และ Fish คือมีค่าน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 14.79, 14.56 และ 12.58 กรัมต่อตัว ตามลำดับ

2. อัตราการเจริญเติบโตของใบพวยศรีลังกาในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish มีค่าใกล้เคียงกัน จากการศึกษาการเจริญเติบโตของพรรณไม้น้ำ 2 ชนิด คือใบพวยศรีลังกาและพืดวีในระบบการปลูกแบบไม่ใช้ดิน 3 ระบบ คือระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish หลังจากการทดลองเป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าใบพวยศรีลังกามีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นเฉลี่ยน้อยกว่าพืดวีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยพบว่าในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ใบพวยศรีลังกามีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 0.19, 0.14 และ 0.32 กรัม/ต้น ตามลำดับ ส่วนพืดวีมีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้น 0.37, 0.30 และ 0.47 กรัม/ต้น ตามลำดับ แต่จากการทดลองพบว่าระบบการเลี้ยงทั้ง 3 ระบบไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของใบพวยศรีลังกาและพืดวีหลังจากทดลอง 10 สัปดาห์

3. ปริมาณธาตุอาหารในพรรณไม้น้ำ พบว่า ทั้งใบพวยศรีลังกาและพืดวี ระบบ Sand-Fish มีการดูดใช้ธาตุอาหารในปริมาณที่ต่ำ เนื่องจากในระหว่างทดลองพืชในระบบ Sand-Fish เป็นวัสดุปลูกเกิดตะไคร่น้ำไปแย่งอาหารของพรรณไม้น้ำ จึงมีการดูดใช้ในปริมาณที่ต่ำ

4. คุณภาพน้ำของการปลูกพรรณไม้ น้ำร่วมกับการเลี้ยงปลาในระบบต่าง ๆ นั้น สามารถสรุปได้ว่า ค่ามาตรฐานต่าง ๆ ของคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อระบบเลี้ยงปลาร่วมกับพรรณไม้ น้ำ ซึ่งได้แก่

4.1 อุณหภูมิ ควรมีช่วงอยู่ระหว่าง 25 - 30 องศาเซลเซียส (นนุช เลหาะวิสุทธิ, 2544) จากการทดลองครั้งนี้ อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในระบบ ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 28.5 , 28.2 , 28.5 และ 28.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

4.2 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำในเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 5.53 , 5.43 , 5.18 และ 5.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ มีค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 ค่าของความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5-7.0 จากการทดลองของ นนุช เลหาะวิสุทธิ (2544) จากการทดลองในครั้งนี้ pH เฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 7.60 , 6.35 , 6.32 และ 7.06 ตามลำดับ

4.4 ค่าการนำไฟฟ้า เฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.34 , 0.80 , 0.79 และ 0.76 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งค่ามาตรฐานที่เหมาะสมนั้น ค่าความนำไฟฟ้าควรมีค่าควรอยู่ในช่วง 0.5-1.0 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จะส่งผลให้พรรณไม้ น้ำในระบบมีการเจริญเติบโตที่ดี (นนุช เลหาะวิสุทธิ, 2544)

4.5 ความเป็นต่างเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 71.17, 33.92, 36.03 และ 44.96 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.6 ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมดเฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.55 , 2.20 , 1.99 และ 0.11 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งได้ผลเช่นเดียวกับ นนุช เลหาะวิสุทธิ (2544) ที่กล่าวไว้ว่า ในระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้ น้ำแบบไม่ใช้ดิน ควรมีค่าแอมโมเนียทั้งหมดน้อยกว่า 2.0 mg/L

4.7 ปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.46 , 0.22 , 0.17 และ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับการทดลองของ นนุช เลหาะวิสุทธิ (2544) ที่กล่าวไว้ว่า ในระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้ น้ำแบบไม่ใช้ดินควรมีค่าไนโตรเจน น้อยกว่า 2.0 mg/L

4.8 ปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 20.00, 77.68 , 64.04 และ 60.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ นนุช เลหาะวิสุทธิ (2544) ที่กล่าวไว้ว่า ในระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้ น้ำแบบไม่ใช้ดินควรมีค่าไนเตรท น้อยกว่า 400 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 29.89 , 112.83 , 94.42 และ 84.04 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.10 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.20 , 2.06 , 1.93 และ 1.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.11 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเฉลี่ย ในระบบ Fish, NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish เท่ากับ 0.43 , 2.26 , 2.00 และ 1.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สามารถสรุปได้ว่า ในระบบ Sand-Fish มีความเหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิตปลาทอง และพรรณไม้น้ำมากกว่าระบบ NFT-Fish และ DFT-Fish เนื่องจากในระบบ Sand-Fish ปริมาณแอมโมเนีย, ฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำได้ และฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำ ส่งผลให้น้ำที่อยู่ภายในระบบ Sand-Fish มีความเป็นพิษหรือสารเคมีที่ ก่อให้เกิดน้ำเสียน้อยกว่าระบบ NFT-Fish และ DFT-Fish

5. ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำของพื้ดวีและใบพายศรีลังกาในระบบ Sand-Fish ดีที่สุด คือ สามารถลดปริมาณแอมโมเนียซึ่งมักจะก่อให้เกิดความเป็นพิษได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 83.51 และ 79.69ประสิทธิภาพการบำบัดปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ ร้อยละ 80.52และ 74.48 ตามลำดับ

6. ปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish และ Sand-Fish ใช้น้ำ 1.27, 1.35 และ 1.49 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาทองอย่างเดียว 5.14 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นการเลี้ยงปลาทองร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำทั้ง 3 ระบบ สามารถประหยัดน้ำได้ประมาณ 4 เท่า

บรรณานุกรม

กาญจนรี พงษ์จวี. 2543. "การเพาะพันธุ์ปลาทอง." วารสารการประมง 52(2) : 117-120.

กองประมงน้ำจืด. 2538. **พรรณไม้น้ำในประเทศไทย.** กรุงเทพฯ : กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นนุช เลหาวิสุทธิ. 2544. "ระบบการเลี้ยงปลาสวยงามร่วมกับการปลูกพรรณไม้น้ำแบบไร้อินในระบบปิด." วารสารเคหะการเกษตร 25 (7) : 205-215.

ประเทือง เขาววันกลาง. 2534. **คุณภาพน้ำทางการประมง.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์พิสิสส์ เซ็นเตอร์.

มันสิน ตันทุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2539. **การจัดการคุณภาพน้ำและการบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงปลาและสัตว์น้ำอื่น ๆ เล่มที่1 การจัดการคุณภาพน้ำ.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วันเพ็ญ มีนกาญจน์ และกาญจนรี พงษ์จวี. 2543. **พรรณไม้น้ำสวยงาม.** กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยสัตว์น้ำสวยงามและสถานแสดงพันธุ์สัตว์น้ำ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สุภาพร อารีย์กิจ. 2542. **วิชาการเลี้ยงและเพาะพันธุ์ปลาสวยงาม.** โครงการตำราราชภัฏเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดเลย.

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

Anon. 2001. **Greenhouse and Hydroponic System.** [Online] Available: <http://www.adumfarmine.com/fag.html>.

APHP. 1992. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastwater 15 th Edition.** Washington, D.C. : American Public Health Association.

Boyd, C.E. 1989. **Water Quality Management and American in Shrimp Farming.** Alabama : Auburn University.

Eighmy, T. T. and P. L. Bishop. 1989. "Distribution and Role of Bacterial Nitrifying Populations in Nitrogen Removal in Aquatic Treatment Systems." **Water Research.** 23 : 947-955.

Lewis, W.M. *et al.* 1978. "Use of Hydroponics to Maintain Quality of Recirculated Water

เอกสารนี้เป็นเอกสารใน a Fish Culture System." **The American Fisheries Society.** 128 : 296-307.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mathew. 2001. NFT and DFT Using the Hydroponic Twist Pot (2001, November 11).
 [Online] Available : [http://www.aquabloom.power up. com.au/NFT%20 and DFT%20.html](http://www.aquabloom.powerup.com.au/NFT%20andDFT%20.html).
- McMurtry, M.R. *et al.* 1993. "Mineral Nutrient Concentration and Uptake by Tomato Irrigated with Recirculating Aquaculture Water as Influenced by Quantity of Fish Waste Products Supplied." *Journal of plant nutrition*. 16(3) : 407-419
- Naegel, L.C.A. 1977. "Combined Production of Fish and Plants in recirculating water." *Aquaculture*. 10 :17-24.
- Quillere, I. *et al.* 1993. "An Artificial Productive Ecosystem based on a Fish/Bacteria/Plant Association. 1. Design and Management." *Agriculture, Ecosystem and Environment* 47 : 13-30.
- Quillere, I. *et al.* 1995. "An Artificial Productive Ecosystem based on a Fish/Bacteria/Plant Association. 2. Performance." *Agriculture, Ecosystem and Environment* 53 : 19 -30.
- Rakocy, J.E. *et al.* 1993. "Nutrient Accumulation in a Recirculating Aquaculture System Integrated with Hydroponics Vegetable Production." 112-136. In *Proceeding of an Aquacultural Engineering Conference*. Washington : American Society of Agricultural Engineers (ASAE).
- Rakocy, J.E., and Allison, R. 1981. "Evaluation of a Closed Recirculating System for the Culture of Tilapia and Aquatic Macrophytes." *The American Fisheries Society* 128 : 296 -307.
- Rataj, K. and Horeman, T.J. 1977. *Aquarium Plants*. West Sylvania : T.F.H. Publication, Inc. Ltd.
- Seawright, D.E.*et al.* 1998. "Nutrient Dynamic in Integrated Aquaculture-Hydroponics System." *Aquaculture* 160 : 215-237.
- Takeda, F. *et al.* 1997. "Strawberry Productive Linked to Aquaculture Wastewater Treatment." *Acta-Horticulturae* 439 : 673-677.
- Takeda, F. 1999. "Strawberry Production in Soilless Culture Systems." *Acta-Horticulturae* 481 : 289-295.

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 : 271-283.

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

วิธีการวิเคราะห์

ก.1 วิธีการวิเคราะห์น้ำ

1.1 วิธีวัดอุณหภูมิ (temperature) โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์

1.2 วิธีวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) โดย เปิดเครื่อง pH meter แล้ว warm เครื่องประมาณ 10-15 นาที ปรับค่าด้วย standard buffer solution ที่ pH 4,7 และ 9 โดยเลือกค่าที่คิดว่าใกล้เคียงน้ำตัวอย่าง โดยจุ่ม electrode ลงไปใน buffer solution จากนั้น กดปุ่ม stand by แล้วจึงเอา electrode ไปล้างด้วยน้ำกลั่น ซับให้แห้ง แล้วนำมาจุ่มลงในน้ำตัวอย่าง อ่านค่าเมื่อเข็มอยู่นิ่ง

1.3 วิธีวัดค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) โดยปรับเครื่องมือวัดค่าความนำไฟฟ้า โดยใช้สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมคลอไรด์ ล้างอิเล็กโทรด ด้วยน้ำกลั่น แล้ววัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำตัวอย่าง โดยเขย่าน้ำตัวอย่างประมาณ 30-60 วินาที บันทึก

1.4 วิธีวิเคราะห์ความเป็นด่าง (alkalinity) โดยนำน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร เติม methly orange 3 หยด แล้วทำการไทเทรตด้วย 0.2 N HCl จนกระทั่งสีของอินดิเคเตอร์เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้ม ทำการจดบันทึกปริมาตรของ HCl

1.5 วิธีวิเคราะห์แอมโมเนีย (ammonia nitrogen) โดยนำน้ำตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร เติม $MnSO_4 \cdot H_2O$ 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

1.6 วิธีวิเคราะห์ไนไตรท์ (nitrite nitrogen) โดยนำน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร เติม diazotizing reagent จำนวน 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 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

1.7 วิธีวิเคราะห์ไนเตรท (nitrate nitrogen) โดยนำน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย บัฟเฟอร์ I ซึ่งประกอบด้วย 25 กรัมของ NH_4Cl , disodiumtetraborate 5 กรัมและ EDTA 0.5 กรัม ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปผ่าน column ครั้งที่ 1 จำนวน 25 มิลลิลิตร (ทิ้งสารละลายที่ผ่าน column ครั้งที่ 1) จากนั้นนำสารที่ต้องการวิเคราะห์ไปผ่าน column ครั้งที่ 2 จำนวน 25 มิลลิลิตร เก็บไว้ จากนั้นเติม diazotizing reagent จำนวน 2 มิลลิลิตร จากนั้นทิ้งไว้ 2 นาที แต่ไม่เกิน

8 นาที่ เติม NED (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine-dihydrochloride) 2 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 543 นาโนเมตร

1.8 วิธีวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) โดยนำน้ำตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร เติม potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) 0.3-1.0 กรัม นำไปประเหย 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็น เติม devarda allow 0.2 กรัม ทิ้งไว้ 1 คืน จากนั้นแบ่งสารละลายตัวอย่างมา 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 8 มิลลิลิตร จากนั้นใส่ reagent I 4 มิลลิลิตร ซึ่งประกอบไปด้วย phenol 6 กรัม, sodium nitroprusside 0.02 กรัม ละลายใน $Na_3PO_4 \cdot 2H_2O$ 3 กรัม, sodium citrate 3 กรัม, EDTA 0.3 กรัม ที่ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้เท่ากับ 100 มิลลิลิตร และ reagent II 6 มิลลิลิตร ซึ่งประกอบไปด้วย commercial bleach (hyter) 30 มิลลิลิตร, NaOH 16 กรัม, distill water 400 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เท่ากับ 1000 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ 30 นาที แต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 635 นาโนเมตร

1.9 วิธีการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในรูปของ (orthophosphate) โดยนำน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร แล้วเติม 8 มิลลิลิตร ของสารประกอบ combine reagent ซึ่งประกอบด้วย 5N H_2SO_4 , potassium antimonyl tetratrate, ammonium molybdate solution และ ascorbic acid เขย่า ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 880 นาโนเมตร

1.10 วิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphate) โดยนำน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร เติม sulfuric acid 0.5 มิลลิลิตร และ potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) 7.5 มิลลิลิตร นำไปประเหย 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติม 8 มิลลิลิตร ของสารประกอบ combine reagent ซึ่งประกอบด้วย 5N H_2SO_4 , potassium antimonyl tetratrate, ammonium molybdate solution และ ascorbic acid เขย่า ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 880 นาโนเมตร

ก.2 วิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช

2.1 การวิเคราะห์ไนโตรเจน ใช้วิธี micro kjeldahl แล้วหา N โดยการกลั่น โดยซังพืช ประมาณ 200 mg เติมสารเร่งปฏิกิริยา (salt mixture : K_2SO_4 , $CuSO_4$, และ selenium metal ในอัตราส่วน 100:10:1) ปริมาณใกล้เคียงกับน้ำหนักพืชที่ใช้ เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น ปริมาตร 4 มิลลิลิตร (pre-digest ให้อย่างน้อย 2 ชั่วโมง) หลังจากนั้นนำไปย่อยสลายบนเตาด้วยความร้อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป 48

อุณหภูมิเริ่มต้น 100 องศาเซลเซียส ค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิขึ้นจนกระทั่งถึง 380 องศาเซลเซียส เมื่อได้สารละลายใส ให้ย่อยต่อไปอีกประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปกลั่นหาไนโตรเจน

2.2 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส โดยนำตัวอย่างพืช ให้ทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต และแอมโมเนียมวานาเดต ในสภาพเป็นกรด ได้สารละลายสีเหลือง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 420 นาโนเมตร เปรียบเทียบความเข้มข้นกับสารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 0-15 ppm.

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และจุลธาตุ ได้แก่ เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) และ ทองแดง (Cu) โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นแสง 769.9, 422.7, 202.5, 248.3, 279.6, 324.8 และ 213.9 นาโนเมตร ตามลำดับ เปรียบเทียบความเข้มข้นกับสารละลายมาตรฐาน

ก.3 สารละลายธาตุอาหารพืชที่ใช้ในการทดลอง

สารละลายธาตุอาหาร A

Calcium nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	0.743	กิโลกรัม
Potassium nitrate (KNO_3)	376	กรัม
Iron chelate (Fe-EDTA)	22	กรัม

สารละลายธาตุอาหาร B

Potassium nitrate (KNO_3)	202	กรัม
Potassium phosphate (KH_2PO_4)	212	กรัม
Magnesium sulphate (MgSO_4)	138	กรัม
Zinc sulphate (ZnSO_4)	0.785	กรัม
Copper sulphate (CuSO_4)	0.152	กรัม
Manganese sulphate ($\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	2.129	กรัม
Boric acid (H_3BO_3)	2.287	กรัม
Ammonium Molybdate	0.118	กรัม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข.1 น้ำหนักปลาทองในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish, Sand-Fish และ Fish

ระบบ	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่2	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่10
NFT-Fish ครั้งที่1	4.83	6.77	8.62	10.22	12.45	16.27
NFT-Fish ครั้งที่2	4.68	6.48	6.92	8.05	10.94	14.10
NFT-Fish ครั้งที่3	5.05	5.75	6.43	8.68	11.94	15.64
เฉลี่ย	4.85	6.33	7.32	8.98	11.78	15.34
SE	0.11	0.30	0.66	0.64	0.44	0.64
DFT-Fish ครั้งที่1	4.77	6.88	7.74	9.55	12.84	14.82
DFT-Fish ครั้งที่2	5.53	6.47	7.16	8.62	10.32	12.97
DFT-Fish ครั้งที่3	5.01	5.95	6.29	8.67	11.55	16.57
เฉลี่ย	5.10	6.43	7.06	8.95	11.57	14.79
SE	0.22	0.27	0.42	0.30	0.73	1.04
Sand-Fishครั้งที่1	4.30	5.86	8.52	10.11	12.05	15.28
Sand-Fishครั้งที่2	5.22	6.24	6.98	9.31	11.46	14.41
Sand-Fishครั้งที่3	5.14	5.70	5.74	7.78	10.86	14.00
เฉลี่ย	4.89	5.93	7.08	9.07	11.46	14.56
SE	0.29	0.16	0.80	0.68	0.34	0.38
Fishครั้งที่1	4.54	6.77	8.43	10.02	11.10	13.54
Fishครั้งที่2	5.13	6.01	6.99	9.30	10.97	13.67
Fishครั้งที่3	4.64	4.79	5.26	6.67	7.74	10.53
เฉลี่ย	4.77	5.86	6.89	8.66	9.94	12.58
SE	0.18	0.58	0.92	1.02	1.10	1.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข.2 น้ำหนักใบพายศรีลังกาในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish, Sand-Fish และ Fish

ระบบ	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่2	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่10
NFT-Fish ครั้งที่1	1.51	1.53	1.57	1.63	1.68	1.72
NFT-Fish ครั้งที่2	1.40	1.44	1.47	1.52	1.55	1.59
NFT-Fish ครั้งที่3	1.46	1.50	1.53	1.58	1.62	1.64
เฉลี่ย	1.46	1.49	1.52	1.58	1.62	1.65
SE	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
DFT-Fish ครั้งที่1	1.44	1.52	1.55	1.58	1.62	1.65
DFT-Fish ครั้งที่2	1.39	1.42	1.46	1.56	1.60	1.62
DFT-Fish ครั้งที่3	1.48	1.46	1.49	1.54	1.56	1.60
เฉลี่ย	1.44	1.47	1.50	1.56	1.59	1.62
SE	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.01
Sand-Fish ครั้งที่1	1.53	1.50	1.56	1.60	1.67	1.71
Sand-Fish ครั้งที่2	1.42	1.47	1.53	1.57	1.65	1.67
Sand-Fish ครั้งที่3	1.46	1.52	1.54	1.62	1.64	1.70
เฉลี่ย	1.47	1.50	1.54	1.60	1.65	1.69
SE	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข.3 นำหนักพื้ดวีในระบบ NFT-Fish, DFT-Fish,Sand-Fish และ Fish

ระบบ	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่2	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่10
NFT-Fish ครั้งที่1	3.92	4.01	4.12	4.25	4.33	4.40
NFT-Fish ครั้งที่2	4.02	4.06	4.11	4.18	4.23	4.27
NFT-Fish ครั้งที่3	3.95	4.03	4.09	4.22	4.25	4.34
เฉลี่ย	3.96	4.03	4.11	4.22	4.27	4.34
SE	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04
DFT-Fish ครั้งที่1	3.89	3.96	4.04	4.17	4.20	4.32
DFT-Fish ครั้งที่2	4.05	4.09	4.14	4.20	4.24	4.28
DFT-Fish ครั้งที่3	3.92	3.95	4.08	4.16	4.22	4.26
เฉลี่ย	3.95	4.00	4.09	4.18	4.22	4.29
SE	0.06	0.06	0.04	0.01	0.01	0.02
Sand-Fishครั้งที่1	3.90	4.02	4.16	4.24	4.35	4.43
Sand-Fishครั้งที่2	4.03	4.08	4.15	4.23	4.30	4.35
Sand-Fishครั้งที่3	3.95	4.11	4.17	4.26	4.32	4.37
เฉลี่ย	3.96	4.07	4.16	4.24	4.32	4.38
SE	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข.4 ปริมาณธาตุอาหารในใบของใบพายศรีลังกาหลังการทดลอง

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	Mn(ppm)	Fe(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)
NFT-Fish ครั้งที่1	6.09	0.44	6.06	0.50	0.09	125.06	344.53	92.68	22.66
NFT-Fish ครั้งที่2	5.84	0.42	5.41	0.46	0.10	122.50	338.97	102.05	19.18
NFT-Fish ครั้งที่3	5.91	0.38	5.65	0.56	0.12	130.47	352.14	89.17	24.32
เฉลี่ย	5.95	0.41	5.71	0.51	0.10	126.01	345.21	94.63	22.05
SE	0.07	0.02	0.19	0.03	0.01	2.35	3.82	3.84	1.51
DFT-Fish ครั้งที่1	5.98	0.44	6.15	0.52	0.10	124.62	342.60	85.57	21.47
DFT-Fish ครั้งที่2	5.55	0.42	5.66	0.45	0.09	116.54	348.38	90.36	18.18
DFT-Fish ครั้งที่3	5.75	0.37	5.81	0.40	0.08	121.38	336.18	97.93	23.96
เฉลี่ย	5.76	0.41	5.87	0.46	0.09	120.85	342.39	91.29	21.20
SE	0.12	0.02	0.14	0.03	0.01	2.35	3.52	3.60	1.67
SAND-Fishครั้งที่1	4.50	0.42	5.84	0.63	0.11	48.73	353.85	131.97	17.22
SAND-Fishครั้งที่2	4.37	0.39	6.09	0.56	0.09	57.39	357.07	128.36	18.48
SAND-Fishครั้งที่3	4.24	0.40	5.56	0.48	0.13	52.46	348.94	124.64	20.07
เฉลี่ย	4.37	0.40	5.83	0.56	0.11	52.86	353.29	128.32	18.59
SE	0.08	0.01	0.15	0.04	0.01	2.51	2.36	2.12	0.82

ตารางผนวกที่ ข.5 ปริมาณธาตุอาหารของรากใบพายุศรีลังกาหลังการทดลอง

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	Mn(ppm)	Fe(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)
NFT-Fish ครั้งที่1	5.71	0.42	1.24	0.32	0.05	105.54	161.13	64.30	10.55
NFT-Fish ครั้งที่2	5.57	0.40	1.56	0.33	0.10	106.70	173.82	52.08	10.60
NFT-Fish ครั้งที่3	5.27	0.36	1.38	0.28	0.08	112.24	176.29	58.96	12.09
เฉลี่ย	5.52	0.39	1.39	0.31	0.08	108.16	170.41	58.45	11.08
SE	0.13	0.02	0.09	0.01	0.01	2.07	4.70	3.54	0.51
DFT-Fish ครั้งที่1	6.09	0.40	1.21	0.34	0.06	82.93	168.47	70.11	11.39
DFT-Fish ครั้งที่2	6.47	0.39	1.53	0.36	0.06	100.91	175.13	65.31	9.26
DFT-Fish ครั้งที่3	6.32	0.42	1.48	0.27	0.05	96.78	184.02	73.18	10.74
เฉลี่ย	6.29	0.40	1.41	0.33	0.06	93.54	175.87	69.53	10.46
SE	0.11	0.01	0.10	0.03	0.00	5.44	4.50	2.29	0.63
SAND-Fishครั้งที่1	3.23	0.37	1.85	0.37	0.05	101.16	180.24	74.44	7.98
SAND-Fishครั้งที่2	3.07	0.32	1.99	0.35	0.04	103.46	168.41	67.18	9.78
SAND-Fishครั้งที่3	3.54	0.41	2.02	0.32	0.04	98.74	176.23	77.26	12.96
เฉลี่ย	3.28	0.36	1.96	0.35	0.04	101.12	174.96	72.96	10.24
SE	0.14	0.03	0.05	0.01	0.00	1.36	3.47	3.00	1.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข.6 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของใบพวยศรีลังกา (มิลลิกรัมต่อต้น)

ระบบ	N	P	K	Ca	Mg
NFT-Fish ครั้งที่1	20.29	1.33	10.41	1.32	0.12
NFT-Fish ครั้งที่2	18.53	1.05	7.56	1.18	0.29
NFT-Fish ครั้งที่3	17.73	0.81	8.19	1.34	0.29
เฉลี่ย	18.85	1.06	8.72	1.28	0.23
SE	0.76	0.15	0.86	0.05	0.06
DFT-Fish ครั้งที่1	24.05	1.48	13.60	1.69	0.23
DFT-Fish ครั้งที่2	21.21	1.08	8.61	1.30	0.15
DFT-Fish ครั้งที่3	23.09	1.13	10.73	1.02	0.12
เฉลี่ย	22.78	1.23	10.98	1.34	0.17
SE	0.83	0.13	1.45	0.19	0.03
Sand-Fishครั้งที่1	11.37	1.43	15.91	2.28	0.25
Sand-Fishครั้งที่2	8.80	0.91	13.35	1.77	0.12
Sand-Fishครั้งที่3	11.10	1.35	12.87	1.56	0.27
เฉลี่ย	10.42	1.23	14.04	1.87	0.21
SE	0.82	0.16	0.94	0.21	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข.7 ปริมาณธาตุอาหารในใบของพืชวิหังการทดลอง

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	Mn(ppm)	Fe(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)
NFT-Fish ครังที่1	4.16	0.52	3.59	2.30	0.36	228.50	269.87	73.21	22.14
NFT-Fish ครังที่2	4.07	0.63	3.21	2.24	0.28	236.25	276.46	68.49	19.71
NFT-Fish ครังที่3	3.97	0.56	3.34	2.36	0.39	232.61	282.27	62.38	24.93
เฉลี่ย	4.07	0.57	3.38	2.30	0.34	232.45	276.20	68.03	22.26
SE	0.05	0.03	0.11	0.03	0.03	2.24	3.58	3.13	1.51
DFT-Fish ครังที่1	4.07	0.51	3.66	2.25	0.35	227.12	262.60	58.94	19.52
DFT-Fish ครังที่2	3.63	0.60	3.15	2.36	0.24	236.56	253.27	65.18	22.84
DFT-Fish ครังที่3	3.81	0.67	3.42	2.21	0.30	224.38	268.39	54.27	20.67
เฉลี่ย	3.84	0.59	3.41	2.27	0.30	229.35	261.42	59.46	21.01
SE	0.13	0.05	0.15	0.04	0.03	3.69	4.40	3.16	0.97
SAND-Fish ครังที่1	2.98	0.31	3.40	2.47	0.32	189.33	301.55	62.37	22.14
SAND-Fish ครังที่2	2.61	0.24	3.21	2.52	0.40	198.84	293.42	58.69	18.79
SAND-Fish ครังที่3	2.74	0.35	3.52	2.38	0.36	203.27	289.84	52.46	20.93
เฉลี่ย	2.78	0.30	3.38	2.46	0.36	197.15	294.94	57.84	20.62
SE	0.11	0.03	0.09	0.04	0.02	4.11	3.46	2.89	0.98

ตารางผนวกที่ ข.8 ปริมาณธาตุอาหารของรากพืชวิหังการทดลอง

ระบบ	%N	%P	%K	%Ca	%Mg	Mn(ppm)	Fe(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)
NFT-Fish ครั้งที่1	4.18	0.41	1.77	0.41	0.15	115.81	201.61	32.38	13.13
NFT-Fish ครั้งที่2	3.57	0.42	2.10	0.40	0.20	116.15	197.27	42.14	12.29
NFT-Fish ครั้งที่3	3.73	0.38	1.84	0.47	0.24	124.00	184.52	38.64	15.36
เฉลี่ย	3.83	0.40	1.90	0.43	0.20	118.65	194.47	37.72	13.59
SE	0.18	0.01	0.10	0.02	0.03	2.68	5.13	2.85	0.92
DFT-Fish ครั้งที่1	3.96	0.38	1.81	0.51	0.12	125.86	187.46	31.64	14.57
DFT-Fish ครั้งที่2	3.51	0.42	2.11	0.40	0.17	119.02	172.15	39.86	12.48
DFT-Fish ครั้งที่3	4.05	0.45	2.09	0.45	0.23	127.08	168.42	42.08	15.16
เฉลี่ย	3.84	0.42	2.00	0.45	0.18	123.99	176.01	37.86	14.07
SE	0.17	0.02	0.09	0.03	0.03	2.51	5.83	3.18	0.81
SAND-Fishครั้งที่1	2.40	0.37	2.23	0.41	0.17	118.16	169.71	39.40	12.49
SAND-Fishครั้งที่2	2.02	0.42	2.15	0.44	0.15	125.39	184.23	42.75	15.29
SAND-Fishครั้งที่3	2.36	0.38	2.36	0.52	0.25	132.49	171.25	40.38	13.57
เฉลี่ย	2.26	0.39	2.25	0.46	0.19	125.35	175.06	40.84	13.78
SE	0.12	0.02	0.06	0.03	0.03	4.14	4.60	0.99	0.82

ตารางผนวกที่ ข.9 ปริมาณการดูดใช้ธาตุอาหารของพื้ดวี (มิลลิกรัมต่อดัน)

ระบบ	N	P	K	Ca	Mg
NFT-Fish ครั้งที่1	31.28	1.03	7.83	13.23	0.36
NFT-Fish ครั้งที่2	26.34	1.20	8.98	13.65	0.28
NFT-Fish ครั้งที่3	25.72	1.32	7.50	14.42	0.39
เฉลี่ย	27.78	1.18	8.10	13.77	0.34
SE	1.76	0.08	0.45	0.35	0.03
DFT-Fish ครั้งที่1	30.18	1.47	10.05	14.69	0.35
DFT-Fish ครั้งที่2	25.36	1.82	10.52	15.61	0.24
DFT-Fish ครั้งที่3	27.47	2.29	10.95	14.36	0.30
เฉลี่ย	27.67	1.86	10.51	14.89	0.30
SE	1.40	0.24	0.26	0.37	0.03
Sand-Fishครั้งที่1	11.05	0.85	10.62	14.65	0.32
Sand-Fishครั้งที่2	6.14	1.22	9.77	15.69	0.40
Sand-Fishครั้งที่3	7.50	0.99	12.53	14.96	0.36
เฉลี่ย	8.23	1.02	10.97	15.10	0.36
SE	1.46	0.11	0.82	0.31	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวทที่ ข.10 ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ของระบบ NFT-Fish, DFT-Fish, Sand-Fish และ Fish

ระบบ	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่1	สัปดาห์ที่2	สัปดาห์ที่3	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่5	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่7	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่9	สัปดาห์ที่10
NFT-Fish ครังที่1	6.59	6.25	5.68	5.50	5.43	5.39	5.27	5.24	5.15	5.12	5.11
NFT-Fish ครังที่2	6.53	6.27	5.64	5.48	5.36	5.30	5.25	5.19	5.23	5.20	5.15
NFT-Fish ครังที่3	6.48	6.32	5.72	5.54	5.50	5.41	5.36	5.28	5.26	5.24	5.20
เฉลี่ย	6.53	6.28	5.68	5.51	5.43	5.37	5.29	5.24	5.21	5.19	5.15
SE	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03
DFT-Fish ครังที่1	6.62	6.48	5.92	5.78	5.53	5.42	5.30	5.27	5.20	5.16	5.10
DFT-Fish ครังที่2	6.60	6.40	5.80	5.66	5.42	5.38	5.24	5.20	5.17	5.11	5.07
DFT-Fish ครังที่3	6.59	6.39	5.76	5.52	5.40	5.36	5.30	5.28	5.23	5.17	5.14
เฉลี่ย	6.60	6.42	5.83	5.65	5.45	5.39	5.28	5.25	5.20	5.15	5.10
SE	0.01	0.03	0.05	0.08	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
Sand-Fish ครังที่1	6.56	6.36	5.86	5.61	5.54	5.37	5.31	5.25	5.17	5.11	5.07
Sand-Fish ครังที่2	6.64	6.45	5.77	5.51	5.36	5.29	5.24	5.20	5.14	5.10	5.04
Sand-Fish ครังที่3	6.58	6.40	5.84	5.65	5.47	5.32	5.28	5.23	5.18	5.14	5.10
เฉลี่ย	6.59	6.40	5.82	5.59	5.46	5.33	5.28	5.23	5.16	5.12	5.07
SE	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
Fish ครังที่1	6.60	6.47	5.82	5.68	5.42	5.37	5.26	5.21	5.18	5.15	5.17
Fish ครังที่2	6.64	6.39	5.95	5.74	5.56	5.51	5.47	5.38	5.34	5.27	5.20
Fish ครังที่3	6.49	6.42	5.78	5.59	5.51	5.46	5.39	5.32	5.29	5.24	5.23
เฉลี่ย	6.58	6.43	5.85	5.67	5.50	5.45	5.37	5.30	5.27	5.22	5.20
SE	0.04	0.02	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06	0.05	0.05	0.04	0.02

ตารางผนวกที่ ข.11 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของระบบ NFT-Fish, DFT-Fish,Sand-Fish และ Fish

ระบบ	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่1	สัปดาห์ที่2	สัปดาห์ที่3	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่5	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่7	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่9	สัปดาห์ที่10
NFT-Fish ครึ่งที่1	8.06	7.78	7.65	6.25	6.06	6.28	6.27	6.32	6.07	5.76	5.65
NFT-Fish ครึ่งที่2	8.15	7.90	7.70	6.13	6.13	6.23	5.96	5.61	5.93	5.58	5.91
NFT-Fish ครึ่งที่3	8.13	7.84	7.60	6.21	6.09	6.20	6.00	5.86	6.19	5.80	5.45
เฉลี่ย	8.11	7.84	7.65	6.20	6.09	6.24	6.08	5.93	6.06	5.71	5.67
SE	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.10	0.21	0.08	0.07	0.13
DFT-Fish ครึ่งที่1	8.06	7.79	7.22	6.92	6.11	6.36	6.07	6.05	5.63	5.54	5.38
DFT-Fish ครึ่งที่2	8.08	7.51	7.16	6.74	6.17	6.25	6.12	5.86	5.90	5.73	5.70
DFT-Fish ครึ่งที่3	8.10	7.49	7.30	6.83	6.21	6.30	6.15	5.75	5.95	5.40	5.90
เฉลี่ย	8.08	7.60	7.23	6.83	6.16	6.30	6.11	5.89	5.82	5.56	5.66
SE	0.01	0.10	0.04	0.05	0.03	0.03	0.02	0.09	0.10	0.10	0.15
Sand-Fish ครึ่งที่1	8.22	7.90	7.63	7.03	7.19	7.24	6.72	6.75	6.94	6.53	6.83
Sand-Fish ครึ่งที่2	7.78	8.27	7.56	6.94	6.91	7.10	6.95	7.02	7.08	6.69	6.67
Sand-Fish ครึ่งที่3	7.90	7.28	7.30	6.82	7.10	7.08	7.15	6.83	7.10	6.55	6.78
เฉลี่ย	7.96	7.82	7.50	6.93	7.07	7.14	6.94	6.87	7.04	6.59	6.76
SE	0.13	0.29	0.10	0.06	0.08	0.05	0.12	0.08	0.05	0.05	0.05
Fish ครึ่งที่1	7.92	7.69	7.62	7.59	7.68	7.56	7.63	7.27	7.50	7.62	7.65
Fish ครึ่งที่2	7.50	8.15	8.05	7.69	7.78	7.48	7.53	7.39	7.50	7.48	7.43
Fish ครึ่งที่3	8.10	7.90	7.85	7.65	7.80	7.55	7.50	7.20	7.35	7.51	7.55
เฉลี่ย	7.84	7.91	7.84	7.64	7.75	7.53	7.55	7.29	7.45	7.53	7.54
SE	0.18	0.13	0.12	0.03	0.04	0.02	0.04	0.06	0.05	0.04	0.06

ตารางผนวกที่ ข.12 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของระบบ NFT-Fish, DFT-Fish,Sand-Fish และ Fish

ระบบ	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่1	สัปดาห์ที่2	สัปดาห์ที่3	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่5	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่7	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่9	สัปดาห์ที่10
NFT-Fish ครั้งที่1	0.31	0.36	0.39	0.54	0.61	0.70	0.88	0.99	1.09	1.17	1.23
NFT-Fish ครั้งที่2	0.24	0.32	0.41	0.55	0.61	0.72	0.93	1.00	1.17	1.25	1.30
NFT-Fish ครั้งที่3	0.26	0.34	0.38	0.48	0.55	0.71	0.90	0.94	1.08	0.99	1.31
เฉลี่ย	0.27	0.34	0.39	0.52	0.59	0.71	0.90	0.98	1.11	1.14	1.28
SE	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.08	0.02
DFT-Fish ครั้งที่1	0.32	0.45	0.42	0.59	0.62	0.74	0.87	0.96	1.07	1.15	1.21
DFT-Fish ครั้งที่2	0.24	0.30	0.37	0.45	0.57	0.68	0.91	0.98	1.12	1.09	1.18
DFT-Fish ครั้งที่3	0.26	0.37	0.34	0.52	0.60	0.70	0.96	1.06	1.09	1.16	1.27
เฉลี่ย	0.27	0.37	0.38	0.52	0.60	0.71	0.91	1.00	1.09	1.13	1.22
SE	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03
Sand-Fishครั้งที่1	0.33	0.38	0.35	0.54	0.62	0.79	0.85	0.86	0.98	1.14	1.18
Sand-Fishครั้งที่2	0.24	0.31	0.39	0.49	0.57	0.68	0.92	0.88	1.00	1.10	1.17
Sand-Fishครั้งที่3	0.26	0.39	0.42	0.51	0.53	0.76	0.87	0.80	1.02	1.08	1.20
เฉลี่ย	0.28	0.36	0.39	0.51	0.57	0.74	0.88	0.85	1.00	1.11	1.18
SE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
Fishครั้งที่1	0.31	0.38	0.36	0.36	0.37	0.35	0.36	0.35	0.37	0.37	0.36
Fishครั้งที่2	0.22	0.28	0.28	0.27	0.29	0.30	0.29	0.32	0.32	0.39	0.34
Fishครั้งที่3	0.26	0.32	0.32	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.38	0.37	0.36
เฉลี่ย	0.26	0.33	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33	0.34	0.36	0.38	0.35
SE	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01

ตารางผนวกที่ ข.13 ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ของระบบ NFT-Fish, DFT-Fish, Sand-Fish และ Fish

ระบบ	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่1	สัปดาห์ที่2	สัปดาห์ที่3	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่5	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่7	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่9	สัปดาห์ที่10
NFT-Fish ครึ่งที่1	77.75	74.75	68.50	40.75	22.50	23.50	28.50	21.25	20.50	20.75	20.50
NFT-Fish ครึ่งที่2	65.25	68.25	73.25	40.75	22.50	23.50	28.50	21.25	20.50	20.75	20.50
NFT-Fish ครึ่งที่3	71.83	65.42	65.50	38.42	28.08	28.17	27.58	24.50	21.83	18.50	18.33
เฉลี่ย	71.61	69.47	69.08	39.97	24.36	25.06	28.19	22.33	20.94	20.00	19.78
SE	3.61	2.76	2.26	0.78	1.86	1.56	0.31	1.08	0.44	0.75	0.72
DFT-Fish ครึ่งที่1	75.50	74.50	70.00	62.25	26.50	27.50	26.75	22.50	19.75	19.50	18.50
DFT-Fish ครึ่งที่2	68.50	56.25	65.50	64.50	27.50	26.75	27.50	22.50	19.75	19.50	18.50
DFT-Fish ครึ่งที่3	72.00	60.50	66.83	60.08	25.83	30.92	25.58	27.75	22.00	20.58	24.67
เฉลี่ย	72.00	63.75	67.44	62.28	26.61	28.39	26.61	24.25	20.50	19.86	20.56
SE	2.02	5.51	1.33	1.28	0.48	1.28	0.56	1.75	0.75	0.36	2.06
Sand-Fish ครึ่งที่1	77.50	75.50	74.50	73.75	43.50	32.50	34.50	33.25	27.75	26.50	26.25
Sand-Fish ครึ่งที่2	75.25	74.75	74.50	73.75	43.50	32.50	34.50	33.25	27.75	27.50	26.25
Sand-Fish ครึ่งที่3	74.58	73.25	73.50	70.33	40.17	37.42	39.83	38.67	26.58	26.75	26.00
เฉลี่ย	75.78	74.50	74.17	72.61	42.39	34.14	36.28	35.06	27.36	26.92	26.17
SE	0.88	0.66	0.33	1.14	1.11	1.64	1.78	1.81	0.39	0.30	0.08
Fish ครึ่งที่1	75.00	73.50	73.00	71.50	72.00	72.50	73.50	74.00	71.50	72.00	72.50
Fish ครึ่งที่2	67.00	85.00	66.00	74.00	72.50	67.00	73.50	67.50	73.00	79.00	29.50
Fish ครึ่งที่3	75.33	76.33	75.67	76.67	70.83	71.83	62.83	69.33	75.33	60.67	82.67
เฉลี่ย	72.44	78.28	71.56	74.06	71.78	70.44	69.94	70.28	73.28	70.56	61.56
SE	2.72	3.46	2.88	1.49	0.49	1.73	3.56	1.93	1.12	5.34	16.29

ตารางผนวกที่ ข.14 ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด (Total Ammonia-nitrogen) ของระบบ NFT-Fish, DFT-Fish, Sand-Fish และ Fish

ระบบ	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่1	สัปดาห์ที่2	สัปดาห์ที่3	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่5	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่7	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่9	สัปดาห์ที่10
NFT-Fish ครึ่งที่1	0.01	0.03	0.02	0.61	1.03	2.33	3.11	2.90	3.36	4.45	3.73
NFT-Fish ครึ่งที่2	0.07	0.02	0.08	0.43	0.89	2.24	3.04	3.34	3.54	4.32	4.18
NFT-Fish ครึ่งที่3	0.00	0.08	0.10	0.51	0.94	2.46	3.24	3.31	3.47	4.41	3.94
เฉลี่ย	0.03	0.04	0.06	0.52	0.95	2.34	3.13	3.18	3.46	4.39	3.95
SE	0.02	0.02	0.02	0.05	0.04	0.07	0.06	0.14	0.05	0.04	0.13
DFT-Fish ครึ่งที่1	0.03	0.02	0.02	0.95	1.03	1.49	2.18	2.80	3.09	3.85	3.66
DFT-Fish ครึ่งที่2	0.05	0.03	0.08	0.92	0.91	1.30	1.85	3.13	3.59	4.26	3.99
DFT-Fish ครึ่งที่3	0.03	0.05	0.07	0.97	1.15	1.52	2.02	3.24	3.28	4.07	4.11
เฉลี่ย	0.03	0.03	0.06	0.95	1.03	1.43	2.01	3.06	3.32	4.06	3.92
SE	0.01	0.01	0.02	0.02	0.07	0.07	0.09	0.13	0.14	0.12	0.14
Sand-Fish ครึ่งที่1	0.00	0.00	0.08	0.07	0.08	0.09	0.08	0.06	0.17	0.29	0.24
Sand-Fish ครึ่งที่2	0.25	0.01	0.05	0.07	0.11	0.03	0.05	0.05	0.15	0.26	0.30
Sand-Fish ครึ่งที่3	0.24	0.02	0.00	0.09	0.09	0.07	0.08	0.08	0.16	0.22	0.35
เฉลี่ย	0.16	0.01	0.04	0.08	0.09	0.06	0.07	0.06	0.16	0.25	0.30
SE	0.08	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
Fish ครึ่งที่1	0.05	0.24	0.26	0.26	0.22	0.21	0.43	0.47	0.63	1.32	1.40
Fish ครึ่งที่2	0.08	0.19	0.29	0.25	0.21	0.24	0.38	0.39	0.57	1.40	1.61
Fish ครึ่งที่3	0.07	0.26	0.21	0.29	0.19	0.28	0.44	0.46	0.55	1.33	1.58
เฉลี่ย	0.07	0.23	0.25	0.27	0.21	0.24	0.42	0.44	0.58	1.35	1.53
SE	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.06

ตารางผนวกที่ ข.15 ปริมาณไนโตรเจน (Nitrite-nitrogen) ของระบบ NFT-Fish, DFT-Fish, Sand-Fish และ Fish

ระบบ	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่1	สัปดาห์ที่2	สัปดาห์ที่3	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่5	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่7	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่9	สัปดาห์ที่10
NFT-Fish ครึ่งที่1	0.03	0.05	0.04	0.03	0.08	0.05	0.07	0.32	0.54	0.45	0.65
NFT-Fish ครึ่งที่2	0.04	0.01	0.06	0.08	0.03	0.07	0.05	0.28	0.40	0.52	0.71
NFT-Fish ครึ่งที่3	0.00	0.02	0.06	0.08	0.06	0.04	0.05	0.23	0.48	0.54	0.63
เฉลี่ย	0.02	0.03	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	0.28	0.47	0.51	0.66
SE	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.02
DFT-Fish ครึ่งที่1	0.03	0.03	0.11	0.07	0.12	0.08	0.06	0.19	0.38	0.43	0.30
DFT-Fish ครึ่งที่2	0.03	0.01	0.06	0.11	0.06	0.07	0.04	0.15	0.29	0.39	0.32
DFT-Fish ครึ่งที่3	0.00	0.03	0.09	0.05	0.13	0.06	0.10	0.20	0.36	0.35	0.40
เฉลี่ย	0.02	0.03	0.09	0.08	0.10	0.07	0.07	0.18	0.34	0.39	0.34
SE	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03
Sand-Fish ครึ่งที่1	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05
Sand-Fish ครึ่งที่2	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.07
Sand-Fish ครึ่งที่3	0.00	0.04	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
เฉลี่ย	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04
SE	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Fish ครึ่งที่1	0.03	0.24	0.41	0.46	0.48	0.50	0.51	0.61	0.36	0.48	0.37
Fish ครึ่งที่2	0.02	0.29	0.45	0.51	0.54	0.52	0.62	0.60	0.41	0.41	0.47
Fish ครึ่งที่3	0.00	0.32	0.48	0.47	0.53	0.45	0.48	0.58	0.38	0.45	0.39
เฉลี่ย	0.02	0.28	0.45	0.48	0.52	0.49	0.54	0.60	0.38	0.45	0.41
SE	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.01	0.01	0.02	0.03

ตารางผนวกที่ ข.16 ปริมาณไนเตรท (Nitrate-nitrogen) ของระบบ NFT-Fish, DFT-Fish, Sand-Fish และ Fish

ระบบ	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่1	สัปดาห์ที่2	สัปดาห์ที่3	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่5	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่7	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่9	สัปดาห์ที่10
NFT-Fish ครั้งที่1	1.27	19.63	36.56	42.41	61.94	75.11	85.58	89.60	120.21	124.44	145.70
NFT-Fish ครั้งที่2	1.21	18.85	31.68	39.89	56.55	72.64	90.30	91.03	115.39	121.53	133.62
NFT-Fish ครั้งที่3	1.25	15.09	28.12	43.30	59.68	68.62	83.07	88.11	113.01	116.75	141.96
เฉลี่ย	1.24	17.85	32.12	41.87	59.39	72.12	86.32	89.58	116.20	120.91	140.43
SE	0.02	1.40	2.45	1.02	1.56	1.89	2.12	0.84	2.12	2.24	3.57
DFT-Fish ครั้งที่1	0.69	16.83	20.39	30.93	36.90	68.01	79.06	77.28	83.62	98.86	128.35
DFT-Fish ครั้งที่2	0.79	18.68	16.07	33.62	32.58	59.49	75.10	81.46	91.73	113.09	126.11
DFT-Fish ครั้งที่3	0.70	21.21	22.02	27.01	38.09	67.87	70.13	75.26	89.76	104.02	117.61
เฉลี่ย	0.73	18.90	19.49	30.52	35.86	65.12	74.77	78.00	88.37	105.32	124.02
SE	0.03	1.27	1.78	1.92	1.67	2.82	2.58	1.82	2.44	4.16	3.27
Sand-Fish ครั้งที่1	0.56	13.32	18.87	15.65	55.16	60.73	72.68	78.69	82.65	91.01	106.91
Sand-Fish ครั้งที่2	0.68	12.93	17.41	15.97	55.01	76.02	75.10	74.20	85.06	90.25	105.22
Sand-Fish ครั้งที่3	0.62	12.29	15.16	14.73	56.95	74.46	70.19	75.01	87.31	89.06	105.88
เฉลี่ย	0.62	12.84	17.15	15.45	55.70	70.40	72.66	75.97	85.01	90.10	106.00
SE	0.03	0.30	1.08	0.37	0.62	4.86	1.42	1.38	1.35	0.57	0.49
Fish ครั้งที่1	0.26	5.23	9.85	12.22	23.34	23.36	20.50	22.92	26.65	28.45	29.48
Fish ครั้งที่2	0.23	4.22	9.87	14.72	19.97	24.73	25.69	21.58	24.64	28.12	28.13
Fish ครั้งที่3	0.10	4.65	9.18	12.78	26.53	21.11	20.20	23.05	21.77	29.96	27.01
เฉลี่ย	0.20	4.70	9.63	13.24	23.28	23.07	22.13	22.51	24.35	28.84	28.20
SE	0.05	0.29	0.23	0.76	1.89	1.06	1.78	0.47	1.42	0.57	0.71

ตารางผนวกที่ 17 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total-nitrogen) ของระบบ NFT-Fish, DFT-Fish, Sand-Fish และ Fish

ระบบ	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 10
NFT-Fish ครึ่งที่ 1	3.25	22.15	45.30	40.12	100.56	120.97	132.04	141.82	148.96	179.75	211.05
NFT-Fish ครึ่งที่ 2	3.59	20.36	40.75	35.76	75.86	116.62	141.97	132.48	157.44	182.26	228.65
NFT-Fish ครึ่งที่ 3	3.50	17.48	43.36	36.87	74.42	104.84	137.69	139.42	154.18	184.56	217.15
เฉลี่ย	3.44	20.00	43.14	37.58	83.61	114.14	137.23	137.91	153.53	182.19	218.95
SE	0.10	1.36	1.32	1.31	8.48	4.82	2.87	2.80	2.47	1.39	5.16
DFT-Fish ครึ่งที่ 1	3.20	19.29	34.58	30.62	77.63	87.13	116.19	109.96	131.31	166.16	191.65
DFT-Fish ครึ่งที่ 2	3.24	10.10	24.54	36.04	68.46	94.37	98.93	125.07	125.04	158.04	203.76
DFT-Fish ครึ่งที่ 3	3.35	15.66	30.47	31.13	60.03	88.46	103.66	118.65	129.28	156.99	189.38
เฉลี่ย	3.27	15.01	29.86	32.59	68.70	89.99	106.26	117.89	128.54	160.40	194.93
SE	0.05	2.67	2.92	1.73	5.08	2.22	5.15	4.38	1.84	2.90	4.46
Sand-Fish ครึ่งที่ 1	2.18	15.81	29.37	34.62	66.23	80.30	102.12	109.59	125.33	131.95	155.08
Sand-Fish ครึ่งที่ 2	3.63	16.19	28.55	35.45	58.55	71.05	107.83	115.73	124.74	130.79	151.23
Sand-Fish ครึ่งที่ 3	3.00	16.31	27.72	33.36	64.78	75.88	95.43	117.81	120.50	135.44	143.57
เฉลี่ย	2.94	16.10	28.55	34.48	63.18	75.74	101.79	114.37	123.52	132.73	149.96
SE	0.42	0.15	0.48	0.61	2.35	2.67	3.58	2.47	1.52	1.40	3.38
Fish ครึ่งที่ 1	3.95	14.61	25.48	32.73	28.81	28.47	32.16	37.07	30.78	33.64	35.88
Fish ครึ่งที่ 2	4.83	16.37	21.89	32.63	27.70	27.59	38.01	35.18	34.46	32.57	35.53
Fish ครึ่งที่ 3	3.73	18.22	18.55	25.11	29.38	26.46	32.00	41.36	32.03	35.28	36.89
เฉลี่ย	4.17	16.40	21.97	30.16	28.63	27.50	34.06	37.87	32.42	33.83	36.10
SE	0.34	1.04	2.00	2.52	0.49	0.58	1.98	1.83	1.08	0.79	0.41

ตารางผนวกที่ ข.18 ปริมาณฟอสฟอรัสที่ละลายน้ำทั้งหมด (Soluble reactive phosphorus) ของระบบ NFT-Fish, DFT-Fish, Sand-Fish และ Fish

ระบบ	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่1	สัปดาห์ที่2	สัปดาห์ที่3	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่5	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่7	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่9	สัปดาห์ที่10
NFT-Fish ครึ่งที่1	0.06	0.71	1.26	1.99	2.23	1.98	2.34	2.41	2.57	2.36	2.67
NFT-Fish ครึ่งที่2	0.06	0.65	1.24	1.91	2.15	2.05	2.25	2.28	2.42	2.32	3.41
NFT-Fish ครึ่งที่3	0.01	0.96	1.33	2.23	2.23	1.71	2.41	2.26	2.05	2.44	2.90
เฉลี่ย	0.04	0.77	1.28	2.04	2.20	1.91	2.33	2.32	2.35	2.37	2.99
SE	0.02	0.10	0.03	0.09	0.03	0.11	0.05	0.05	0.16	0.04	0.22
DFT-Fish ครึ่งที่1	0.06	0.64	1.07	1.32	1.61	1.32	2.26	2.33	2.53	2.49	3.14
DFT-Fish ครึ่งที่2	0.05	0.59	0.93	1.45	1.95	1.41	2.36	2.48	2.55	2.41	3.17
DFT-Fish ครึ่งที่3	0.02	0.74	1.03	1.74	1.92	1.45	2.45	2.39	2.46	2.48	3.25
เฉลี่ย	0.04	0.65	1.01	1.50	1.83	1.39	2.36	2.40	2.51	2.46	3.19
SE	0.01	0.04	0.04	0.12	0.11	0.04	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03
Sand-Fish ครึ่งที่1	0.19	0.48	0.93	1.21	1.56	1.51	1.53	1.58	1.63	1.84	1.63
Sand-Fish ครึ่งที่2	0.27	0.41	1.08	1.14	1.59	1.43	1.67	1.68	1.74	1.65	1.95
Sand-Fish ครึ่งที่3	0.18	0.52	1.01	0.92	1.50	1.46	1.59	1.51	1.54	1.81	1.87
เฉลี่ย	0.21	0.47	1.01	1.09	1.55	1.47	1.60	1.59	1.64	1.77	1.82
SE	0.03	0.03	0.04	0.09	0.03	0.02	0.04	0.05	0.06	0.06	0.10
Fish ครึ่งที่1	0.19	0.48	0.93	1.21	1.56	1.51	1.53	1.58	1.63	1.84	1.63
Fish ครึ่งที่2	0.27	0.41	1.08	1.14	1.59	1.43	1.67	1.68	1.74	1.65	1.95
Fish ครึ่งที่3	0.18	0.52	1.01	0.92	1.50	1.46	1.59	1.51	1.54	1.81	1.87
เฉลี่ย	0.21	0.47	1.01	1.09	1.55	1.47	1.60	1.59	1.64	1.77	1.82
SE	0.03	0.03	0.04	0.09	0.03	0.02	0.04	0.05	0.06	0.06	0.10
SE	0.03	0.03	0.04	0.09	0.03	0.02	0.04	0.05	0.06	0.06	0.10

ตารางผนวกที่ ข.20 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของไบพายศรีลังกา ช่วงสัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 10

ระบบ	สัปดาห์ที่3	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่5	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่7	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่9	สัปดาห์ที่10
1. แอมโมเนีย								
NFT-Fish	4.74	4.61	4.37	3.62	3.86	3.72	2.74	3.01
DFT-Fish	5.89	5.86	4.73	4.48	4.05	3.95	3.81	3.79
Sand-Fish	31.64	32.59	34.42	39.56	36.42	35.38	34.96	33.87
2. ไนโตรท์								
NFT-Fish	8.43	8.35	8.28	8.17	7.46	7.24	7.08	6.89
DFT-Fish	9.72	9.66	9.75	9.84	8.87	7.92	7.74	7.87
Sand-Fish	37.78	38.39	39.26	42.98	39.76	38.90	37.03	37.79
3. ไนเตรท								
NFT-Fish	8.02	7.75	7.61	6.98	7.01	6.91	6.82	6.60
DFT-Fish	9.01	8.68	8.09	7.65	7.57	7.52	7.48	7.41
Sand-Fish	10.18	8.39	8.34	8.39	8.22	8.18	8.06	8.11
4. ไนโตรเจนทั้งหมด								
NFT-Fish	12.27	12.19	12.16	11.78	11.67	11.63	11.59	11.56
DFT-Fish	12.33	12.31	12.30	12.27	12.25	12.22	12.19	12.17
Sand-Fish	14.27	14.23	14.18	14.11	14.08	14.05	13.87	13.72
5. ฟอสฟอรัส								
NFT-Fish	1.95	1.93	1.91	1.85	1.81	1.75	1.71	1.67
DFT-Fish	2.45	2.42	2.39	2.36	2.34	2.32	2.29	2.28
Sand-Fish	4.25	4.24	4.23	4.26	4.25	4.24	4.24	4.23
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด								
NFT-Fish	2.64	2.62	2.59	2.57	2.54	2.52	2.49	2.47
DFT-Fish	3.89	3.87	3.85	3.81	3.78	3.75	3.72	3.69
Sand-Fish	4.96	4.93	4.91	4.86	4.84	4.81	4.78	4.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ ข.21 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำของพตวิ ช่วงสัปดาห์ที่ 3 ถึงสัปดาห์ที่ 10

ระบบ	สัปดาห์ที่3	สัปดาห์ที่4	สัปดาห์ที่5	สัปดาห์ที่6	สัปดาห์ที่7	สัปดาห์ที่8	สัปดาห์ที่9	สัปดาห์ที่10
1. แอมโมเนีย								
NFT-Fish	6.03	5.95	5.89	5.76	4.87	3.82	3.79	4.06
DFT-Fish	8.29	8.27	8.25	8.23	8.20	8.18	7.82	7.68
Sand-Fish	46.23	47.64	48.39	49.52	48.27	46.79	46.24	45.61
2. ไนไตรท์								
NFT-Fish	12.22	12.18	12.07	11.94	11.52	11.38	11.27	11.21
DFT-Fish	13.04	12.92	12.98	13.05	13.16	12.95	12.78	12.85
Sand-Fish	45.23	46.32	47.47	48.11	46.34	45.12	41.24	42.04
3. ไนเตรท								
NFT-Fish	12.34	12.26	12.21	12.13	12.09	11.98	11.84	11.76
DFT-Fish	13.84	13.81	13.78	13.71	13.65	13.57	13.49	13.45
Sand-Fish	14.91	14.87	14.84	14.61	14.52	14.48	14.36	14.32
4. ไนโตรเจนทั้งหมด								
NFT-Fish	17.74	17.69	17.65	17.54	17.48	17.42	17.36	17.32
DFT-Fish	18.72	18.68	18.65	18.63	18.62	18.58	18.54	18.52
Sand-Fish	20.42	20.36	20.32	20.27	20.25	20.21	20.18	20.14
5. ฟอสฟอรัส								
NFT-Fish	3.07	3.01	2.94	2.83	2.76	2.63	2.54	2.48
DFT-Fish	3.15	3.12	3.09	3.06	3.02	2.95	2.86	2.79
Sand-Fish	5.59	5.59	5.60	5.61	5.58	5.60	5.61	5.58
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด								
NFT-Fish	4.91	4.88	4.82	4.80	4.77	4.71	4.65	4.65
DFT-Fish	5.89	5.81	5.76	5.71	5.65	5.54	5.45	5.32
Sand-Fish	6.18	6.15	6.07	5.94	5.89	5.82	5.68	5.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวนันทิมา สุทธิวรรณกุล เกิดวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2520 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีการเกษตร) ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้